UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN

PROGRAMA DE MÁESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

“DESEMPEÑO SÍSMICO DE SISTEMAS ESTRUCTURALES DE ACERO CON CONTRAVIENTOS TIPO CHEVRÓN EN EDIFICIOS UBICADOS EN LA CIUDAD DE CULIACAN, SINALOA, MÉXICO”

TESIS

QUE PARA OBTENER EL GRADO:

MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

PRESENTA:

ING. ALVARADO VALLE OMAR EDUARDO

DIRECTOR:

DR. JOSÉ RAMÓN GAXIOLA CAMACHO

CODIRECTOR:

DR. JUAN BOJÓRQUEZ MORA

CULIACÁN, SINALOA, MÉXICO. **NOVIEMBRE DE 2020**

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA
DIRECCIÓN GENERAL DE BIBLIOTECAS

REPOSITORIO INSTITUCIONAL

UAS- Dirección General de Bibliotecas

Repositorio Institucional

Restricciones de uso

Todo el material contenido en la presente tesis está protegido por la Ley Federal de Derechos de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

Queda prohibido la reproducción parcial o total de esta tesis. El uso de imágenes, tablas, gráficas, texto y demás material que sea objeto de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente correctamente mencionando al o los autores del presente estudio empírico. Cualquier uso distinto, como el lucro, reproducción, edición o modificación sin autorización expresa de quienes gozan de la propiedad intelectual, será perseguido y sancionado por el Instituto Nacional de Derechos de Autor.

Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-No Comercial-Compartir Igual, 4.0 Internacional.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis a **Dios** y a mis **padres**. A Dios porque ha estado conmigo en cada paso que doy, cuidándome y dándome fortaleza para continuar.

A mis **padres**, quienes a lo largo de mi vida han velado por mi bienestar y educación siendo mi apoyo en todo momento. Depositando su entera confianza en cada reto que se me presentaba sin dudar ni un solo momento en mi inteligencia y capacidad, es por ellos que soy lo que soy ahora. Los quiero con todo mi corazón.

A mis hermanos **Alexandro** y **Manuel** por sus consejos, paciencia y toda la ayuda que me brindaron en mi formación académica, espero ser un ejemplo digno de ustedes.

AGRADECIMIENTOS

Este proyecto de tesis es el resultado del esfuerzo de gran cantidad de horas de trabajo, que no hubiese sido posible sin la ayuda de mi director el Dr. José Ramón Gaxiola Camacho y codirector el Dr. Juan Bojórquez Mora del área de investigación de estructuras. Para la realización de este trabajo fue fundamental la colaboración del Ing. Aarón Gutiérrez López que con su aportación se pudo llevar a cabo esta investigación, también quisiera agradecer a la Universidad Autónoma de Sinaloa y al área de posgrado en el programa de Maestría en Ingeniería de la Construcción por permitirme formar parte de la generación de 2018-2020, de la misma manera quisiera agradecer al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) que gracias a su apoyo pude concluir mi trabajo de investigación y grado de maestría. Así también, gracias al proyecto "*Desarrollo e Implementación de Metodología Alternativa para el cálculo de Confiabilidad Estructural de Edificios sometidos a Terremotos considerando Niveles de Desempeño*" con No. de Proyecto: A1-S-10088 financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) y la Secretaria de Educación Pública (SEP) a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación. Por otra parte también quisiera agradecer al Ing. Marco Antonio Luna Neriz, por permitir presentar mi estancia en la empresa ML ESTRUCTURAS, gracias a esta oportunidad se pudo reforzar el conocimiento adquirido en la maestría y conocer nuevos procesos constructivos enfocados a estructuras de acero. Por último, quisiera agradecer al Dr. Federico Valenzuela y al Dr. Robespierre Chávez por el tiempo tomado para leer mi proyecto de intervención y de esta manera bridarme sus recomendaciones.

ÍNDICE

RESUMEN 1
PALABRAS CLAVES 1
ABSTRACT 2
KEYWORDS 2
I. CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN 3
1.1 Presentación 3
1.2 Análisis situacional 4
1.3 Definición del problema seleccionado 4
II. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTO TEÓRICO 7
2.1 Marco histórico y contextual 7
2.2 Estado del arte 7
2.3 Marco teórico 9
2.4 Marco Legal 11
III. CAPÍTULO 3 - PROYECTO DE INTERVENCIÓN 13
3.1 Objetivo General 13
3.2 Objetivos Específicos 13
3.3 Hipótesis 13
3.4 Justificación 13
3.5 Metodología 14
3.5.1 Selección del sitio 14
3.5.2 Dimensión y geometría de la edificación 15
3.5.3 Análisis de cargas 16
3.5.4 Diseño de las edificaciones de acero 17
3.5.5 Selección de Sismos Representativos de la Zona 19
3.5.6 Cálculo de Respuesta Sísmica usando el Método de Elementos Finitos 20
3.5.7 Comparación de Respuesta Sísmica con Base en Desempeño 20
3.5.8 Evaluación de Confiabilidad usando Criterios Probabilísticos 20
3.5.9 Cálculo y Comparación de Precios 20
3.5.10 Diagrama de Flujo de la Metodología 21
3.6 Análisis de resultados 21
3.6.1 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata. 24

3.6.1.1 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata en Marcos con Contravientos. 24

3.6.1.2 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata en Marcos Rígidos. 31

3.6.2 Desplazamientos para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida. 37

3.6.2.1 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Seguridad de Vida en Marcos con Contravientos. 37

3.6.2.2 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Seguridad de Vida en Marcos Rígidos…….. 43

3.6.3 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso. 49

3.6.3.1 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención Colapso para Marcos con Contraviento. 49

3.6.3.2 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención al Colapso para Marcos Rígidos. 56

3.6.5 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida. 75

3.6.5.1 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos con Contraviento. 75

3.6.5.2 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos Rígidos…… 81

3.6.6 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso. 88

3.6.6.1 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos con Contraviento. 88

3.6.6.2 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos Rígidos…… 94

3.6.7 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata. 100

3.6.7.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos con Contravientos. 100

3.6.7.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos Rígidos…….. 106

3.6.8 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida. 113

3.6.8.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos con Contraviento. 113

3.6.8.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos Rígidos…. 119

3.6.9 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso. 126

3.6.9.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos con Contravientos. 126
3.6.9.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos Rígidos. 132
3.6.10 Confiabilidad Estructural en Términos de Distorsiones. 138
3.6.10.1 Confiabilidad estructural para ocupación inmediata de marcos con contravientos 139
3.6.10.2 Confiabilidad estructural para prevención al colapso de marcos rígidos 147
3.6.10.3 Confiabilidad estructural para seguridad de vida de marcos con contravientos 154
3.6.10.4 Confiabilidad estructural para seguridad de vida de marcos rígidos 160
3.6.10.5 Confiabilidad estructural para prevención al colapso de marcos con contravientos. 167
3.6.10.6 Confiabilidad estructural para prevención al colapso de marcos rígidos. 173
3.6.11 Comparación de Costos – Marcos de Acero Resistentes a Momento - Marcos de Acero con Contraviento tipo Chevrón 179
IV. CAPÍTULO 4 – ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN 182
4.1 Plan de Acción 182
4.2 Estrategias usadas para Presentar y Persuadir a los Involucrados en el Proyecto 182
V. CAPÍTULO 5 – ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO 184
5.1 Cronograma de Actividades 184
5.2 Recursos 185
VI. CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES 186
6.1 Conclusiones 186
6.2 Recomendaciones 188
REFERENCIAS 189

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Desempeño sísmico de marcos con contravientos (Tapia Hernández E. (2015). Uso de contravientos de acero. México: Artroom Innovative Thinking). 11
Figura 2. Ubicación del terreno (Blvd. Revillagigedo y Blvd. Isla Musalá en Fracc. Musalá isla bonita). 15
Figura 3. Planta arquitectónica de la edificación. 15
Figura 4. Alzado de la Edificación. 16
Figura 5. Diseño final de marco de acero resistente a momento. 18
Figura 6. Diseño de marco de acero con contravientos tipo chevrón. 19
Figura 7. Diagrama de Flujo de la Metodología. 21
Figura 8. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805. 25
Figura 9. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821. 26
Figura 10. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822. 26
Figura 11. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856. 27
Figura 12. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886. 27
Figura 13. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985. 28
Figura 14. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0. 28
Figura 15. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04. 29
Figura 16. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13. 29
Figura 17. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17. 30

Figura 18. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18. 30
Figura 19. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593. 31
Figura 20. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618. 32
Figura 21. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.569. 32
Figura 22. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771. 33
Figura 23. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812. 33
Figura 24. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S6-OI- MR con un factor de escala de 0.869. 34
Figura 25. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971. 34
Figura 26. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala de 1.16 35
Figura 27. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36. 35
Figura 28. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo TLHD9509 con factor de escala de 1.36B. 36
Figura 29. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de anclaje de 1.6. 38
Figura 30. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S2- SV -MCC con factor de anclaje de 1.6B. 38
Figura 31. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S4- SV -MCC con factor de anclaje de 1.57. 39
Figura 32. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S5- SV -MCC con factor de anclaje de 1.67. 39
Figura 33. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S6- SV -MCC con factor de anclaje de 1.72. 40
Figura 34. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S7- SV -MCC con factor de anclaje de 1.92. 40

Figura 35. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S8- SV -MCC con factor de anclaje de 1.95. 41
Figura 36. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S9- SV -MCC con factor de anclaje de 2.02. 41
Figura 37. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S10- SV -MCC con factor de anclaje de 2.2. 42
Figura 38. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S11- SV -MCC 1 con factor de anclaje de 2.28. 42
Figura 39. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de anclaje de 0.883. 43
Figura 40. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S2- SV - MR con factor de anclaje de 0.903. 44
Figura 41. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S3- SV - MR con factor de anclaje de 1.6. 44
Figura 42. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S4- SV - MR con factor de anclaje de 1.8. 45
Figura 43. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S5- SV - MR con factor de anclaje de 1.15. 45
Figura 44. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S6- SV - MR con factor de anclaje de 1.23. 46
Figura 45. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S7- SV - MR con factor de anclaje de 1.28. 46
Figura 46. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S8- SV - MR con factor de anclaje de 1.36. 47
Figura 47. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S9- SV - MR con factor de escala de 1.68. 47
Figura 48. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S10- SV - MR con factor de escala de 2.01. 48
Figura 49. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S11- SV - MR con factor de escala de 2.4. 48
Figura 50. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S1-PC-MCC factor de anclaje de 2.16. 50
Figura 51. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S2- PC -MCC con factor de anclaje de 2.48. 50
Figura 52. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S3- PC -MCC con factor de anclaje de 2.53. 51
Figura 53. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S4- PC -MCC con factor de anclaje de 2.53B. 51

Figura 54. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S5- PC -MCC con factor de anclaje de 2.64. 52
Figura 55. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S6- PC -MCC con factor de anclaje de 2.73. 52
Figura 56. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S7- PC -MCC con factor de anclaje de 3.04. 53
Figura 57. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S8- PC -MCC con factor de anclaje de 3.09. 53
Figura 58. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S9- PC -MCC con factor de anclaje de 3.19. 54
Figura 59. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S10- PC -MCC con factor de anclaje de 3.49. 54
Figura 60. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S11- PC -MCC con factor de anclaje de 3.61. 55
Figura 61. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S1-PC-MR con factor de escala de 1.46. 56
Figura 62. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.49. 57
Figura 63. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S3- PC - MR con factor de escala de 1.9. 57
Figura 64. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 2.03. 58
Figura 65. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11. 58
Figura 66. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25. 59
Figura 67. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77. 59
Figura 68. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97. 60
Figura 69. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32. 60
Figura 70. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97. 61
Figura 71. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805. 62
Figura 72. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S2-OI-MCC con factor de 0.821. 63
Figura 73. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822. 63
Figura 74. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856. 64

Figura 75. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886. 64
Figura 76. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985. 65
Figura 77. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0. 65
Figura 78. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04. 66
Figura 79. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13. 66
Figura 80. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17. 67
Figura 81. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18. 67
Figura 82. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593. 68
Figura 83. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618. 69
Figura 84. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.659. 69
Figura 85. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771. 70
Figura 86. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812. 70
Figura 87. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S6-OI- MR con factor de escala de 0.869. 71
Figura 88. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971. 71
Figura 89. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala de 1.16. 72
Figura 90. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S9-OI- MR con factor de escala de 1.33. 72
Figura 91. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36. 73
Figura 92. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S11-OI- MR con factor de escala de 1.36B. 73
Figura 93. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6. 75
Figura 94. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S2- SV -MCC con factor de escala de 1.6B. 76
Figura 95. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S3- SV -MCC con factor de anclaje de 1.37. 76

Figura 96. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S4- SV -MCC con factor de anclaje de 1.57. 77
Figura 97. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S5- SV -MCC con factor de anclaje de 1.67. 77
Figura 98. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S6- SV -MCC con factor de anclaje de 1.72. 78
Figura 99. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S7- SV -MCC con factor de anclaje de 1.92. 78
Figura 100. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S8- SV -MCC con factor de anclaje de 1.95. 79
Figura 101. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S9- SV -MCC con factor de escala 2.02. 79
Figura 102. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S10- SV -MCC con factor de escala de 2.2. 80
Figura 103. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S11- SV -MCC con factor de escala de 2.28. 80
Figura 104. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de escala de 0.883. 81
Figura 105. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S2- SV - MR con factor de escala de 0.903. 82
Figura 106. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S3- SV - MR con factor de escala de 1.6. 82
Figura 107. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S4- SV - MR con factor de escala de 1.8. 83
Figura 108. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S5- SV - MR con factor de escala de 1.15. 83
Figura 109. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S6- SV - MR con factor de escala de 1.23. 84
Figura 110. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S7- SV - MR con factor de escala de 1.28. 84
Figura 111. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S8- SV - MR con factor de escala de 1.36. 85
Figura 112. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S9- SV - MR con factor de escala de 1.68. 85
Figura 113. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S10- SV - MR con factor de escala de 2.01. 86
Figura 114. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S11- SV - MR con factor de escala de 2.4. 86
Figura 115. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de escala de 2.16. 88
Figura 116. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S2- PC -MCC con factor de escala de 2.48. 89

Figura 117. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S3- PC -MCC con factor de escala de 2.53. 89
Figura 118. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S4- PC -MCC con factor de escala de 2.53B. 90
Figura 119. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S5- PC -MCC con factor de escala de 2.64. 90
Figura 120. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S6- PC -MCC con factor de escala de 2.73. 91
Figura 121. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S7- PC -MCC con factor de escala de 3.04. 91
Figura 122. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S8- PC -MCC con factor de escala de 3.09. 92
Figura 123. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S9- PC -MCC con factor de escala de 3.19. 92
Figura 124. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S10- PC -MCC con factor de escala de 3.49. 93
Figura 125. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S11- PC -MCC con factor de escala de 3.61. 93
Figura 126. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.49. 94
Figura 127. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S3- PC - MR con factor de escala de 1.9. 95
Figura 128. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 2.03. 95
Figura 129. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11. 96
Figura 130. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25. 96
Figura 131. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7- PC - MR con factor de escala de 2.64. 97
Figura 132. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77. 97
Figura 133. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97. 98
Figura 134. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32. 98
Figura 135. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97. 99
Figura 136. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805. 100
Figura 137. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821. 101

Figura 138. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822. 101
Figura 139. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856. 102
Figura 140. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886. 102
Figura 141. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985. 103
Figura 142. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0. 103
Figura 143. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04. 104
Figura 144. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13. 104
Figura 145. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17. 105
Figura 146. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18. 105
Figura 147. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593. 106
Figura 148. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618. 107
Figura 149. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.659. 107
Figura 150. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771. 108
Figura 151. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812. 108
Figura 152. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S6-OI- MR con factor de escala de 0.869. 109
Figura 153. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971. 109
Figura 154. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala 1.16. 110
Figura 155. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S9-OI- MR con factor de escala de 1.33. 110
Figura 156. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36. 111
Figura 157. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S11-OI- MR con factor de escala de 1.36B. 111
Figura 158. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6. 113

Figura 159. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2- SV -MCC con factor de escala de 1.6B. 114
Figura 160. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3- SV -MCC con factor de escala de 1.37. 114
Figura 161. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4- SV -MCC con factor de escala de 1.57. 115
Figura 162. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5- SV -MCC con factor de escala de 1.67. 115
Figura 163. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6- SV -MCC con factor de escala de 1.72. 116
Figura 164. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7- SV -MCC con factor de escala de 1.92. 116
Figura 165. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9- SV -MCC con factor de escala de 2.02. 117
Figura 166. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo SICS7903.14 S10- SV -MCC con factor de escala de 2.2. 117
Figura 167. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11- SV -MCC con factor de escala de 2.28. 118
Figura 168. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de anclaje de 0.883. 119
Figura 169. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S2-SV-MR con factor de anclaje de 0.903. 120
Figura 170. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S3-SV-MR con factor de anclaje de 1.6. 120
Figura 171. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S4-SV-MR con factor de anclaje de 1.8. 121
Figura 172. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S5-SV-MR con factor de anclaje de 1.15. 121
Figura 173. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S6-SV-MR con factor de anclaje de 1.23. 122
Figura 174. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S7-SV-MR con factor de anclaje de 1.28. 122
Figura 175. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S8-SV-MR con factor de anclaje de 1.36. 123
Figura 176. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S9-SV-MR con factor de anclaje de 1.68. 123
Figura 177. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S10-SV-MR con factor de anclaje de 2.01. 124
Figura 178. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S11-SV-MR con factor de anclaje de 2.4. 124
Figura 179. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de anclaje de 2.16. 126

Figura 180. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-PC-MCC con factor de anclaje de 2.48. 127
Figura 181. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-PC-MCC con factor de anclaje de 2.53. 127
Figura 182. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de anclaje de 2.53 B. 128
Figura 183. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de anclaje de 2.64. 128
Figura 184. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-PC-MCC con factor de anclaje de 2.73. 129
Figura 185. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-PC-MCC con factor de anclaje de 3.04. 129
Figura 186. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-PC-MCC con factor de anclaje de 3.09. 130
Figura 187. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-PC-MCC con factor de anclaje de 3.19. 130
Figura 188. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-PC-MCC con factor de anclaje de 3.49. 131
Figura 189. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-PC-MCC con factor de anclaje de 3.61. 131
Figura 190. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2-PC-MR con factor de escala de 1.49. 132
Figura 191. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S3-PC-MR con factor de escala de 1.90. 133
Figura 192. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4-PC-MR con factor de escala de 2.03. 133
Figura 193. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5-PC-MR con factor de escala de 2.11. 134
Figura 194. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6-PC-MR con factor de escala de 2.25. 134
Figura 195. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7-PC-MR con factor de escala de 2.64. 135
Figura 196. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S8-PC-MR con factor de escala de 2.77. 135
Figura 197. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9-PC-MR con factor de escala de 2.97. 136
Figura 198. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10-PC-MR con factor de escala de 3.32. 136
Figura 199. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11-PC-MR con factor de escala de 3.97. 137
Figura 200. PDF con los limites correspondientes propuestas por la FEMA-SAC (2000). 138

Figura 201. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805. 140
Figura 202. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856. 141
Figura 203. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886. 142
Figura 204. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985. 142
Figura 205. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821. 143
Figura 206. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822. 143
Figura 207. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0. 144
Figura 208. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04. 144
Figura 209. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13. 145
Figura 210. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17. 145
Figura 211. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18. 146
Figura 212. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593. 147
Figura 213. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618. 148
Figura 214. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S3-OI-MR con factor de escala de 0.659. 148
Figura 215. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S4-OI-MR con factor de escala de 0.771. 149
Figura 216. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S5-OI-MR con factor de escala de 0.812. 149
Figura 217. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S6-OI-MR con factor de escala de 0.869. 150
Figura 218. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S7-OI-MR con factor de escala de 0.971. 150
Figura 219. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S8-OI-MR con factor de escala de 1.16. 151
Figura 220. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S9-OI-MR con factor de escala de 1.33. 151
Figura 221. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S10-OI-MR con factor de escala de 1.36. 152

Figura 222. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S11-OI-MR con factor de escala de 1.36B. 152
Figura 223. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6. 154
Figura 224. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S2-SV-MCC con factor de escaña de 1.6 B. 155
Figura 225. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S3-SV-MCC 151 con factor de escala de 1.37. 155
Figura 226. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S4-SV-MCC con factor de escala de 1.57. 156
Figura 227. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S5-SV-MCC con factor de escala de 1.67. 156
Figura 228. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S6-SV-MCC con factor de escala de 1.72. 157
Figura 229. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S7-SV-MCC con factor de escala de 1.92. 157
Figura 230.Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S9-SV-MCC con factor de escala de 2.02. 158
Figura 231. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S10-SV-MCC con factor de escala de 2.20 158
Figura 232. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S11-SV-MCC con factor de escala de 2.28. 159
Figura 233. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de escala de 0.883. 160
Figura 234. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S2-SV-MR con factor de escala de 0.903. 161
Figura 235. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S3-SV-MR con factor de escala de 1.60. 161
Figura 236. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S5-SV-MR con factor de escala de 1.15. 162
Figura 237. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S4-SV-MR con factor de escala de 1.80. 162
Figura 238. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S6-SV-MR con factor de escala de 1.23. 163
Figura 239. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S7-SV-MR con factor de escala 1.28. 163
Figura 240. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S8-SV-MR con factor de escala 1.36. 164
Figura 241. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S9-SV-MR con factor de escala de 1.68. 164
Figura 242. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S10-SV-MR con factor de escala de 2.01. 165

Figura 243. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S11-SV-MR con facrtor de escala de 2.4. 165
Figura 244. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de escala de 2.16..... 167
Figura 245. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-PC-MCC con factor de escala de 2.48..... 168
Figura 246. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-PC-MCC con factor de escala de 2.53..... 168
Figura 247. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de escala de 2.53B..... 169
Figura 248. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-PC-MCC con factor de escala de 2.64..... 169
Figura 249. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-PC-MCC con factor de escala de 3.04..... 170
Figura 250. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-PC-MCC con factor de escala de 3.09..... 170
Figura 251. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-PC-MCC con factor de escala de 3.19..... 171
Figura 252. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-PC-MCC con factor de escala de 3.61..... 171
Figura 253. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.46..... 173
Figura 254. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR factor de escala de 1.49. 174
Figura 255. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 1.9..... 174
Figura 256. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11..... 175
Figura 257. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25..... 175
Figura 258. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7- PC - MR con factor de escala de 2.64..... 176
Figura 259. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77..... 176
Figura 260. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97..... 177
Figura 261. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32..... 177
Figura 262. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97..... 178
Figura 263. Recursos para elaboración de proyecto de intervención. 185
Figura 264. Comparación de desplazamientos en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados..... 186

Figura 265. Comparación de rotaciones en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados. 187
Figura 266. Comparación de rotaciones en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados. 187

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Niveles de desempeño (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI). 10
Tabla 2. Registros sísmicos para nivel de desempeño de ocupación inmediata en marcos con contraviento tipo Chevrón. 22
Tabla 3. Registros sísmicos para nivel de desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos. 22
Tabla 4. Registros sísmicos para nivel de desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón. 23
Tabla 5. Registros sísmicos para nivel de desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos. 23
Tabla 6. Registros sísmicos para nivel de desempeño de Prevención al colapso en marcos con contraviento tipo Chevrón. 24
Tabla 7. Registros sísmicos para nivel de desempeño de prevención al colapso en marcos rígidos. 24
Tabla 8. Desplazamientos máximos presentados para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marcos rígidos. 36
Tabla 9. Desplazamientos máximos presentados para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento y marco rígido (en metros). 49
Tabla 10. Desplazamientos máximos presentados para nivel de desempeño de prevención al colapso en sistemas con contraviento y marco rígido (en metros). 61
Tabla 11. Rotaciones máximas presentadas para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en riadianes). 74
Tabla 12. Rotaciones máximas presentadas para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en radianes). 87
Tabla 13. Rotaciones máximas presentadas para nivel de prevención de colapso en sistemas con contraviento Cheveón y marco rígido (en radianes). 99
Tabla 14. Distorsiones máximas presentadas para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en m). 112
Tabla 15. Distorsiones máximas presentadas para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento tipo Chevrón y marco rígido (en m). 125
Tabla 16. Distorsiones máximas presentadas para nivel de prevención al colapso en sistemas con contraviento chevrón y marco rígido (en m). 137
Tabla 17. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de seguridad de vida. 146
Tabla 18. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de ocupación inmediata. 153

Tabla 19. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de seguridad de vida. 159
Tabla 20. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de seguridad de vida. 166
Tabla 21. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de prevención al colapso. 172
Tabla 22. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de prevención al colapso. 178
Tabla 23. Tarjeta de precio unitario para concepto de estructura metálica. 179
Tabla 24. Cuantificación de material requerido para marco con contraviento. 180
Tabla 25. Cuantificación de material requerido para marco rígido. 181
Tabla 26. Programación y control para llevar a cabo el plan de acción. 184

RESUMEN

Actualmente, se han registrado un gran número de pérdidas tanto humanas como materiales debido a los efectos devastadores de sismos. En esta investigación, se estudia el desempeño sísmico y confiabilidad estructural de contravientos concéntricos tipo Chevrón y marcos resistentes a momento. El desempeño sísmico se calcula mediante análisis dinámicos no lineales paso a paso usando un programa de análisis estructural comercial. En este sentido, se analizan tres variables: (1) desplazamientos, (2) rotaciones en conexiones, y (3) distorsiones. Dichas variables son evaluadas mediante la aplicación de sismos característicos de la zona en términos de tres niveles de desempeño: (1) ocupación inmediata, (2) seguridad de vida, y (3) prevención de colapso. Una vez analizado el nivel de desempeño, se realiza una evaluación de confiabilidad estructural a partir de las distorsiones extraídas de ambos sistemas estructurales para 11 sismos característicos de cada nivel de desempeño. Primeramente, se determina el comportamiento aleatorio de las distorsiones, por lo cual se genera para cada registro sísmico su respectivo histograma. Después, utilizando 13 distribuciones de probabilidad (PDF, por sus siglas en inglés) se realiza una prueba de bondad Chi-cuadrada con el fin de determinar cuál PDF se ajusta más al comportamiento del histograma. Una vez que se identifica el mejor PDF, se extrae la probabilidad de falla (p_f) y el índice de confiabilidad (β), con los límites establecidos en los reportes Estadounidenses SAC-FEMA para cada nivel de desempeño. Por último, se incluye un desglose financiero de cada uno de ellos, para presentar un mejor contraste, y poder documentar qué sistema presenta un mejor desempeño sísmico con un menor costo de construcción. Finalmente, con base en los resultados presentados en esta tesis, se demuestra que el uso de contravientos concéntricos tipo Chevrón contribuye de manera significativa al mejoramiento del comportamiento de la estructura y a la posible reducción de daños estructurales ante fenómenos sísmicos característicos de las zonas de interés.

PALABRAS CLAVES

Contravientos Tipo Chevrón; Ingeniería Sísmica; Diseño Sísmico Basado en Desempeño; Estructuras de Acero; Confiabilidad Estructural.

ABSTRACT

Currently, a great number of economic and human loses have been registered in the world because of the occurrence of destructive earthquakes. In this research, the seismic performance and reliability of steel buildings with Chevron-Braced Frames are studied. In addition, its behavior is compared with respect to Steel Moment Resisting Frames (SMRFs). The seismic response of the models is extracted using response history analyses using a commercial software. In this sense, three variables associated with the seismic response of the structure are studied: (1) overall lateral displacement, (2) rotation of connections, and (3) inter-story drift. Those responses are evaluated by exciting the structures with 11 characteristic ground motions of the zone with respect to three performance levels: (1) immediate occupancy, (2) life safety, and (3) collapse prevention. Once the seismic response is extracted for every performance level, the reliability of the models is calculated considering inter-story drift as described next. First, considering the seismic response in terms of inter-story drift for every ground motion, the associated histogram is constructed. Then, using 13 Probability Density Functions (PDFs), a Chi-square test is performed to identify the best-fitted PDF associated to the histogram of inter-story drift. Afterwards, with the best-fitted PDF of inter-story drift, the probability of failure (p_f) and reliability index (β) are extracted considering the serviceability limits documented in the SAC-FEMA reports for every performance level. In addition to the structural reliability, a financial study is developed for every analyzed structural system in terms of the cost that it would take to construct each building with and without Chevron-Braced Frames, respectively, and then it is documented which structural system is the best option. Finally, based on the results reported in this research, it is demonstrated that steel buildings with Chevron-Braced Frames present a better seismic performance. Hence, structural damages can be considerably reduced if Chevron-Braced Frames are implemented in steel structures that may be excited by characteristic ground motions of the zone where they are located.

KEYWORDS

Chevron-Braced Frames; Earthquake Engineering; Performance-Based Seismic Design; Steel Structures; Structural Reliability.

I. CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

1.1 Presentación

En este proyecto de intervención se lleva a cabo una comparación del desempeño sísmico de marcos de acero con contravientos tipo Chevrón con respecto a marcos de acero resistentes a momento evaluando de manera particular tres niveles de desempeño (ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención del colapso). Se utilizan registros sísmicos representativos de del riesgo de la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México. Para evaluar el desempeño sísmico de ambos sistemas estructurales, primero se realizó el diseño de las edificaciones utilizando un análisis modal espectral con las características del suelo de Culiacán, Sinaloa. Una vez diseñadas ambas edificaciones con el método modal espectral, el cual es adoptado por un gran número de ingenieros estructurales hoy en día, las edificaciones fueron excitadas con registros sísmicos reales escalados para representar los tres niveles de desempeño bajo consideración: (1) ocupación inmediata, (2) seguridad de vida, y (3) prevención del colapso. En este sentido, para obtener la respuesta estructural de las edificaciones de la manera más precisa posible, se emplean análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo utilizando un software comercial de análisis estructural. De manera adicional, en este proyecto de intervención se presenta una comparativa analizando tres variables o respuestas estructurales de las edificaciones: (1) desplazamientos, (2) rotaciones en conexiones, y (3) distorsiones. El comportamiento de dichas variables se presenta en series de tiempo, en las cuales se muestra el desempeño de la respuesta sísmica de ambos sistemas estructurales. También, las respuestas estructurales son comparadas con los límites de respuesta asociados a desempeños reportados en diversas guías y recomendaciones de diseño sísmico basado en desempeño. Lo anterior es llevado a cabo implementando normas, guías, y manuales mexicanos y estadounidenses, los cuales son utilizados por ingenieros para el análisis estructural de edificios. Los análisis y diseños están fundamentados por las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México 2017 (NTCCM 2017), el manual del Instituto Americano de la Construcción de Acero (AISC 2011), Manual de Diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE 2008 & 2015), manual de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE 2017) y el reglamento de construcción de la Ciudad de Culiacán, Sinaloa, México (2007). Este proyecto de intervención tiene como fin el aportar conocimiento técnico para mejorar los diseños de estructuras de acero con contravientos tipo Chevrón que realicen calculistas de la ciudad de Culiacán e incluso del país, tomando en cuenta el riesgo sísmico de las zonas en las cuales se construirán las edificaciones.

En resumen, este proyecto de intervención comienza definiendo el problema que justifica la realización de esta investigación. Posteriormente, se documenta una breve reseña del marco histórico y evolución de los contravientos tipo Chevrón a través del tiempo. De manera general, los contravientos tipo Chevrón son elementos estructurales que hoy en día han tenido una gran implementación en estructuraciones de acero. Sin embargo, a pesar de esto, se considera que no han sido lo suficientemente estudiados. De esta forma, en el marco teórico se definen y se da una breve descripción de su comportamiento estructural. Un vez que se entra en contexto con el tema, se describe la metodología implementada para la selección del

sitio bajo estudio y para el cual se diseñaran las edificaciones con y sin contravientos tipo Chevrón. En este sentido, el análisis y diseño estructural de las edificaciones se realiza utilizando los manuales ya mencionados anteriormente. Paralelamente, se compara la respuesta sísmica con base en el desempeño estructural de cada uno de los sistemas, y finalmente se concluye con la evaluación de confiabilidad de manera explícita en términos de índice de confiabilidad (β) y probabilidad de falla (p_f) usando criterios probabilísticos.

1.2 Análisis situacional

Con el tiempo, los ingenieros se han dado la tarea de implementar sistemas estructurales que mejoren el desempeño sísmico de los edificios, buscando salvaguardar la vida de las personas, comodidad de los ocupantes y evitar daños estructurales.

La evolución de los sistemas de contraviento en edificios a través del tiempo ha surgido por la necesidad de construir edificios sismo-resistentes, los cuales se implementan para reducir los desplazamientos laterales generados por vientos y principalmente por sismos. En un principio, los contravientos eran utilizados únicamente como tensores, para los cuales su comportamiento mecánico era trabajar a tensión, estos sistemas estructurales eran utilizados en naves industriales para controlar las fuerzas de viento.

Cuando las ciudades metrópolis tienen la necesidad de construir edificios de gran altura para poder aprovechar las áreas de construcción, comienzan a surgir los sistemas innovadores de marcos resistentes a cortante, en los cuales se comienzan a implementar marcos resistentes a momento, muros de cortante, y contravientos concéntricos y excéntricos. Todos estos sistemas aportan gran rigidez a la estructura, la diferencia de cada uno de ellos radica en el desempeño sísmico que aportan a la estructura.

Debido a lo anterior, se puede afirmar que la implementación de los marcos resistentes a cortante está a la alza. Hoy en día es común mirar en edificaciones en México y en el mundo la utilización de sistemas de contraviento tipo Chevrón. Por otro lado, de manera particular, se ha observado una tendencia a utilizar estos sistemas en edificaciones de la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Sin embargo, a pesar de que los ingenieros estructurales han optado por utilizarlos en edificios, hoy en día se sabe poco de su comportamiento con respecto a sismos característicos de la región. Por lo anterior, se cree necesario llevar a cabo una comparativa del desempeño sísmico con base en la confiabilidad de marcos de acero con contraviento tipo Chevrón con respecto a marcos resistentes a momentos, y al final presentar un balance presupuestal de ambos sistemas estructurales destacando las principales ventajas de los contravientos tipo Chevrón.

1.3 Definición del problema seleccionado

Actualmente, existe un riesgo latente en nuestra sociedad por las implicaciones, tanto materiales como humanas, que pueden tener los efectos devastadores de los sismos. En el caso particular de ingeniería civil, el objetivo que tienen los ingenieros estructurales al desarrollar diseños sismo-resistentes siguiendo las normas de construcción recae en el hecho de evitar el colapso de la estructura bajo cualquier demanda sísmica que se pudiese presentar. En este sentido, si se siguen las normas de construcción, se supondría que la probabilidad de colapso es reducida a niveles considerablemente bajos. Sin embargo, se han registrado casos de colapsos en edificaciones construidas siguiendo las normas de construcciones vigentes, lo

cual conlleva a proponer modificaciones al reglamento o a la utilización de sistemas estructurales alternativos a los convencionales. Un sistema estructural muy utilizado hoy en día para la construcción de edificios sismo-resistentes es el de marcos de acero con contravientos tipo Chevrón. Sin embargo, a pesar de contar con un número considerable de investigaciones de este sistema estructural, todavía hace falta investigar más acerca de su comportamiento bajo cargas sísmicas. El contraviento tipo Chevrón es común observarlo principalmente en edificios de oficinas, hoteles, y condominios de múltiples niveles. Hoy en día, estas estructuras son bastante comunes en México y la tendencia es tener un mayor número de ellas en el futuro. De manera general, un edificio no sólo debe estar suficientemente "*contraventeado*" lateralmente para evitar fallas, sino también para impedir deformaciones que dañen sus diversas partes arquitectónicas. Otro factor importante por el que se debe de colocar un sistema adecuado de contravientos en estructuras es para darles una sensación de seguridad a los ocupantes, puesto que con la instalación del sistema de contraviento, se reducen considerablemente los desplazamientos del inmueble.

En términos generales, el diseño estructural debe de proveer seguridad adecuada para dos estados límites. El primero asociado al servicio o deformaciones de la estructura, y el segundo relacionado a la resistencia, que de no cumplirse, provocaría una falla en los elementos estructurales. De esta forma, una estructura puede ser llevada a su estado límite como consecuencia de las cargas actuando en ella. Por ejemplo, por las fuerzas de un sismo de intensidad considerable. Es por ello que estructuraciones alternativas como los marcos de acero con contraviento tipo Chevrón pueden proveer a las edificaciones de las características necesarias para disipar de manera adecuada la energía y con esto evitar fallas en elementos estructurales de importancia considerable (McCormac y Csernak, 2012). Sin embargo, como se mencionó anteriormente, se requiere de mayor conocimiento técnico asociado a su desempeño sísmico. En los últimos años, una gran cantidad de edificios en México y en otras partes del mundo han sufrido daños significativos, o en otros casos, han colapsado a causa de sismos, incluso en algunos que no han sido muy intensos. Por lo tanto, es necesario llevar cabo un correcto diseño estructural, implementando sistemas estructurales laterales como contravientos tipo Chevrón, organizados de tal manera que el ensamble resultante sea estable bajo cualquier condición concebible de carga sísmica. Técnicamente, un sistema estructural lateral en un edificio de acero de varios pisos, por lo general, consiste de dos líneas adyacentes de columnas, las trabes horizontales que los conectan, y cierto número de miembros inclinados que las unen; los cuales son llamados contravientos. De manera general, los sistemas estructurales laterales pueden dividirse en cuatro tipos: (1) marcos con contraviento concéntrico, (2) marcos con contraviento excéntrico, (3) marcos resistentes a momento, y (4) muros de cortante.

En este proyecto de intervención se estudia el desempeño sísmico del sistema de marcos con contraviento concéntrico, particularmente el caso de contravientos tipo Chevrón con la intención de controlar la respuesta sísmica y reducir los daños generados en las edificaciones durante la ocurrencia de sismos de diversas magnitudes. Hoy en día, el contraventeo con diagonales de acero ha sido considerado como una de las alternativas más atractivas para incrementar la resistencia y rigidez lateral de edificios de varios niveles, debido a sus bajos costos y fácil implementación. Sin embargo, es importante tener en cuenta que los contravientos, sean dúctiles o no, tienden a exhibir pandeo global cuando están sujetos a esfuerzo de compresión, lo que resulta en pandeo local, fracturas del material base, y un

comportamiento histerético inestable cuando se les sujeta a la acción de cargas cíclicas. También, en este proyecto de intervención se estudia el comportamiento de marcos resistentes a momento. En ambos casos para estructuraciones de acero. Debido a que en la ciudad de Culiacán, se están construyendo edificios de acero con este tipo de estructuración, el proyecto de intervención se enfoca en el desempeño sísmico que los contravientos tipo Chevrón provocan en edificaciones de acero diseñadas para ser construidas en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, México. En resumen, se compara el desempeño sísmico de marcos resistentes a momento con respecto al de marcos con contraviento concéntrico tipo Chevrón utilizando análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo. Asimismo, se desarrolla una comparación presupuestal de ambos sistemas estructurales, y por último, se extrae la confiabilidad estructural de ellos.

II. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Marco histórico y contextual

En el siglo XIX los contravientos eran utilizados únicamente para darle rigidez a puentes y edificios industriales. Posteriormente surge la tendencia de diseñar edificios más altos, por lo que llevó a los ingenieros estructurales a implementar pórticos resistentes a cortante. Durante los años 30 del siglo XX se construyó el *Empire State* en la ciudad de Nueva York, Estados Unidos, siendo el primer edificio en el mundo con 100 pisos. Para dicha construcción, se utilizaron marcos de acero resistentes a momento, lo que resultó en un uso excesivo de estructura metálica. A partir de la década de los sesenta de ese mismo siglo, se observó un notable avance tecnológico en relación con el análisis y diseño de sistemas estructurales para edificios altos, implementando los sistemas de contraviento para soportar cargas de viento (Quiroz & Terán, 2017). En las primeras aplicaciones de marcos contraventeados eran típicas las configuraciones *Knee-Braced*, los cuales solo trabajaban a tensión. En la década de los setenta, los marcos contraventeados se convirtieron en marcos más completos, esto debido a la promulgación de más detalles y requerimientos en las normas de construcciones sismo-resistentes. En este sentido, en México, en el año de 1976 se comienza a construir la Torre de Pemex, esta edificación es resistente a sismos ya que se encuentra formada, principalmente, por marcos rígidos contraventeados colocados en las cuatro fachadas del edificio. Para el análisis estructural de este edificio se utilizaron computadoras de poca capacidad, implementado el programa ETABS. La estructura se dividió en marcos planos en cada dirección y se llevó a cabo un análisis dinámico elástico modal, basado en los espectros de diseño del RCDF (Reglamento de Construcciones del Distrito Federal) reducidos por ductilidad (IMCA, 2014). En la década de los ochenta con la aparición de las computadoras surgen las primeras investigaciones referentes al comportamiento no lineal de sistemas con contravientos, que fueron la base para los códigos actuales de diseño (Hernández, 2010).

En el siglo XXI, particularmente en el año 2008, se diseñó el edificio BBVA BANCOMER, con un sistema muy eficiente para resistir las fuerzas horizontales, viento o sismo, debido a que la estructura se encuentra reforzada con marcos con contravientos excéntricos posicionados en los seis lados de la estructura. El modelo se diseñó por medio de un análisis paso a paso en el dominio del tiempo utilizando un modelo no lineal (IMCA, 2014). Por lo tanto, tanto a nivel mundial como nacional, queda demostrado que el uso de contraviento en estructuras de acero presenta una tendencia a la alza, por lo cual se justifica la necesidad de conocer más acerca de su comportamiento ante cargas laterales como lo son los terremotos.

2.2 Estado del arte

El estudio de marcos con contraviento metálico en proyectos de diseño de estructuras nuevas, así como en reparación y refuerzo de estructuras existentes, ha sido ampliamente estudiado. Existen diferentes investigaciones donde se han analizado distintos tipos de estructuras con diferentes contravientos, entre ellos destacan los tipo Chevrón. Otra consideración importante que se toma en cuenta en estos estudios es el tipo del suelo. En el caso particular de México, la mayor cantidad de investigaciones de contravientos son realizadas tomando en consideración las condiciones de suelo de la Ciudad de México. Con

el fin de contribuir al estado del arte, este proyecto de intervención se orienta al estudio del comportamiento sísmico de contravientos tipo Chevrón en estructuras de acero localizadas en la ciudad de Culiacán. El estado del arte en dicho tema se discute a continuación.

Khatib *et al.* (1988) presentaron su libro titulado comportamiento sísmico de marcos de acero reforzados concéntricamente, donde reportan que los métodos de diseño convencionales de estos elementos pueden exhibir varios modos de comportamiento indeseables. De esta forma, Khatib *et al.* (1988) identificaron los parámetros que tienen una influencia significativa en estos elementos. En dicha investigación, se documentan diversas recomendaciones relacionadas con rangos preferibles de esbeltez de refuerzo, enfoques para el diseño de vigas, y métodos simplificados para diseño de columnas y conexiones. Entre sus conclusiones proponen la base de un nuevo sistema estructural que incorpora elementos de enlace vertical en un marco reforzado con contraviento tipo Chevrón, ya que demostraron que puede superar de manera económica y practica la mayoría de las deficiencias de los marcos reforzados convencionales.

Continuando con la discusión del estado del arte, Sabelli *et al.* (2003) presentaron el artículo titulado "*Seismic demands on Steel braced frame buildings with buckling-restrained braces*", en el cual identificaron el movimiento del terreno y las características estructurales que controlan a los marcos de acero contraventeados concéntricamente. En su artículo, Sabelli *et al.* (2003) también identifican mejoras en el procedimiento de diseño para ser incluidas en los códigos de construcción. El enfoque del estudio está basado en la respuesta sísmica de marcos de tres y seis niveles con contravientos concéntricos usando análisis no lineales paso a paso en el domino del tiempo. Por otro lado, Kim & Choi (2004) llevaron a cabo el estudio de marcos arriostrados concéntricamente especiales y concéntricamente ordinarios tipo Chevrón, evaluándolos mediante un análisis *pushover*. Los resultados de la resistencia excesiva, la ductilidad y los factores de modificación se compararon con los de los análisis dinámicos incrementales no lineales. De acuerdo con los resultados, los autores describen que los factores de modificación obtenidos del análisis *pushover* fueron generalmente más pequeños que los valores dados en los códigos de diseño, excepto en los arriostramientos concéntricos especiales de poca altura. Por otra parte, los resultados del análisis dinámico incremental generalmente coinciden con los obtenidos en el análisis *pushover*. En este sentido, algunos otros investigadores (Tapia & Tena, 2008) propusieron una ecuación para mejorar el diseño dúctil de contravientos de acero tipo Chevrón con mediana altura y resistencia concéntrica. Dicha ecuación se derivó definiendo la relación de resistencia mínima para las columnas resistentes de los marcos, estableciendo el siguiente criterio: columnas fuertes, vigas débiles y contravientos más débiles. La expresión fue obtenida mediante análisis tipo *pushover* evaluando 26 MRCBF (*Moment resisting concentric braced frames*) de acero dúctil, en los cuales se consideran diferentes alturas y configuraciones de refuerzo. De este análisis presentado por Tapia & Tena (2008), se encontró una fuerte relación entre el mecanismo de colapso y la altura del edificio, la rigidez de las vigas y el diseño conceptual del sistema de contraviento.

Continuando con sus investigaciones de edificios con contravientos, Tapia & Tena (2009) llevaron a cabo un análisis del comportamiento sísmico de edificios regulares con marcos dúctiles de acero contraventeado (tipo Chevrón) concéntricamente a los que se le aplicaron las metodologías de análisis y diseño conforme al método de diseño convencional del cuerpo principal y el planteamiento alterno del apéndice A establecido en las Normas Técnicas para

Diseño de Sismo del Reglamento del Distrito Federal. Los edificios estudiados por Tapia & Tena (2009) se encuentran en la Zona III-B clasificado por la NTCS-2004 y se diseñaron con un factor de comportamiento sísmico de Q=4. En dicha investigación se hicieron comparaciones de ambos diseños mediante análisis estático no lineal (*pushover*) ante carga lateral monótona creciente y análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo usando registros de terremotos asociados al sismo de diseño. Como recomendaciones de los resultados del estudio, Tapia & Tena (2009) sugieren llevar a cabo una revisión integral de los criterios de las NTCS-2004 para este tipo de estructuras, dada las grandes reservas de resistencia lateral que llevan a las estructuras a comportarse de manera casi elástica.

Por otro lado, Godínez & Eber (2014) presentaron un estudio donde evaluaron la influencia de dos esquemas de contravientos en el comportamiento estructural de marcos dúctiles de concreto reforzado mediante un análisis estático no lineal. Los marcos diseñados se encuentran en el intervalo de cuatro a veinte niveles reforzados con sistema de contraviento metálico tipo Chevrón y en cruz. De los resultados obtenidos, Godínez & Eber (2014) concluyen que existe dependencia de los factores de reducción por sobre resistencia (R) con el esquema de contraviento considerado, por lo que se proponen expresiones para el cálculo de los factores R para cada caso. También, Godínez & Eber (2014) proponen una expresión para la determinación del aporte mínimo de las columnas al cortante resistente del sistema ante carga lateral como función de la relación de esbeltez de la estructura. Finalmente, con los resultados de Godínez & Eber (2014) se concluye que para los modelos de cuatro a dieciséis niveles, para ambos sistemas de contraviento, es posible obtener diseños con capacidades de deformación adecuadas, cumpliendo con un mecanismo de colapso cercano al esperado de columna fuerte-viga débil-contraviento más débil. Lo anterior, si se emplea la metodología de diseño por capacidad propuesta, donde las columnas aportan al menos el 50% del cortante resistente de entrepiso.

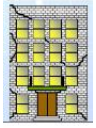
Con base en la discusión anterior, queda demostrado que existen diversos trabajos documentados en el estado del arte acerca del comportamiento sísmico de estructuras con contraviento tipo Chevrón. Sin embargo, existe una falta de estudios en términos de confiabilidad estructural de estos sistemas estructurales con respecto a otros sistemas estructurales utilizados en edificios de acero. En este protocolo se propone el estudiar el comportamiento sísmico de estructuras de acero con contravientos tipo Chevrón en términos de confiabilidad estructural y compararlo con el de marcos resistentes a momento. Adicionalmente, se realizará un presupuesto de ambas edificaciones para documentar las implicaciones económicas en el uso de dichas estructuraciones.

2.3 Marco teórico

El diseño sísmico basado en desempeño consiste en la selección de esquemas de evaluación apropiados que permitan el dimensionamiento y detallado de los componentes estructurales, no estructurales y contenidos, de manera que, para unos niveles de movimiento del terreno determinados y con ciertos niveles de confiabilidad, los daños en la estructura no deberán superar ciertos estados límites. En otras palabras, este tipo de filosofía consiste en diseñar estructuras que se desempeñen satisfactoriamente cuando se sometan a diferentes tipos de terremotos, mostrando dicho comportamiento dentro de valores permisibles en términos de respuestas estructurales asociadas a los niveles de desempeño.

Los reportes técnicos FEMA-350 (2000) y ASCE/SEI 41-13 (2014) proponen tres niveles de desempeño: (1) ocupación inmediata, (2) seguridad de vida, y (3) prevención del colapso. La descripción de cada desempeño sísmico se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Niveles de desempeño (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI).

Nivel de Desempeño	**Daño Estructural**	**Descripción**
Ocupación Inmediata		La edificación presenta daños ligeros, puede ser reocupada una vez que se inspeccionen rápidamente sus elementos estructurales.
Seguridad de Vida		La edificación tiene daños considerables. Sin embargo, el riesgo de colapso es muy bajo. Se requieren reparaciones estructurales antes de que se pueda ser reocupada.
Prevención del Colapso		La edificación se encuentra en pie de manera muy frágil. El daño es bastante considerable. Las reparaciones estructurales resultan muy caras.

Un contraviento es un elemento estructural que se usa para aumentar la rigidez lateral de un edificio o estructuración en particular. Al modificar la rigidez de la estructura (proporción entre los esfuerzos y las deformaciones), en forma indirecta, los contravientos coadyuvan a controlar las deformaciones ante posibles excitaciones laterales. Por esto, en un edificio estructurado con marcos con contravientos, la respuesta inelástica ante excitaciones laterales de todo el sistema es altamente dependiente de las capacidades y de la respuesta inelástica de dichos contravientos. En el caso típico de edificios estructurados con marcos de acero con contravientos, la demanda de deformación de todo el sistema queda restringida a la capacidad de algunos entrepisos, después del pandeo por compresión en marcos con contravientos concéntricos. Por esto, la predicción correcta de las capacidades del contraviento trasciende a la estimación adecuada de la capacidad de deformación de los entrepisos y, en consecuencia, en la evaluación de la rigidez lateral de toda la edificación.

En la Figura 1 se muestra el desempeño sísmico de diferentes configuraciones de marcos con contravientos. Los sistemas están ordenados en referencia al desempeño dúctil ante excitaciones laterales, de manera que los marcos del lado derecho tienen una respuesta inelástica estable y pueden estar relacionados con factores de comportamiento sísmicos más altos.

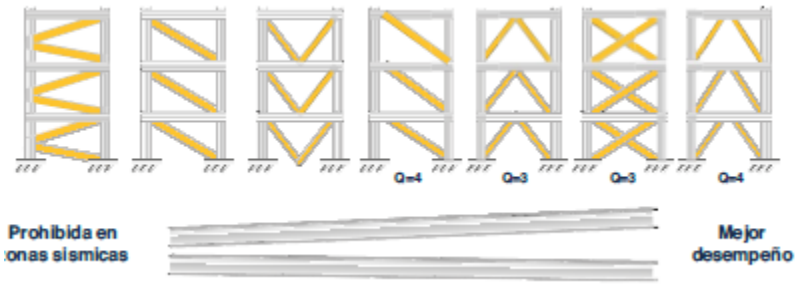


Figura 1 Desempeño sísmico de marcos con contravientos (Tapia Hernández E. (2015). Uso de contravientos de acero. México: Artroom Innovative Thinking).

Durante demandas sísmicas intensas, se espera que el inicio del daño se presente por pandeo global de las diagonales en compresión (contravientos), donde las deformaciones inelásticas de los contravientos deben ser redistribuidas de manera segura a las trabes, columnas y conexiones. En marcos con contravientos Chevrón, la componente de la carga axial, que incrementa la carga en las columna, está siempre relacionada con el pandeo en compresión del sistema, mientras que la fluencia por tensión de los contravientos constituye una reducción en la magnitud de la carga axial de las columnas (Tapia, 2015).

Con base en investigaciones realizadas a contravientos tipo Chevrón, se han propuesto metodologías para analizar dichos elementos estructurales. Por ejemplo, Godínez & Eber (2014) señalan que la ductilidad y redundancia estructural han resultado ser los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso y daños excesivos, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados en el diseño. Lo anterior debido a que durante un sismo de gran intensidad, la respuesta global de la estructura deja de ser lineal y entra en su intervalo no lineal (Domínguez & Tena, 2014). Por otra parte, el reglamento de construcción del Distrito Federal especifica que para considerar a un marco con contraviento como dúctil, debe analizarse considerando la aportación al cortante resistente del marco y el sistema de contravientos, validando que todas las columnas resistan al menos el 50% del cortante lateral (Tapia & Tena, 2007).

2.4 Marco Legal

El trabajo que se desarrolla en el presente proyecto de intervención, se rige por normas mexicanas, así como también por manuales y códigos de diseño establecidos por institutos americanos. Para tener una mejor claridad del análisis sísmico que se lleva a cabo, el trabajo se apoya con lo establecido en el manual de obras civiles diseño por sismo **(**Manual de obras civiles diseño por sismo, 2015). Con el uso de este manual, se podrán consultar los requisitos para cada factor sísmico, las metodologías aceptadas por un análisis dinámico que son el análisis modal y el cálculo no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para este último análisis, el manual menciona que se deben considerar terremotos específicos que cumplan con las características geológicas de la zona en la cual se construirá la edificación. También, se menciona que se pueden emplear registros sísmicos reales, o en su caso, simulados, siempre y cuando se usen cuando menos cuatro movimientos representativos.

En las normas técnicas complementarias para diseño y construcción de estructuras de acero de la Ciudad de México (Normas técnicas complementarias, 2017), es importante revisar el capítulo 2 de análisis y diseño de elementos y sistemas estructurales, debido a que

hacen referencia a estructuras con rigidez adicional (con contravientos). Por otra parte en el capítulo 12 que aborda el tema de estructuras dúctiles, se mencionan los contravientos laterales, presentando consideraciones de diseño para marcos con contravientos concéntricos con ductilidad alta, media y baja, respectivamente.

Como se mencionó anteriormente, este proyecto de intervención está apoyado por recomendaciones publicadas tanto por instituciones americanas como por mexicanas. Se toman criterios de diseño sísmico y se analizan las estructuras considerando análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo, como se recomienda en los capítulos 11 y 16, de la guía de cargas de diseño mínimas y criterios asociados para edificios y otras estructuras de la sociedad americana de ingenieros civiles [ASCE, por sus siglas en inglés] (ASCE 7-16, 2017). Por otra parte, para el diseño de los elementos y conexiones del sistema de contravientos concéntricos tipo Chevrón, se utiliza la guía de diseño del Instituto Americano de Construcciones en Acero [AISC, por sus siglas en inglés] (AISC, 2011). Con el apoyo de la guía AISC se diseñan los elementos para que puedan soportar los desplazamientos establecidos por las normas técnicas complementarias. El trabajo además de normas y guías de diseño, está sustentado por el reglamento de construcciones del distrito federal y de la ciudad de Culiacán (Reglamento de construcción para el municipio de Culiacán, Sinaloa, 2007). Del reglamento del Distrito Federal, ahora Ciudad de México, se analiza el apartado de estructuras dúctiles ya que se mencionan los sistemas de contraviento lateral y marcos con contraviento concéntrico dúctil. Además considera el capítulo 7 de estado límite de servicio, en el cual se abordan vibraciones y desplazamientos laterales.

En el reglamento de construcción de Culiacán se mencionan únicamente los códigos norteamericanos y códigos nacionales que sirven de apoyo para el diseño según el caso del material con el que se va construir. Como se mencionó anteriormente, en este proyecto de intervención, el sistema utilizado es a base de acero por lo que el diseño está sustentado por el AISC, las normas técnicas para diseño y construcción de estructuras metálicas y el manual de construcción en acero del instituto mexicano de la construcción de acero (IMCA, 1994).

III. CAPÍTULO 3 - PROYECTO DE INTERVENCIÓN

3.1 Objetivo General

Comparar la confiabilidad estructural de sistemas de marcos de acero con contravientos tipo Chevrón y marcos resistentes a momento evaluando su desempeño sísmico en la ciudad de Culiacán, Sinaloa, y realizar un balance presupuestal de ambos sistemas estructurales destacando las principales ventajas de los contravientos tipo Chevrón.

3.2 Objetivos Específicos

- Seleccionar el sitio donde se planea ubicar el edificio a diseñar.
- Definir las características generales del edificio a analizar estructuralmente.
- Calcular cargas gravitacionales (vivas y muertas) y cargas accidentales (sísmicas y viento) basándose en el manual de diseño de obras civiles de la Comisión Federal de Electricidad (CFE, 2015).
- Investigar las secciones de acero más eficientes y comerciales para sistemas de marcos con contravientos.
- Realizar un análisis dinámico no lineal paso a paso de la edificación con base en registros sísmicos que sean compatibles con el espectro de diseño de la ciudad de Culiacán, Sinaloa.
- Generar tablas y graficas de la respuesta sísmica de las estructuras bajo estudio.
- Comparar los costos de marcos resistentes a momento con respecto a marcos de acero con contraviento tipo Chevrón.
- Evaluar la confiabilidad estructural de ambos sistemas con métodos probabilísticos en términos de índice de confiabilidad (β) y probabilidad de falla (p_f).

3.3 Hipótesis

El desempeño sísmico de edificios de acero con contravientos tipo Chevrón se puede calcular mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo, utilizando registros sísmicos característicos de la ubicación bajo consideración. Por lo tanto, con base en estos análisis analíticos, se puede demostrar que implementando contravientos tipo Chevrón en marcos de acero se puede mejorar considerablemente el desempeño sísmico de edificaciones de acero sujetas a carga sísmica.

3.4 Justificación

Con el paso de los años, ha quedado demostrado el poder destructivo asociado a los terremotos. Por ejemplo, en el terremoto del 19 de septiembre de 1985, en la Ciudad de México se presentaron miles de muertes. Además de pérdidas humanas, en los últimos años, los terremotos han generado grandes pérdidas económicas (Gaxiola-Camacho *et al.*, 2018). Por ejemplo, el terremoto de septiembre de 1985 en la Ciudad de México provocó aproximadamente 4 billones de dólares en daños estructurales. Por otro lado, a finales del mes de octubre de 1989, en la región de la Loma Prieta, California, se presentó un sismo con magnitud de 6.9 ocasionando daños estructurales de alrededor de 6 billones de dólares. Posteriormente, en enero de 1994, se presentó un terremoto en Northridge, California, teniendo como resultado perdidas económicas de 30 billones de dólares aproximadamente. Actualmente, debido a las grandes pérdidas económicas que se han registrado en edificaciones a causa de los sismos, se ha considerado como una prioridad llevar a cabo

análisis detallados de las estructuras para calcular lo más preciso posible su desempeño bajo cargas sísmicas. En este sentido, se han propuesto métodos analíticos para extraer el comportamiento no lineal de estructuras sujetas a cargas dinámicas como sismos. Uno de los métodos más empleados es el de elementos finitos, el cual se encuentra disponible en diversos softwares comerciales. Por lo tanto, una vez extraído el comportamiento no lineal dinámico de una estructura, se puede tener la información necesaria para proponer sistemas estructurales que controlen el posible daño que esta pudiera presentar al ser excitada por un terremoto. Como se mencionó anteriormente, existen elementos estructurales como los contravientos que pueden ser diseñados para absorber y disipar energía en las estructuras. Sin embargo, existe la necesidad de contar con métodos que permitan calcular de manera explícita su confiabilidad. Es por ello que en este proyecto de intervención se lleva a cabo un análisis analítico de confiabilidad de estructuras de acero con contravientos tipo Chevrón y se comparan los resultados con respecto a sistemas estructurales de acero sin contraviento como lo son los marcos resistentes a momento. De manera adicional se hace un estudio económico del costo de ambos sistemas estructurales.

3.5 Metodología

La metodología implementada en el proyecto de intervención que en este documento se presenta y organiza de la siguiente forma para cumplir con los objetivos: (1) selección del sitio, (2) dimensión y geometría de la edificación, (3) análisis de cargas, (4) diseño de las edificaciones de acero, (5) selección de sismos representativos de la zona, (6) cálculo de respuesta sísmica usando el método de elementos finitos, (7) comparación de respuesta sísmica con base en desempeño, (8) evaluación de confiabilidad usando criterios probabilísticos, y (9) calculo y comparación de precios. A continuación se describen a detalle cada una de las fases que componen a la metodología a ser usada en este proyecto de intervención. De manera adicional, al final de esta subsección se presenta un diagrama de flujo el cual ilustra la metodología.

3.5.1 Selección del sitio

Como se mencionó con anterioridad, este proyecto se basa en el estudio del desempeño sísmico de edificaciones de acero con contravientos tipo Chevrón ubicadas en la ciudad de Culiacán. En este sentido, se propuso ubicar los edificios de acero en el terreno localizado en Blvd. Revillagigedo y Blvd. Isla Musalá en Fracc. Musalá isla bonita. La ubicación precisa se muestra en la Figura 2. El terreno cuenta con una superficie de 12,811.38 m², los cuales cumplen con la superficie necesaria para el área de construcción, los cajones de estacionamiento, y áreas verdes que solicita el reglamento de construcción del municipio de Culiacán, Sinaloa (Reglamento de construcción del municipio de Culiacán, Sinaloa, 2007).

Figura 2. Ubicación del terreno (Blvd. Revillagigedo y Blvd. Isla Musalá en Fracc. Musalá isla bonita).

3.5.2 Dimensión y geometría de la edificación

El proyecto arquitectónico del edificio de oficinas que se diseña y se estudia en este proyecto de intervención está conformado por una planta que se constituye por 4 claros de 8.00 metros en el eje X y 5 claros de 8.00 metros en el eje Y como se muestra en la Figura 3.

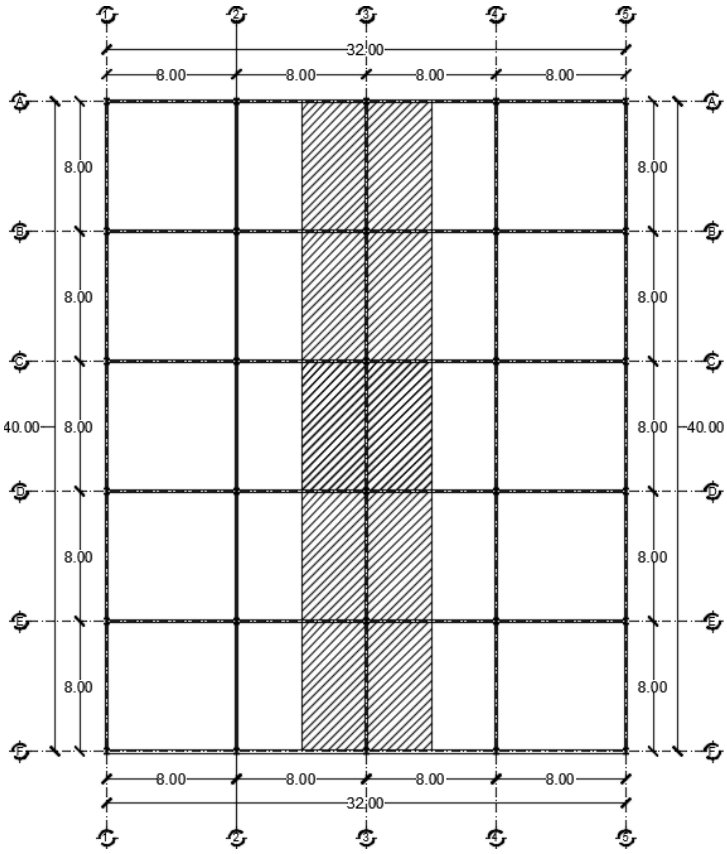


Figura 3. Planta arquitectónica de la edificación.

El edificio cuenta con 7 niveles, la planta baja tiene una altura de 5.5 metros y cada entrepiso, hasta llegar a la azotea, tiene una altura de 3.5 metros. El alzado de la edificación se muestra en la Figura 4.

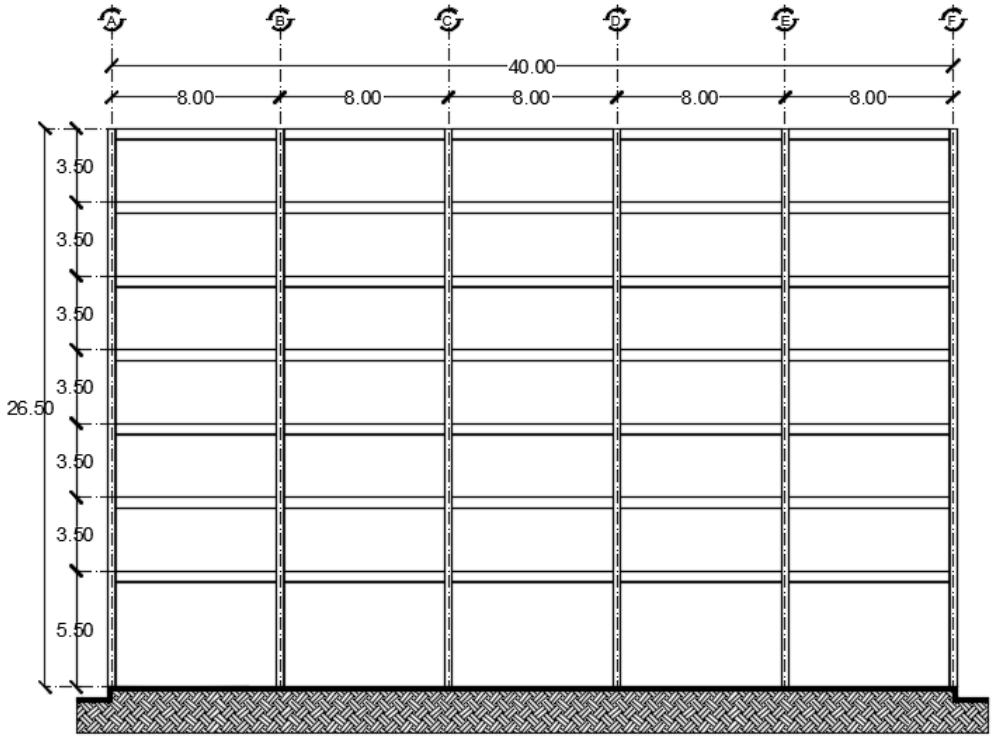


Figura 4. Alzado de la Edificación.

3.5.3 Análisis de cargas

Una vez que se tiene consolidado el punto anterior, es posible llevar a cabo el análisis de cargas actuando en la edificación anterior. Dichas cargas se dividen generalmente en cargas verticales y cargas laterales (accidentales). Para el cálculo de las cargas verticales o también conocidas como cargas muertas y vivas, se utiliza lo recomendado en las Normas Técnicas Complementarias de la Ciudad de México (Administración pública de la Ciudad de México, 2017), con lo cual se analizan la carga muerta y viva para azotea y entrepisos. Es importante mencionar que el edificio bajo estudio en este proyecto de intervención es un edificio de oficinas.

Por otro lado, para el análisis de cargas laterales o accidentales, se implementaron los manuales de diseño por viento y sismo de CFE (Comisión Federal de Electricidad 2008; Comisión Federal de Electricidad, 2015). Dichos manuales o recomendaciones son reconocidos nacionalmente y utilizados por ingenieros estructurales a lo largo del territorio mexicano. Para el caso del análisis de viento, se acudió al reglamento de construcción del municipio de Culiacán Rosales, el cual establece una ráfaga de viento de 200 km/h para el cálculo de la velocidad de diseño, mucho mayor a 120 km/h valor que propone el manual de CFE, para estar del lado conservador, y considerar de cierta manera ambas recomendaciones, la velocidad de diseño se calculó con un promedio de las dos ráfagas de viento. El análisis

sísmico, se realizó llevando a cabo un análisis modal, utilizando el espectro de sitio de la ciudad de Culiacán, Sinaloa.

3.5.4 Diseño de las edificaciones de acero

Después de que se calcularon las cargas actuantes del edificio, se llevó a cabo el diseño estructural. Para el diseño de la secciones se implementaron métodos aproximados para obtener los elementos mecánicos actuando en la estructura, Para el caso de carga gravitacional se implementó el método de John T. Wolf, en el cual se asumen dos articulaciones en cada una de las vigas del marco de análisis. Por otro lado, para la obtención de los elementos mecánicos generados por carga de viento y sismo, se utilizó el método del Portal, el cual asume articulaciones a la mitad de la columna y trabes, y la fracción de cortante de entrepiso que toman las columnas interiores es dos veces la que toman las columnas exteriores.

Una vez que se obtuvieron los elementos mecánicos actuando en las secciones, se procedió con la factorización de los mismos, utilizando el método de Diseño por Factor de Carga y Resistencia, comúnmente conocido como LRFD por sus siglas en ingles. De las siete combinaciones que propone el método, se tomaron las cinco que aplicaban para el tipo de cargas bajo estudio, dentro de las cuales se seleccionó la combinación de diseño crítica, con la cual se diseñaron las columnas y trabes del edificio.

Para el diseño de trabes y vigas, se acudió a las tablas 3-10 tituladas "*W-Shapes*" del manual del AISC (American Institute of Steel Construction, 2011). Dichas tablas de ayuda simplifican las iteraciones de diseño de trabes a momento. Para el diseño a cortante se utilizó la ecuación que propone el manual ya mencionado. Para el diseño de columnas se implementaron las recomendaciones de las Tablas 6-1 del manual del AISC (American Institute of Steel Construction, 2011), con las cuales se obtienen valores que son utilizados en las ecuaciones de interacción que propone dicho manual. Para el diseño de contravientos, se elaboró con las ecuaciones de diseño a tensión y compresión que establece la NTCCM-2014.

Los diseños mencionados anteriormente fueron revisados por el software comercial de análisis y diseño estructural SAP2000 V14, el cual se basa en el método de elementos finitos. La Figura 5 muestra el diseño final del marco resistente a momento, y la Figura 7 muestra el marco de acero con contravientos tipo Chevrón.

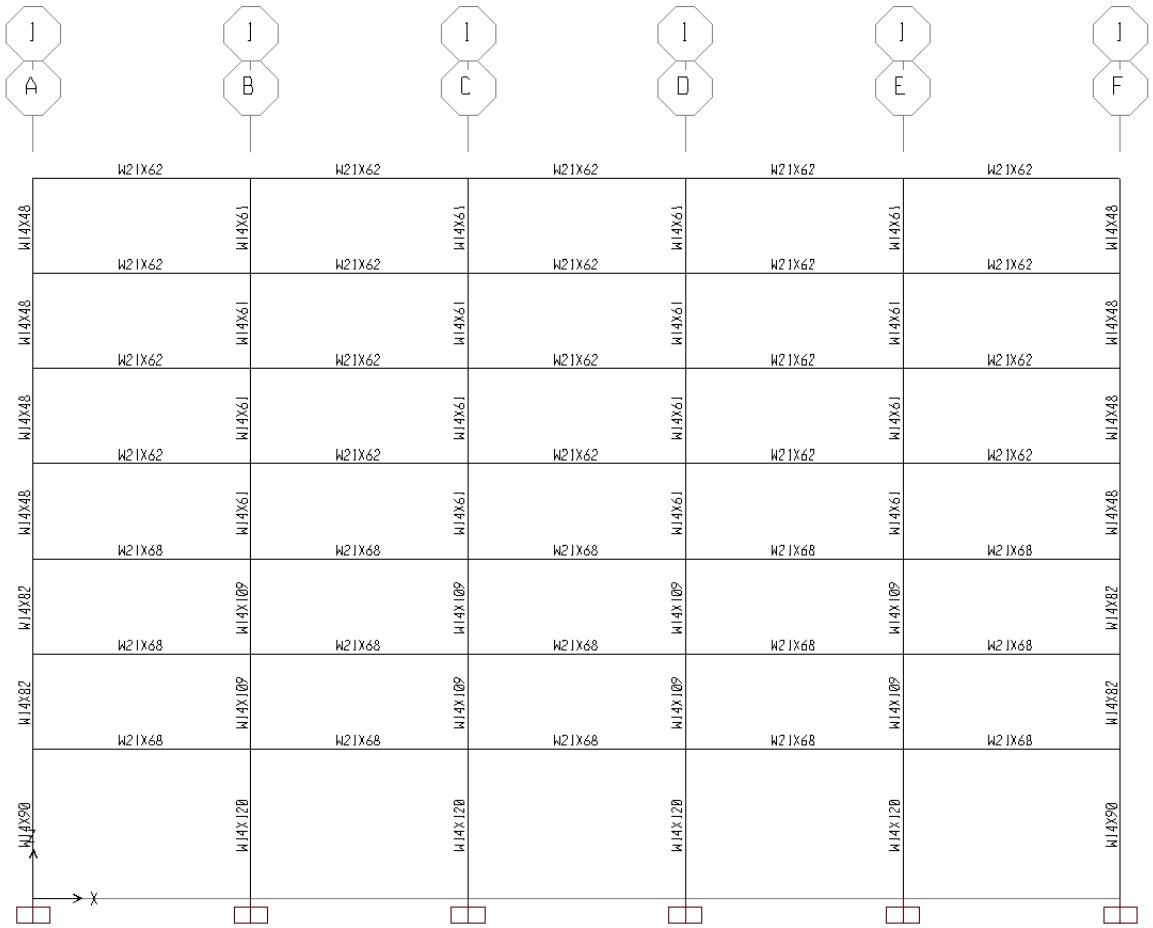


Figura 5. Diseño final de marco de acero resistente a momento.

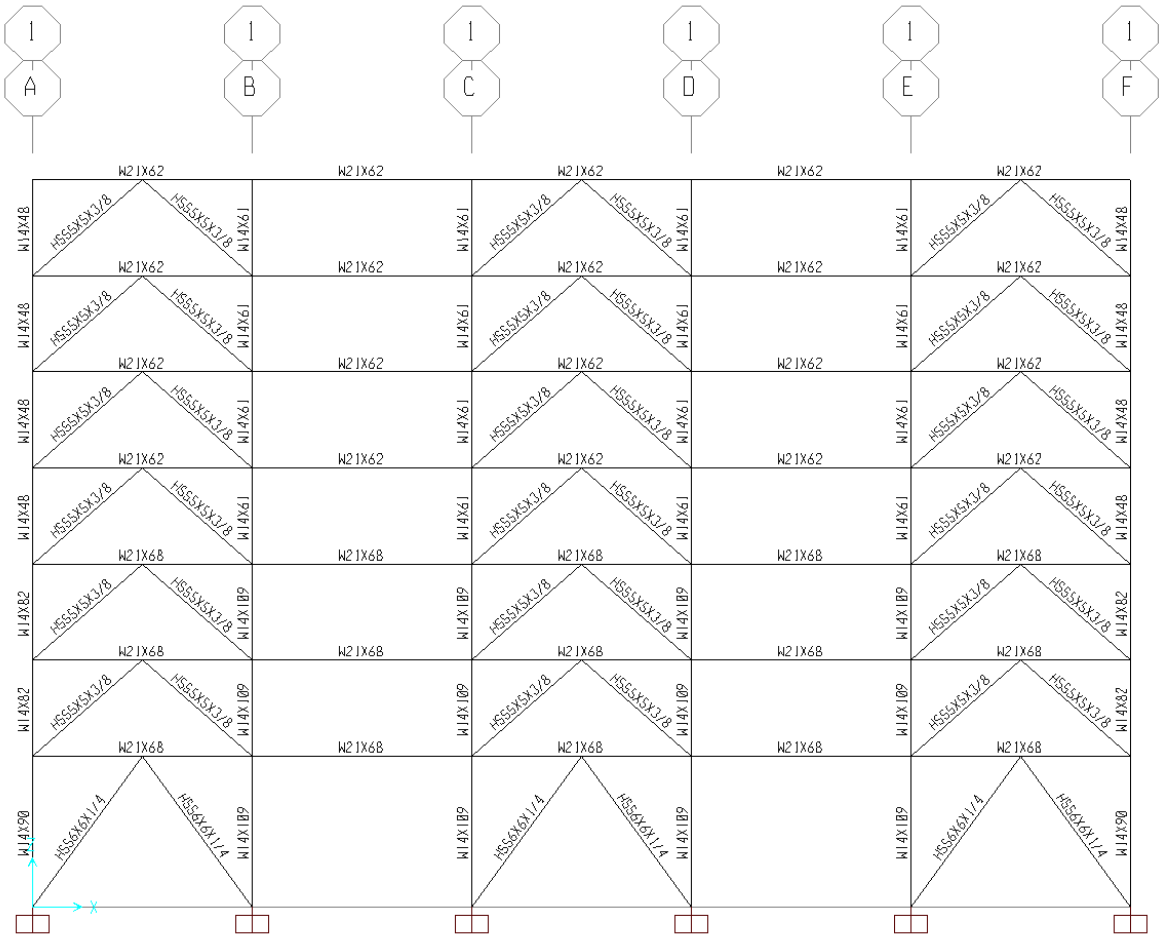


Figura 6. Diseño de marco de acero con contravientos tipo chevrón.

3.5.5 Selección de Sismos Representativos de la Zona

Para determinar el desempeño sísmico de los marcos con contraviento tipo chevrón y marcos resistentes a momento es necesario llevar a cabo análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo, el cual es necesario que ambos sistemas estructurales sean sometidos a la acción de registros sísmicos representativos del sitio en el que se supone sean desplantados. En este trabajo se consideró seleccionar 11 sismos para cada uno de los tres niveles de desempeños y para ambos sistemas estructurales analizados, los cuales se obtuvieron de la base de datos del instituto de ingeniería de la UNAM (Universidad Nacional Autónoma de México), Teniendo más de 20,000 registros sísmicos de todo el país. Dichos sismos se seleccionaron con base en un programa de cómputo considerando que los espectros de respuesta de cada sismo se ajustaran con la pseudo aceleración del espectro de sitio en el primer modo de vibrar de la estructura. La explicación completa del programa de cómputo va más allá del alcance de esta tesis y se presentará en futuras investigaciones. Además se considera importante aclara que los sismos a los que se encuentran sometidos los sistemas estructurales en los análisis no lineales son diferentes, ya que para la selección de los sismos

se utilizó el primer periodo de vibrar de la estructura, siendo diferentes debido que al colocar contravientos en los marcos de acero, se aporta rigidez y con esto disminuye considerablemente el periodo de vibrar respecto al del marco resistente a momento.

3.5.6 Cálculo de Respuesta Sísmica usando el Método de Elementos Finitos

La evaluación del desempeño sísmico de ambas edificaciones se llevó a cabo estudiando su respuesta estructural mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo utilizando el software comercial SAP2000, el cual se basa en el método de elementos finitos. En resumen, se excitan ambas edificaciones utilizando registros reales escalados de terremotos, los cuales son seleccionados con base en lo descrito en la sección 3.5.5. Entonces, se extrae la respuesta sísmica con la ayuda del software SAP2000 considerando las no linealidades tanto de geometría como de plasticidad del material usado (acero).

3.5.7 Comparación de Respuesta Sísmica con Base en Desempeño

Con el fin de observar el comportamiento de cada estructura y ver qué sistema presentó un mejor desempeño estructural ante cargas sísmicas, se realiza una comparación del desempeño sísmico de los sistemas estructurales de acero con contravientos tipo Chevrón y marcos rígidos resistentes a momento, mediante gráficos de las variables de desplazamientos, rotaciones en conexiones, y distorsiones en la estructura a través del tiempo que dura cada excitación sísmica. Dichas graficas del comportamiento de la respuesta sísmica de ambos sistemas estructurales, a su vez son comparadas con los límites de respuesta asociados a desempeño reportados en diversas guías y recomendaciones de diseño sísmico basado en desempeño.

3.5.8 Evaluación de Confiabilidad usando Criterios Probabilísticos

Para la evaluación de la confiabilidad de la estructura utilizando criterios de desempeño se implementó un criterio basado en la representación del grado de aleatoriedad para las distorsiones presentadas en los tres niveles de desempeño de los sistemas estructurales comparados. En resumen, a partir de las distorsiones extraídas de los 11 sismos de cada desempeño, se determinó el comportamiento aleatorio de esta variable, por lo cual se generaron para cada registro su respectivo histograma, utilizando 13 distribuciones para después realizar una prueba de bondad chi-cuadrada con el fin de determinar cuál PDF (función de densidad de probabilidad por sus siglas en inglés) se ajustaba mejor al comportamiento del histograma y de esta manera conocer cuál distribución es las más acertada. Las distribuciones utilizadas son las siguientes: Normal, Lognormal, Nakagami, BirnbaumSaunders, ExtremeValue, Gamma, GeneralizedExtremeValue, Logistic, Loglogistic, Rician, Stable, tLocatiinScale y Weibull. Una vez identificada la función que más se ajustó al histograma, se extrajo la probabilidad de falla (p_f) y el índice de confiabilidad (β), con los límites establecidos para cada nivel de desempeño.

3.5.9 Cálculo y Comparación de Precios

Para concluir con el proyecto de intervención, se presupuestaron ambos sistemas estructurales y se compararon los costos constructivos de cada uno de ellos. Para mostrar de forma más clara la comparativa, en el apartado 3.6.13 se muestra la tarjeta de precios unitarios para el concepto de estructura metálica a base de acero de grado A36 y A50, además se

presentan tablas de los volúmenes de acero requeridos, para posteriormente sacar un presupuesto de ambos sistemas.

3.5.10 Diagrama de Flujo de la Metodología

Una vez descritos los pasos de la metodología, estos son ilustrados a continuación en la Figura 7.

Figura 7. Diagrama de Flujo de la Metodología.

3.6 Análisis de resultados

Los resultados obtenidos tienen la finalidad de comparar el nivel de desempeño sísmico para ambos sistemas, en el cual se busca lograr un estado límite de daño discreto. Para el análisis de resultados se utilizaron las tres condiciones de límite o tolerable establecidas por la FEMA-350 (2000) y ASCE/SEI 41-13 (2014):

(1) Ocupación inmediata (Sigue la funcionalidad de la edificación posterior al terremoto),
(2) Seguridad de vida (La edificación presenta daños considerables, sin embargo el riesgo de colapso es muy bajo) y,
(3) Prevención del colapso (La edificación se encuentra en pie de manera muy frágil y el daño es bastante considerable).

Para llevar a cabo la comparación del desempeño sísmico de los sistemas estructurales de acero con contravientos tipo Chevrón y marcos rígidos resistentes a momento, se realizaron gráficas utilizando las variables de desplazamiento (sexto entrepiso), distorsiones (tercer y cuarto entrepiso), y rotaciones (6to entrepiso) presentadas en la estructura bajo excitaciones de aceleraciones crudas a través del tiempo, las cuales fueron seleccionadas de la base de datos de la UNAM, ya mencionado anteriormente, los sismos utilizados para este proyecto de intervención se pueden observar en la tabla 2 y 3 para ocupación inmediata, 4 y 5 para un nivel de seguridad de vida y para el nivel de desempeño de prevención al colapso se muestran en la tabla 6 y 7. Para elaborar las gráficas se utilizó el programa MATLAB. Lo anterior, con el fin de observar el comportamiento de cada estructura y ver qué sistema presenta un mejor desempeño estructural ante cargas sísmicas.

Tabla 2. Registros sísmicos para nivel de desempeño de ocupación inmediata en marcos con contraviento tipo Chevrón.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTOR DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-OI-MCC	0.805	CHILPANCINGO	19/09/1985
S2-OI-MCC	0.821	MICHOACAN	14/03/1979
S3-OI-MCC	0.822	MICHOACAN	14/03/1979
S4-OI-MCC	0.856	MICHOACAN	14/03/1979
S5-OI-MCC	0.886	MICHOACAN	14/03/1979
S6-OI-MCC	0.985	CHILPANCINGO	19/09/1985
S7-OI-MCC	1.0	PUEBLA	15/06/1999
S8-OI-MCC	1.04	ZACATULA, MIC.	19/09/1985
S9-OI-MCC	1.13	MICHOACAN	14/03/1979
S10-OI-MCC	1.17	CARDENAS, MIC.	25/10/1981
S11-OI-MCC	1.18	UNION, GUE.	19/0971985
S(No.)-OI-MCC=Numero del sismo-Ocupación inmediata-Marco con contraviento.			

Tabla 3. Registros sísmicos para nivel de desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTOR DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-OI-MR	0.593	TLAHUAC DEP.	19/09/1985
S2-OI-MR	0.618	TLAHUAC BOM.	19/0971985
S3-OI- MR	0.659	TEXCOCO, SOSA	19/09/1985
S4-OI- MR	0.771	CHILPANCINGO	19/09/1985
S5-OI- MR	0.812	TEXCOCO, SOSA	19/09/1985
S6-OI- MR	0.869	MEXICO D.F.	19/09/1985
S7-OI- MR	0.971	TLAHUAC DEP.	19/09/1985
S8-OI- MR	1.16	TLAHUAC DEP.	19/09/1985
S9-OI- MR	1.33	TLAHUAC DEP.	19/09/1985
S10-OI- MR	1.36	CALETA DE CAM.	19/09/1985
S11-OI- MR	1.36B	TLAHUAC DEP.	14/09/1995
S(No.)-OI-MR=Numero del sismo-Ocupación inmediata-Marco rígido.			

Tabla 4. Registros sísmicos para nivel de desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTOR DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-SV-MCC	1.6	MICHOACAN	14/03/1979
S2- SV -MCC	1.6B	MICHOACAN	14/03/1979
S3- SV -MCC	1.37	PUEBLA	15/06/1999
S4- SV -MCC	1.57	CHILPANCINGO	19/09/1985
S5- SV -MCC	1.67	MICHOACAN	14/03/1979
S6- SV -MCC	1.72	MICHOACAN	14/03/1979
S7- SV -MCC	1.92	CHILPANCINGO	19/09/1985
S8- SV -MCC	1.95	PUEBLA	15/06/1999
S9- SV -MCC	2.02	MICHOACAN	19709/1985
S10- SV -MCC	2.2	MICHOACAN	14/03/1979
S11- SV -MCC	2.28	MICHOACAN	25/10/1981
S(No.)-SV-MCC=Numero del sismo-Seguridad de vida-Marco con contraviento			

Tabla 5. Registros sísmicos para nivel de desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTO R DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-SV-MR	0.883	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S2- SV - MR	0.903	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S3- SV - MR	1.6	CHILPANCINGO	19/09/1985
S4- SV - MR	1.8	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S5- SV - MR	1.15	CHILPANCINGO	19/09/1985
S6- SV - MR	1.23	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S7- SV - MR	1.28	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S8- SV - MR	1.36	TEXCOCO, MEX.	19/09/1985
S9- SV - MR	1.68	TEXCOCO, MEX.	19/09/1985
S10- SV - MR	2.01	MEXICO, D.F.	/09/1985
S11- SV - MR	2.4	MEXICO, D.F.	/09/1985
S(No.)-SV-MR=Numero del sismo-Seguridad de vida-Marco rígido.			

Tabla 6. Registros sísmicos para nivel de desempeño de Prevención al colapso en marcos con contraviento tipo Chevrón.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTOR DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-PC-MCC	2.16	PUEBLA	15/06/1999
S2- PC -MCC	2.48	CHILPANCINGO	19/09/1985
S3- PC -MCC	2.53	MICHOACAN	14/03/1979
S4- PC -MCC	2.53B	MICHOACAN	14/03/1979
S5- PC -MCC	2.64	MICHOACAN	14/03/1979
S6- PC -MCC	2.73	MICHOACAN	14/03/1979
S7- PC -MCC	3.04	CHILPANCINGO	19/09/1985
S8- PC -MCC	3.09	PUEBLA	15/06/1999
S9- PC -MCC	3.19	MICHOACAN	19/09/1985
S10- PC -MCC	3.49	MICHOACAN	14/03/1979
S11- PC -MCC	3.61	MICHOACAN	25/10/1981
S(No.)-PC-MCC=Numero del sismo-Prevención al colapso-Marco con contraviento.			

Tabla 7. Registros sísmicos para nivel de desempeño de prevención al colapso en marcos rígidos.

NOMBRE DE REGISTRO SISMICO	FACTOR DE ESCALA	UBICACIÓN DE ESTACIÓN SISMICA	FECHA DE REGISTRO
S1-PC-MR	1.46	MEXICO, D.F.	19/09/85
S2- PC - MR	1.49	MEXICO, D.F.	19/09/85
S3- PC - MR	1.9	CHILPANCINGO	19/09/1985
S4- PC - MR	2.03	MEXICO, D.F.	/09/1985
S5- PC - MR	2.11	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S6- PC - MR	2.25	TEXCOCO, MEX.	19/09/1985
S7- PC - MR	2.64	CHILPANCINGO	19/09/1985
S8- PC - MR	2.77	TEXCOCO, MEX.	19/09/1985
S9- PC - MR	2.97	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S10- PC - MR	3.32	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S11- PC - MR	3.97	MEXICO, D.F.	19/09/1985
S(No.)-PC-MR=Numero del sismo-Prevención al colapso-Marco rígido.			

3.6.1 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata.

3.6.1.1 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata en Marcos con Contravientos.

Las gráficas que a continuación se muestran, presentan los desplazamientos laterales generado por aceleraciones crudas en el sexto entrepiso del marco de acero estudiado, los resultados fueron obtenidos por medio de un programa de elementos finitos (SAP2000),

como ya se había mencionado anteriormente. En la figura 8 se puede observar desplazamientos inconsistentes debido a la variación de la aceleración, el desplazamiento máximo absoluto presentado tiene un valor de 0.097. En la figuras 9, 10 y 12 se observan que la aceleración se vuelve un poco más variable por lo que se tienen graficas más suaves, los valores máximos se encuentran alrededor de 0.125 m. Pasando a la gráfica 12 se puede observar un comportamiento anormal el cual hace que se presenten desplazamientos mayores al limites permisible para este nivel de desempeño, este comportamiento se pudo presentar debido a que se formaron articulaciones plásticas en la estructura para poder llevar el a cabo el análisis no lineal paso a paso, debido a estas articulaciones plásticas y por la excitación de la carga sísmica las secciones de la estructura fluyeron, provocando este comportamiento anormal. En las figuras 13, 14, 16, 17 y 18 se perciben valores y comportamientos muy parecidos a los de la figura 9 y en la figura 15 se observa un comportamiento diferente a las demás el sismo genera excitaciones grandes a la estructura, a los 25 segundos se regulariza y 20 segundos más tarde se vuelven a presentar desplazamientos mayores debido al incremento de la aceleración del sismo.

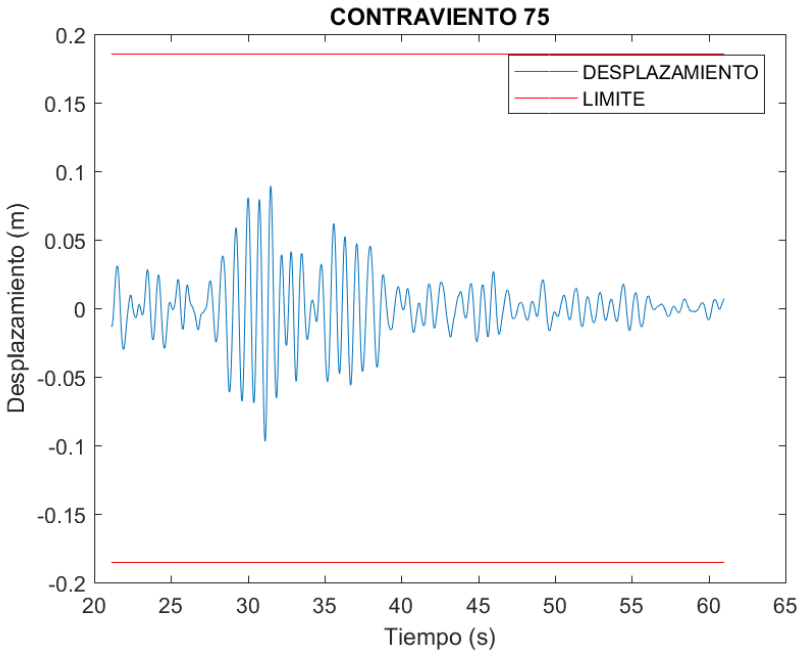


Figura 8. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805.

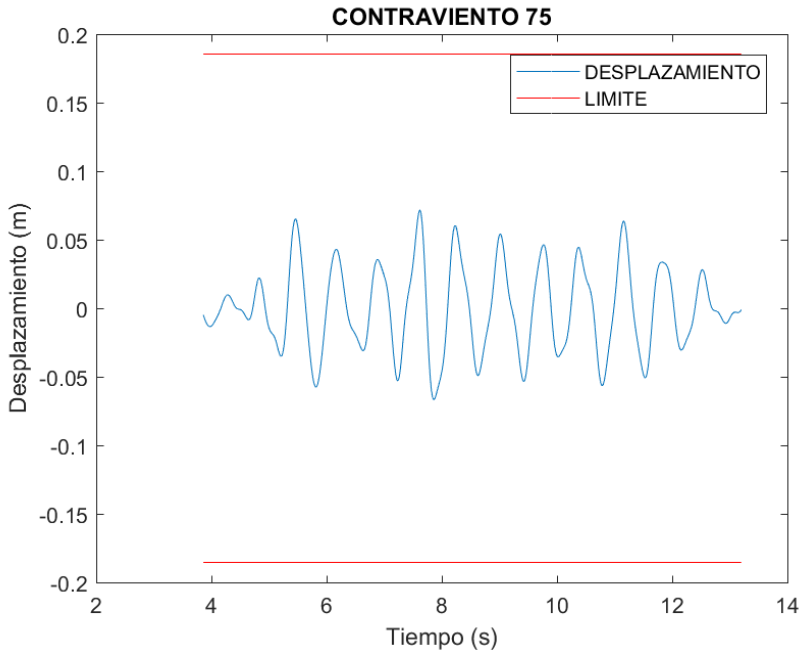


Figura 9. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821.

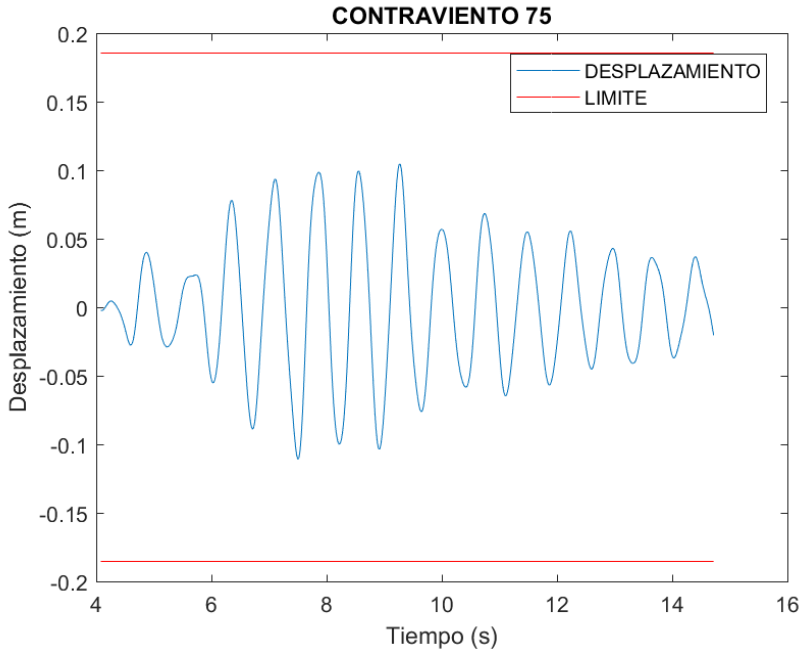


Figura 10. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822.

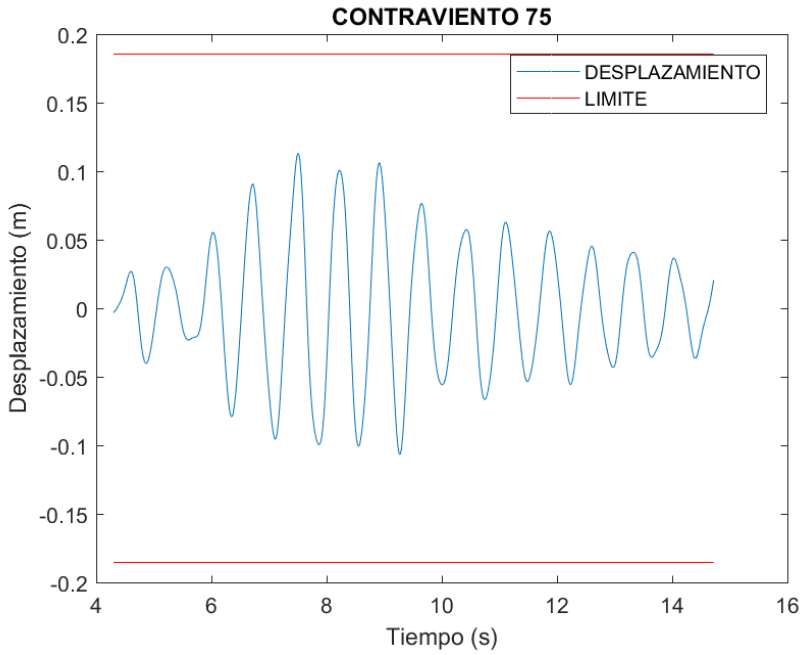


Figura 11. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856.

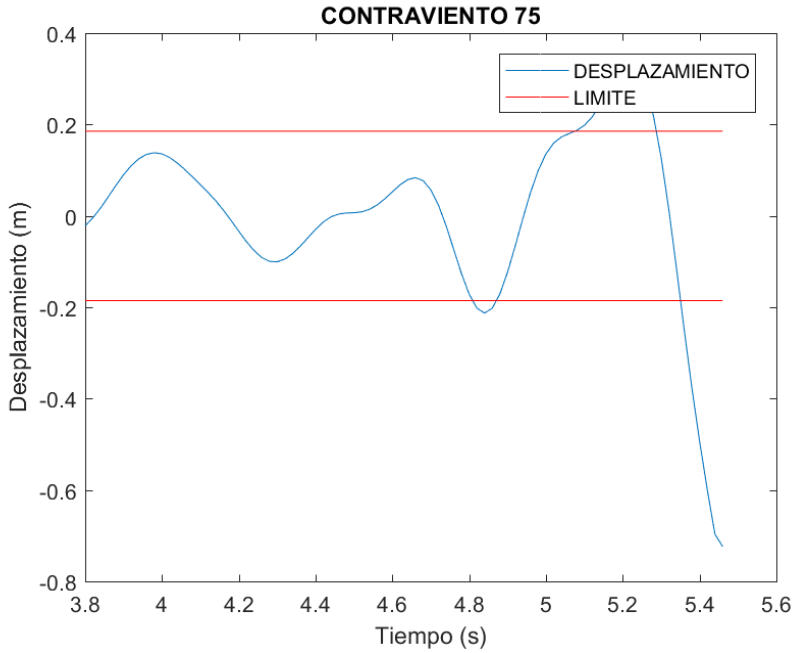


Figura 12. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886.

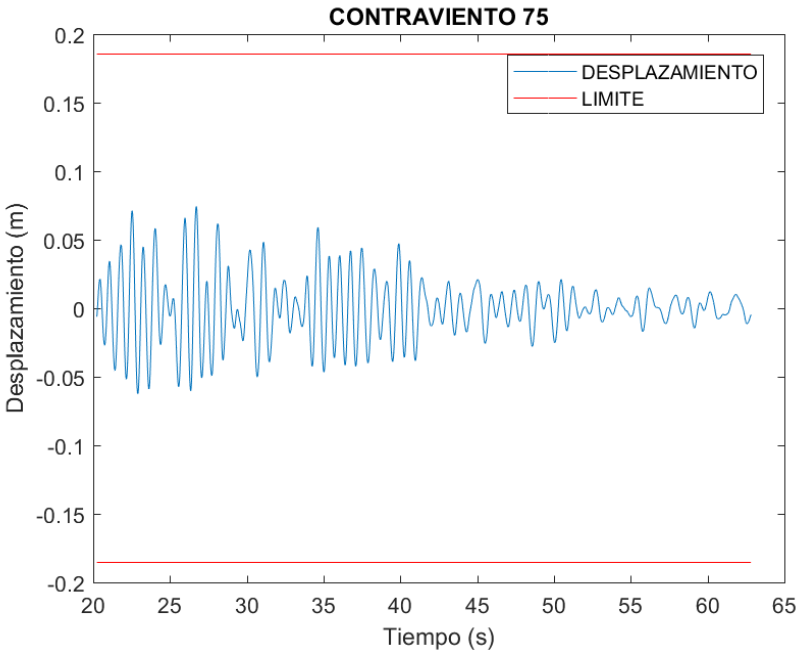


Figura 13. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985.

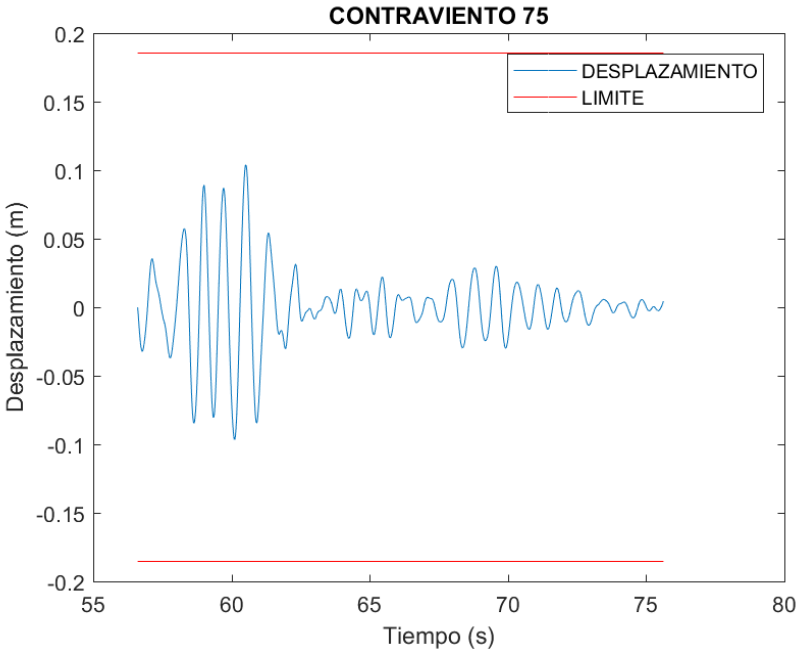


Figura 14. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0.

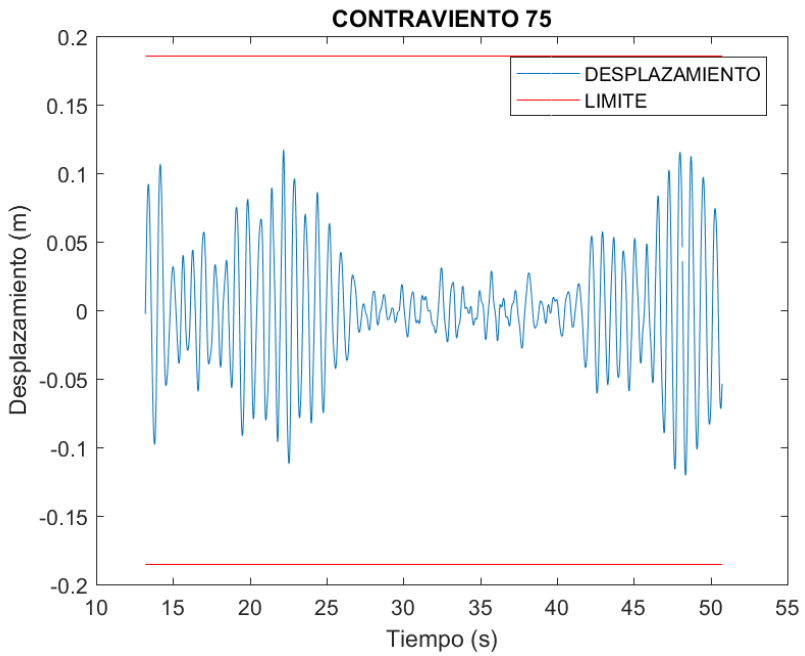


Figura 15. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04.

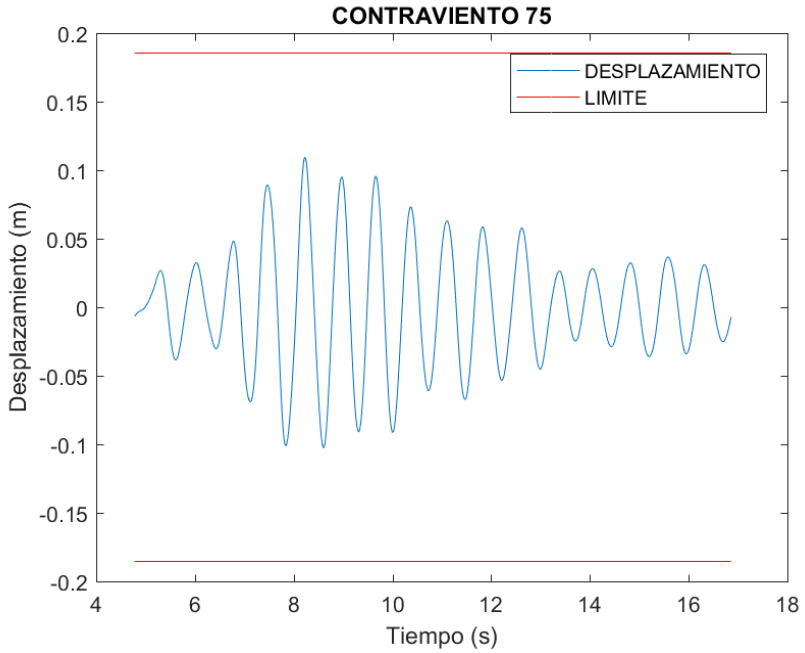


Figura 16. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13.

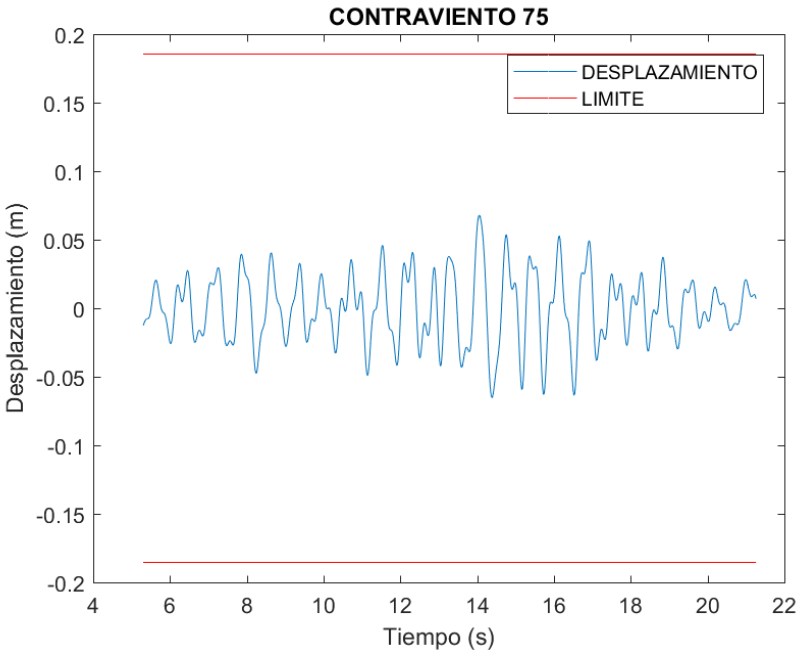


Figura 17. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17.

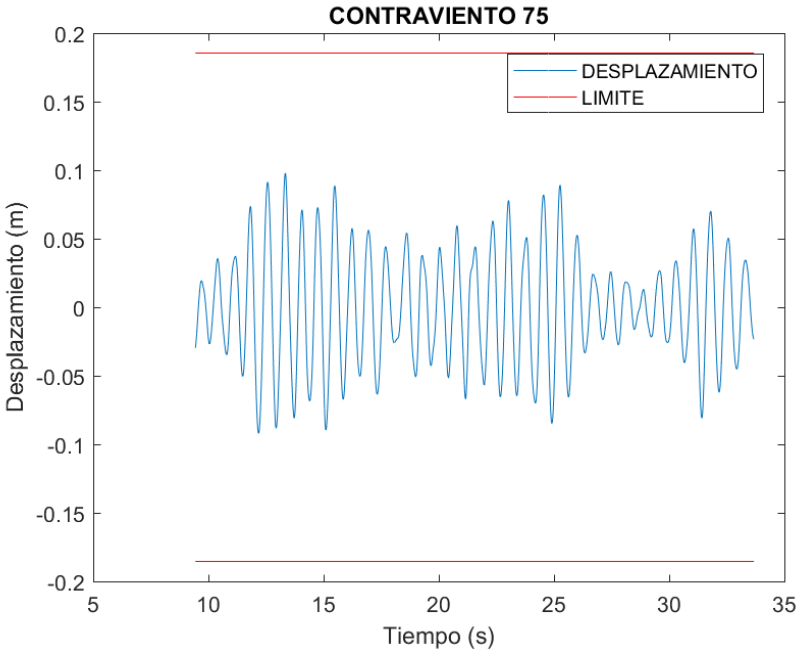


Figura 18. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos con contravientos tipo Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18.

3.6.1.2 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata en Marcos Rígidos.

Utilizando la misma metodología y geometría del marco plano estudiado en el punto 3.6.1.1, con la diferencia de que estos valores que se muestran se presentaron en un sistema con marcos rígidos. En la figura 19 se puede observar el comportamiento inestable de la estructura presentando desplazamientos cercanos a los 0.30 m mayores a los permisibles. En la figura 20 a la 28 se puede ver comportamientos muy similares en la variabilidad de los desplazamientos y en los valores máximos que oscilan entre los 0.20 m mayores a los permisibles por la FEMA que para este nivel de desempeño propone valores de 0.007*(H), para este caso en particular sería un valor permitido de 0.1855 m. es notable en todas las gráficas el mal desempeño sísmico que representa la estructura de marcos resistentes a momento para el nivel de prevención al colapso. En la Tabla 8 se muestran valores promedios máximos de los desplazamientos para ambos sistemas si se hace una pequeña comparación los desplazamientos presentados en el marco rígido son mayores hasta un 60% que los del marco con contravientos tipo Chevrón, por lo que se puede concluir que para lograr un comportamiento deseable de la estructura es necesario la implementación de contravientos tipo Chevrón en las crujías de los edificios.

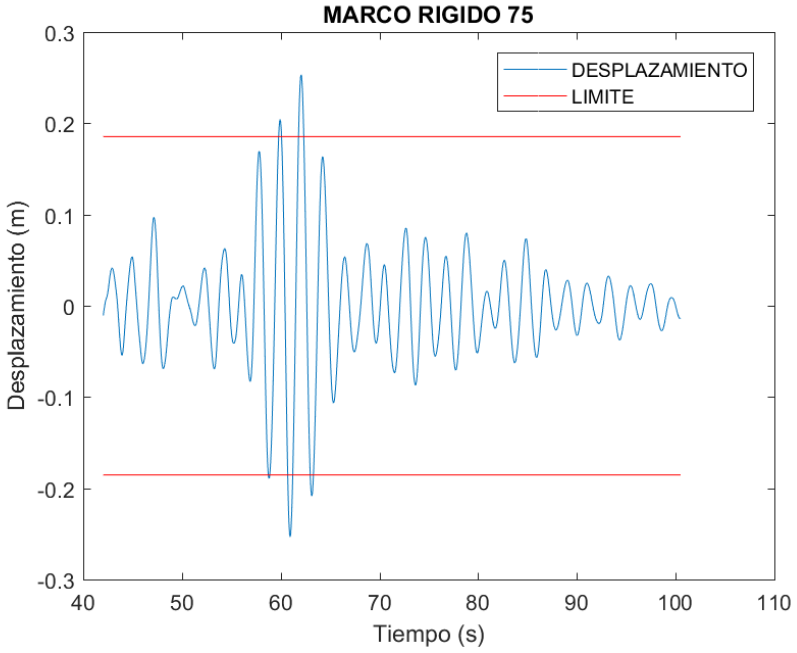


Figura 19. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593.

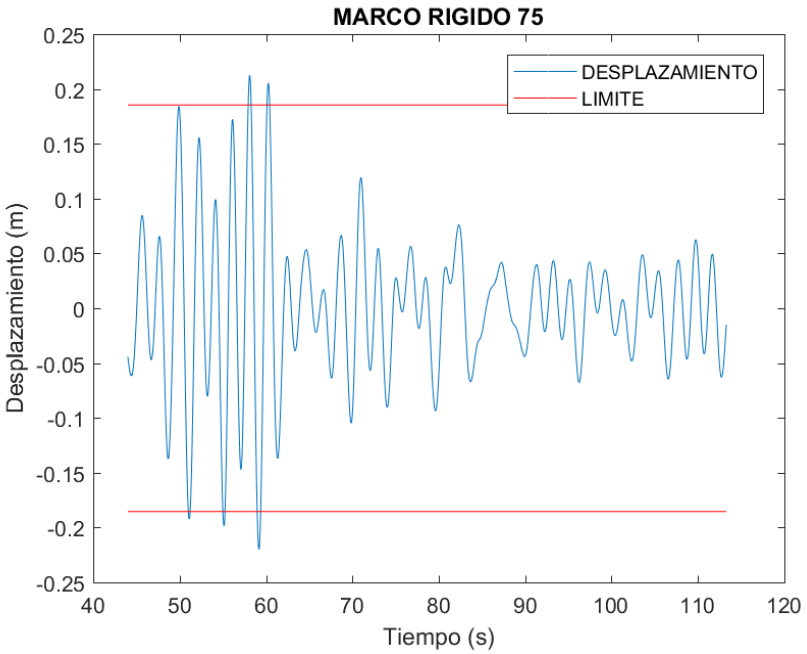


Figura 20. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618.

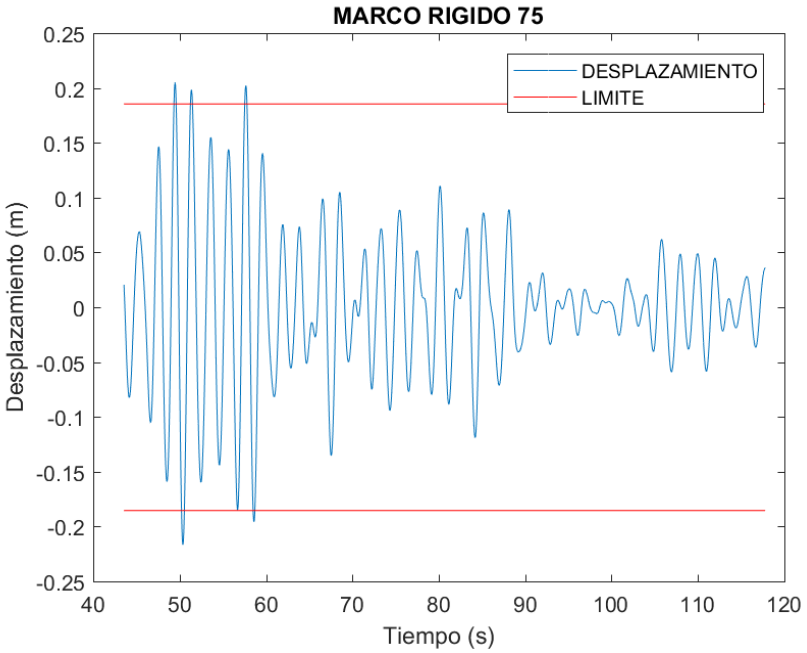


Figura 21. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.569.

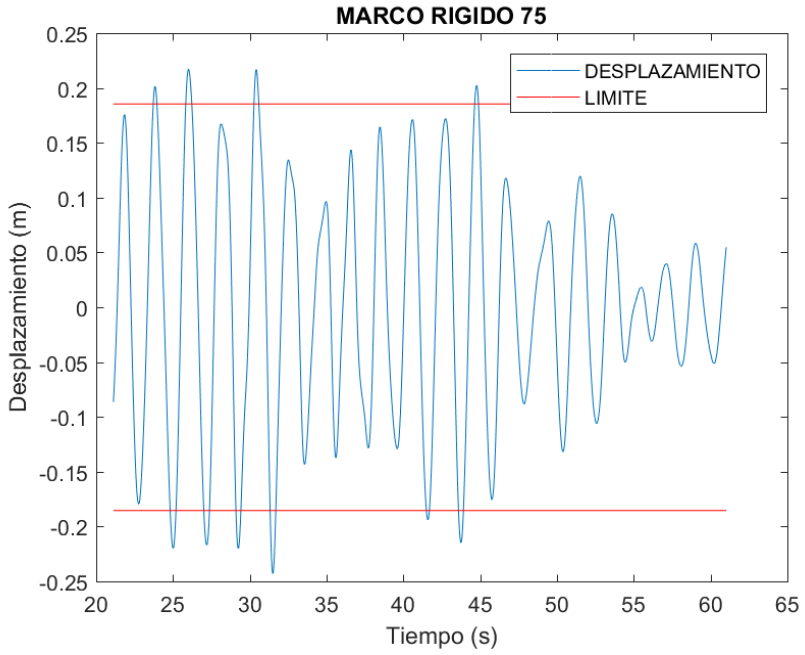


Figura 22. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771.

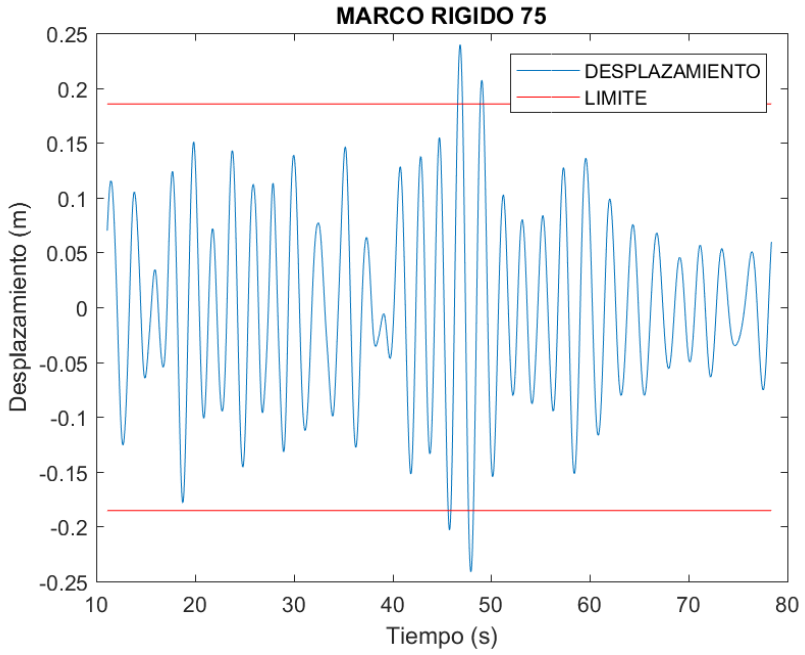


Figura 23. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812.

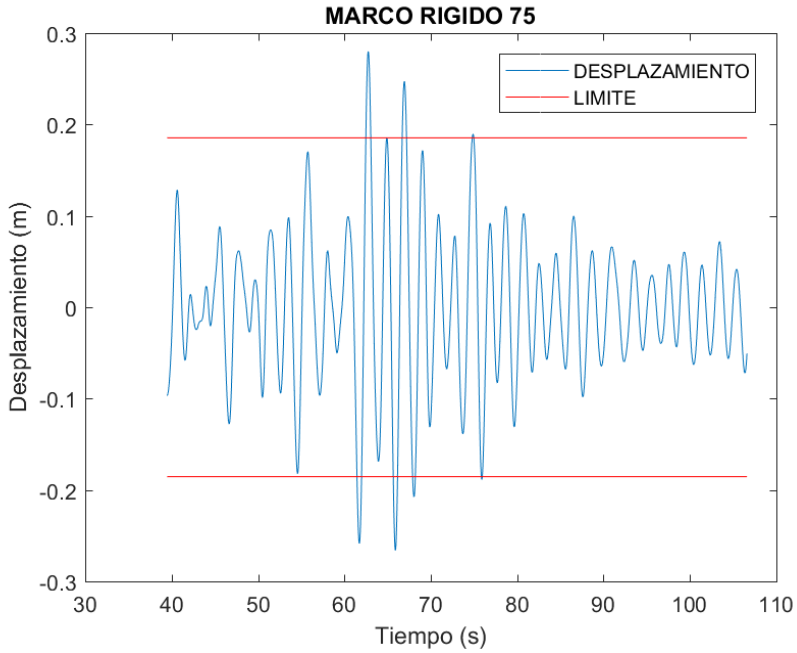


Figura 24. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S6-OI- MR con un factor de escala de 0.869.

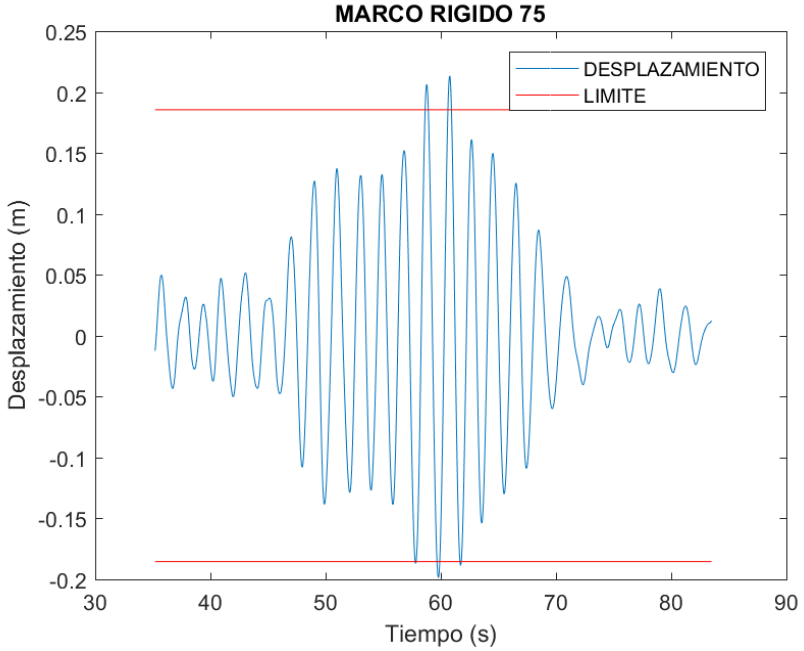


Figura 25. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971.

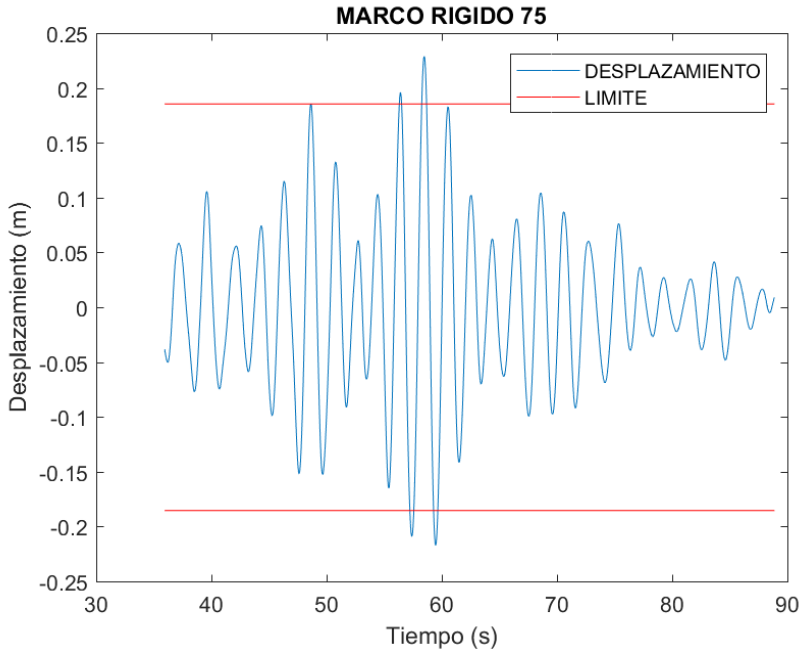


Figura 26. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala de 1.16

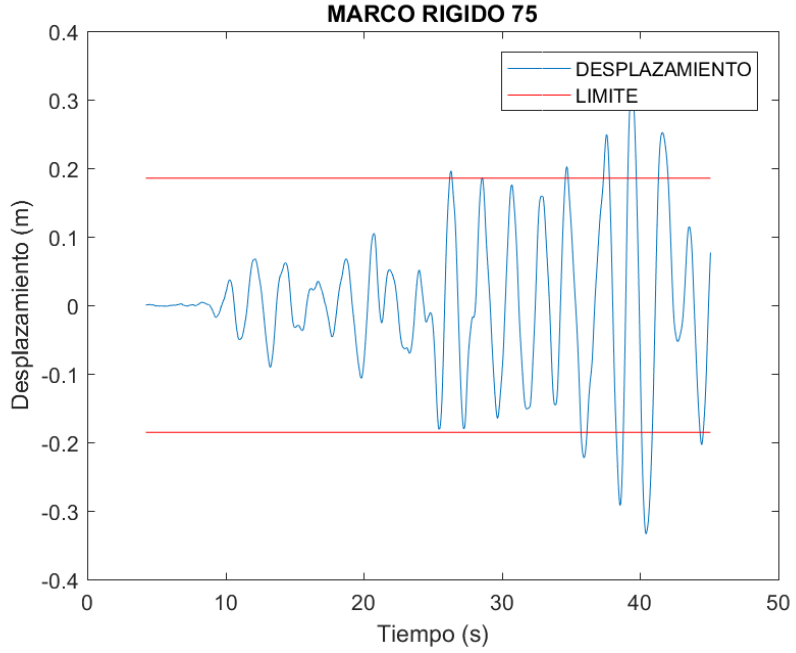


Figura 27. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36.

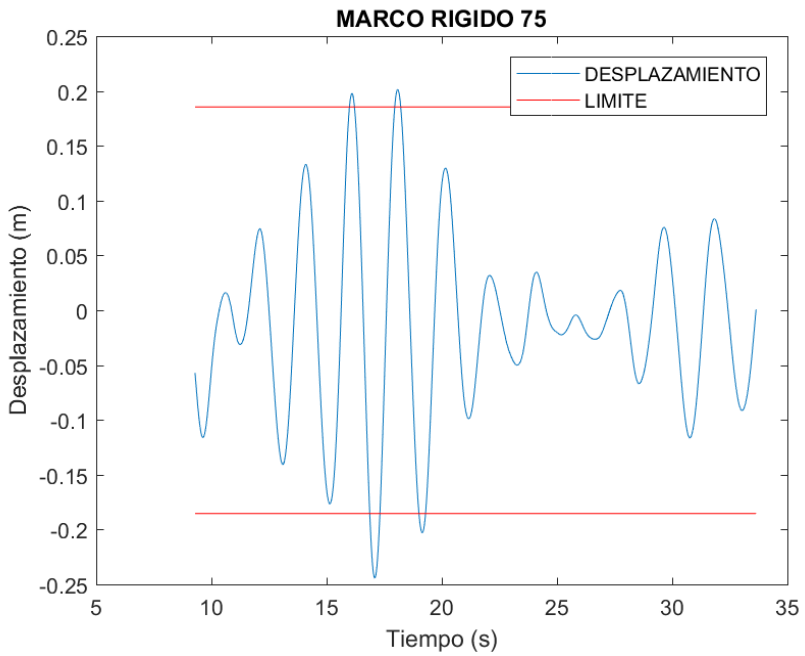


Figura 28. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de ocupación inmediata en marcos rígidos en el sismo TLHD9509 con factor de escala de 1.36B.

Tabla 8. Desplazamientos máximos presentados para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marcos rígidos.

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
OCUPACIÓN INMEDIATA			
SISMO	DESPLAZAMIENTO	SISMO	DESPLAZAMIENTO
SISMO 1	0.09705	SISMO 1	0.25331
SISMO 2	0.11103	SISMO 2	0.21989
SISMO 3	0.0719	SISMO 3	0.21654
SISMO 4	0.11314	SISMO 4	0.24308
SISMO 5	0.72391	SISMO 5	0.24565
SISMO 6	0.07433	SISMO 6	0.24127
SISMO 7	0.10401	SISMO 7	0.28003
SISMO 8	0.12061	SISMO 8	0.21321
SISMO 9	0.10945	SISMO 9	0.22883
SISMO 10	0.06796	SISMO 10	0.3336
SISMO 11	0.09786	SISMO 11	0.24432
PROMEDIO	**0.15375**	**PROMEDIO**	**0.247248182**

3.6.2 Desplazamientos para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.

3.6.2.1 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Seguridad de Vida en Marcos con Contravientos.

En este apartado se mostraran los desplazamientos presentados en el marco típico excitado con aceleraciones crudas de sismos con un periodo de retorno de 475 años. Los 11 sismos representativos fueron seleccionados anclándose al primer periodo de vibrar de la estructura con sistema de contravientos, una vez que se hizo la selección, la estructura fue sometida a los sismos más representativos para este periodo de retorno y de esta manera poder ver si la estructura cumplía para un nivel de desempeño de seguridad de vida.

En la figura 29 y 30 se puede observar que se presentan desplazamientos menos variables y los valores máximos oscilan entre 0.20 m, mucho menores a los permisibles por FEMA-SAC (2000), que para este nivel de desempeño propone estados límites de 0.025*(H), al igual que en el punto 3.6.1 y los puntos que a continuación se presentaran, los desplazamientos son extraídos del sexto entrepiso del marco típico teniendo una altura de 26.5 m, por lo que el límite para este nivel de desempeño es de 0.6625 m, si comparamos los desplazamientos máximos de las figuras ya mencionadas son valores muy por debajo de lo establecido por la FEMA-SAC (2000). En las Figuras 31, 32, 33, 34 y 35 podemos observar que hay incrementos en los desplazamientos, estos resultados se pudieron presentan debido a que existe más inconsistencia en la aceleración de estos sismos, los valores máximos se encuentran por arriba de los 0.20 m.

En la figura 36 se puede observar algo peculiar a diferencia de las demás, que la aceleración del sismo presenta aceleraciones grandes provocando desplazamientos mayores, luego disminuye la aceleración y después de 20 segundos vuelve a incrementar las aceleraciones provocando desplazamientos laterales mayores a los 0.20 m.

En la figura 37 y 38 podemos ver que tiene un comportamiento similar al de la figura 31 y 31, sus desplazamientos oscilan entre los 0.10 y 0.20 m, por lo que se puede concluir que la estructura con contravientos presenta un comportamiento deseable para el nivel de desempeño de seguridad de vida.

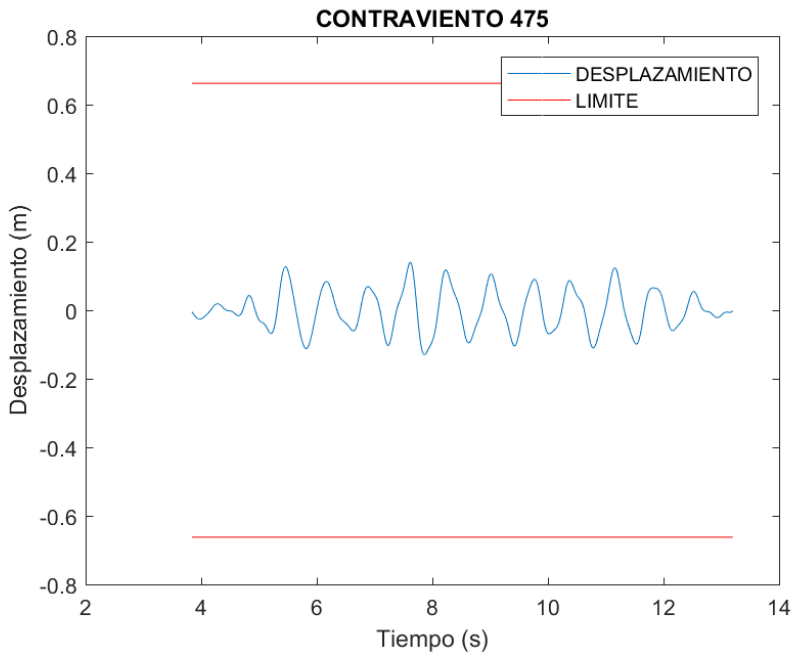


Figura 29. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de anclaje de 1.6.

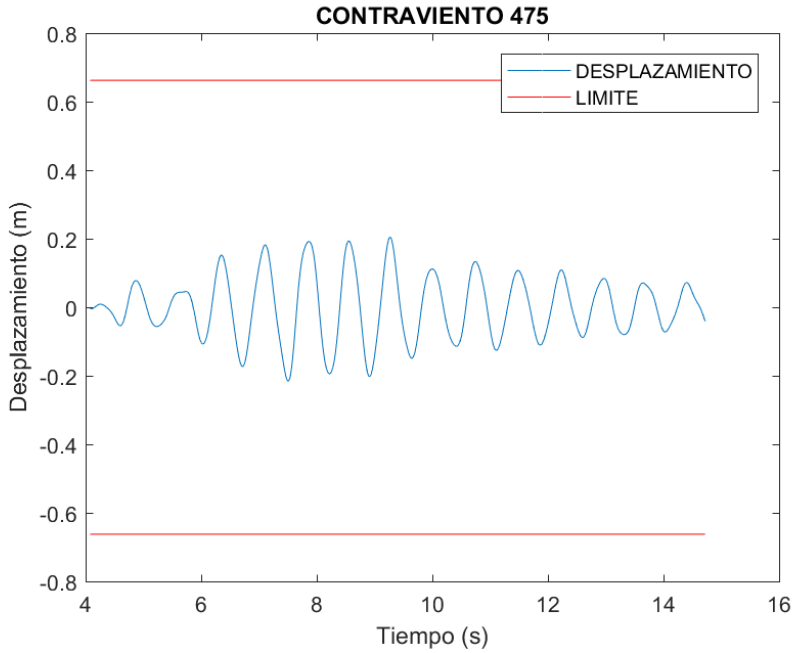


Figura 30. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S2- SV -MCC con factor de anclaje de 1.6B.

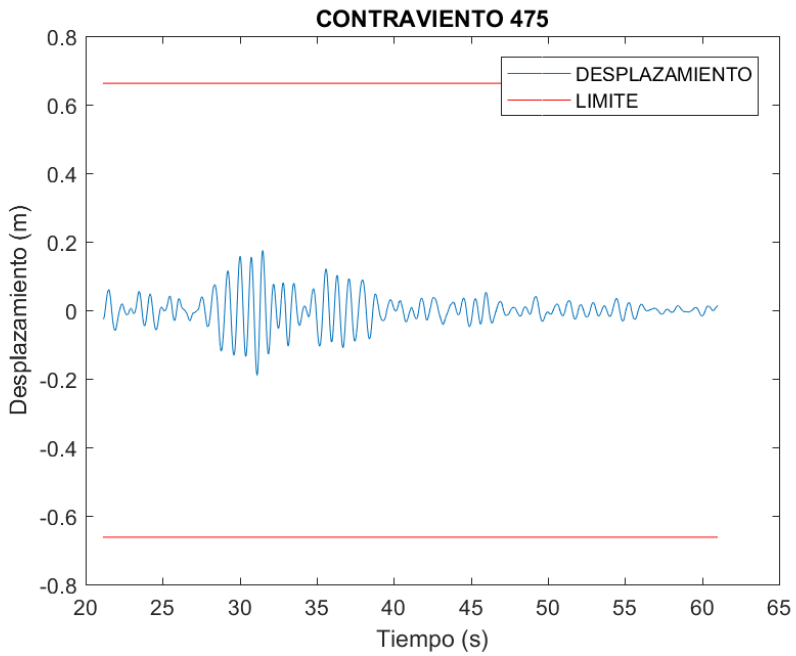


Figura 31. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S4- SV -MCC con factor de anclaje de 1.57.

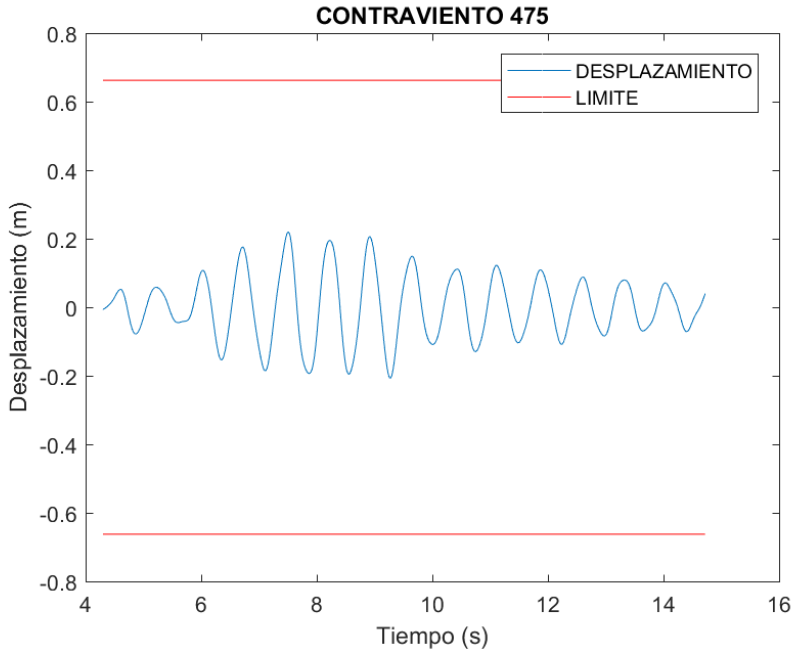


Figura 32. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S5- SV -MCC con factor de anclaje de 1.67.

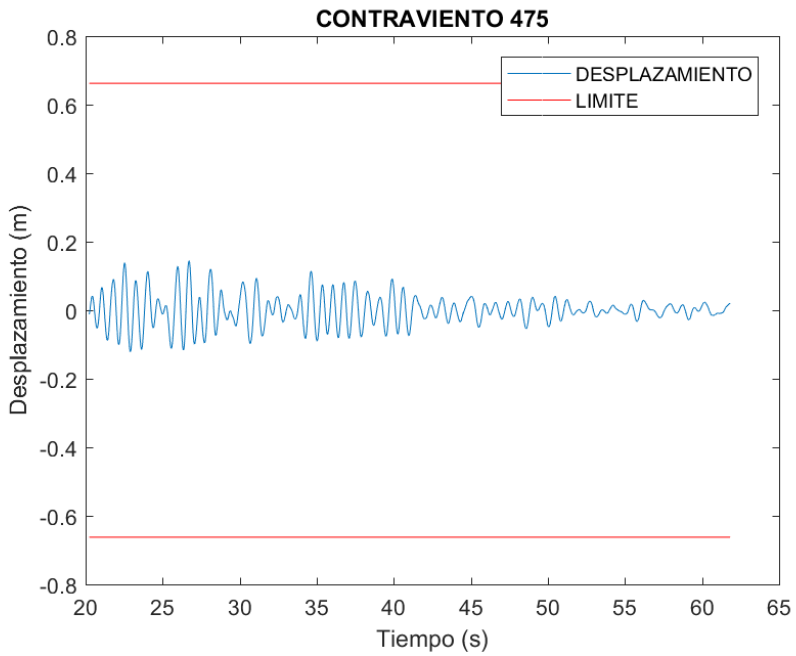


Figura 33. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S6- SV -MCC con factor de anclaje de 1.72.

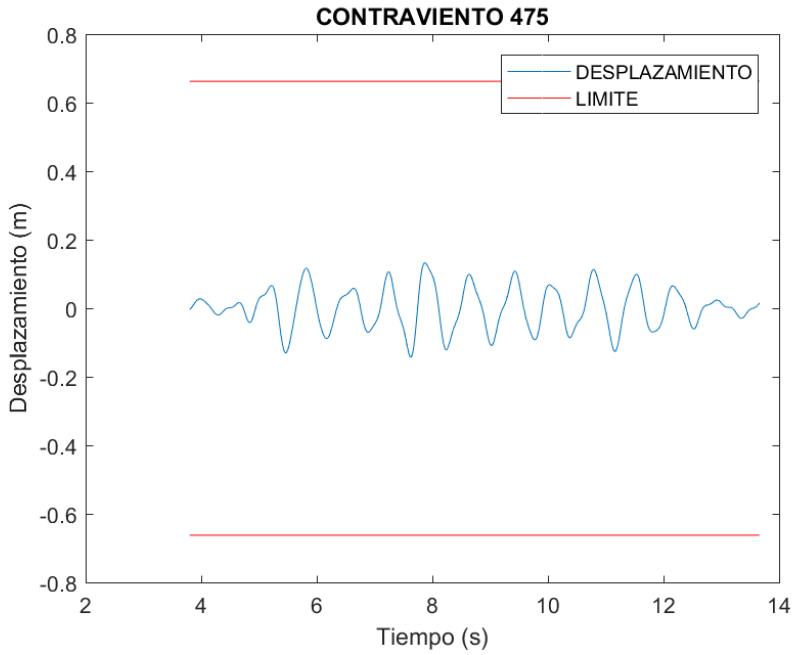


Figura 34. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S7- SV -MCC con factor de anclaje de 1.92.

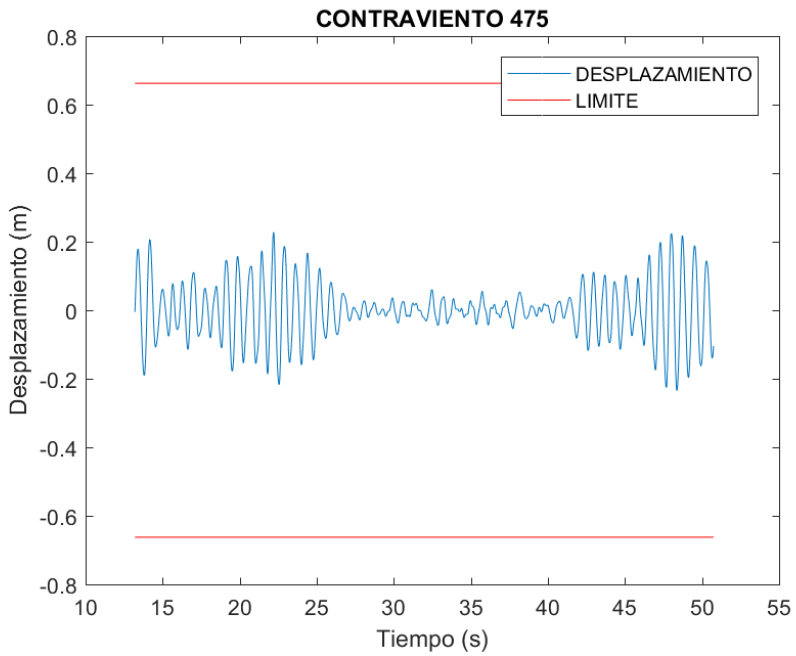


Figura 35. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S8- SV -MCC con factor de anclaje de 1.95.

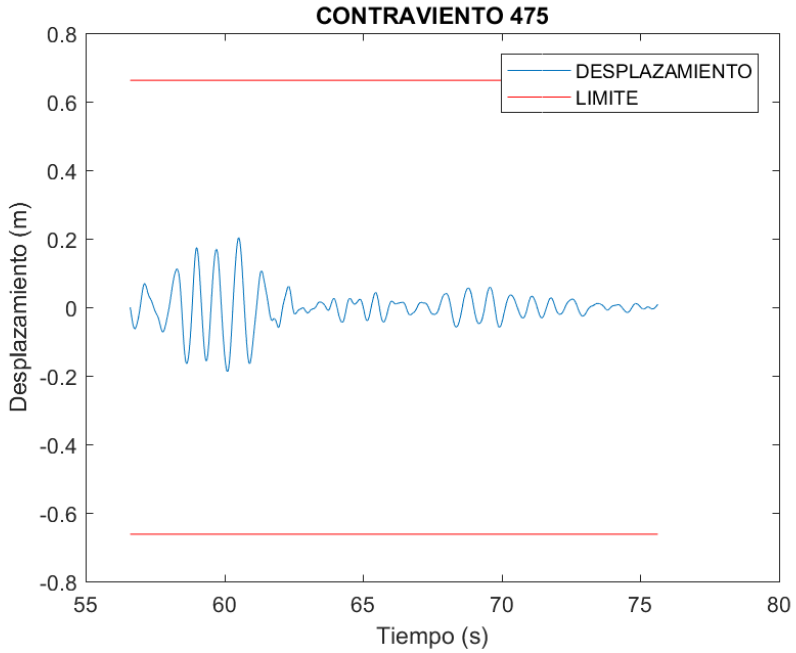


Figura 36. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S9- SV -MCC con factor de anclaje de 2.02.

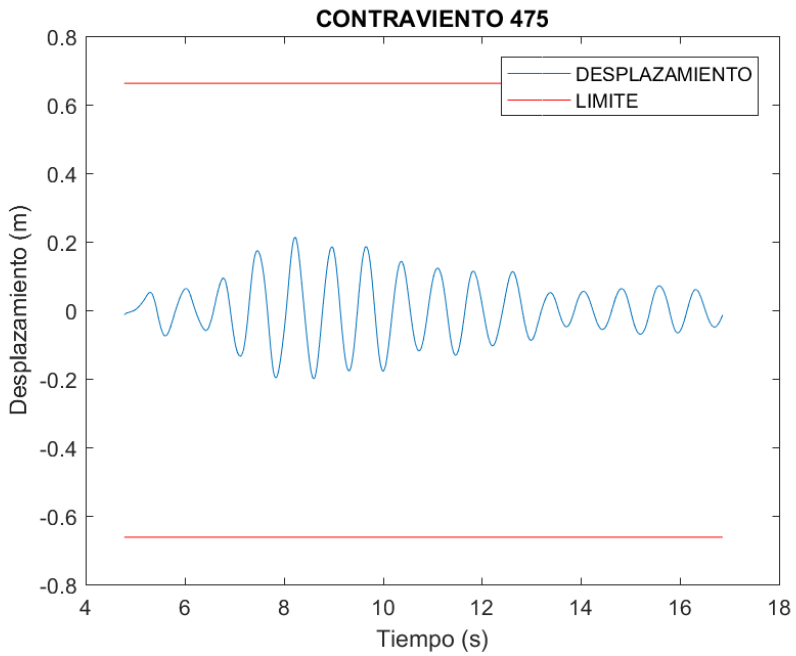


Figura 37. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S10- SV -MCC con factor de anclaje de 2.2.

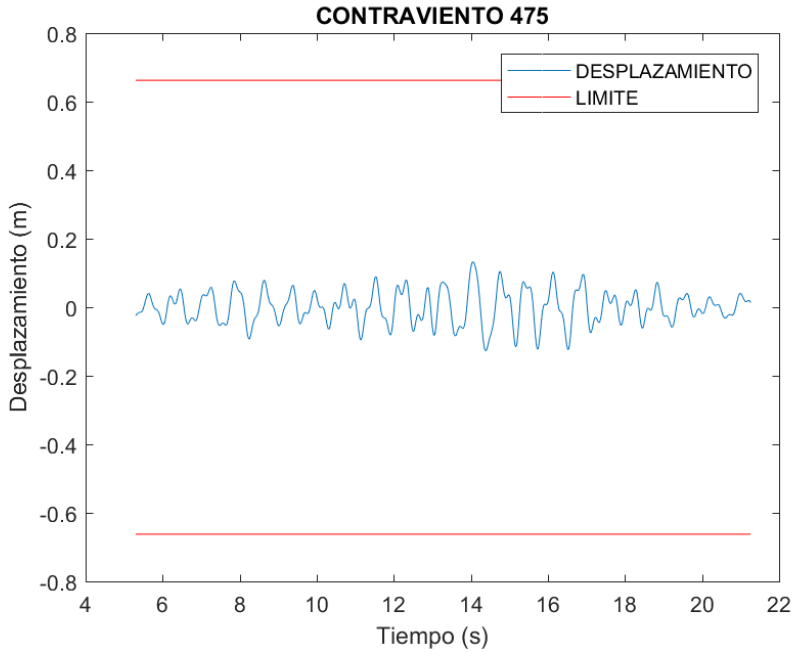


Figura 38. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S11- SV -MCC 1 con factor de anclaje de 2.28.

3.6.2.2 Desplazamientos para nivel de Desempeño de Seguridad de Vida en Marcos Rígidos.

En el punto 3.6.2.2 se observan los resultados de los 11 sismos más representativos para cumplir con el nivel de desempeño de seguridad de vida para el marco rígido. Se puede observar que en la figura 39 y 40 se presentan desplazamientos máximos entre los 0.40 metros, mayores al doble si lo comparamos con el promedio de los desplazamientos máximos del sistema de contraviento. En la figura 41, 42, 43, 44 y 49 se puede observar un pequeño incremento en los valores, los resultados se encuentran entre los 0.45 m, esto puede ser por que el factor de anclaje es mayor para estos caso. En las figuras 45, 46 y 47 se presenta un pequeño incremento en los resultados, se puede ver en la gráfica que los desplazamientos alcanzan valores de 0.50 m, por último en la figura 48 se presenta el valor máximo de los 11 sismos más representativos, las aceleraciones provocan desplazamientos cercanos a 0.60 m, valor muy pegado al límite que propone la FEMA-SAC (2000) de 0.6625.

Para este apartado se puede concluir que el diseño del marco rígido cumple para el nivel de desempeño de seguridad de vida pero si observamos los valores que muestra la tabla 9 se puede ver que el marco rígido presento desplazamientos mayores de hasta un 60 % más que los del marco con contravientos, por lo que se puede decir que el marco con contraviento tipo Chevrón contribuye considerablemente en el desempeño sísmico de la estructura.

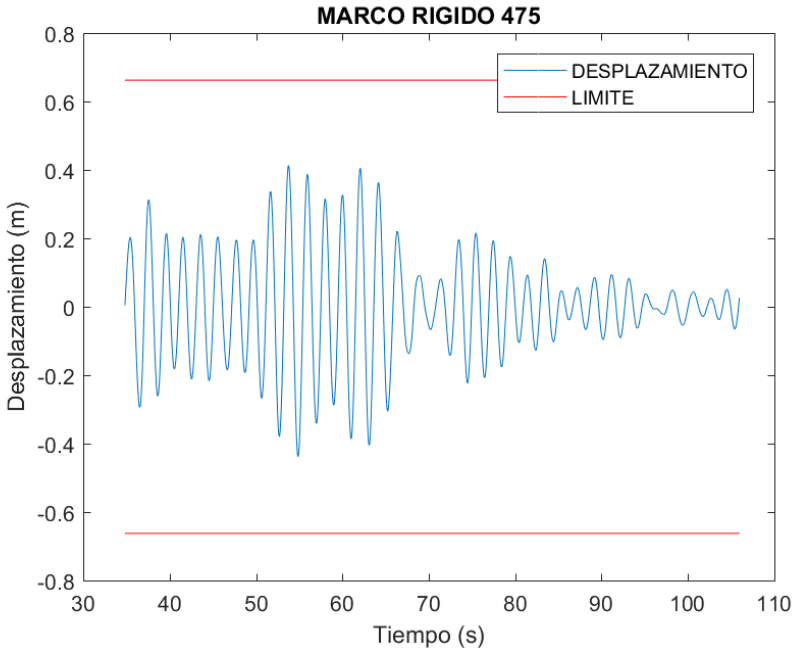


Figura 39. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de anclaje de 0.883.

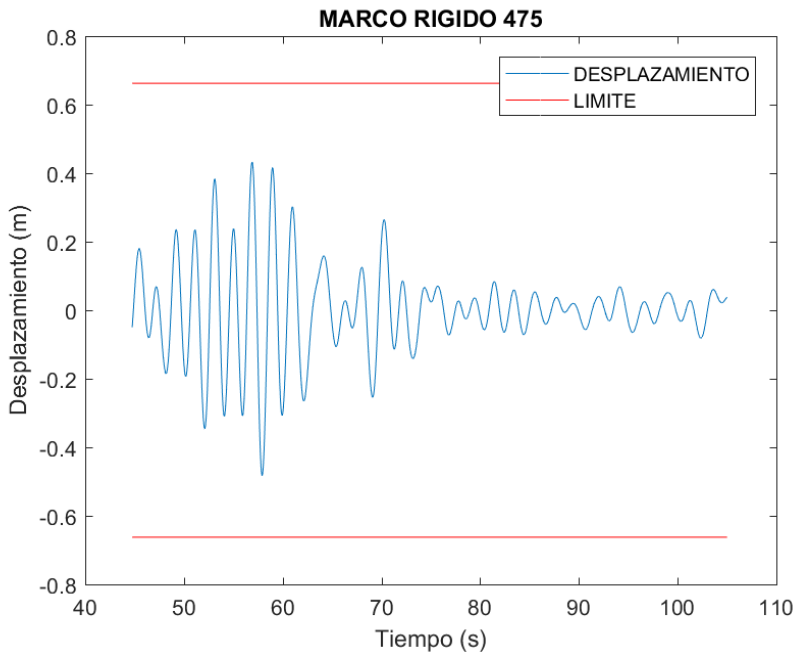


Figura 40. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S2- SV - MR con factor de anclaje de 0.903.

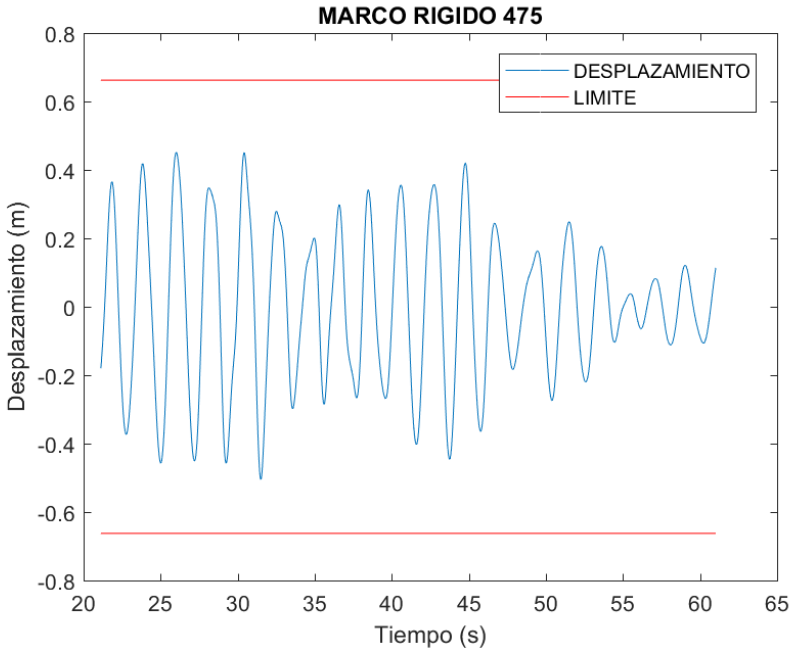


Figura 41. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S3- SV - MR con factor de anclaje de 1.6.

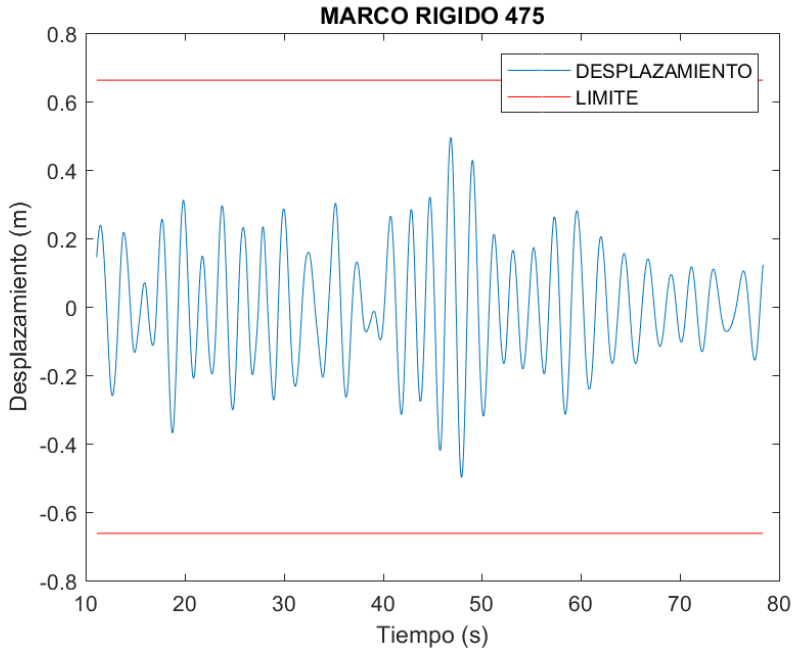


Figura 42. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S4- SV - MR con factor de anclaje de 1.8.

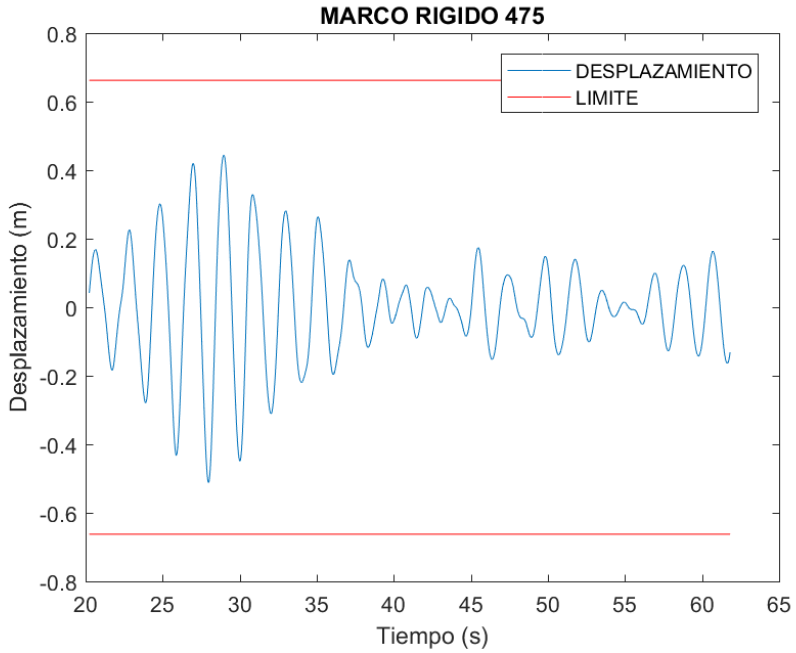


Figura 43. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S5- SV - MR con factor de anclaje de 1.15.

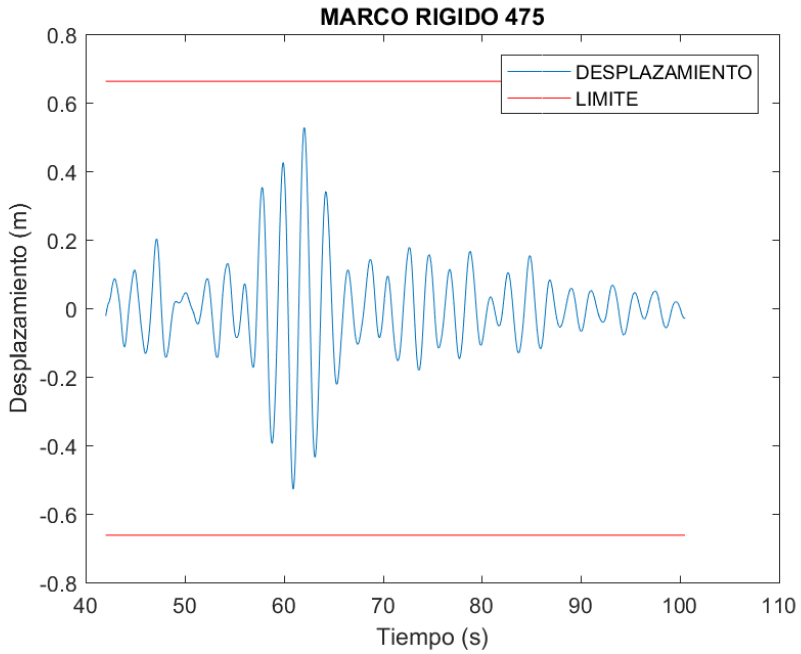


Figura 44. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S6- SV - MR con factor de anclaje de 1.23.

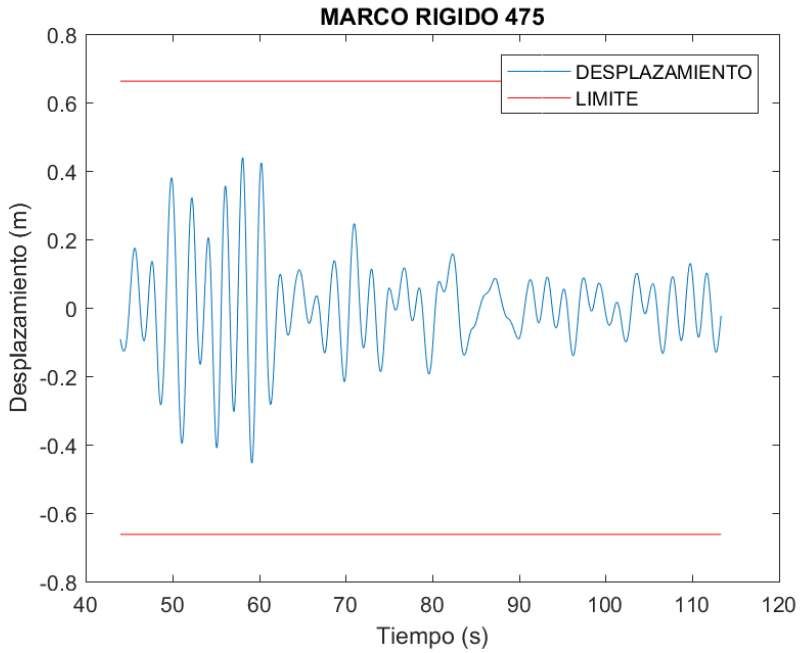


Figura 45. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S7- SV - MR con factor de anclaje de 1.28.

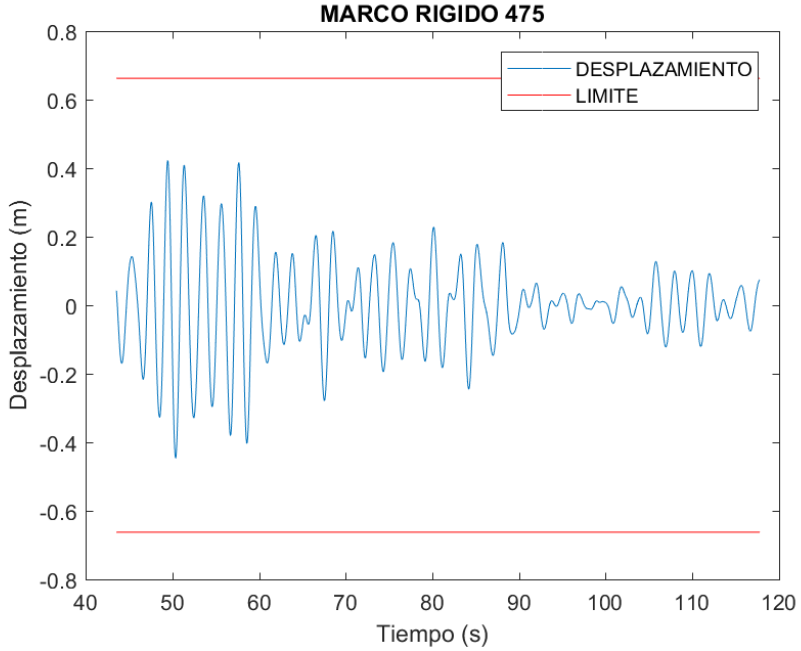


Figura 46. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S8- SV - MR con factor de anclaje de 1.36.

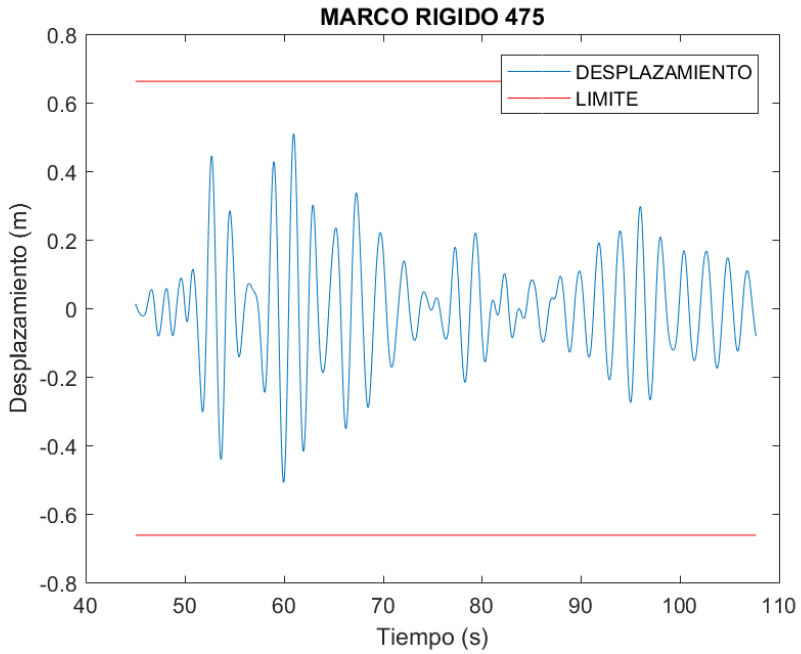


Figura 47. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S9- SV - MR con factor de escala de 1.68.

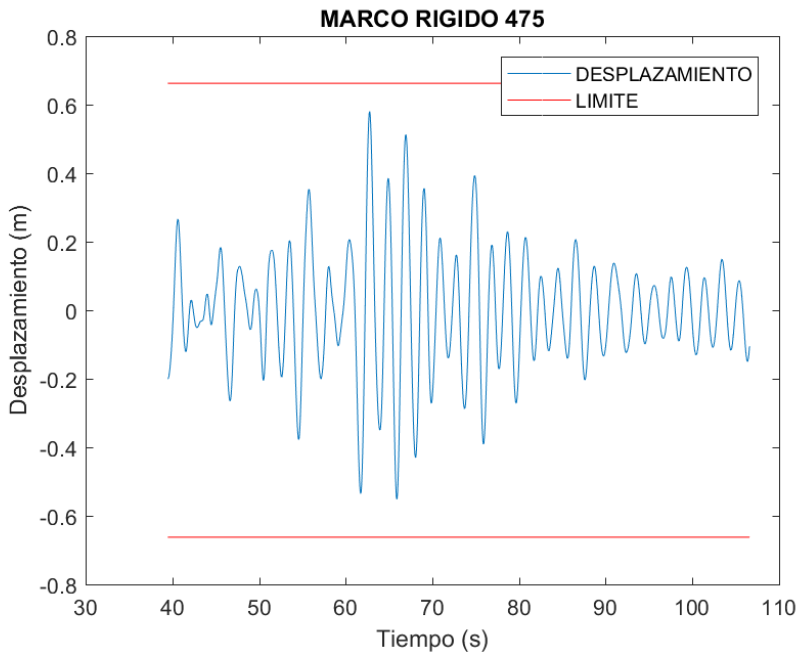


Figura 48. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S10- SV - MR con factor de escala de 2.01.

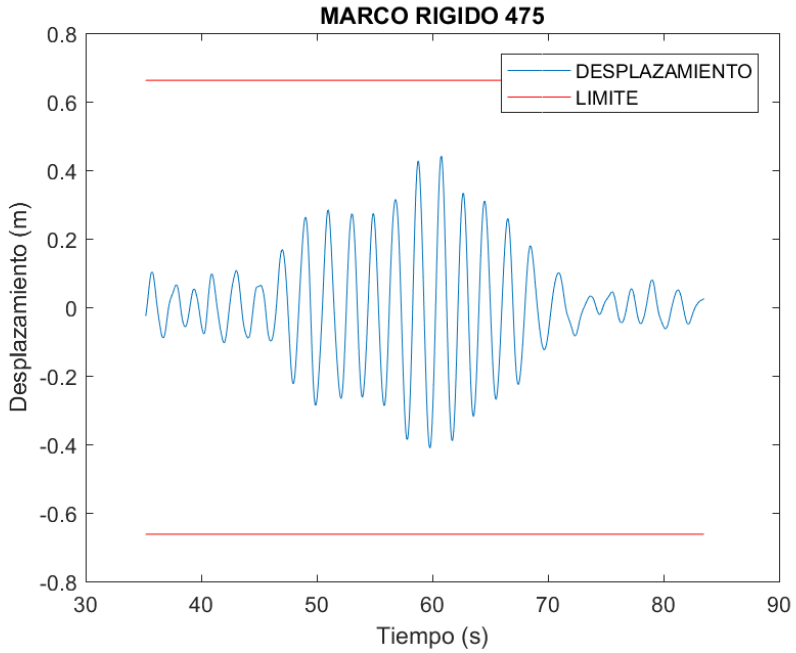


Figura 49. Desplazamientos presentados para nivel de Desempeño de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S11- SV - MR con factor de escala de 2.4.

Tabla 9. Desplazamientos máximos presentados para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento y marco rígido (en metros).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
SEGURIDAD DE VIDA			
SISMO	DESPLAZAMIENTO	SISMO	DESPLAZAMIENTO
SISMO 1	0.18928	SISMO 1	0.43856
SISMO 2	0.21629	SISMO 2	0.48261
SISMO 3	0.14012	SISMO 3	0.51177
SISMO 4	0.21969	SISMO 4	0.52808
SISMO 5	0.1434	SISMO 5	0.45396
SISMO 6	0.14416	SISMO 6	0.4462
SISMO 7	0.20282	SISMO 7	0.5051
SISMO 8	0.23429	SISMO 8	0.5095
SISMO 9	0.21309	SISMO 9	0.49919
SISMO 10	0.1324	SISMO 10	0.58027
SISMO 11	0.20536	SISMO 11	0.44112
PROMEDIO	**0.18554**	**PROMEDIO**	**0.49058**

3.6.3 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso.

3.6.3.1 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención Colapso para Marcos con Contraviento.

Continuando con el análisis de resultados, se mostrarán las gráficas de los resultados presentados en el marco con contraviento para un nivel de desempeño de prevención al colapso en términos de desplazamientos laterales. En la figura 50 y 51 se puede observar que presenta desplazamientos laterales máximos de 0.28 m valores mucho menores que el permisible presentando por la FEMA-SAC (2000) de 0.05 (H)= 1.325 m ya que el nodo estudiado se encuentra en el entrepiso más alto que cuenta con una altura de 26.5 m. En la figura 52, 53, 54, 58 y 59 se puede observar que se presentan desplazamientos más estables debido a que la aceleración es menos variable comparada a la que se presenta en la figura 50 y 9, En los sismos 55, 56, 57 y 60 podemos ver que presentan muy similar el comportamiento de las gráficas 50 y 51. En general podemos decir que ningún sismo supera el estado límite establecido para el nivel de desempeño de ocupación inmediata.

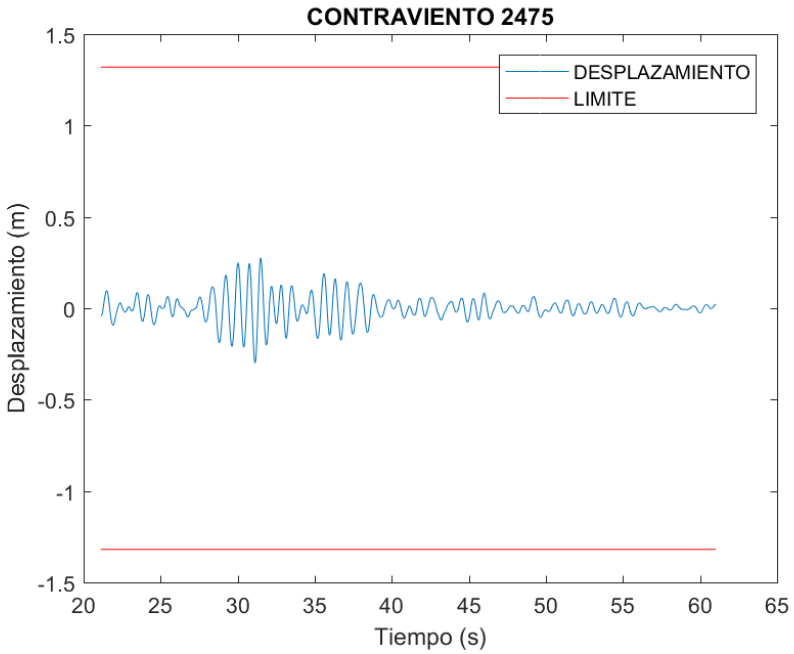


Figura 50. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S1-PC-MCC factor de anclaje de 2.16.

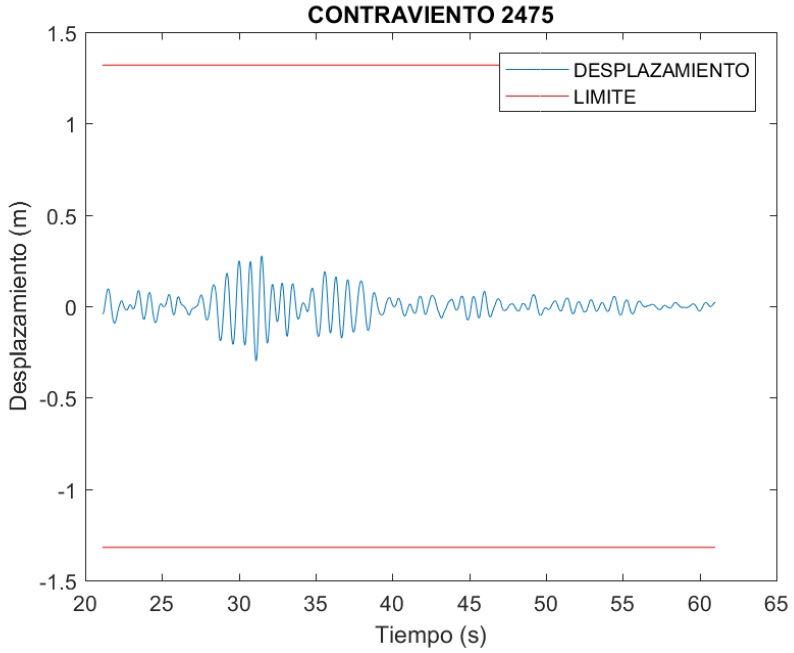


Figura 51. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S2- PC -MCC con factor de anclaje de 2.48.

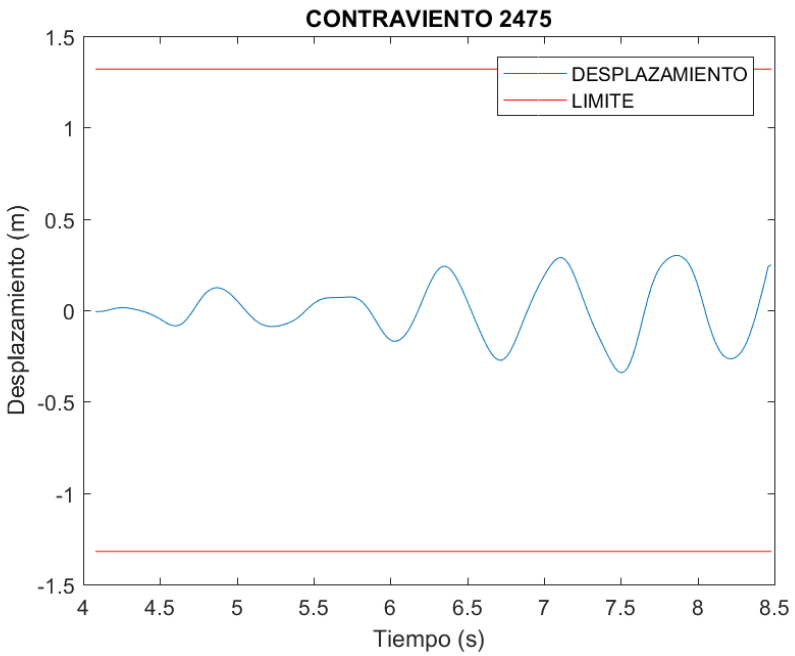


Figura 52. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S3- PC -MCC con factor de anclaje de 2.53.

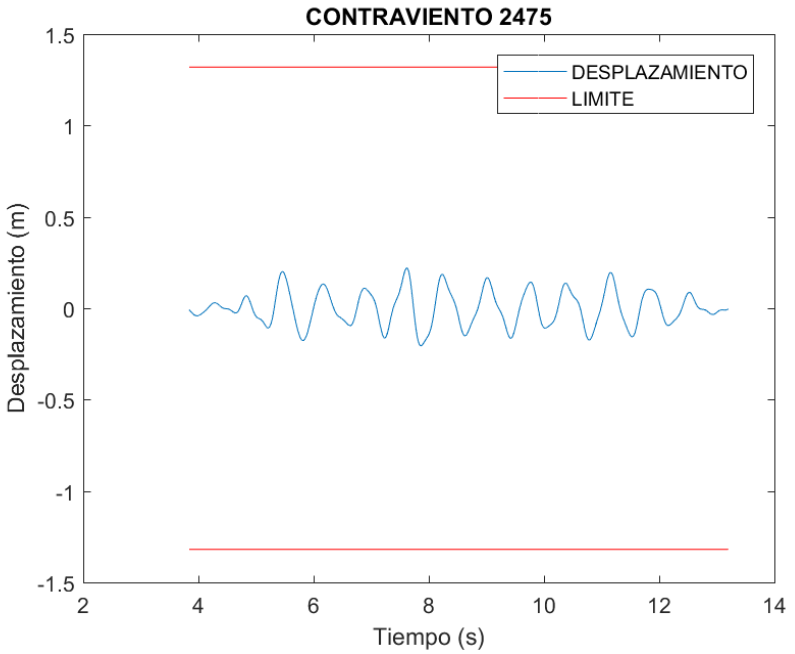


Figura 53. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S4- PC -MCC con factor de anclaje de 2.53B.

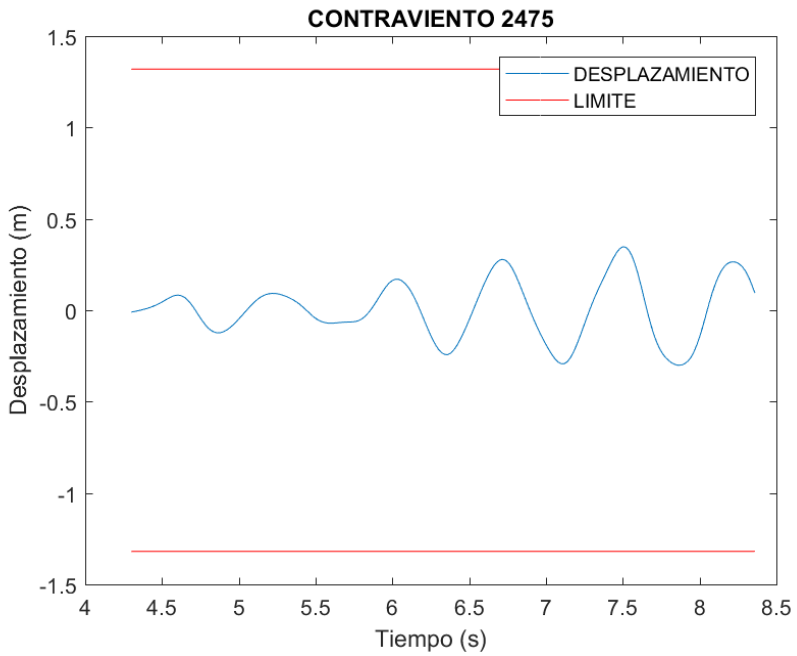


Figura 54. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S5- PC -MCC con factor de anclaje de 2.64.

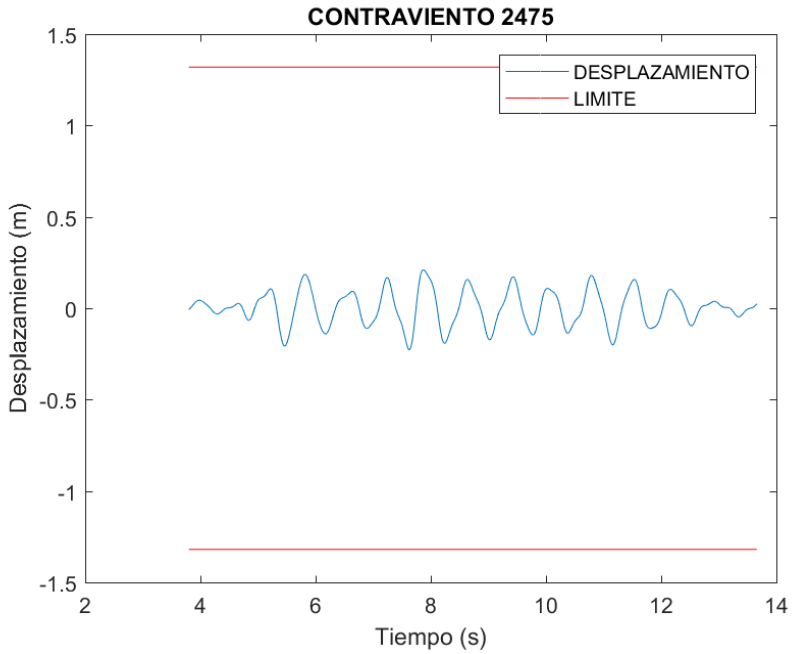


Figura 55. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S6- PC -MCC con factor de anclaje de 2.73.

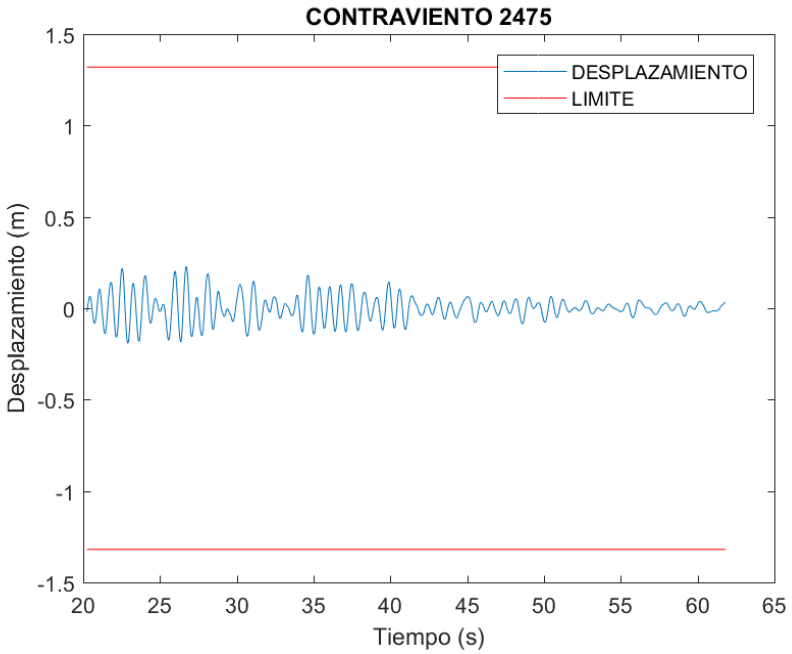


Figura 56. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S7- PC -MCC con factor de anclaje de 3.04.

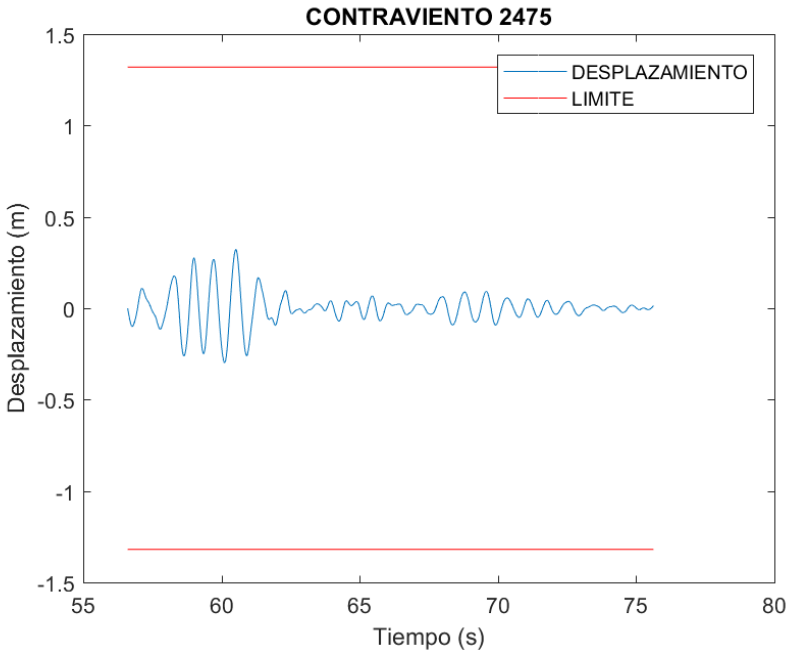


Figura 57. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S8- PC -MCC con factor de anclaje de 3.09.

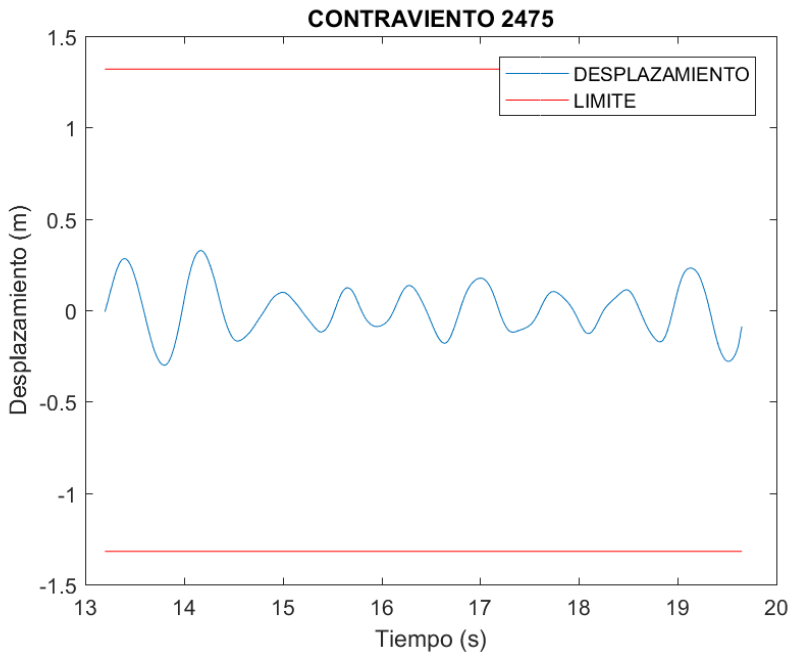


Figura 58. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S9- PC -MCC con factor de anclaje de 3.19.

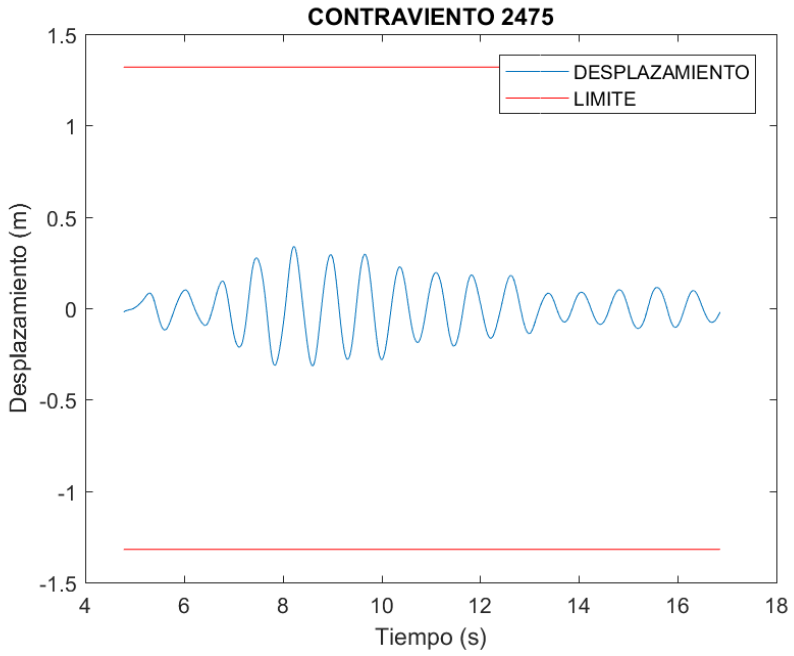


Figura 59. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S10- PC -MCC con factor de anclaje de 3.49.

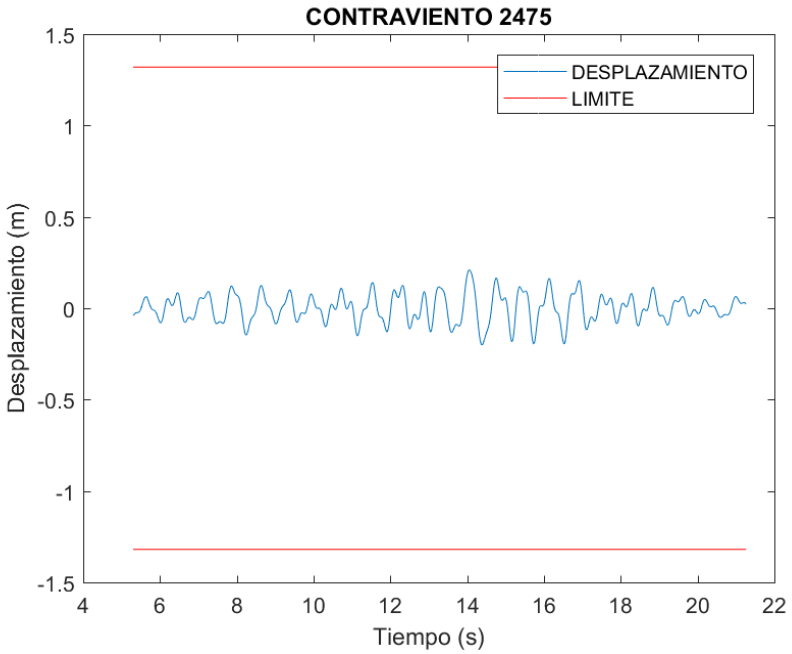


Figura 60. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos con contraviento tipo chevrón en el sismo S11- PC -MCC con factor de anclaje de 3.61.

3.6.3.2 Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención al Colapso para Marcos Rígidos.

Para concluir con el apartado de los desplazamientos se mostrarán los resultados obtenidos del marco rígido para un nivel de desempeño de prevención al colapso. Se comenzara hablando que los rangos de los desplazamientos oscilan entre los 0.32 m y los 0.95 m, los sismos con menor desplazamientos se observan en la figura 61, y 62, en la figura 65 se observa una gran incremento en los desplazamientos con un valor promedio de 0.8455 m, los sismos de la figura 64, 65, 66, 67 y 67 muestran valores máximos muy parecidos a los presentados en la figura 65. En la figura 69 se puede observar que es el sismo que presenta mayor desplazamientos para este nivel de desempeño con valor de 0.94 m. Los valores presentados en todos los sismos son menores que los permisibles establecidos en el proyecto FEMA-SAC (2000) ya mencionado en el punto 3.6.3.1. En la tabla 10 se muestra una comparativa de los desplazamientos para los 11 sismos analizados para cada sistema estructural, en los promedios finales para cada sistema se puede observar que los desplazamientos del marco rígido son 50 % mayores que los presentados en el marco con contravientos. Aunque ambos sistemas cumplen con el nivel de ocupación inmediata podemos observar que el sistema con contravientos tipo Chevrón presenta un mayor desempeño sísmico que el marco rígido.

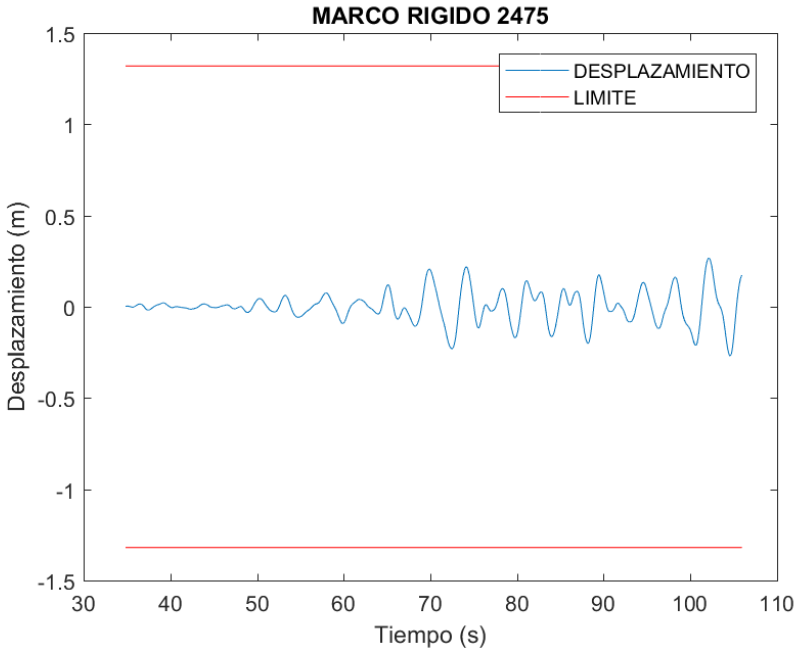


Figura 61. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S1-PC-MR con factor de escala de 1.46.

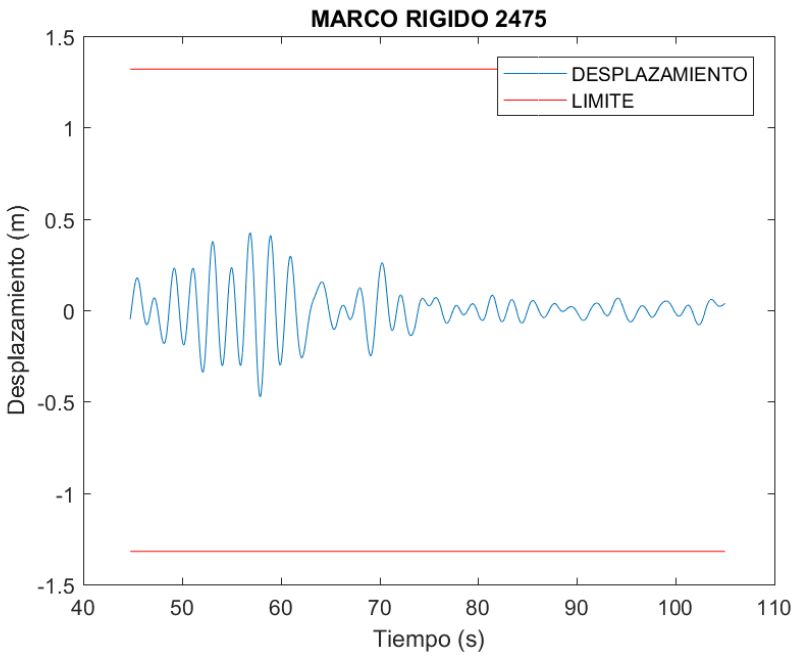


Figura 62. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.49.

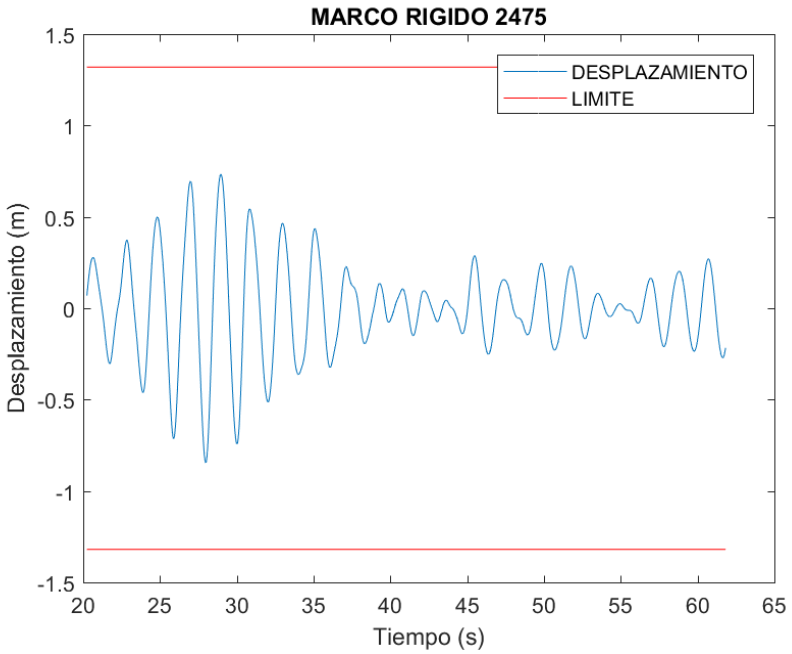


Figura 63. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S3- PC - MR con factor de escala de 1.9.

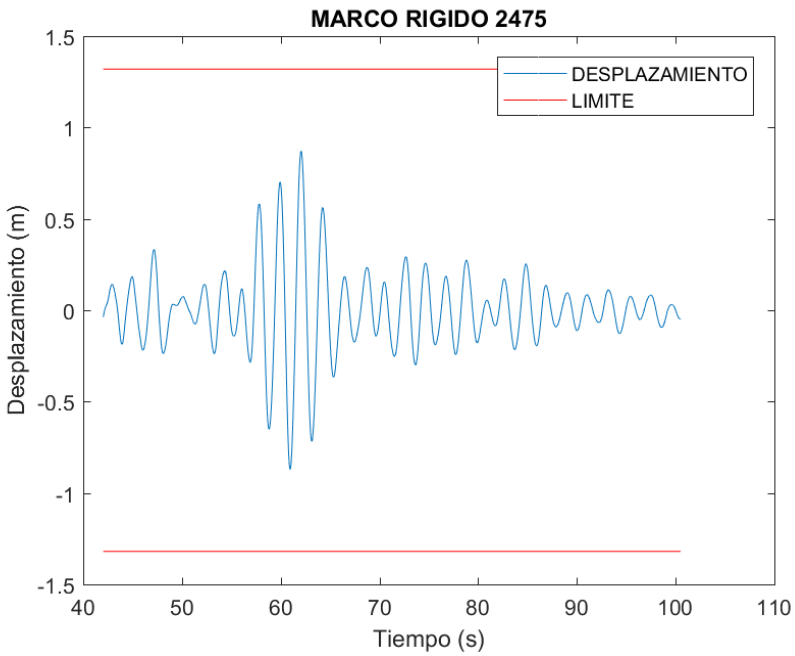


Figura 64. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 2.03.

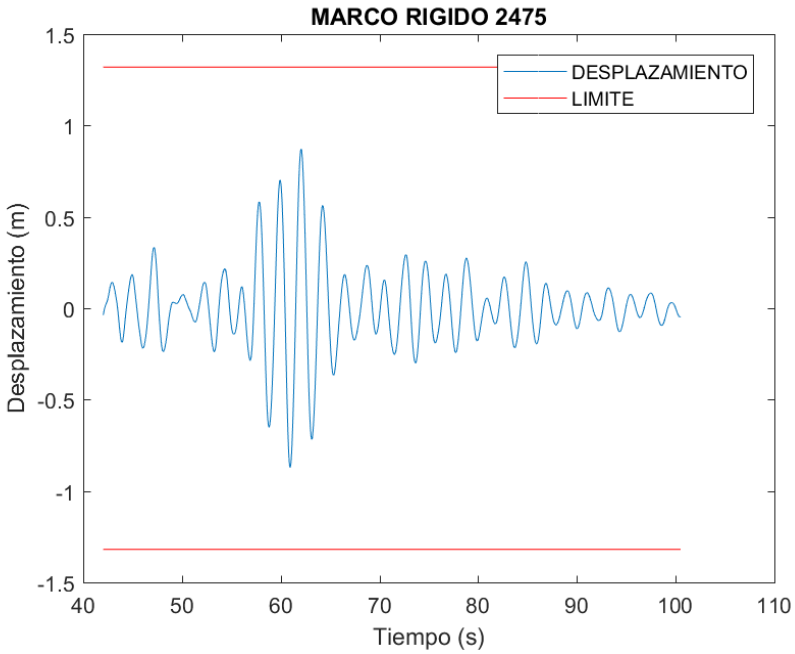


Figura 65. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11.

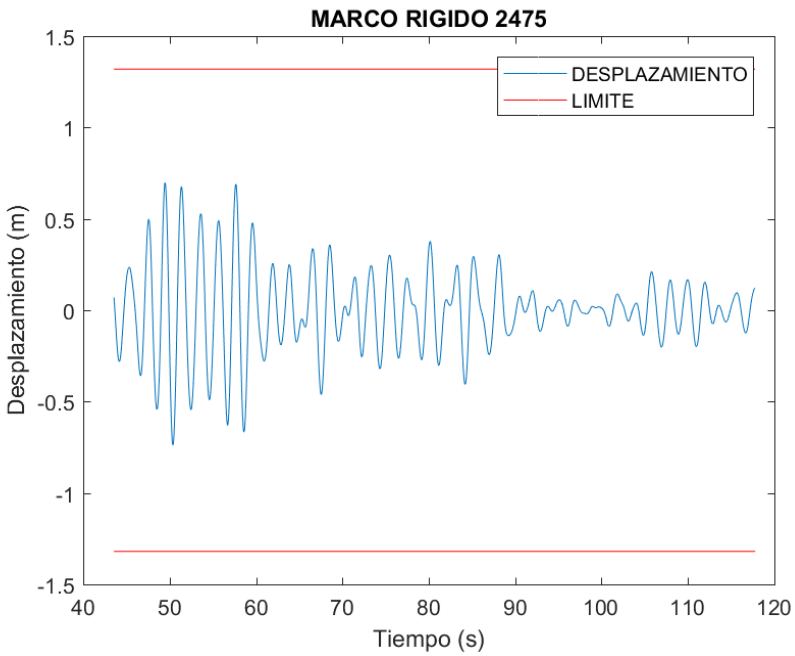


Figura 66. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25.

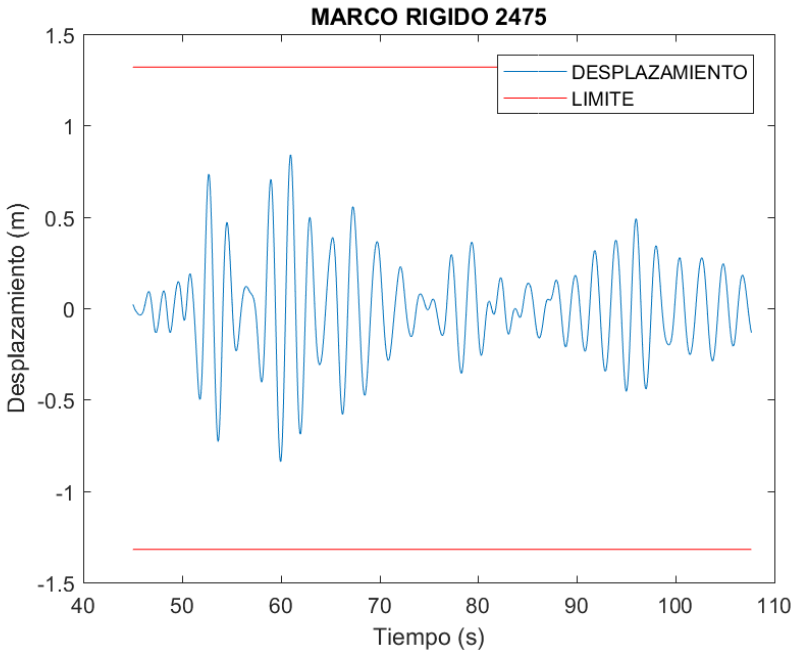


Figura 67. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77.

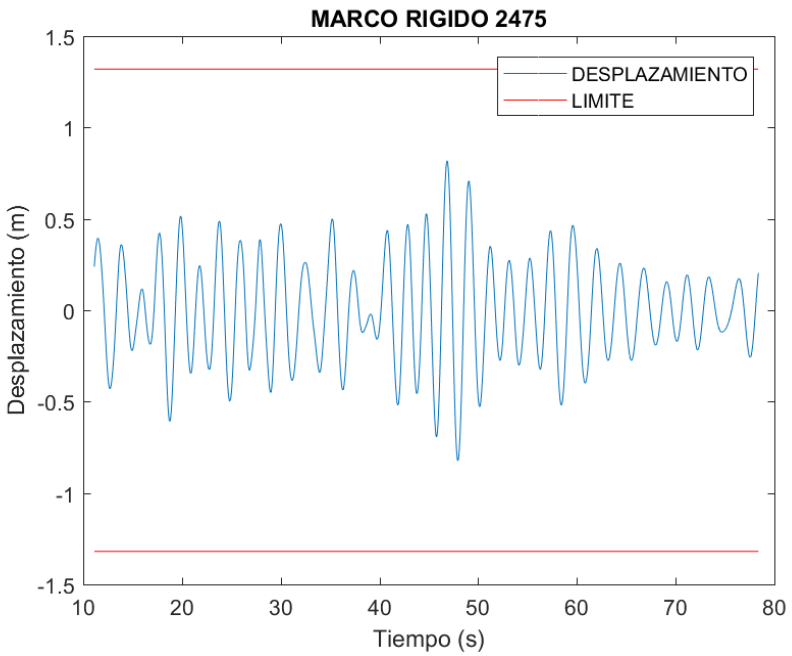


Figura 68. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97.

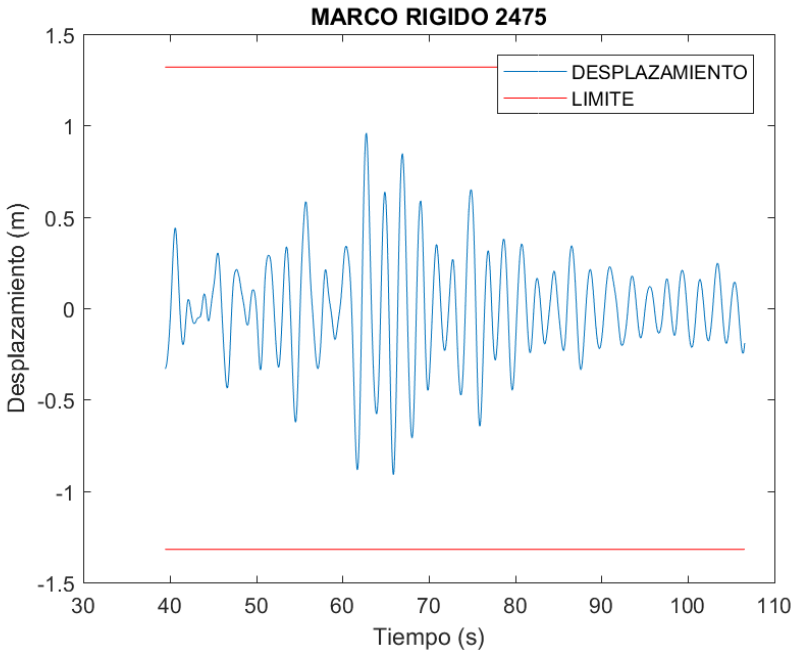


Figura 69. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32.

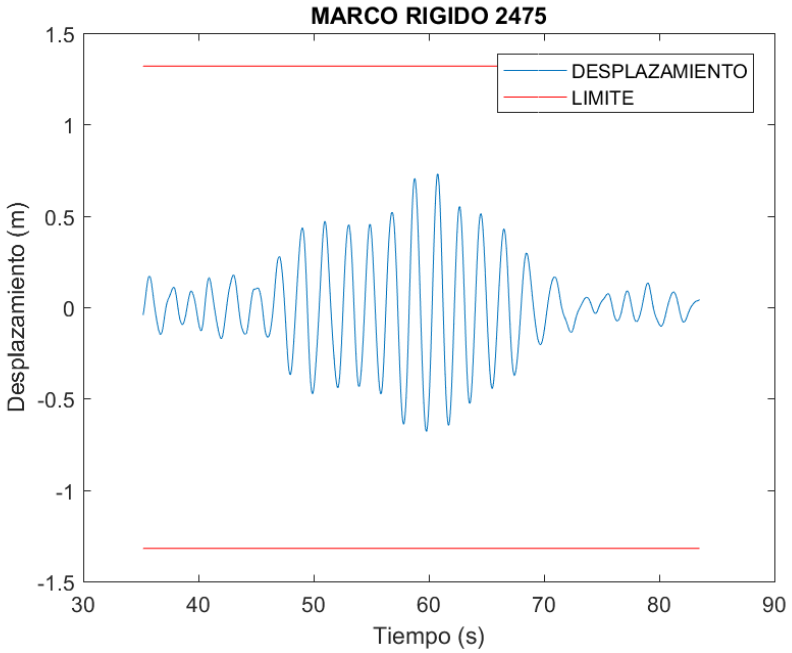


Figura 70. Desplazamientos presentados para nivel de prevención al colapso en marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97.

Tabla 10. Desplazamientos máximos presentados para nivel de desempeño de prevención al colapso en sistemas con contraviento y marco rígido (en metros).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
PREVENCIÓN AL COLAPSO			
SISMO	DESPLAZAMIENTO	SISMO	DESPLAZAMIENTO
SISMO 1	0.21297	SISMO 1	0.32183
SISMO 2	0.29898	SISMO 2	0.47349
SISMO 3	0.34196	SISMO 3	0.84553
SISMO 4	0.22156	SISMO 4	0.87156
SISMO 5	0.34724	SISMO 5	0.74832
SISMO 6	0.22762	SISMO 6	0.7382
SISMO 7	0.22825	SISMO 7	0.84007
SISMO 8	0.32138	SISMO 8	0.82367
SISMO 9	0.32676	SISMO 9	0.95847
SISMO 10	0.33805	SISMO 10	0.72969
SISMO 11	0.20952	SISMO 11	0.85697
PROMEDIO	**0.27948**	**PROMEDIO**	**0.74616**

3.6.4 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata.

3.6.4.1 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos con contraviento.

En el apartado 3.6.4 se hablara sobre el comportamiento de las rotaciones presentadas en ambos sistemas estructurales para los tres niveles de desempeños estudiados. Se comienza describiendo los resultados del marco resistente a momento para un nivel de desempeño de ocupación inmediata. De la Figura 71 a la 81 se aprecia que el comportamiento de las gráficas es muy similar a diferencia de los tiempos efectivos. Los valores máximos de las figuras oscilan entre los 0.0011 y 0.0013 radianes, se puede apreciar claramente que las variaciones para los 11 sismos son mínimas. En la figura 71 y 80 se puede observar que las rotaciones mínimas y máximas que se presentan para este caso, donde se alcanzan valores mínimos de 0.00116 radianes y valores máximos de 0.00234 radianes. Es importante aclarar que no existen límites establecidos para las rotaciones en las conexiones, pero es importante evaluar estos resultados y hacer una comparativa respecto a los marcos rígidos, debido a que mientras mayor sea las rotaciones incrementas el costo de las conexiones en las estructuras.

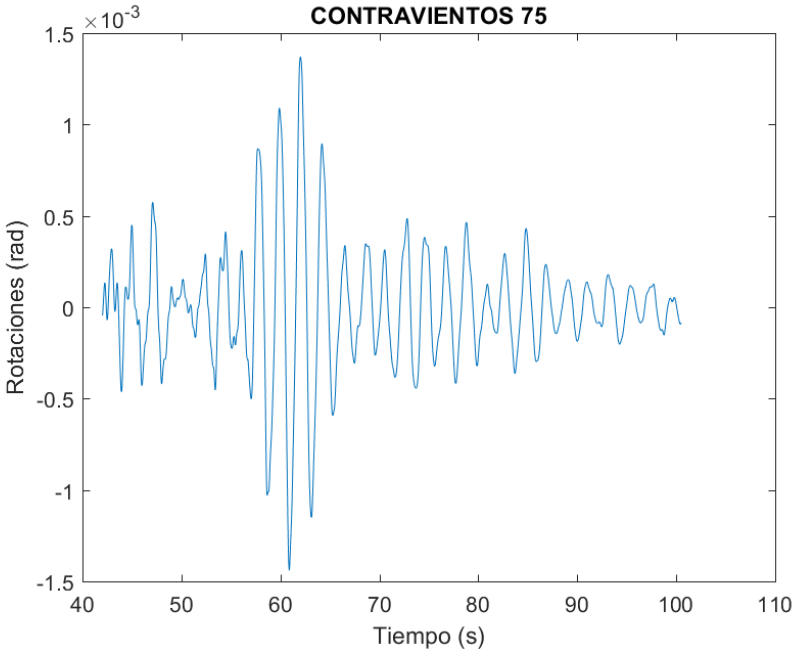


Figura 71. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805.

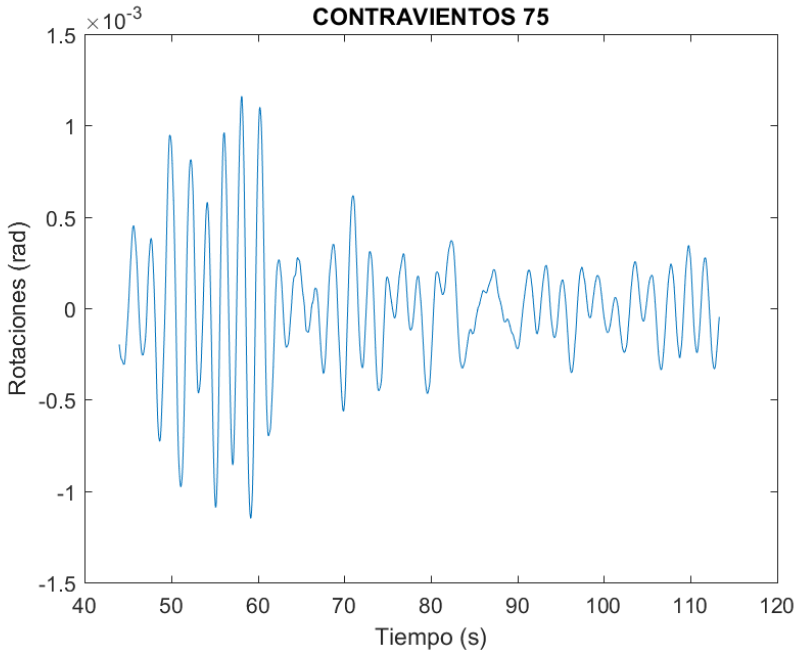


Figura 72. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S2-OI-MCC con factor de 0.821.

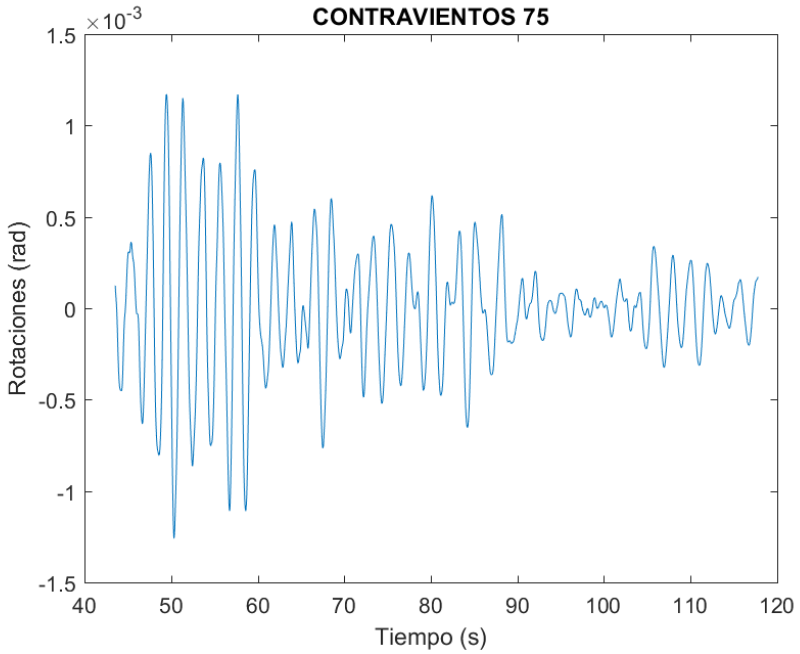


Figura 73. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822.

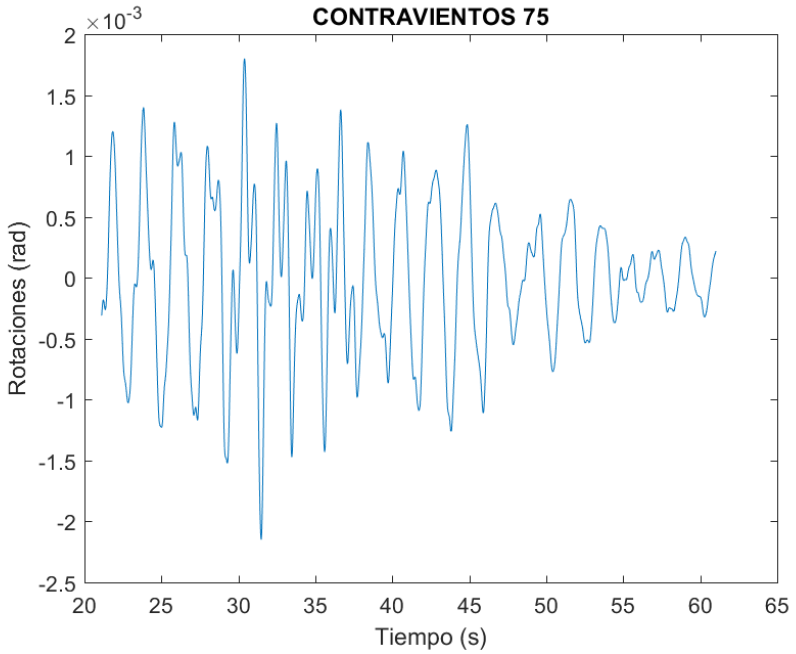


Figura 74. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856.

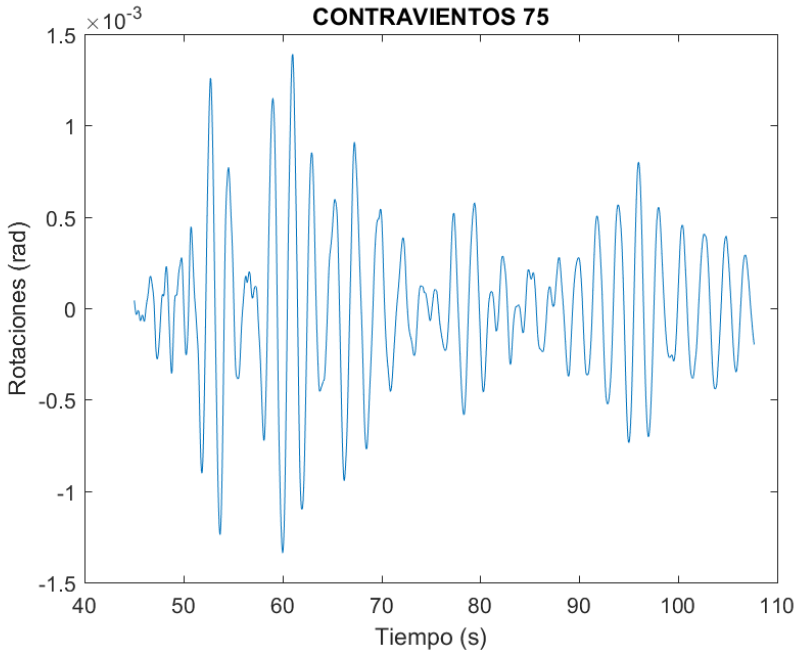


Figura 75. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886.

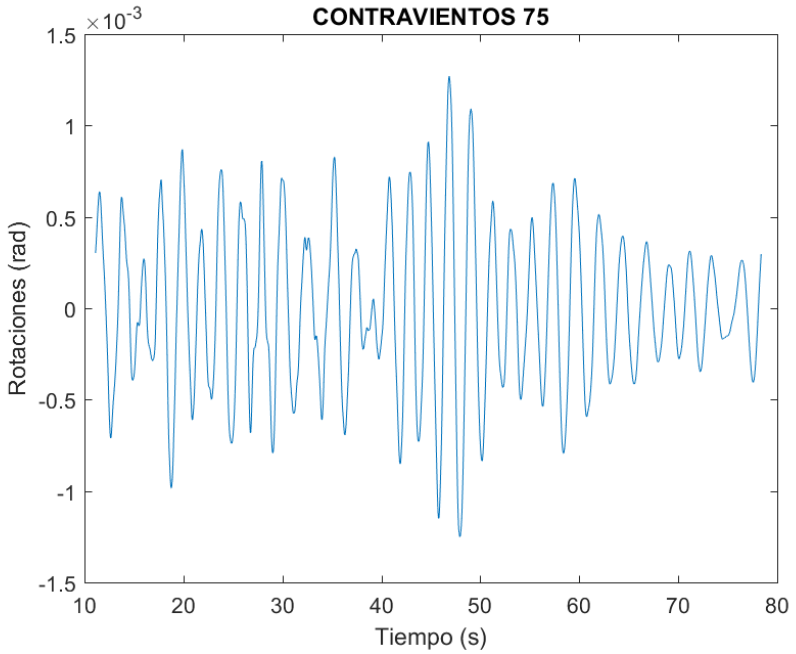


Figura 76. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985.

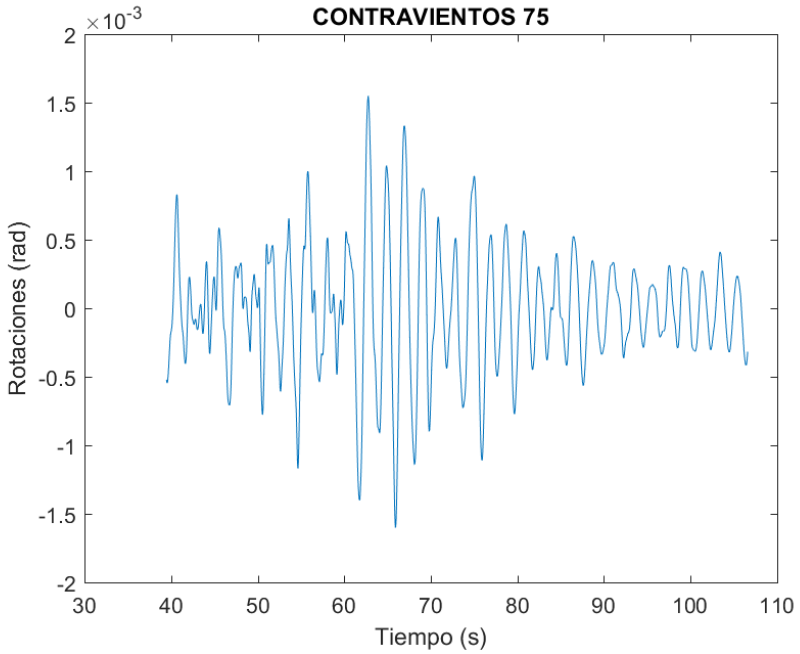


Figura 77. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0.

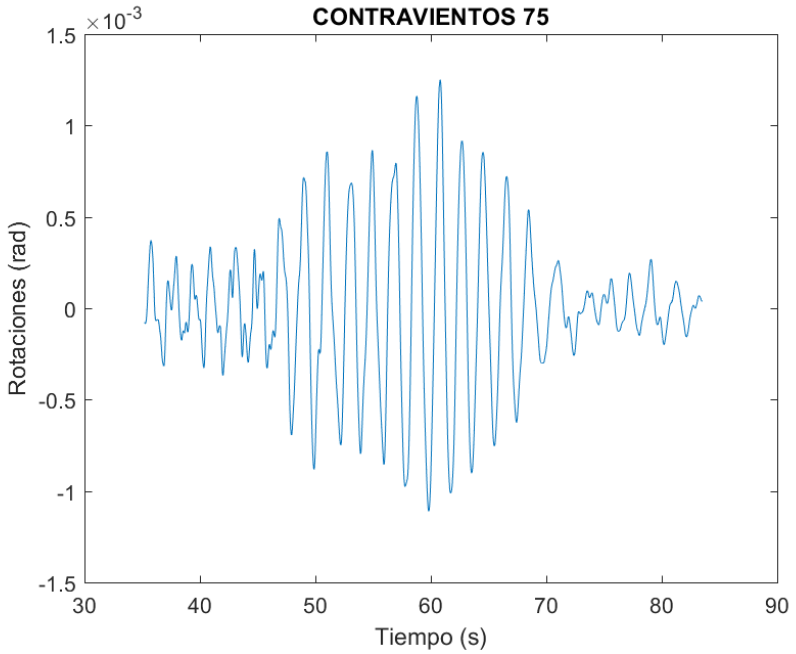


Figura 78. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04.

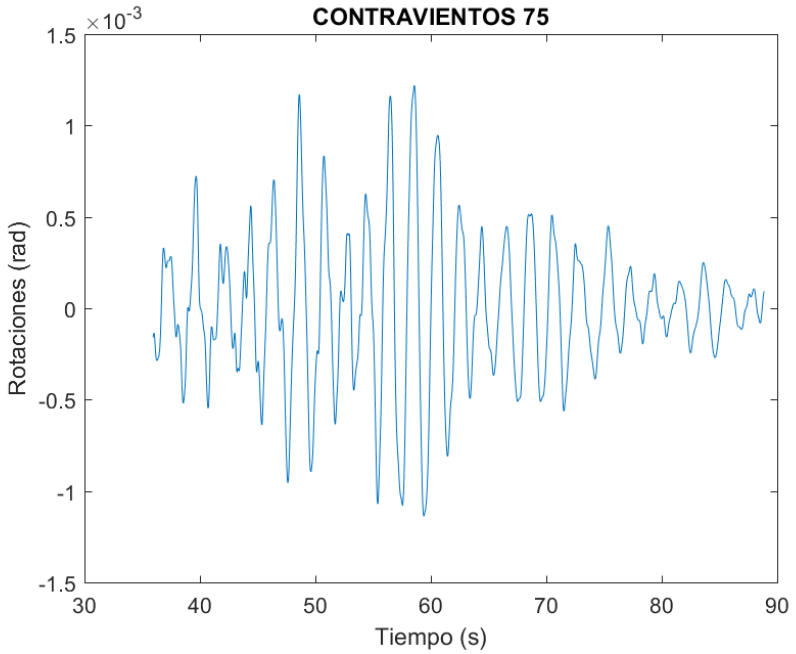


Figura 79. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13.

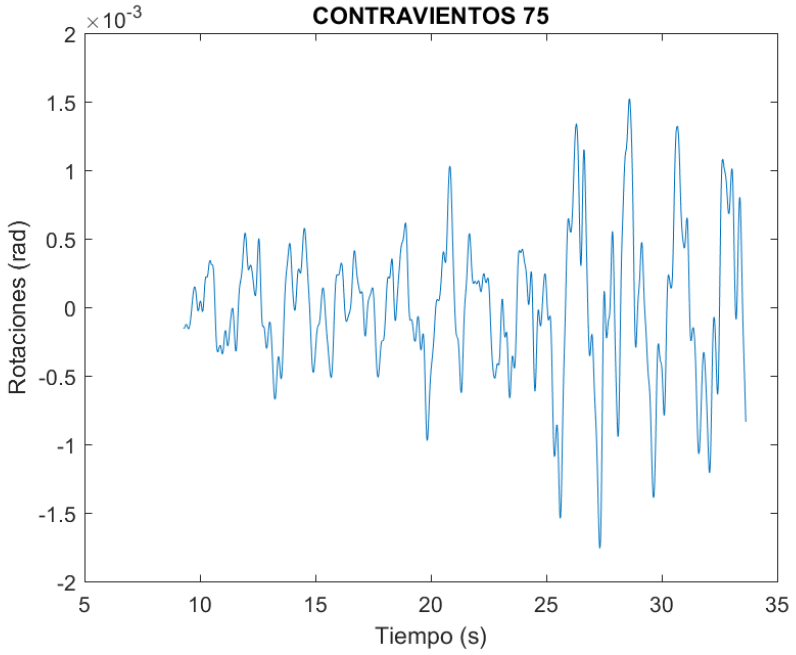


Figura 80. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17.

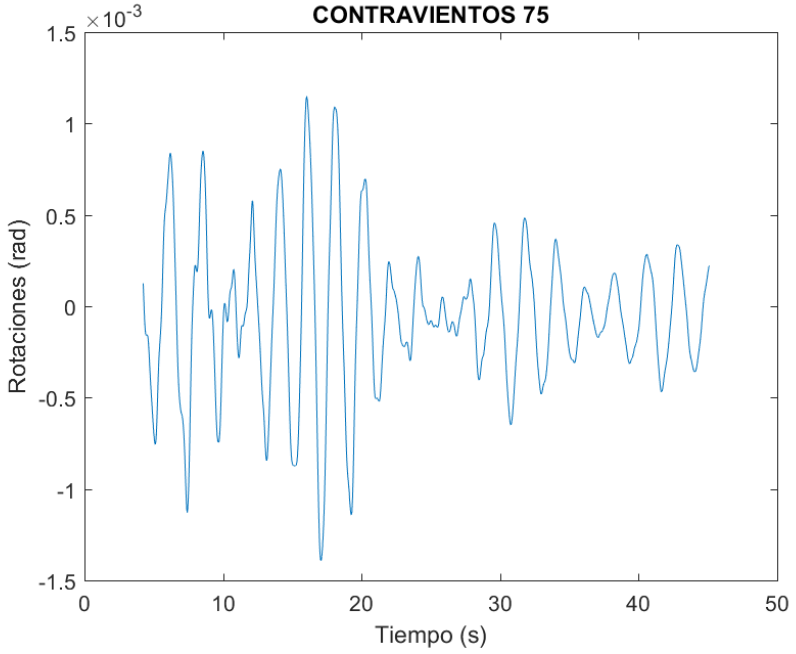


Figura 81. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18.

3.6.4.2 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos Rígidos.

Continuando con las rotaciones para un nivel de desempeño de ocupación inmediata pero ahora para marcos rígidos, se muestran los resultados en la tabla 12 y en las figura 82 hasta la 92, en donde se puede apreciar que las rotaciones máximas son muy similares los valores se encuentran entre los rangos de 0.002 radianes y 0.003 radianes. En la figuras 90 y 82 se presentan los valores máximos y mínimos de rotaciones de los 11 sismos presentados en la tabla 3, teniendo valores máximos de 0.0033 radianes y valores mínimo de 0.00212 radianes.

De forma general se hace una breve comparativa de ambos sistema el cual se puede ver en la tabla 12 que los sistemas de contraviento tipo chevrón presentan rotaciones de hasta 4 veces menos que los marcos resistentes a momento. Como se comentaba anteriormente no existen límites permisibles para las rotaciones pero si es importante llevar a cabo este contraste para darse cuenta que sistema estructural tendrá conexiones con mayor costo. Podemos concluir que hablando económicamente el sistema con contraviento presentara un sistema de conexiones óptimas.

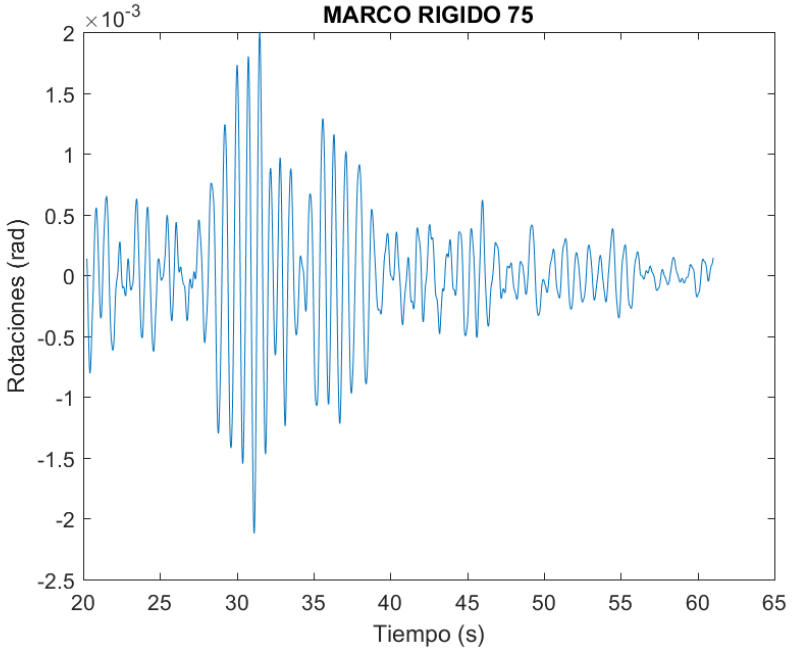


Figura 82. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593.

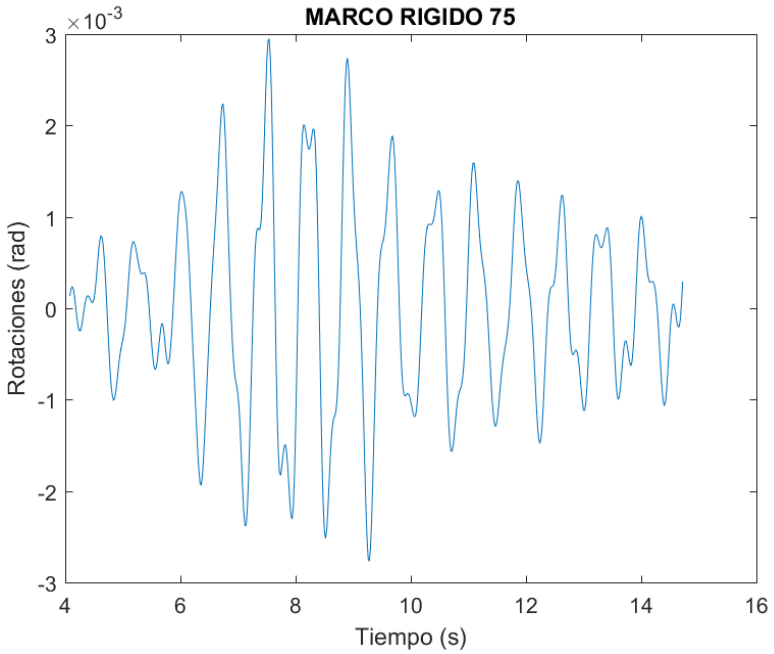


Figura 83. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618.

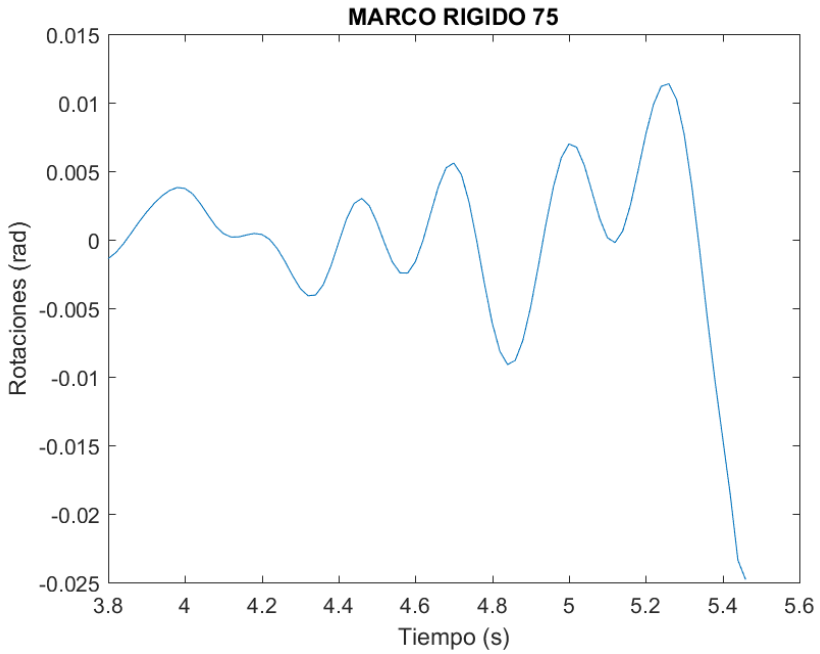


Figura 84. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.659.

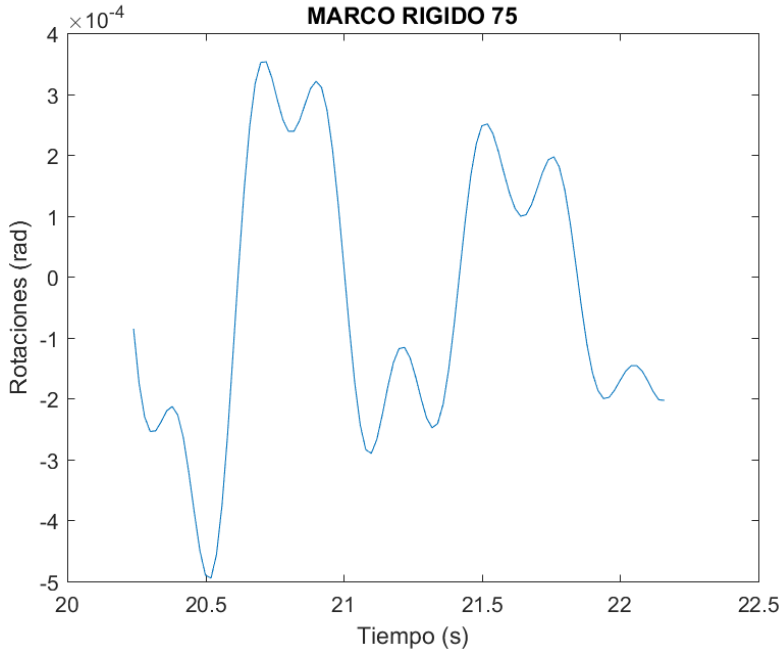


Figura 85. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771.

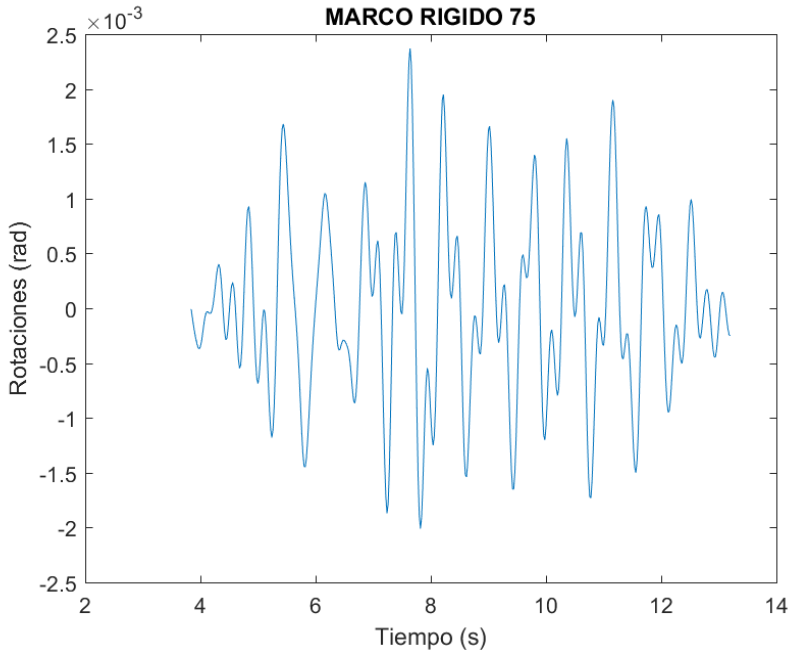


Figura 86. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812.

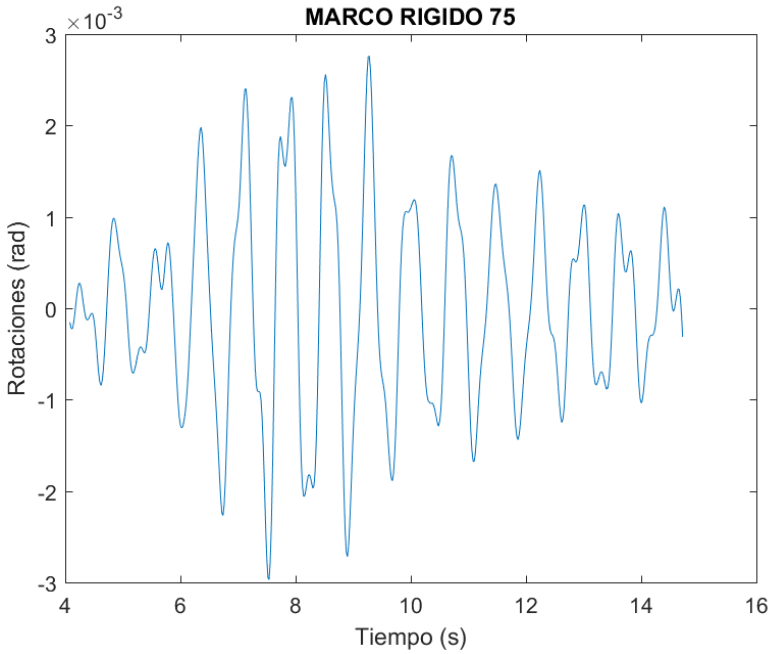


Figura 87. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S6-OI- MR con factor de escala de 0.869.

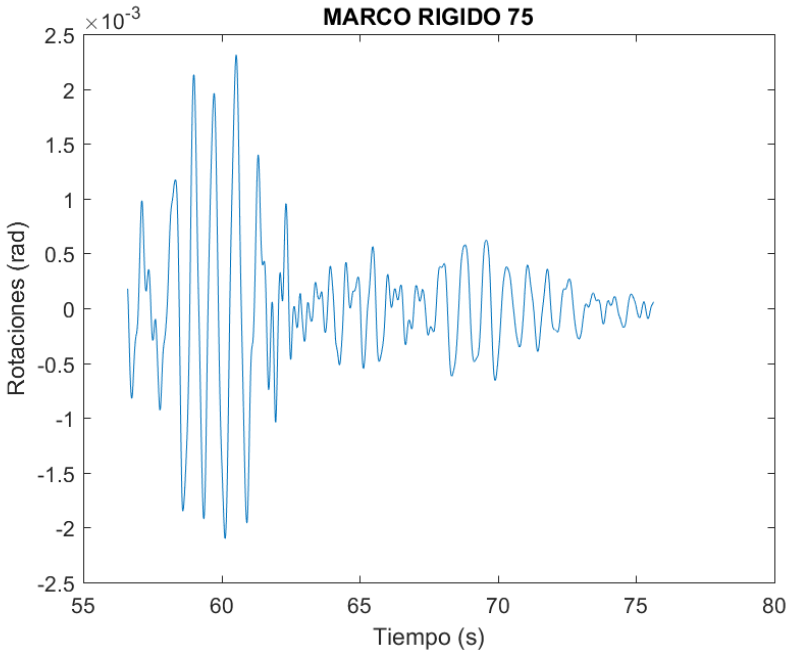


Figura 88. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971.

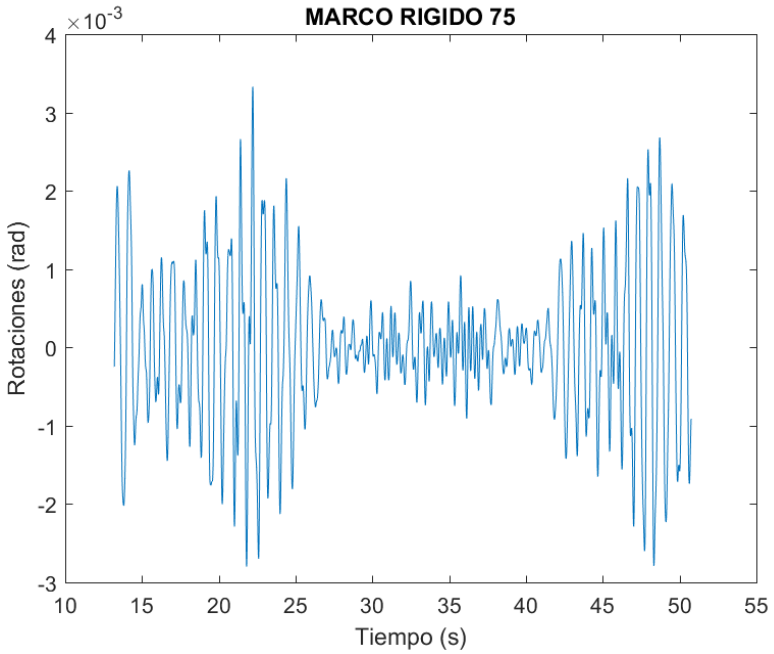


Figura 89. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala de 1.16.

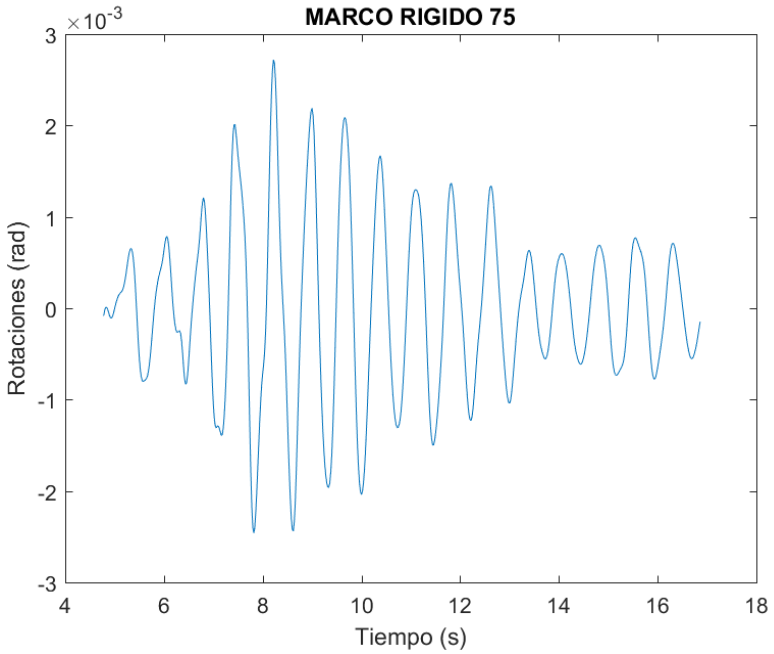


Figura 90. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S9-OI- MR con factor de escala de 1.33.

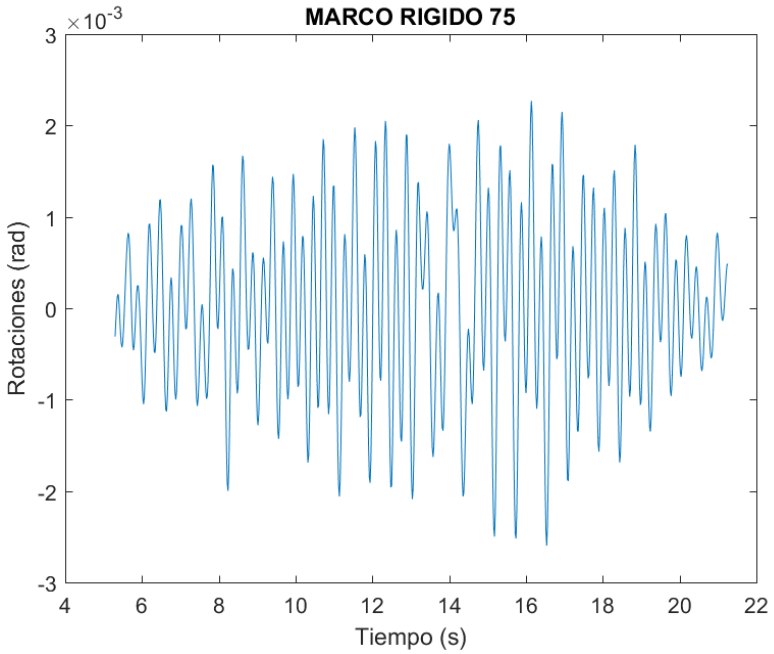


Figura 91. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36.

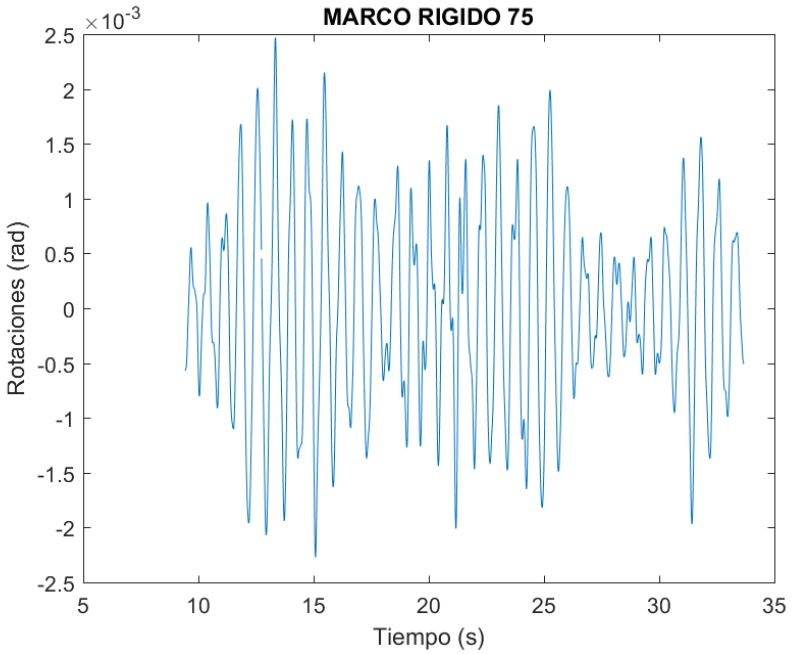


Figura 92. Rotaciones presentadas para nivel de ocupación inmediata en marcos con contravientos en el sismo S11-OI- MR con factor de escala de 1.36B.

Tabla 11. Rotaciones máximas presentadas para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en radianes).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
OCUPACIÓN INMEDIATA			
SISMO	ROTACIÓN	SISMO	ROTACIÓN
SISMO 1	0.00144	SISMO 1	0.00212
SISMO 2	0.00116	SISMO 2	0.00295
SISMO 3	0.00126	SISMO 3	0.0248
SISMO 4	0.00215	SISMO 4	0.00237
SISMO 5	0.00139	SISMO 5	0.00237
SISMO 6	0.00127	SISMO 6	0.00297
SISMO 7	0.0016	SISMO 7	0.00231
SISMO 8	0.00125	SISMO 8	0.00333
SISMO 9	0.00122	SISMO 9	0.00272
SISMO 10	0.00234	SISMO 10	0.0026
SISMO 11	0.00139	SISMO 11	0.00247
PROMEDIO	**0.001497273**	**PROMEDIO**	**0.004637273**

3.6.5 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.

3.6.5.1 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos con Contraviento.

Siguiendo con el análisis de rotaciones pero ahora para nivel de desempeño de seguridad de vida, utilizando sismos con periodo de retorno de 475 años mostrados en la tabla 4, se comienza mostrando los resultados para los marcos con contravientos. En donde se puede observar que los valores máximos de rotaciones son muy similares en la Figura 93 hasta la 103, presentando valores promedios de 0.0029 radianes. Hablando específicamente de las figuras se puede observar que en la Figura 93 la gráfica presenta la rotación más pequeña para este caso, mostrando un valor de 0.00236 radianes y en la figura 100 se observa que la gráfica presenta los máximos valores que son cercanos a los 0.00446 radianes. Si regresamos al punto 3.6.4.1 se puede observar que hubo un pequeño incremento de casi el doble en las rotaciones para este nivel de desempeño a pesar que los sismos para un periodo de retorno de 475 años son de gran magnitud con respecto a los del periodo de 75 años.

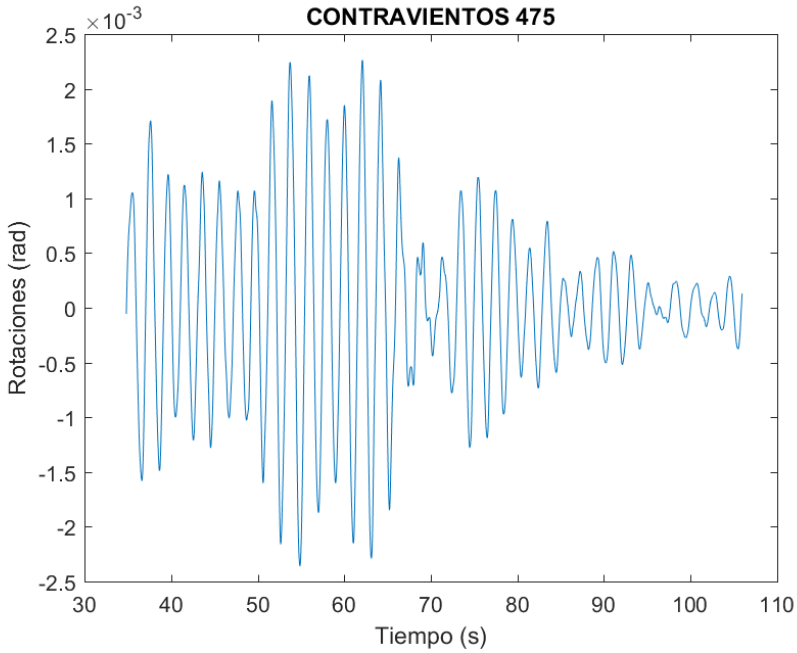


Figura 93. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6.

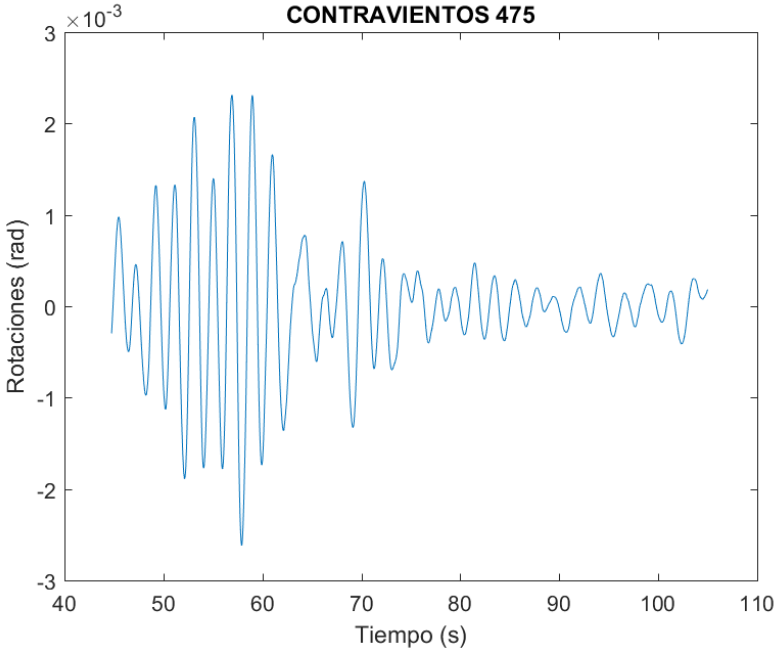


Figura 94. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S2- SV -MCC con factor de escala de 1.6B.

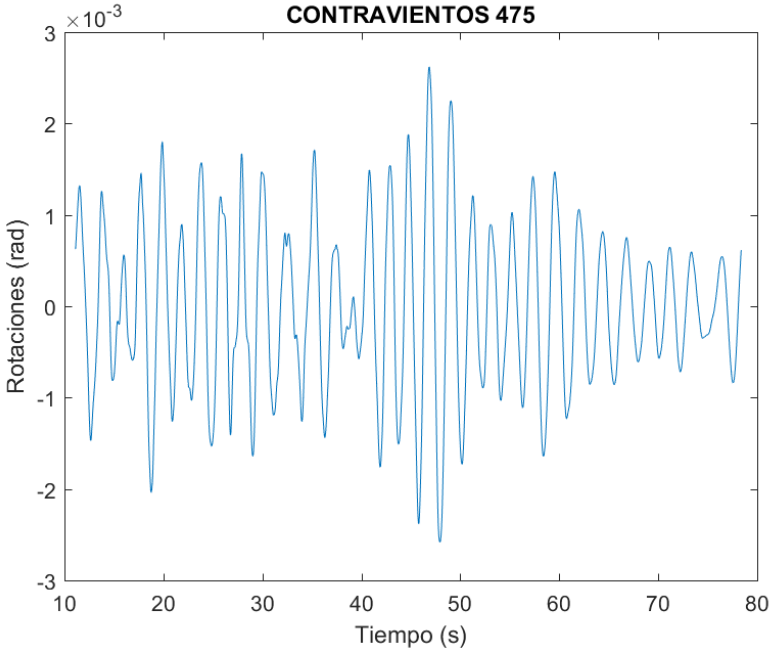


Figura 95. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S3- SV -MCC con factor de anclaje de 1.37.

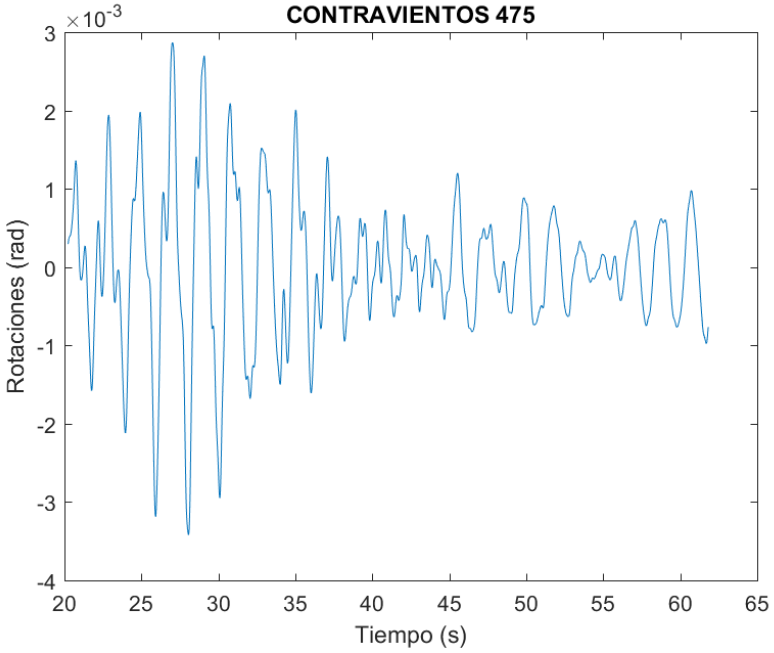


Figura 96. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S4- SV -MCC con factor de anclaje de 1.57.

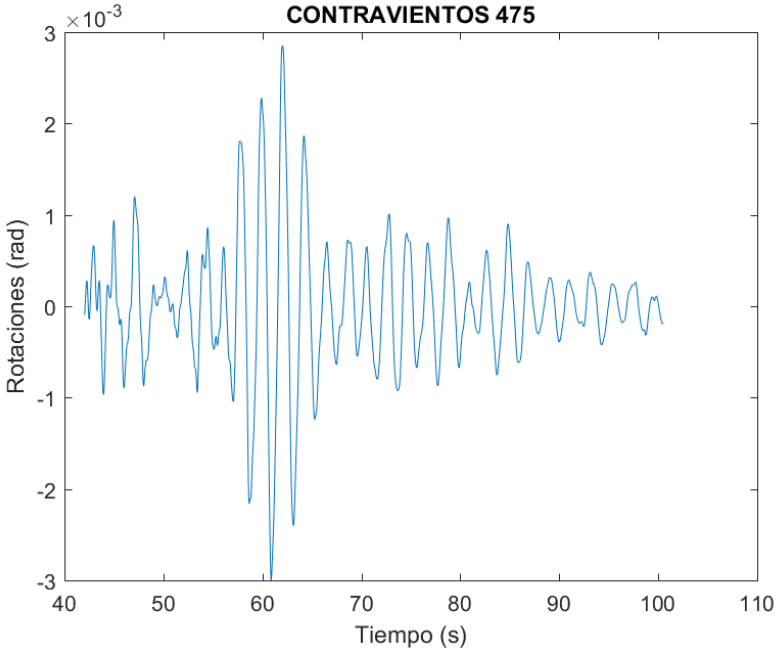


Figura 97. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S5- SV -MCC con factor de anclaje de 1.67.

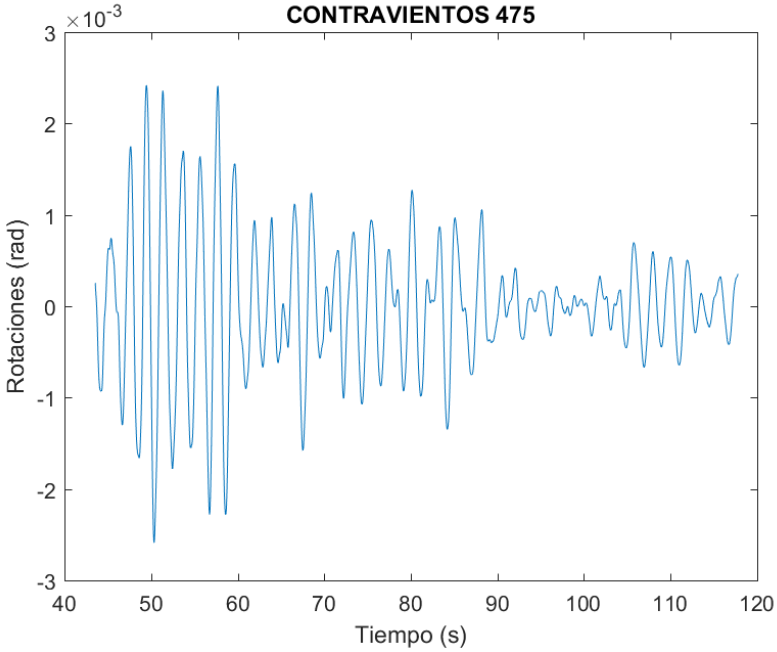


Figura 98. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S6- SV -MCC con factor de anclaje de 1.72.

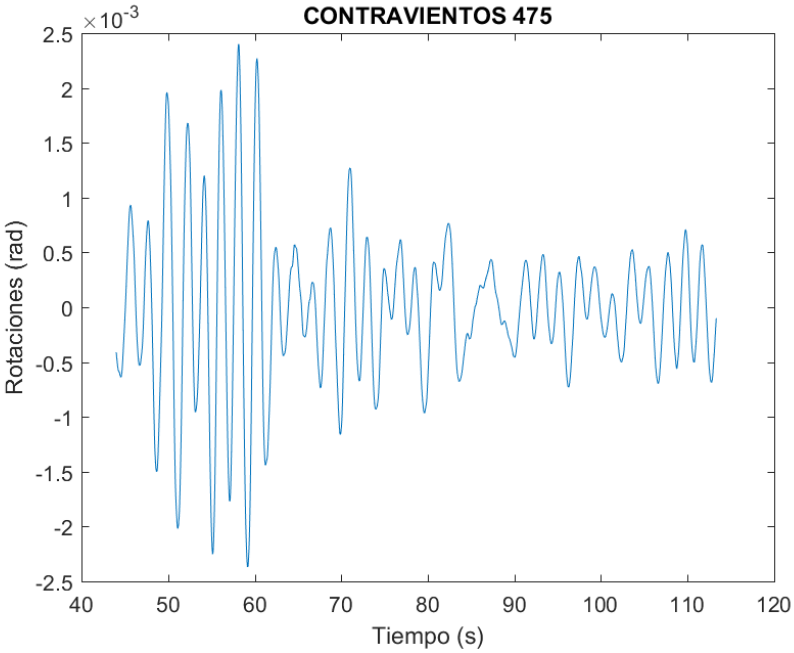


Figura 99. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S7- SV -MCC con factor de anclaje de 1.92.

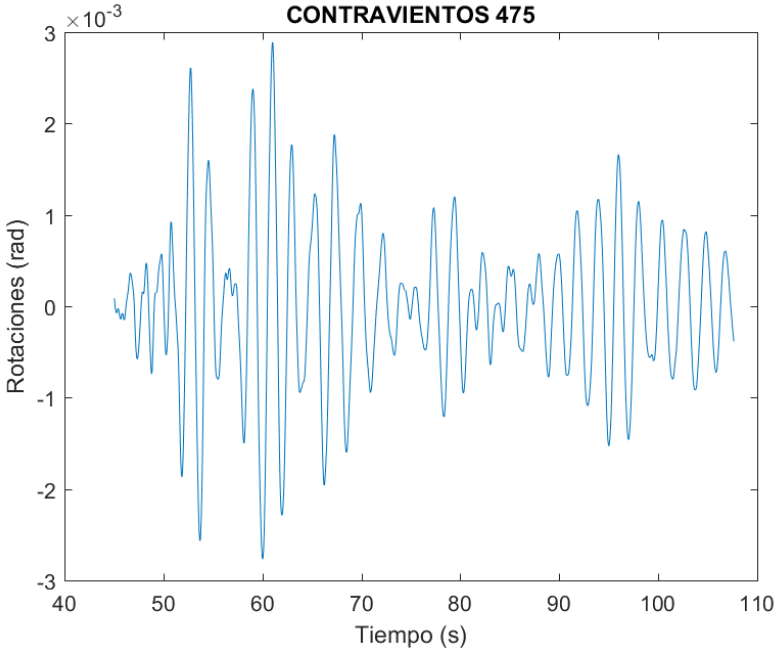


Figura 100. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S8- SV -MCC con factor de anclaje de 1.95.

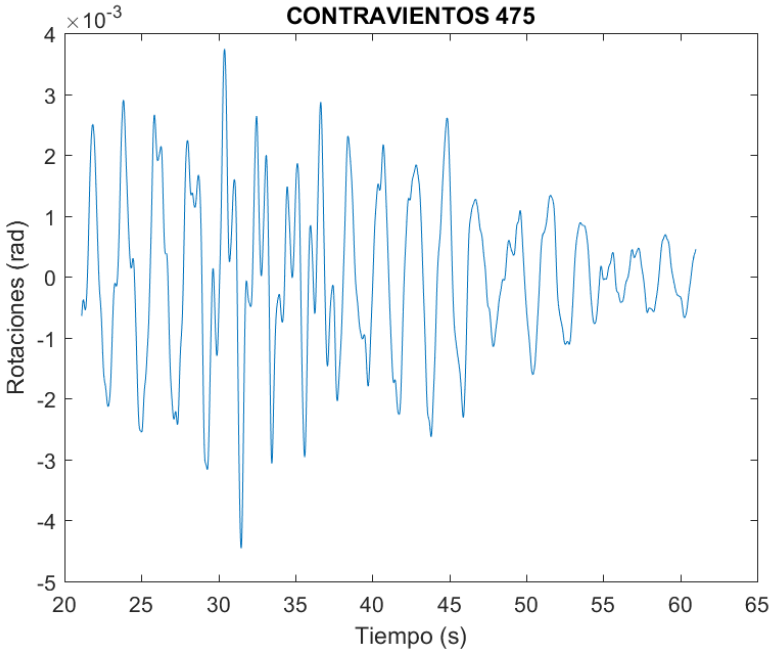


Figura 101. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S9- SV -MCC con factor de escala 2.02.

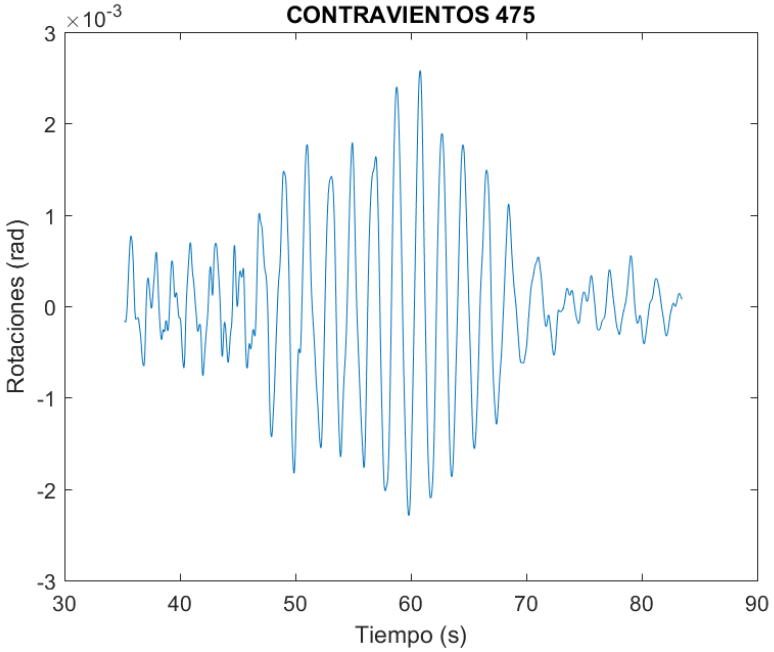


Figura 102. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S10- SV -MCC con factor de escala de 2.2.

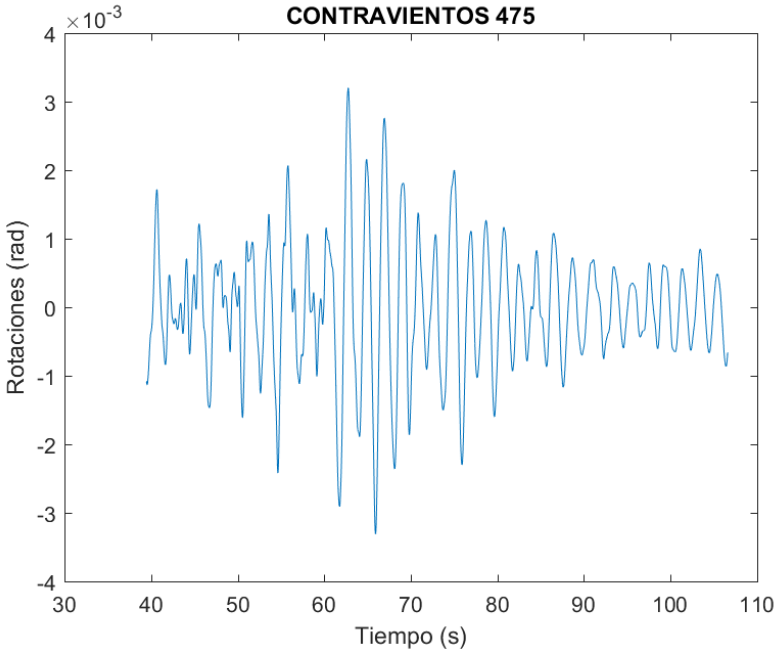


Figura 103. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos con contravientos en el sismo S11- SV -MCC con factor de escala de 2.28.

3.6.5.2 Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos Rígidos.

De la misma manera que en el punto anterior, se extrajeron los resultados para analizar el nivel de desempeño de marcos rígidos. De forma general se puede apreciar que las rotaciones se redujeron considerablemente con respecto al nivel de desempeño de ocupación inmediata, a pesar que los sismos para un periodo de 475 años son mayores que los de 75 años. Hablando propiamente de cada grafica se observa que el menor valor se presenta en la Figura 108 con una rotación de 0.00301 y en la Figura 110 se presenta el valor máximo para este caso con una rotación de 0.2342 radianes muy por encima de los demás valores máximos de cada gráfica. En las figuras 104, 105, 106, 107, 109, 111 y 112 presentan comportamientos muy similares se podría decir que se pueden tomar como valores promedios máximos para este nivel de desempeño ya que las gráficas presentan valores similares no mayores a 0.005 radianes.

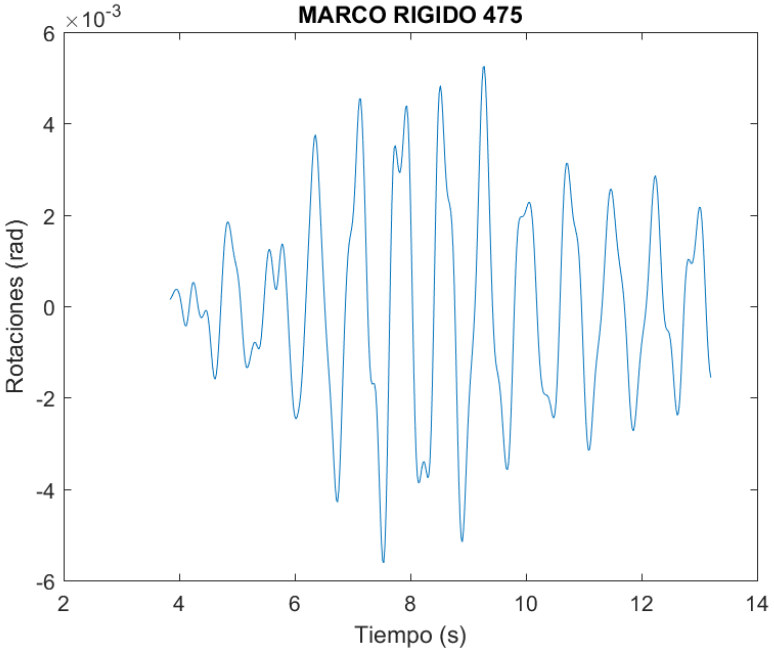


Figura 104. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de escala de 0.883.

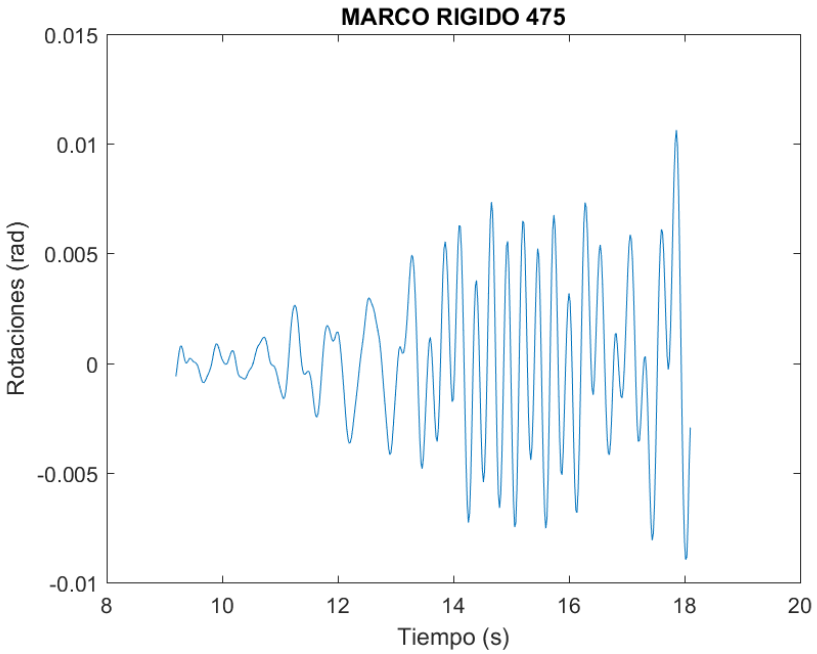


Figura 105. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S2- SV - MR con factor de escala de 0.903.

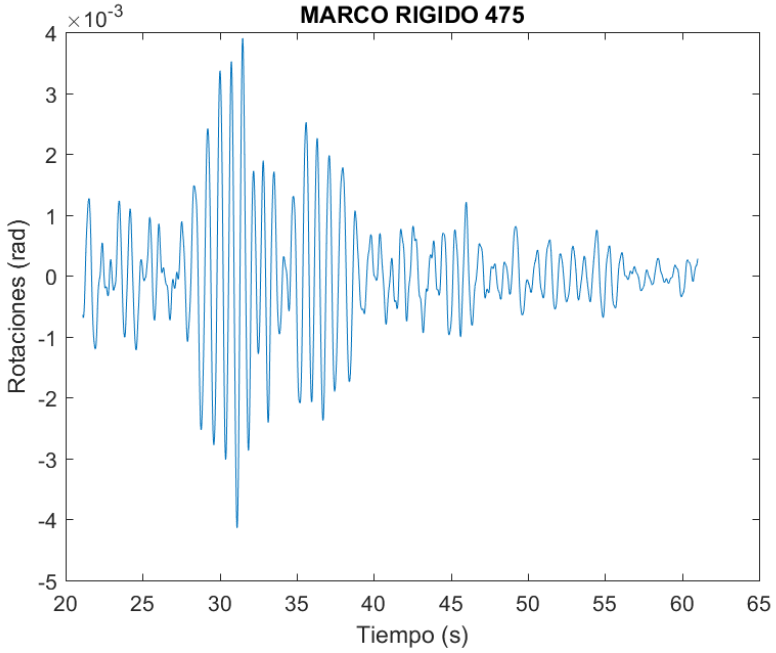


Figura 106. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S3- SV - MR con factor de escala de 1.6.

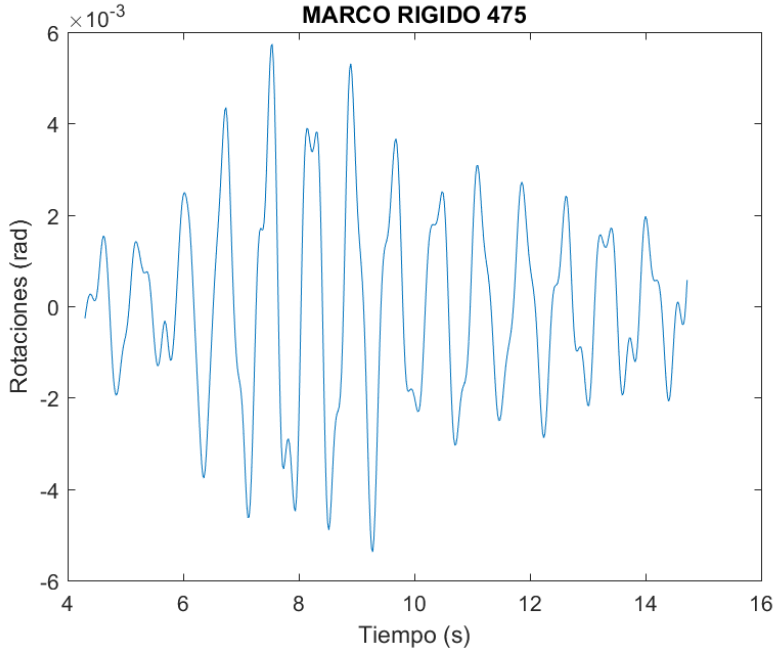


Figura 107. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S4- SV - MR con factor de escala de 1.8.

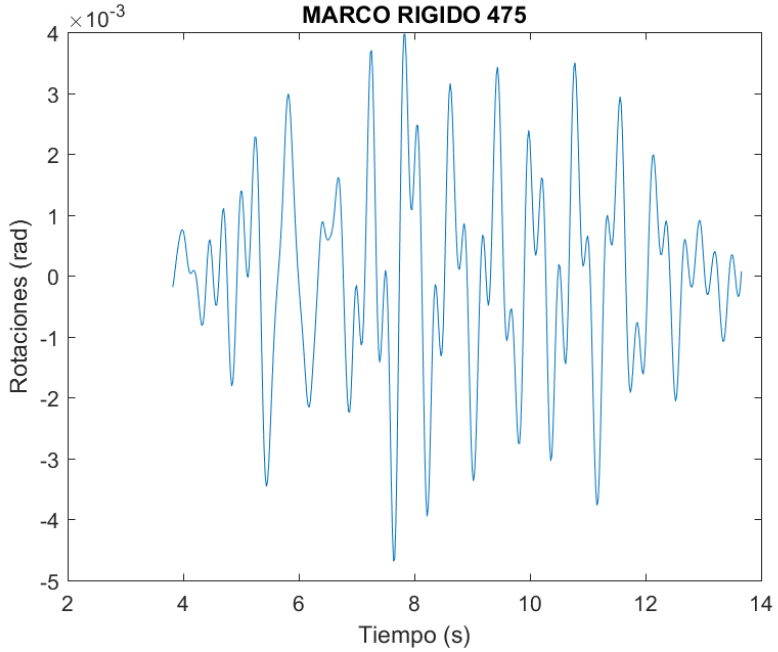


Figura 108. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S5- SV - MR con factor de escala de 1.15.

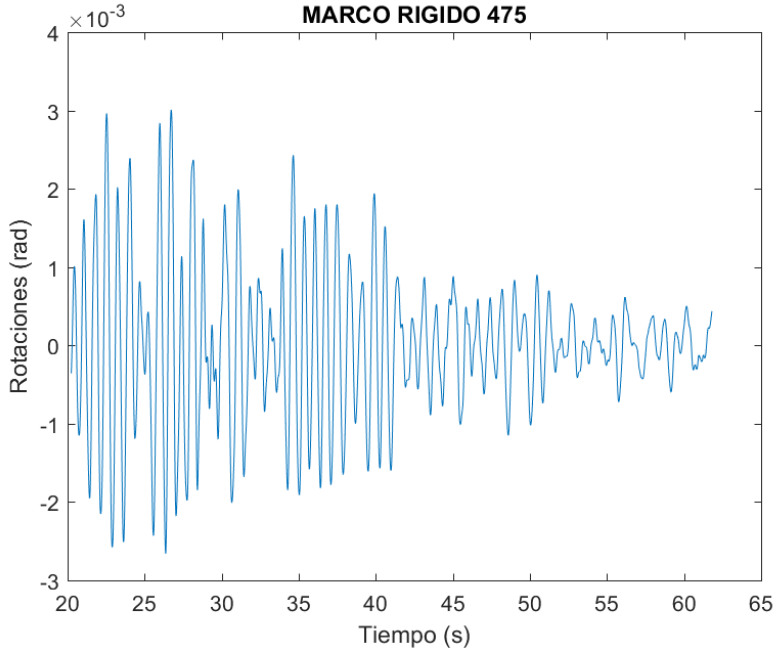


Figura 109. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S6- SV - MR con factor de escala de 1.23.

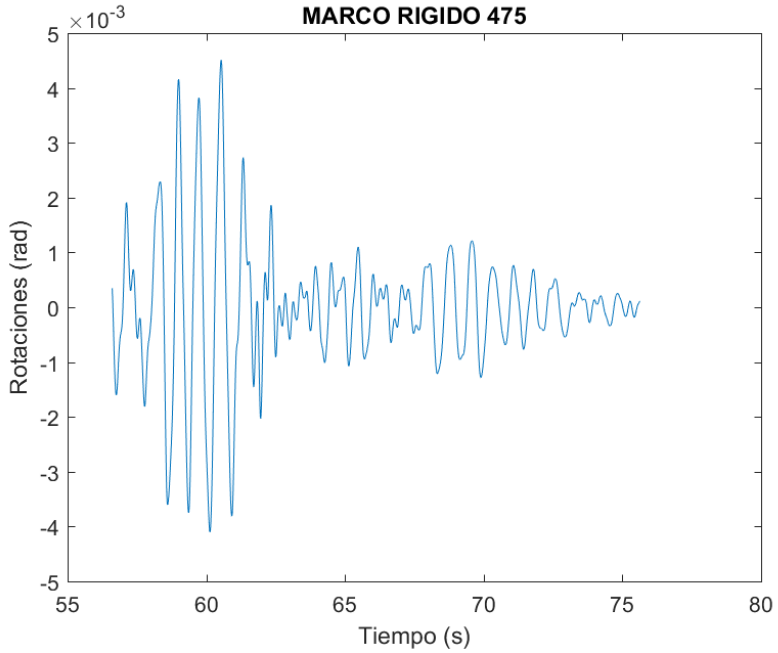


Figura 110. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S7- SV - MR con factor de escala de 1.28.

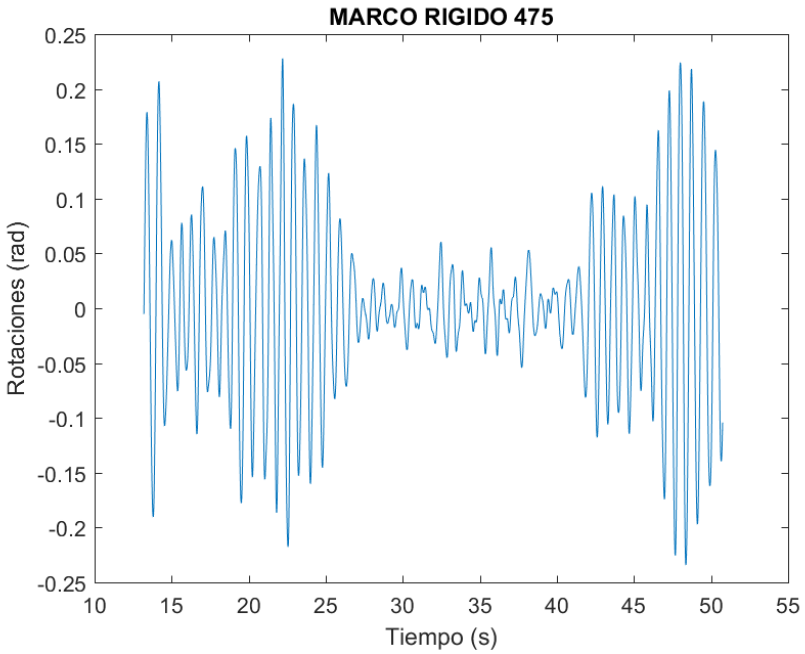


Figura 111. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S8- SV - MR con factor de escala de 1.36.

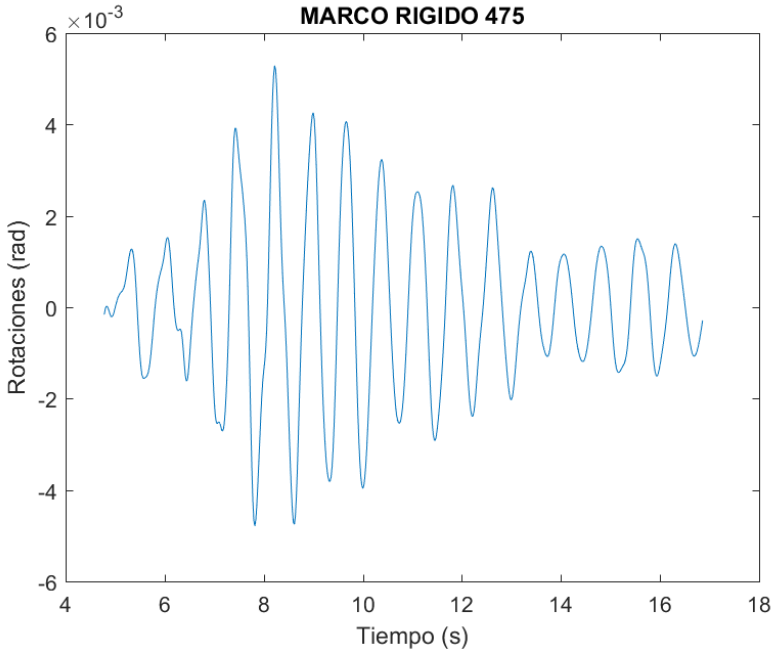


Figura 112. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S9- SV - MR con factor de escala de 1.68.

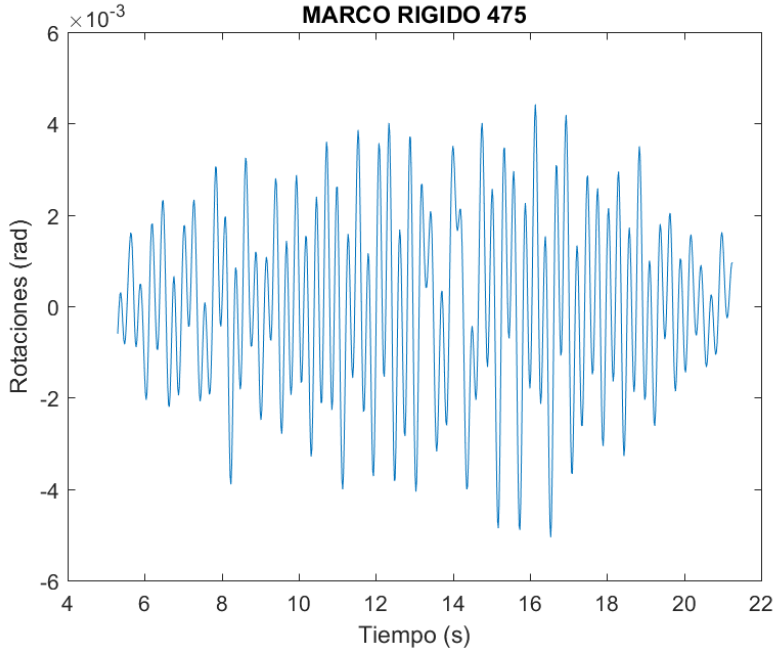


Figura 113. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S10- SV - MR con factor de escala de 2.01.

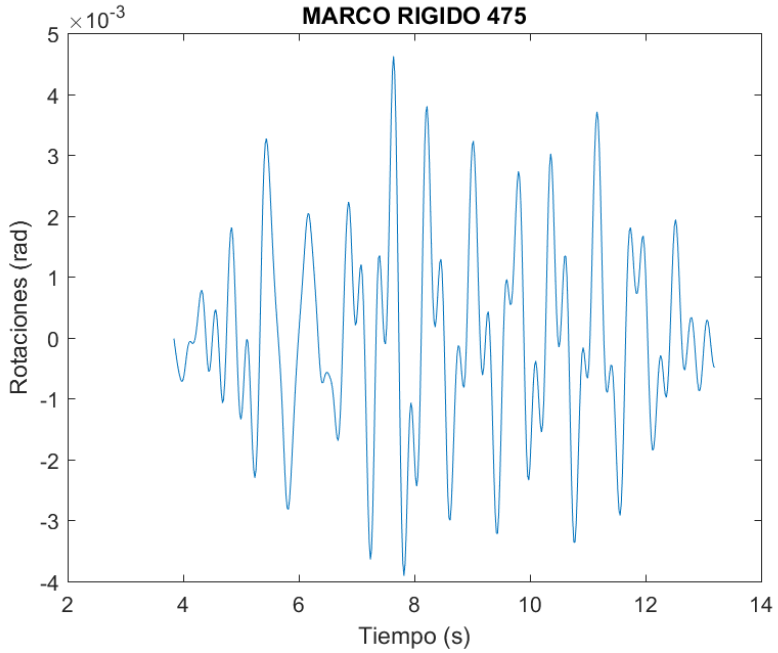


Figura 114. Rotaciones presentadas para nivel de seguridad de vida en marcos rígidos en el sismo S11- SV - MR con factor de escala de 2.4.

Tabla 12. Rotaciones máximas presentadas para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en radianes).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
SEGURIDAD DE VIDA			
SISMO	ROTACIÓN	SISMO	ROTACIÓN
SISMO 1	0.00236	SISMO 1	0.00562
SISMO 2	0.00262	SISMO 2	0.00462
SISMO 3	0.00262	SISMO 3	0.01063
SISMO 4	0.00342	SISMO 4	0.00414
SISMO 5	0.003	SISMO 5	0.00574
SISMO 6	0.0024	SISMO 6	0.00469
SISMO 7	0.00259	SISMO 7	0.00301
SISMO 8	0.00446	SISMO 8	0.00451
SISMO 9	0.00289	SISMO 9	0.23429
SISMO 10	0.00331	SISMO 10	0.00529
SISMO 11	0.00258	SISMO 11	0.00506
PROMEDIO	**0.00293**	**PROMEDIO**	**0.02615**

3.6.6 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso.

3.6.6.1 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos con Contraviento.

Para concluir con el análisis de rotaciones para los tres niveles de desempeño, se mostrarán los resultados para el nivel de prevención al colapso en contraviento tipo Chevrón. En la figura 73 se puede observar que es la gráfica que representa las rotaciones más pequeñas de los 11 sismos representativos, alcanzando valores mayores a 0.002 radianes. En la figuras 74, 75, 76, 77, 79, 80, 81, 82 y 83 se puede observar que los valores máximos son muy similares en todas ellas, los cuales oscilan entre los 0.004 y 0.005 radianes. Por ultimo en la figura 78 se puede ver que presenta las rotaciones máximas de los 11 sismos, alcanzado valores de hasta 0.0073 radianes.

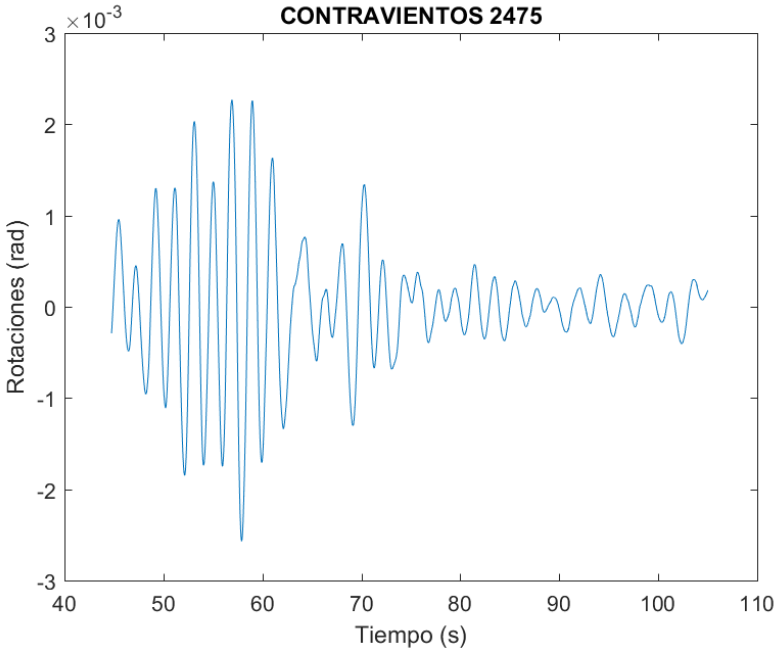


Figura 115. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de escala de 2.16.

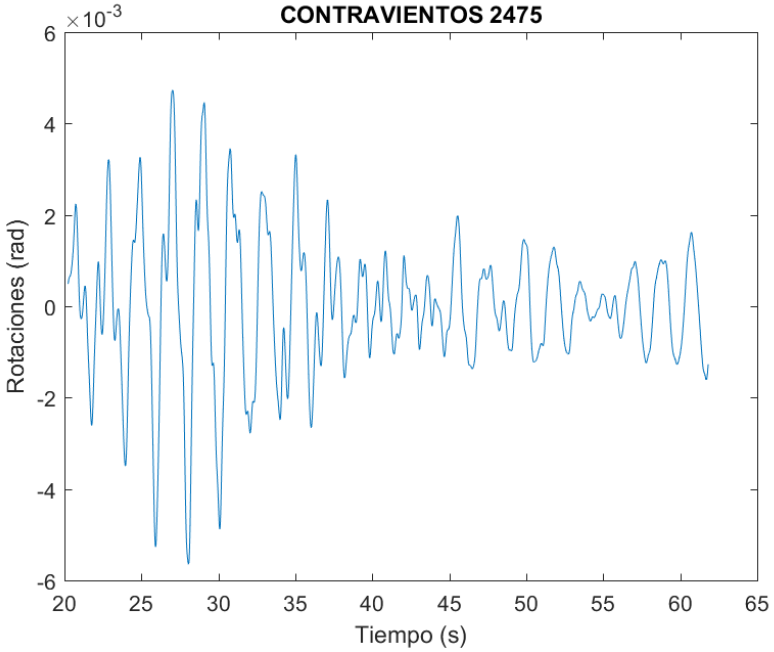


Figura 116. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S2- PC -MCC con factor de escala de 2.48.

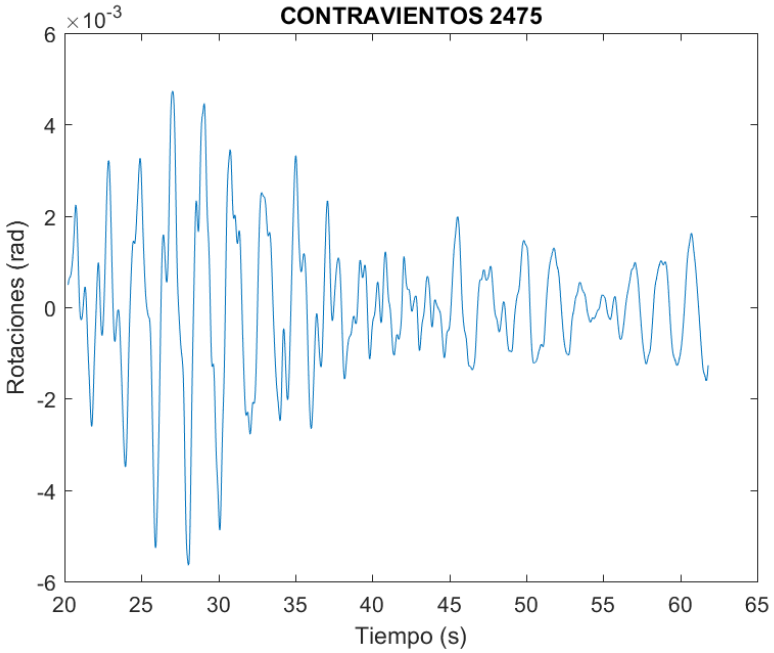


Figura 117. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S3- PC -MCC con factor de escala de 2.53.

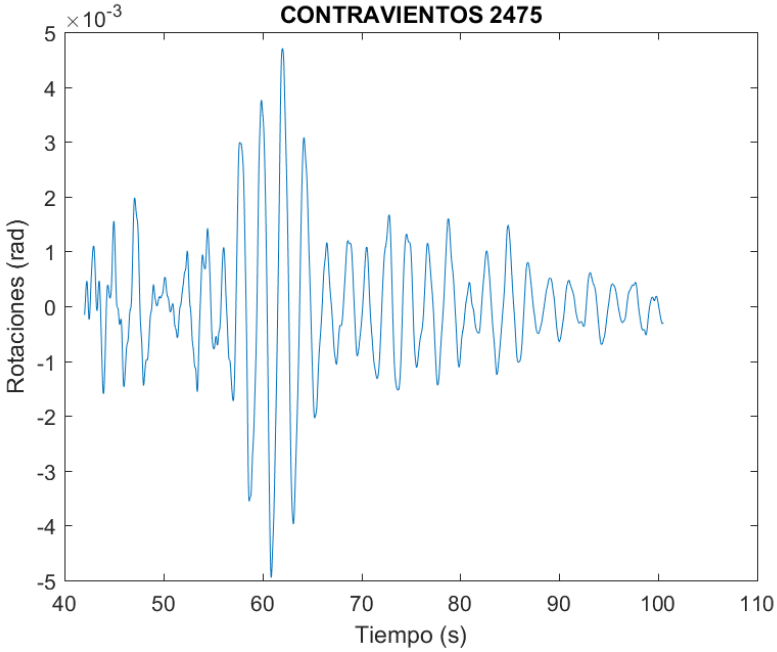


Figura 118. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S4- PC -MCC con factor de escala de 2.53B.

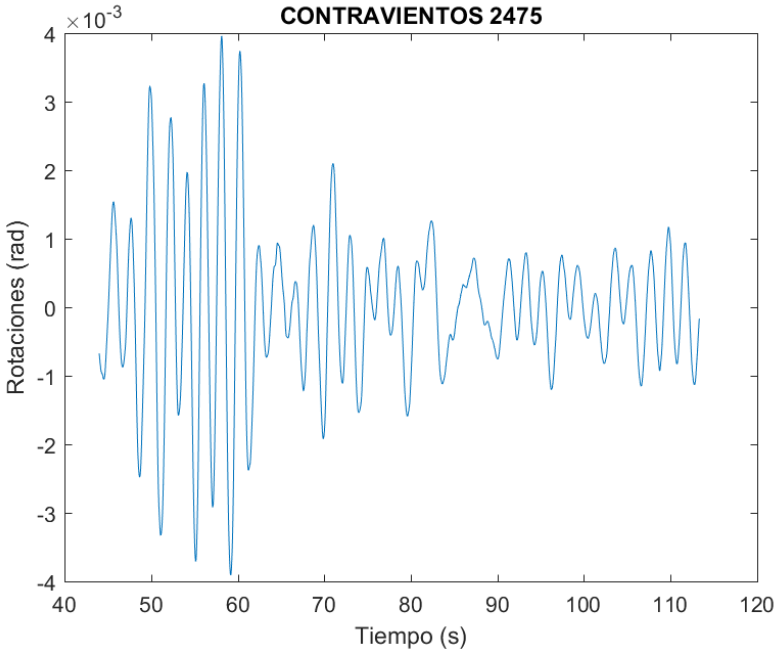


Figura 119. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S5- PC -MCC con factor de escala de 2.64.

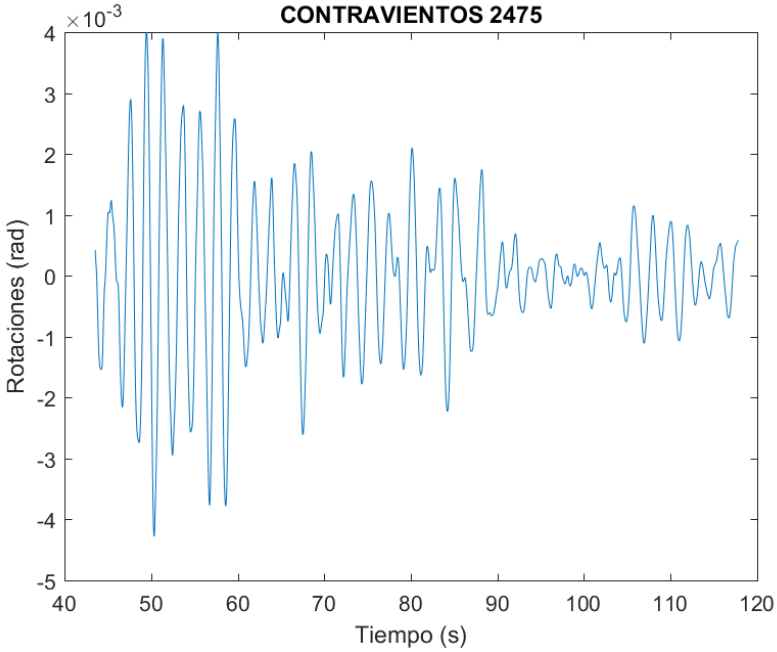


Figura 120. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S6- PC -MCC con factor de escala de 2.73.

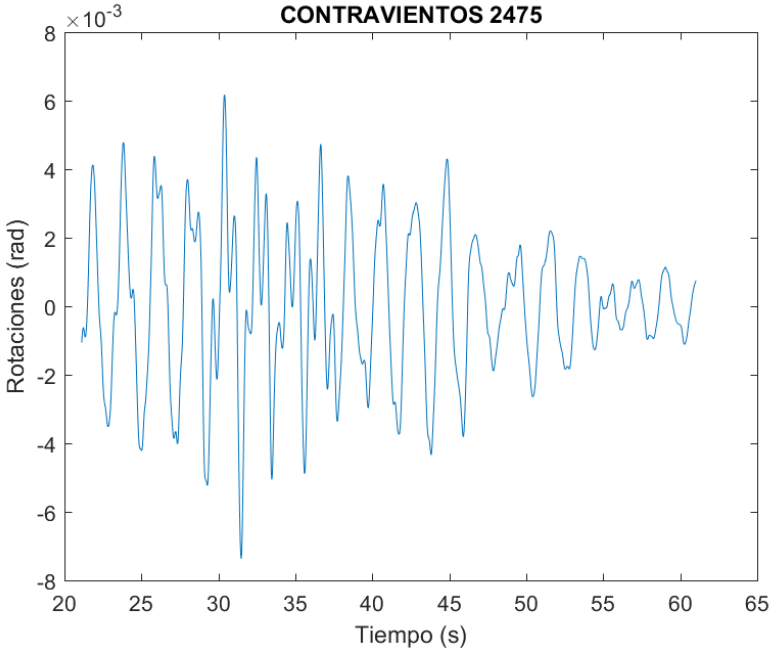


Figura 121. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S7- PC -MCC con factor de escala de 3.04.

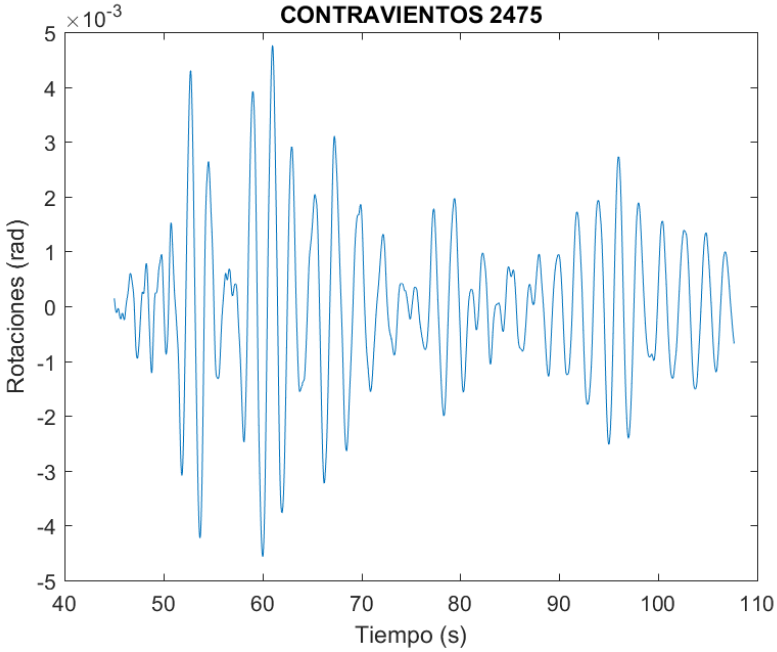


Figura 122. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S8- PC -MCC con factor de escala de 3.09.

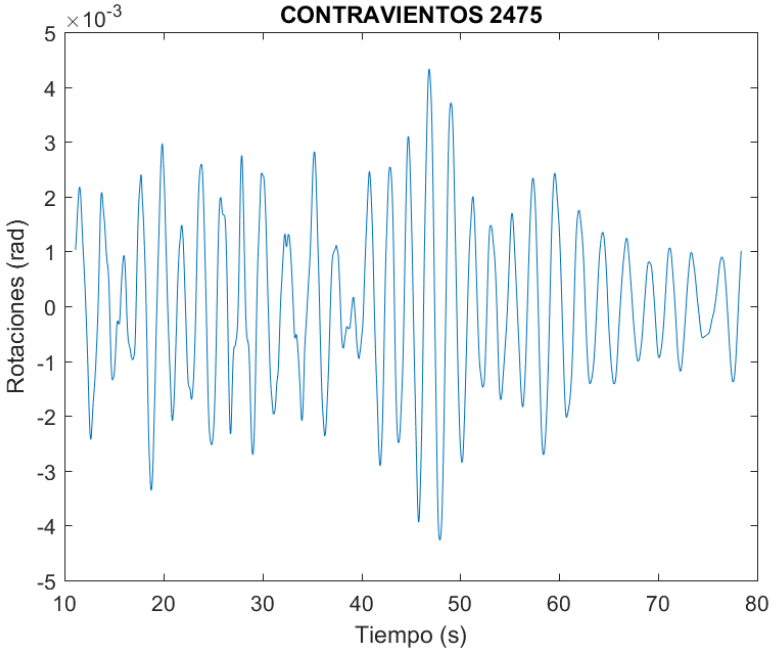


Figura 123. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S9- PC -MCC con factor de escala de 3.19.

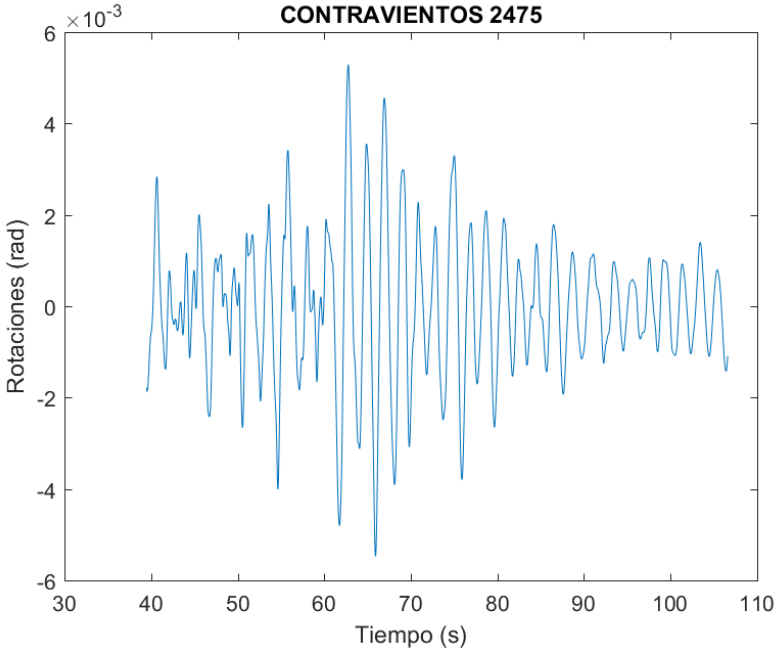


Figura 124. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S10- PC -MCC con factor de escala de 3.49.

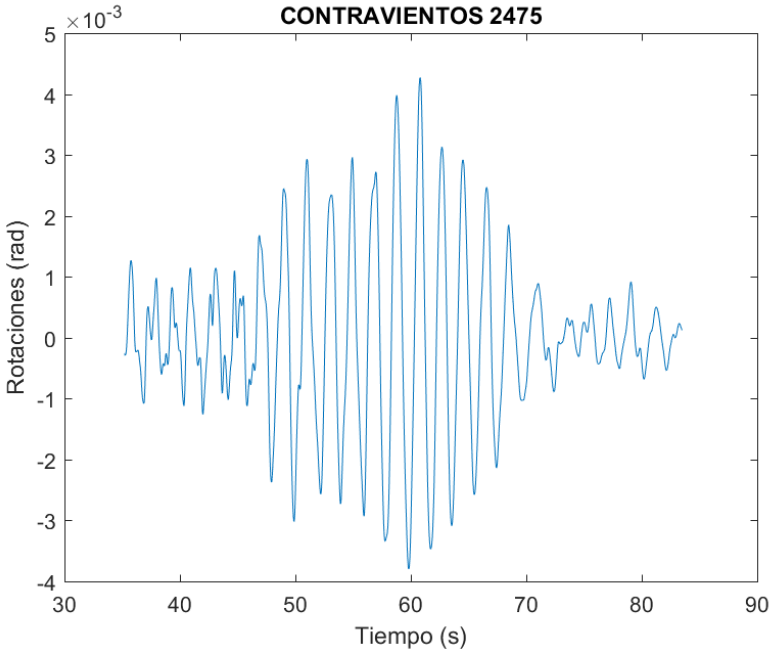


Figura 125. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento tipo Chevrón en el sismo S11- PC -MCC con factor de escala de 3.61.

3.6.6.2 Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos Rígidos.

Continuando con las rotaciones para un nivel de desempeño de prevención al colapso, pero ahora para marcos rígidos, se puede apreciar el notable incremento que existe en las figuras de la 126 a la 135 con respecto a las mostradas en el apartado anterior. Hablando más específico del comportamiento de cada una de ellas podemos ver que en la figura 132 presenta la gráfica la rotación más pequeña de los 11 sismos mostrados en la tabla 7, con un valor de 0.0047 radianes, valor similar al máximo presentado en el marco con contravientos. En las figuras 127, 129, 130, 133, 134, 135 se parecía que los valores máximos de las gráficas oscilan entre los 0.00654 y 0.01154, por lo que se puede decir que un valor promedio seria de 0.0085 radianes aproximadamente. En las figuras 128 y 131 se presentaros los valores de rotaciones más grandes para este nivel de desempeño alcanzando valores de hasta 0.22 radianes, estos resultados es causa de que las conexiones están transmitiendo un momento de mayor magnitud.

Para concluir con el nivel de desempeño de prevención al colapso y de esta manera con el apartado de rotaciones, se puede observar en la tabla 13 que las rotaciones máximas promedio de los 11 sismos son de 0.00476 radianes para marcos con contravientos y 0.02758 para marco rígido, es notable la diferencia que hay entre ambos sistemas, las presentadas en el marco rígido son seis veces mayores que las de marcos con contraviento tipo Chevrón.

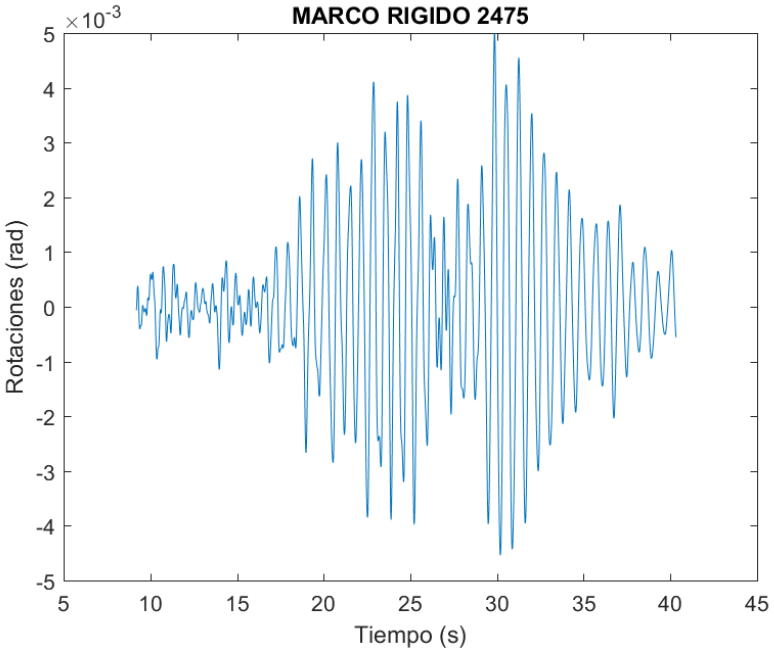


Figura 126. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.49.

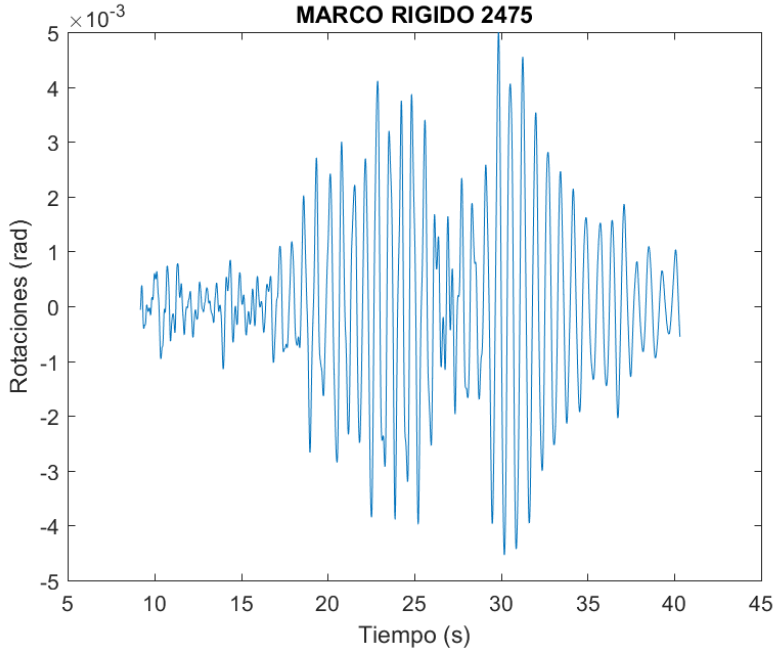


Figura 127. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S3- PC - MR con factor de escala de 1.9.

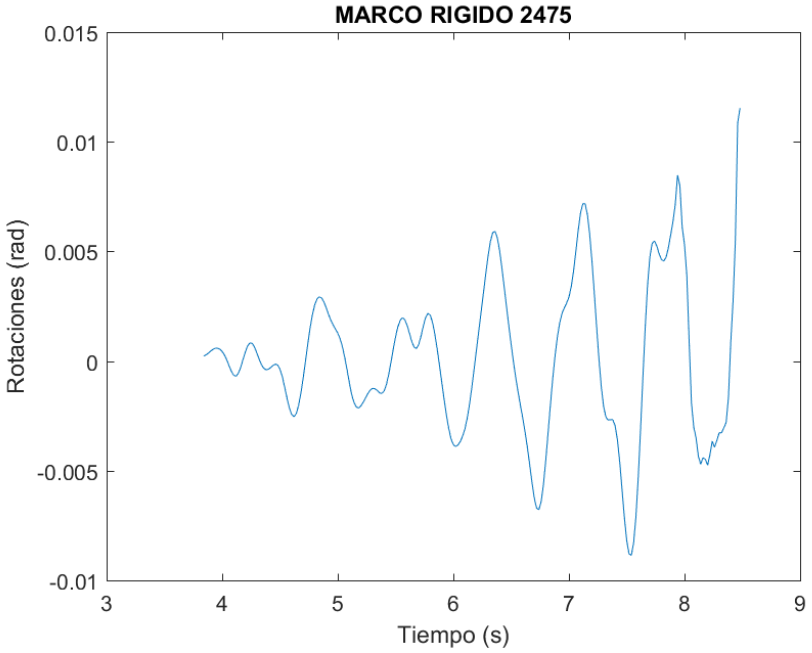


Figura 128. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 2.03.

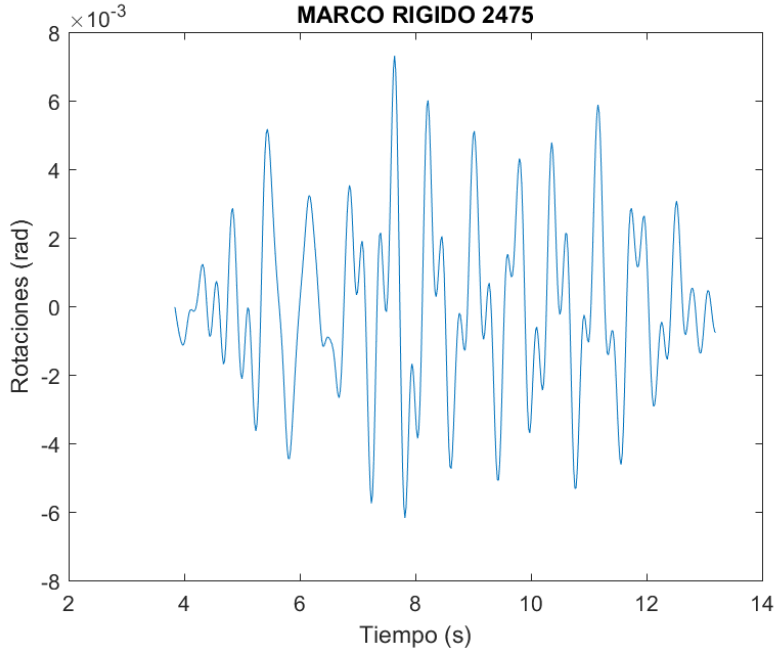


Figura 129. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11.

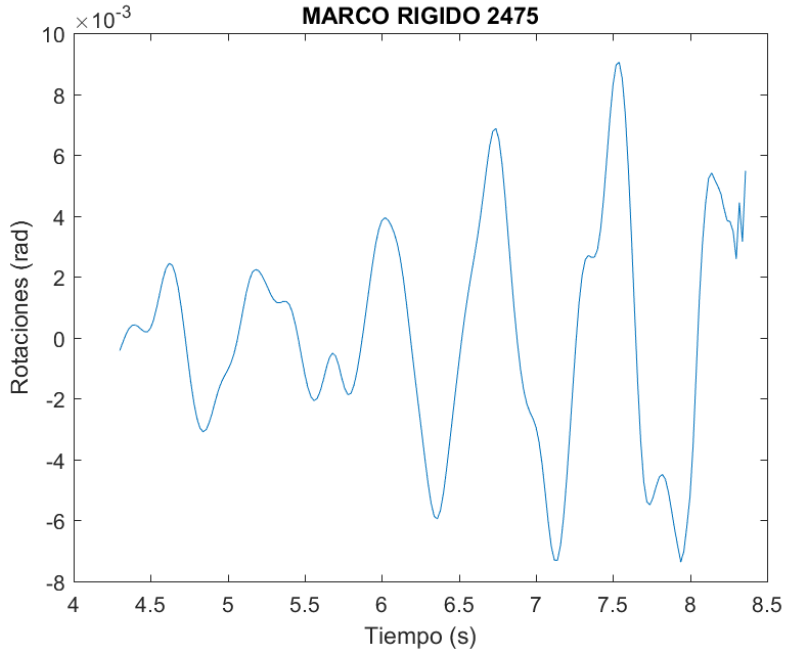


Figura 130. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25.

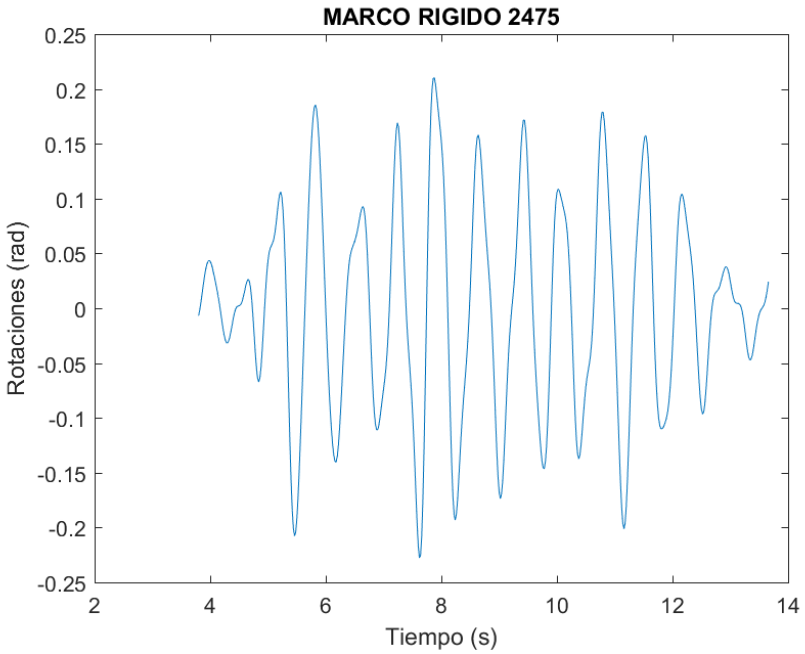


Figura 131. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7- PC - MR con factor de escala de 2.64.

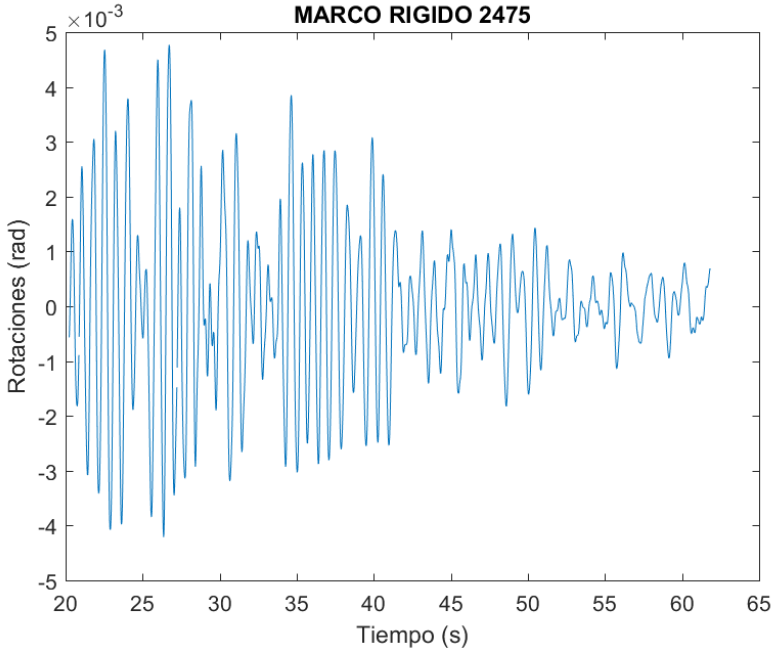


Figura 132. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77.

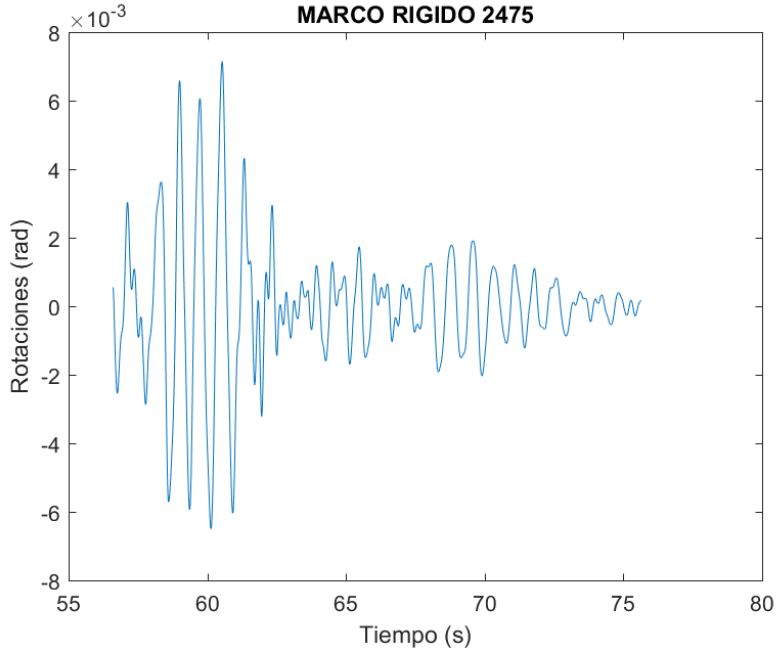


Figura 133. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97.

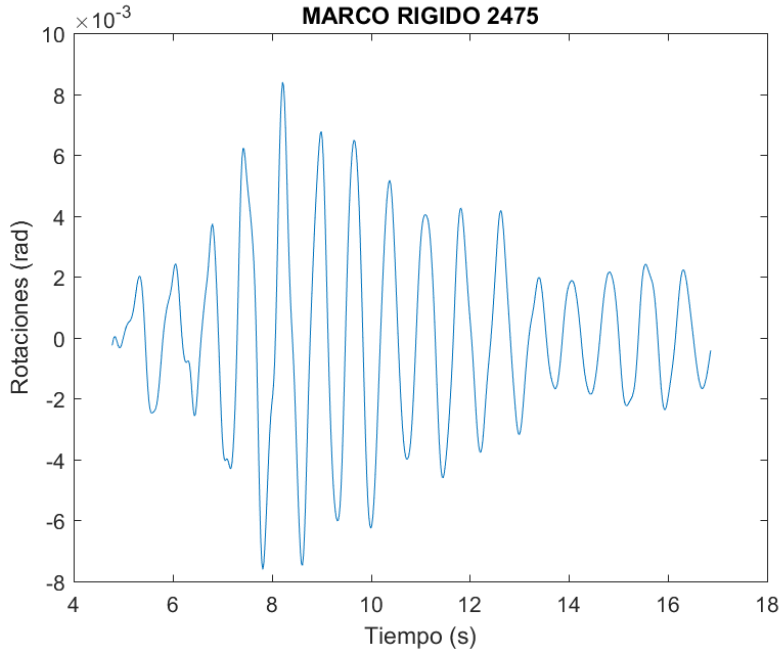


Figura 134. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32.

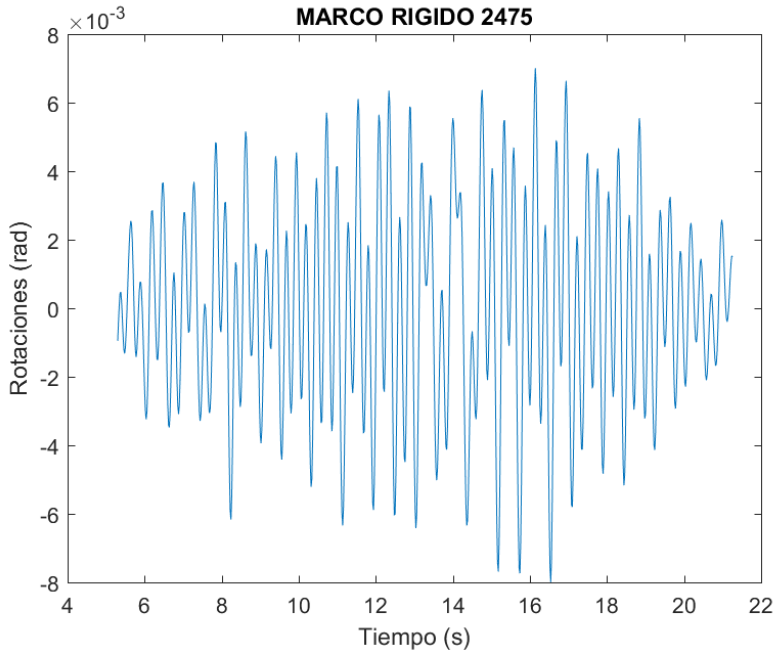


Figura 135. Rotaciones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97.

Tabla 13. Rotaciones máximas presentadas para nivel de prevención de colapso en sistemas con contraviento Cheveón y marco rígido (en radianes).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
PREVEMCIÓN AL COLAPSO			
SISMO	ROTACIÓN	SISMO	ROTACIÓN
SISMO 1	0.00257	SISMO 1	0.005
SISMO 2	0.00565	SISMO 2	0.00654
SISMO 3	0.00495	SISMO 3	0.01154
SISMO 4	0.00396	SISMO 4	0.00731
SISMO 5	0.00428	SISMO 5	0.00905
SISMO 6	0.00737	SISMO 6	0.22762
SISMO 7	0.00476	SISMO 7	0.00477
SISMO 8	0.00433	SISMO 8	0.008
SISMO 9	0.00547	SISMO 9	0.00714
SISMO 10	0.00427	SISMO 10	0.00839
SISMO 11	0.00476	SISMO 11	0.008
PROMEDIO	**0.00476**	**PROMEDIO**	**0.02758**

3.6.7 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata.

3.6.7.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos con Contravientos.

Para concluir con el análisis de resultados se mostraran los valores obtenidos de las distorsiones de los marcos típicos, marco con contravientos tipo Chevrón y resistente a momento para los tres diferentes niveles de desempeño que se han estado hablando anteriormente. Se comienza mostrando las distorsiones presentadas en los marcos con contraviento tipo Chevrón, de manera específica se puede decir que el valor promedio de las gráficas mostrados en las figuras es de 0.0153 m y que el valor mayor y menor de las distorsiones máximas absolutas es de 0.010 m y 0.0245 m, se pueden ver en la figura 182 y 181. Las figuras 179 y 180 muestran valores máximos de 0.015 m, si observamos la gráfica 183 se puede observar el mismo comportamiento presentado anteriormente, explicado en las variables pasadas para este mismo nivel de desempeño. En la figura 184 a la 189 se puede ver que las aceleraciones de los sismos son más variables, generando esta agresividad en las gráficas de distorsiones, su valor máximo son de 0.015 m aproximadamente. De forma general si revisamos la tabla 14 se puede ver que los valores de las distorsiones máximas son menores que 0.0245, valor permisible que se obtiene multiplicando 0.007 por la altura del entrepiso, dicho valor se extrajo de la tabla de desplazamientos permisibles que establece la FEMA-SAC (2000), por lo que se puede concluir que el diseño de marco con contraviento presenta un buen nivel de desempeño para ocupación inmediata.

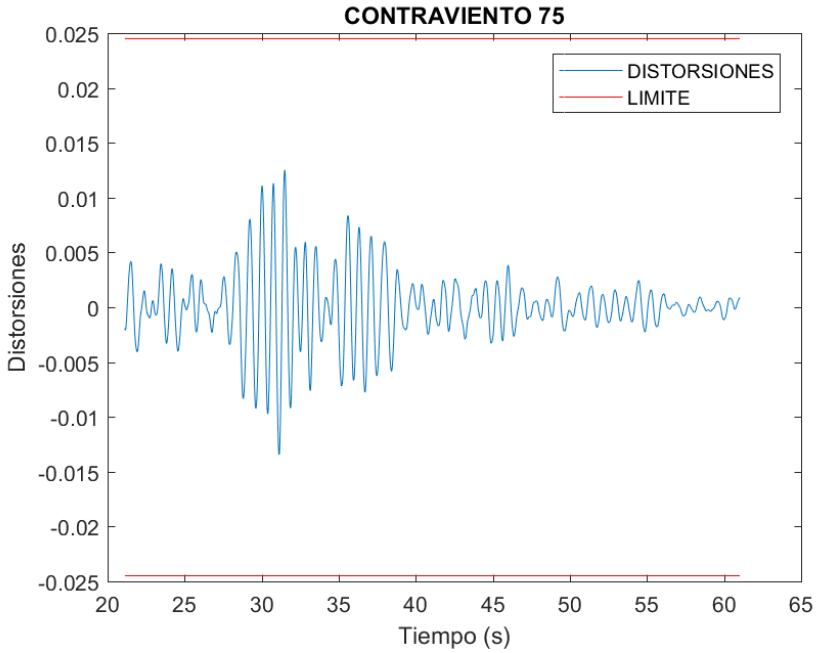


Figura 136. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805.

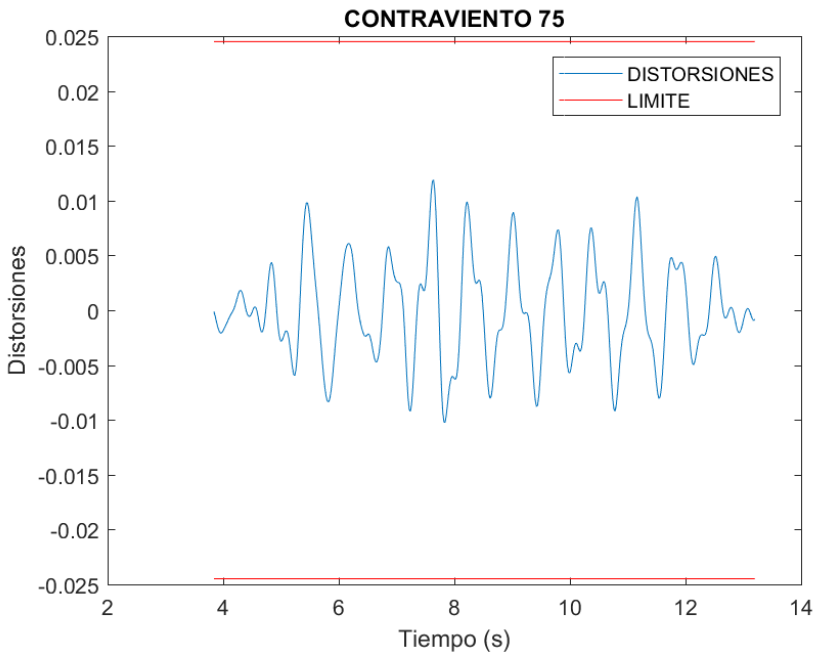


Figura 137. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821.

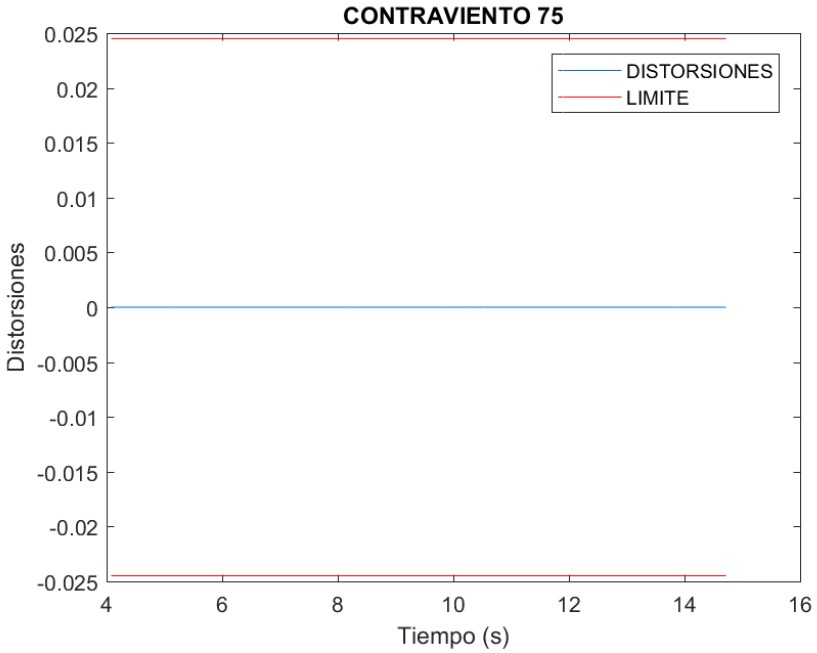


Figura 138. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822.

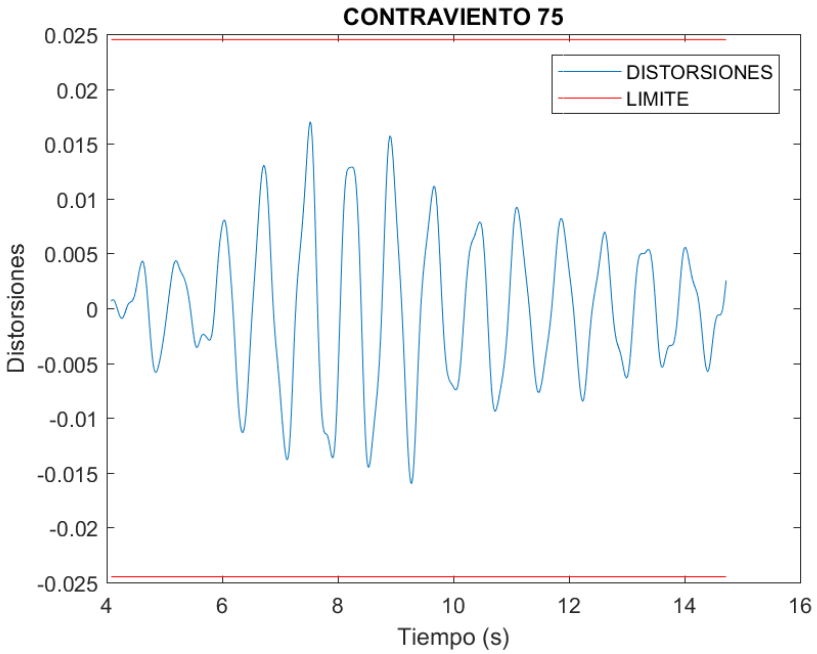


Figura 139. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856.

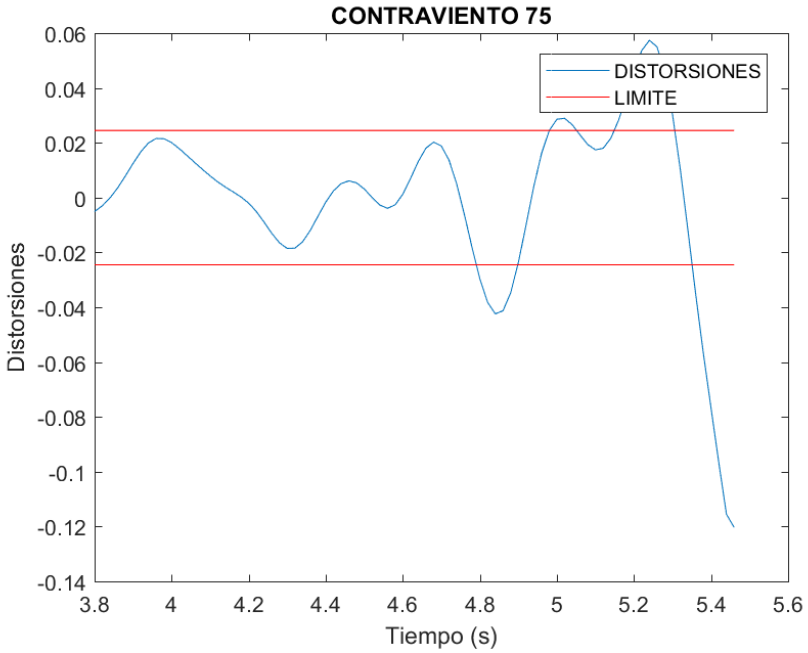


Figura 140. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886.

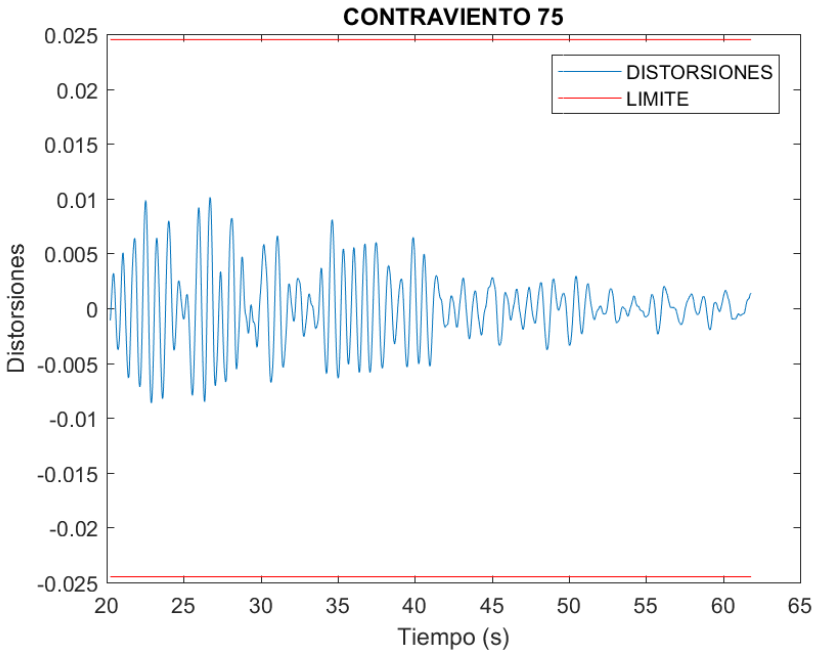


Figura 141. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985.

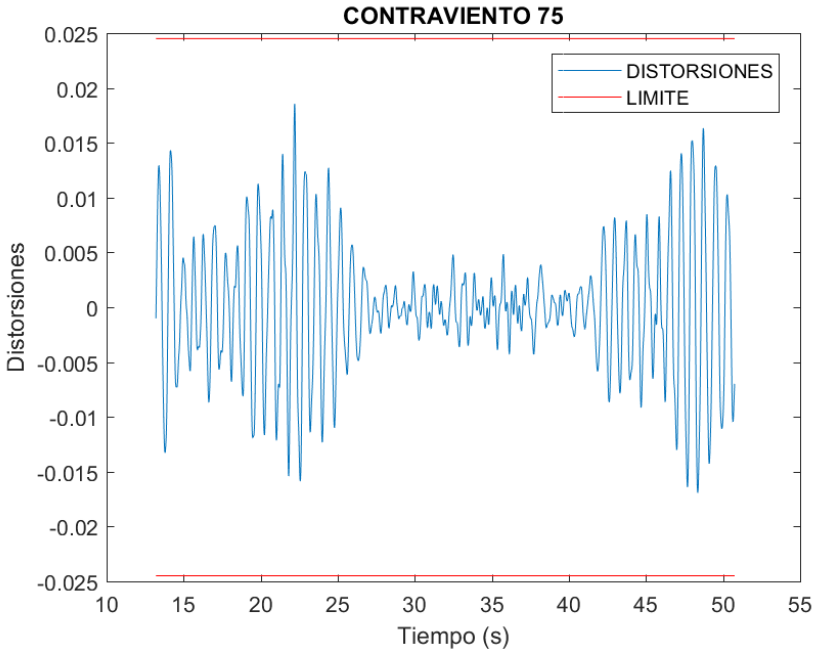


Figura 142. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0.

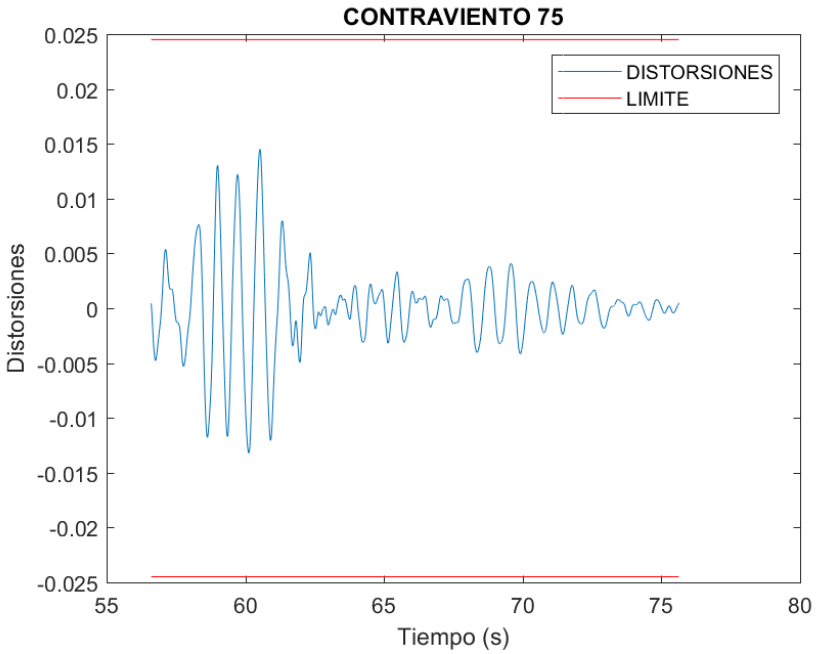


Figura 143. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04.

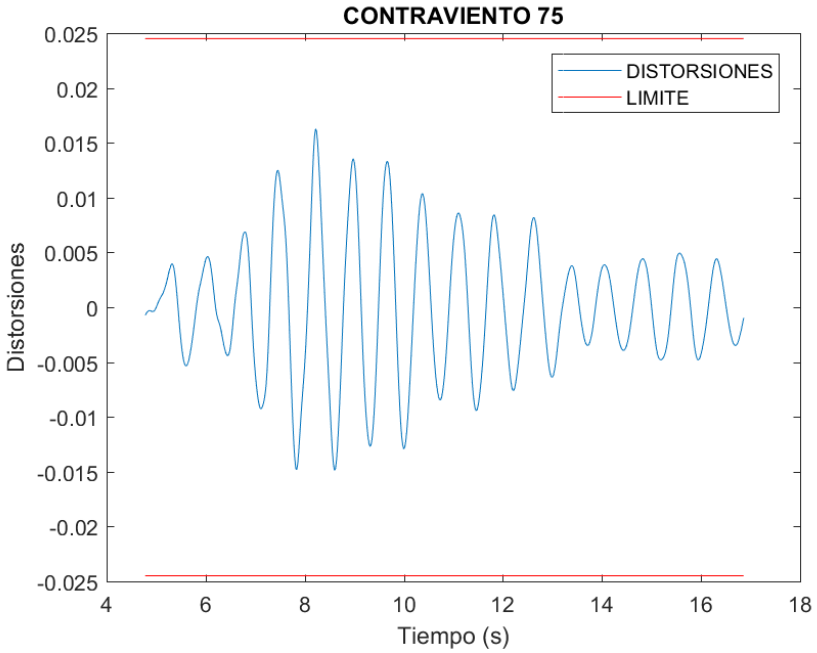


Figura 144. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13.

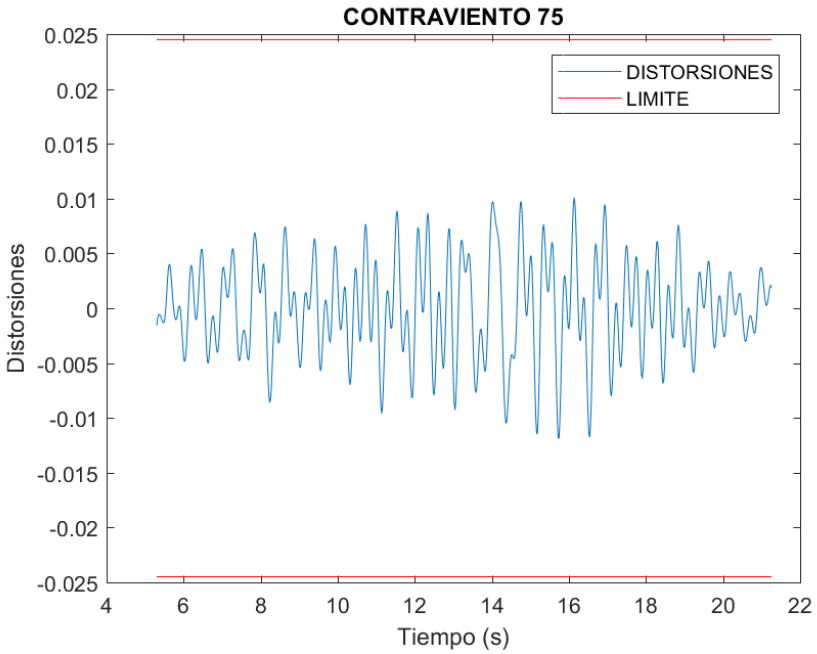


Figura 145. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17.

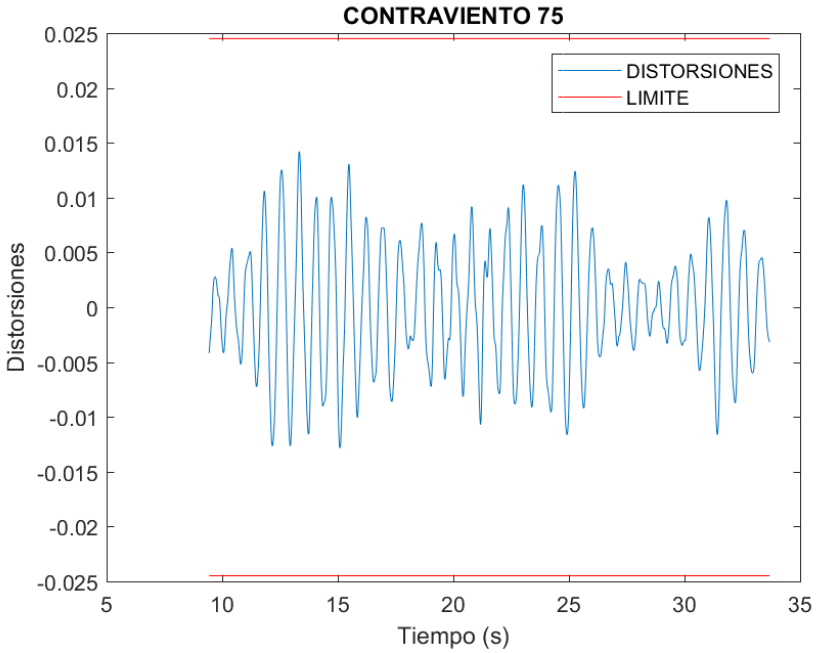


Figura 146. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18.

3.6.7.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata para Marcos Rígidos.

Al igual que para las demás variables, se obtuvieron los resultados de distorsiones para ambos marcos típicos con el fin de poder ser comparados y tener más fundamentos para concluir que sistema estructural presenta un mejor comportamiento estructural bajo cargas sísmicas. En general se puede observar que la figura 147 a la 157 todas las gráficas sobrepasan el estado limite permisible. Como en los puntos anteriores se describen el mínimo y mayor valor obtenido en las distorsiones máximas de los 11 sismos mostrados en la tabla 3, con valores de 0.034 y 0.054 m presentados en la figura 148 y 156. El valor promedio de las distorsiones máximas absolutas es de 0.0403 > 0.024 m, valor permisible por la FEMA. Si comparamos este valor promedio con el valor promedio del sistema de contravientos mostrado en la tabla 14 se puede apreciar que el del marco resistente a momento es 2.5 veces mayor al de contravientos. Por lo que se puede concluir que para controlar las distorsiones en edificios es indispensable implementar contravientos tipo chevrón y de esta manera se garantiza que cumpla con el nivel de desempeño de prevención al colapso.

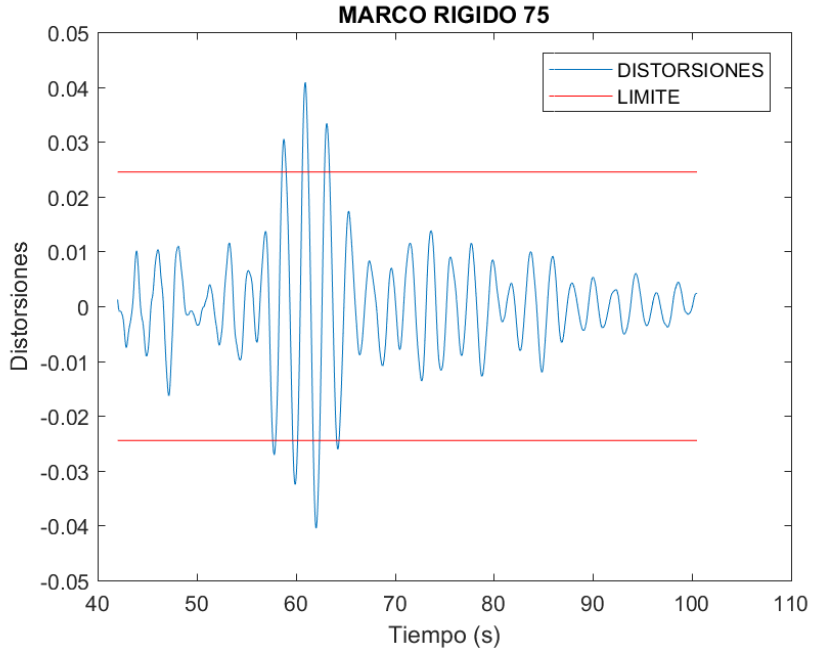


Figura 147. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593.

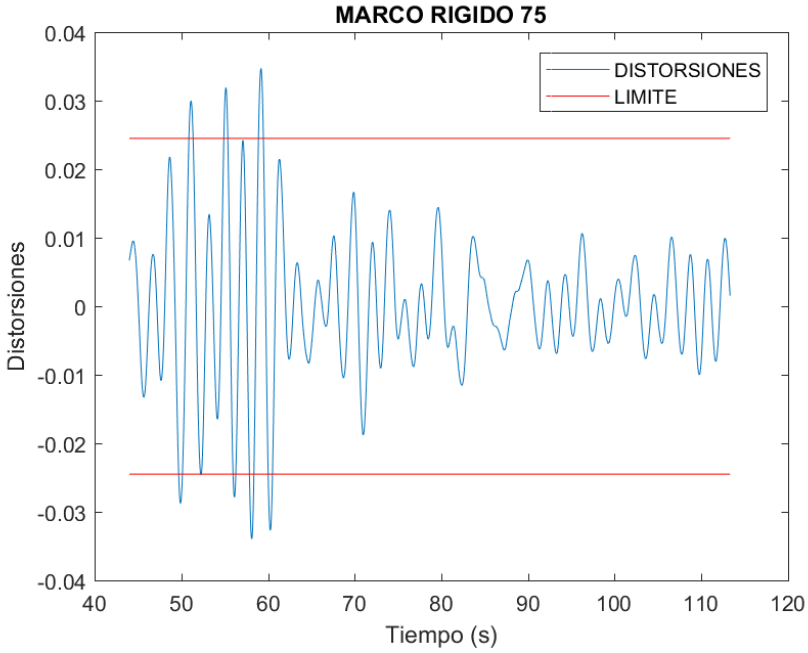


Figura 148. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618.

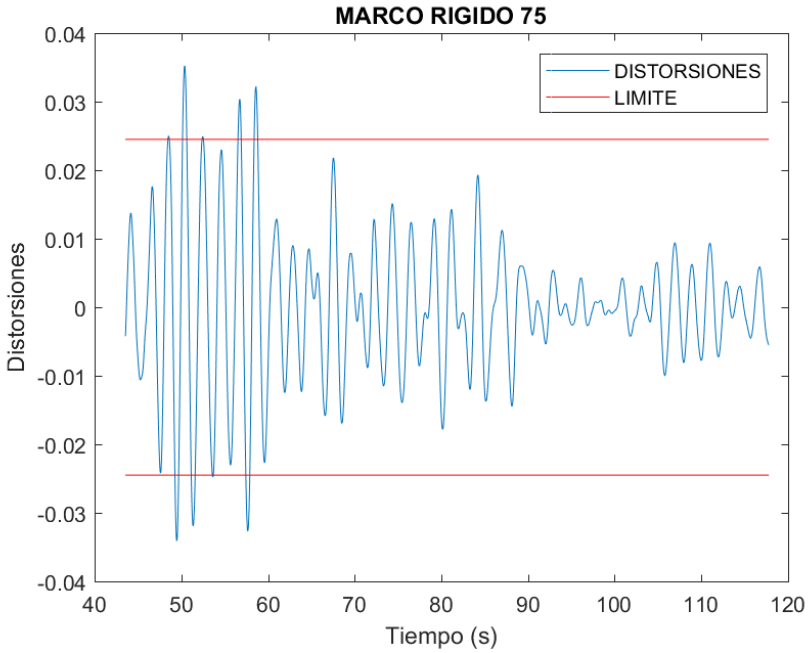


Figura 149. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S3-OI- MR con factor de escala de 0.659.

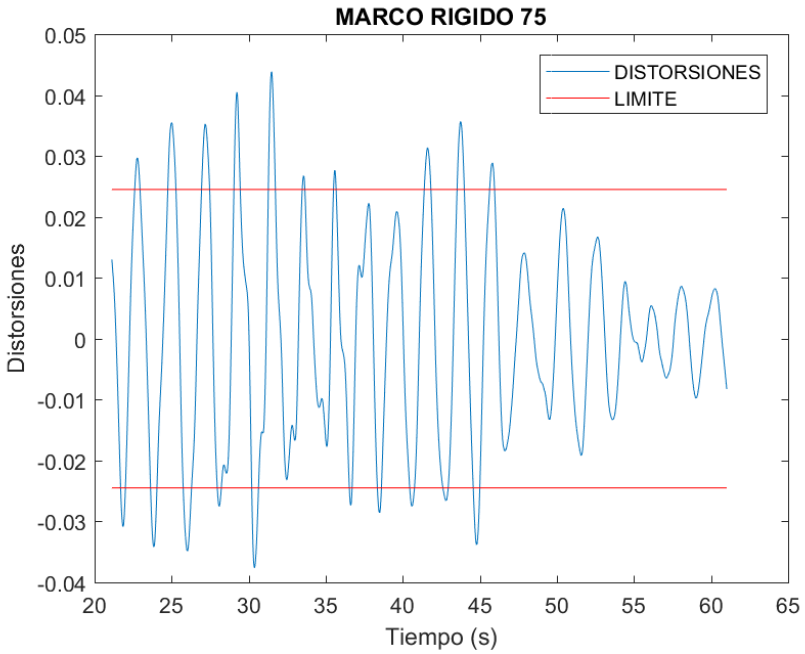


Figura 150. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S4-OI- MR con factor de escala de 0.771.

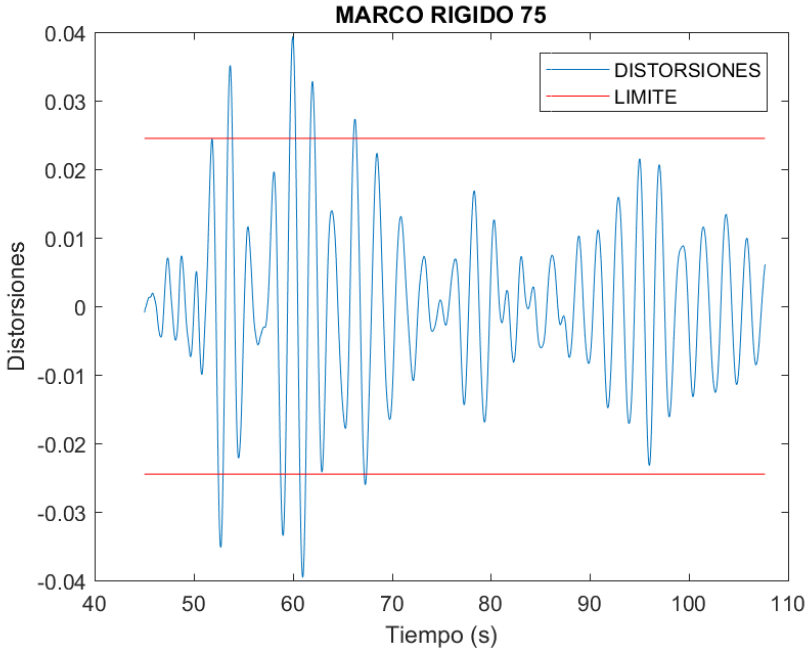


Figura 151. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S5-OI- MR con factor de escala de 0.812.

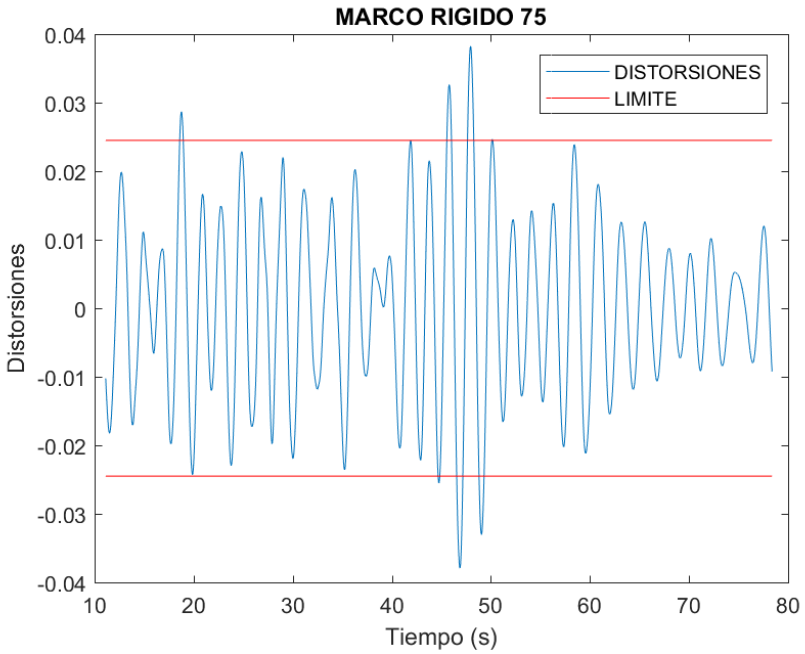


Figura 152. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S6-OI- MR con factor de escala de 0.869.

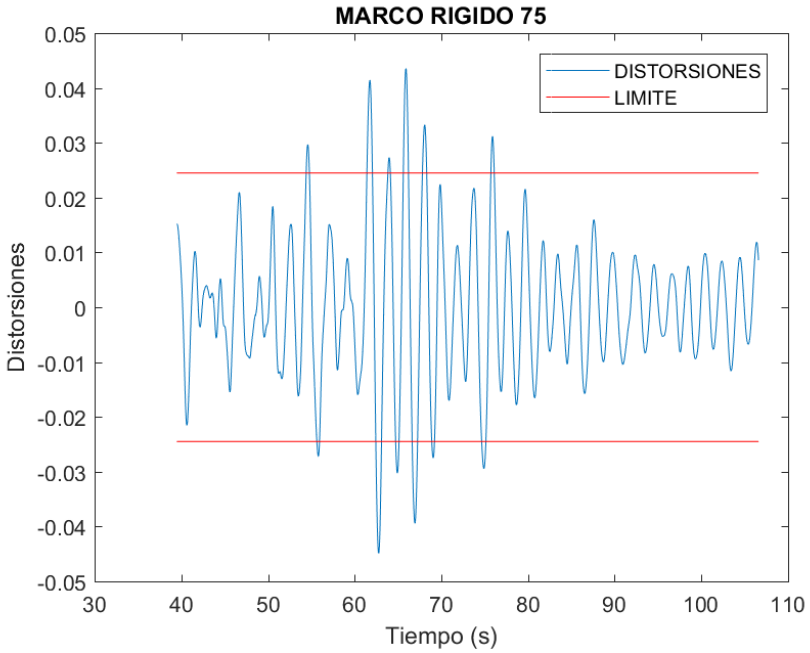


Figura 153. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S7-OI- MR con factor de escala de 0.971.

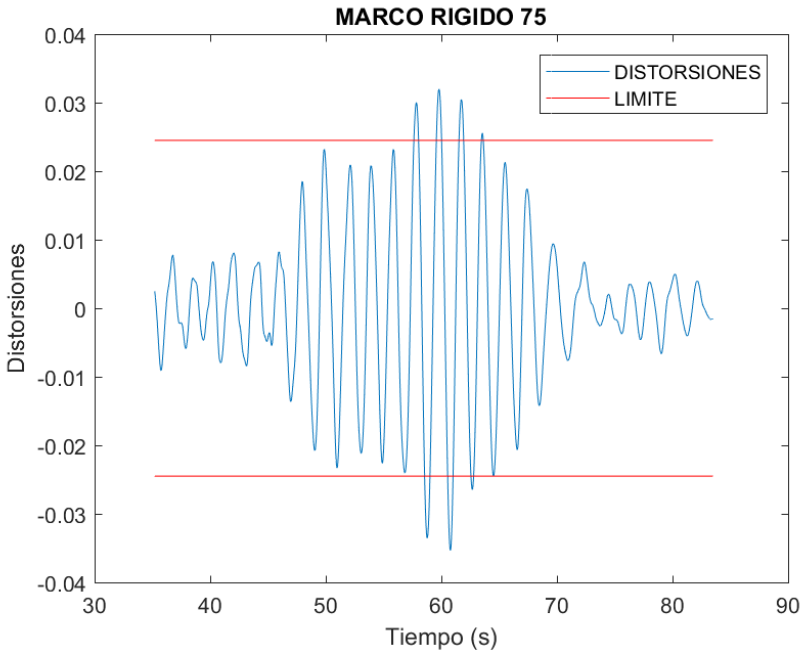


Figura 154. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S8-OI- MR con factor de escala 1.16.

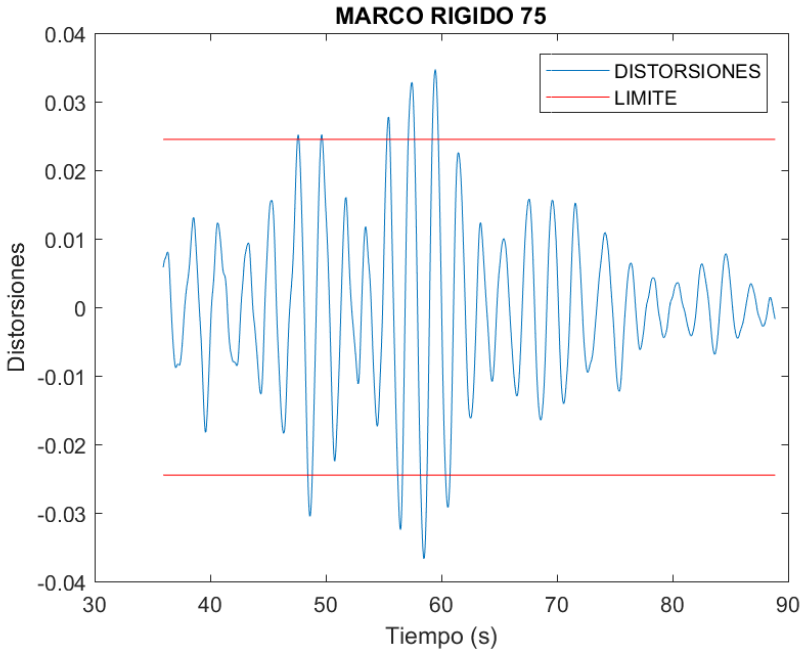


Figura 155. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S9-OI- MR con factor de escala de 1.33.

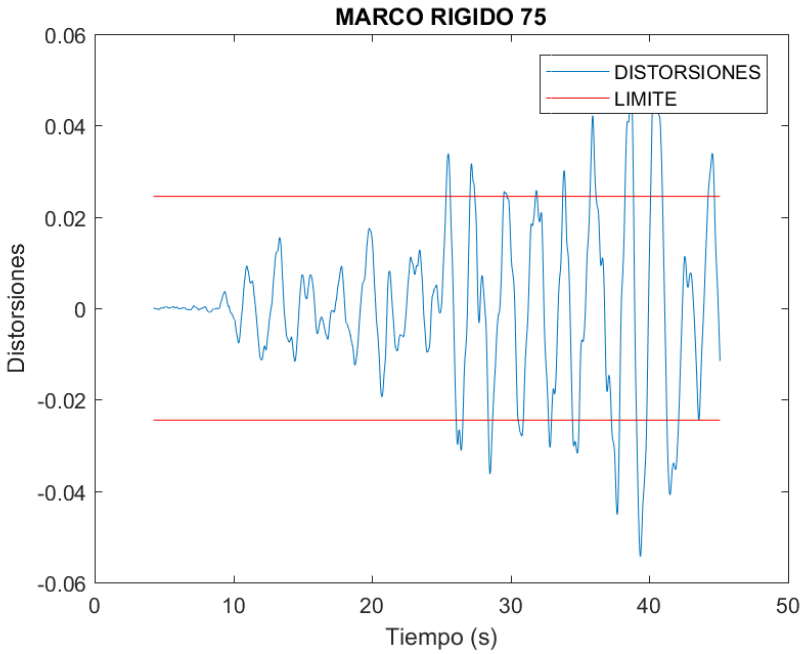


Figura 156. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S10-OI- MR con factor de escala de 1.36.

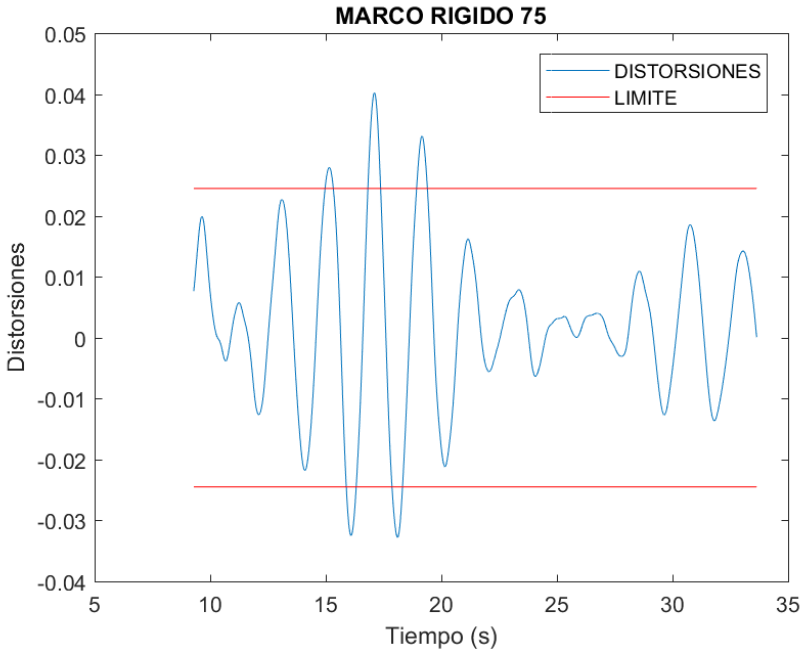


Figura 157. Distorsiones presentadas para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S11-OI- MR con factor de escala de 1.36B.

Tabla 14. Distorsiones máximas presentadas para nivel de ocupación inmediata en sistemas con contraviento Chevrón y marco rígido (en m).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
OCUPACIÓN INMEDIATA			
SISMO	DISTORSIÓN	SISMO	DISTORSIÓN
SISMO 1	0.01344	SISMO 1	0.04085
SISMO 2	0.01702	SISMO 2	0.03472
SISMO 3	0.0245	SISMO 3	0.03524
SISMO 4	0.01011	SISMO 4	0.04385
SISMO 5	0.01189	SISMO 5	0.03959
SISMO 6	0.0145	SISMO 6	0.03823
SISMO 7	0.01856	SISMO 7	0.04489
SISMO 8	0.01627	SISMO 8	0.03535
SISMO 9	0.01627	SISMO 9	0.03672
SISMO 10	0.0119	SISMO 10	0.05435
SISMO 11	0.01421	SISMO 11	0.0402
PROMEDIO	**0.015333636**	**PROMEDIO**	**0.040362727**

3.6.8 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.

3.6.8.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos con Contraviento.

Continuando con el análisis de las distorsiones, ahora se hablará sobre los resultados obtenidos para el nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos. El valor promedio de las distorsiones máximas es de 0.03009, valor más pequeño comparado con el de nivel de ocupación inmediata. En la figura 160 se presentó la distorsión máxima de los 11 sismos representativos mostrados en la tabla 4, con un valor de 0.049 m y en la Figura 154 se puede observar la distorsión mínima con un valor de 0.023 m. En la Figura 162 se puede observar un comportamiento anormal de la gráfica, este comportamiento se pudo presentar porque al llevar a cabo el análisis en el programa SAP2000 los elementos de la estructura fluyeron hasta plastificarse y fallar. Se puede decir que no es de importancia al solo presentarse en una sola gráfica. En las figura 158 a la 167 se pueden observar distorsiones máximas absolutas muy similares en las gráficas, que se encuentran en un valor aproximado de 0.035 m. Hablando en general se puede decir que el diseño del marco con contraviento tipo Chevrón presenta un buen nivel de desempeño para seguridad de vida ya que se encuentra por debajo de los limites establecido por FEMA-CAS (2000), que en este caso es de 0.0875 m, valor obtenido de la misma manera que se mostró en el capítulo 3.6.7.1.

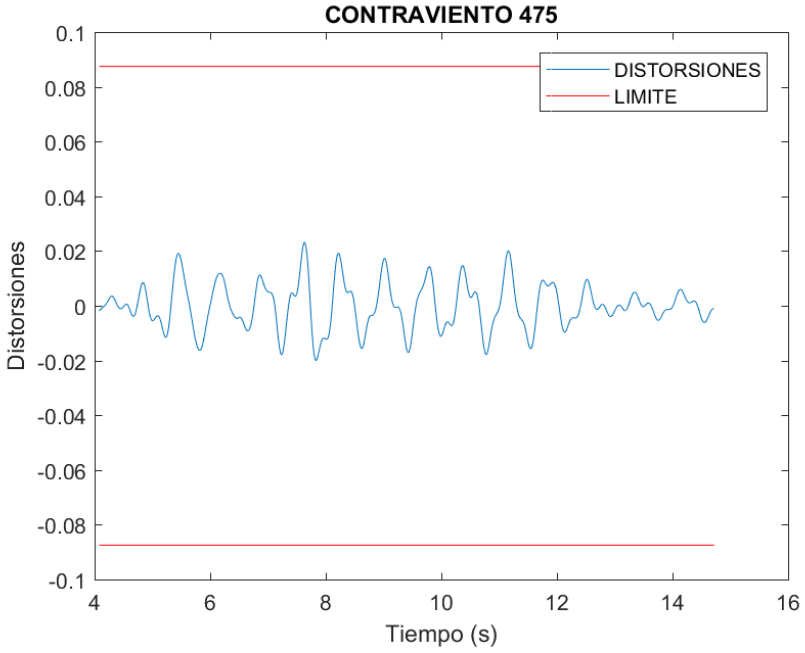


Figura 158. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6.

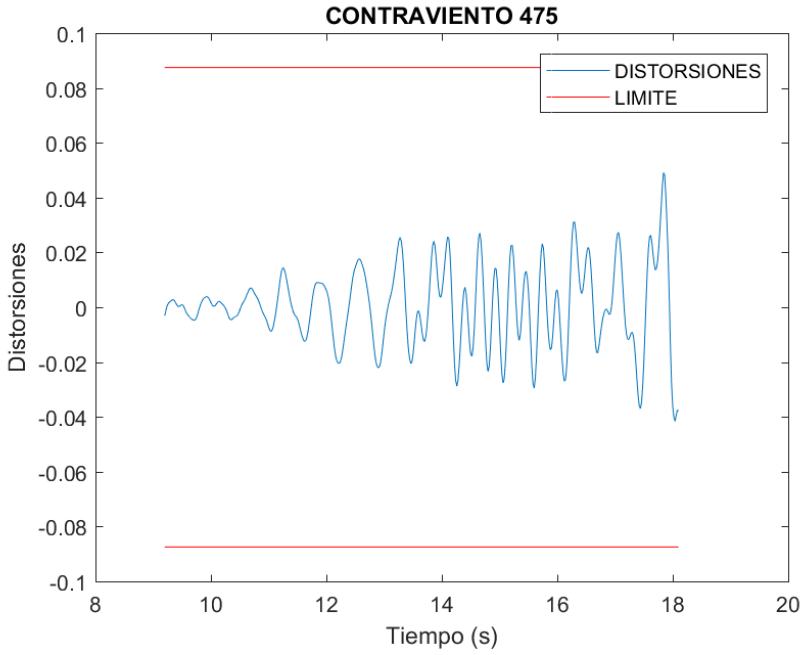


Figura 159. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2- SV -MCC con factor de escala de 1.6B.

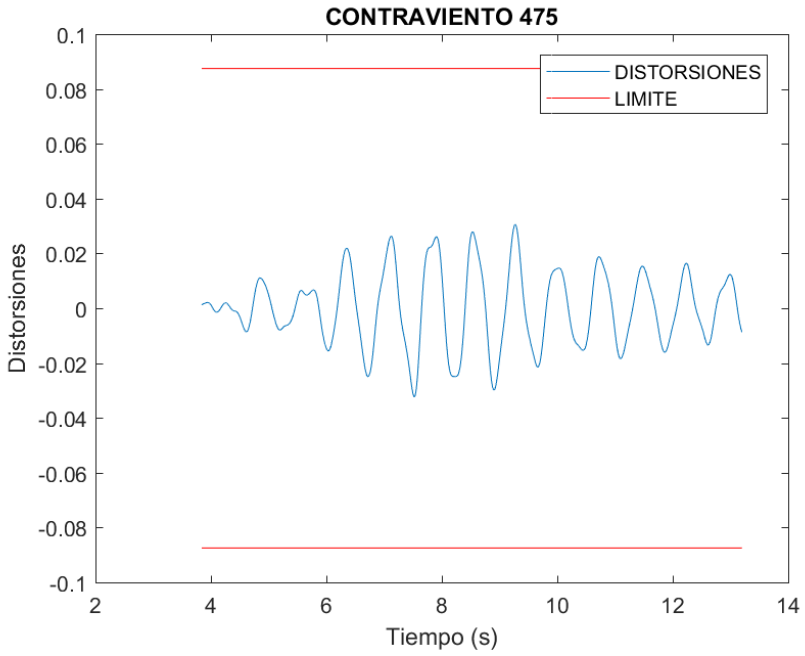


Figura 160. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3- SV -MCC con factor de escala de 1.37.

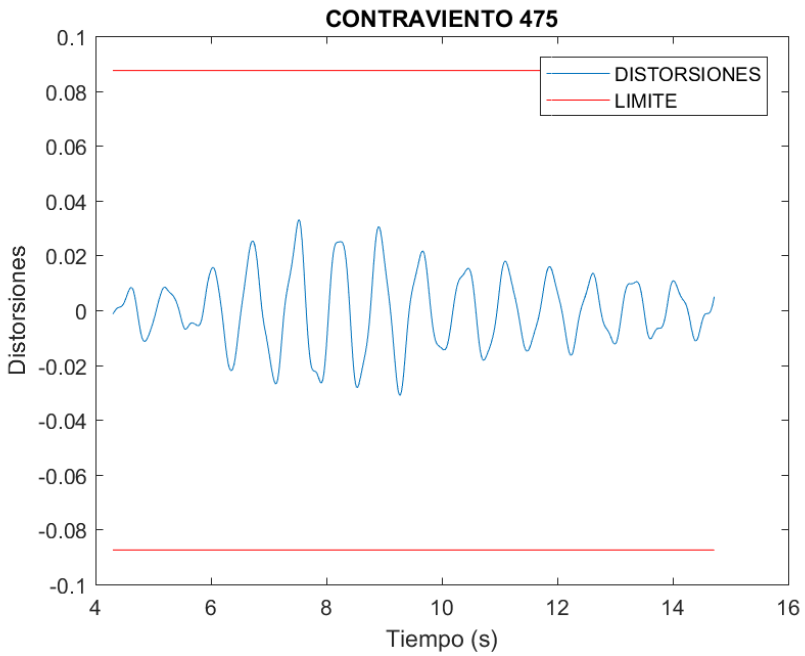


Figura 161. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4- SV -MCC con factor de escala de 1.57.

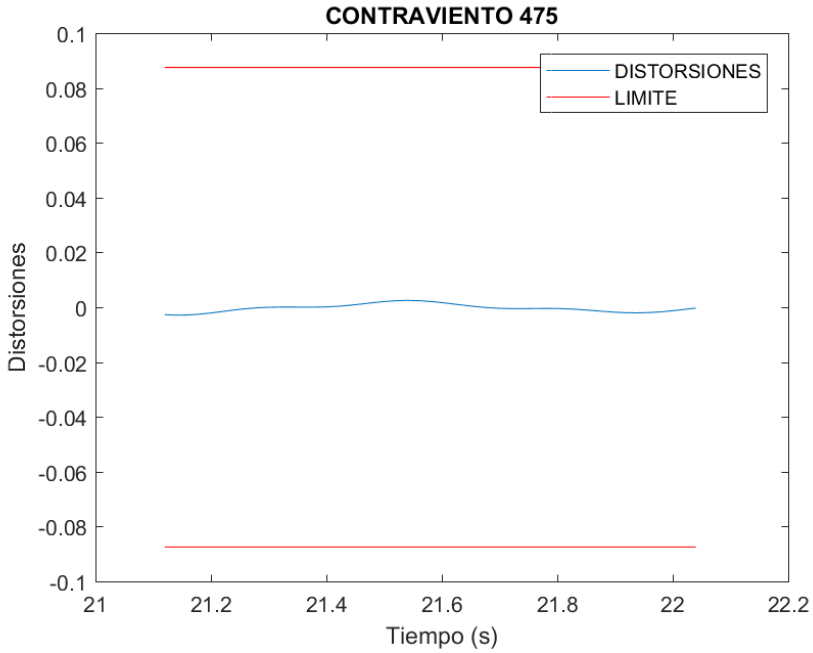


Figura 162. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5- SV -MCC con factor de escala de 1.67.

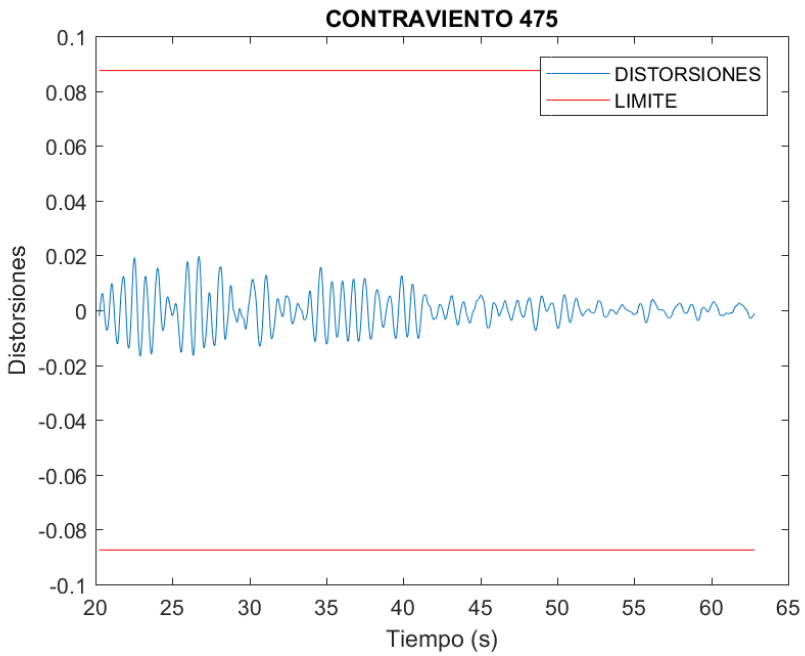


Figura 163. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6- SV -MCC con factor de escala de 1.72.

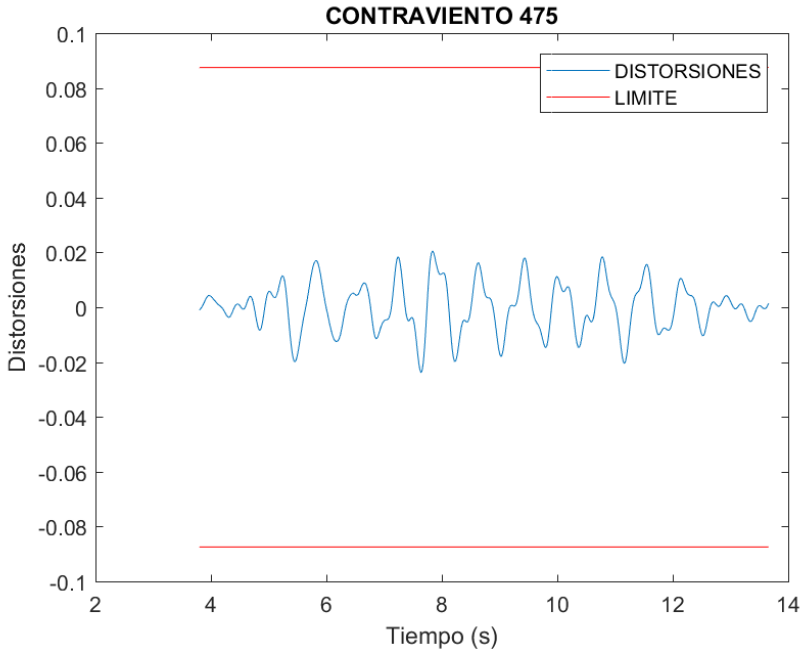


Figura 164. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7- SV -MCC con factor de escala de 1.92.

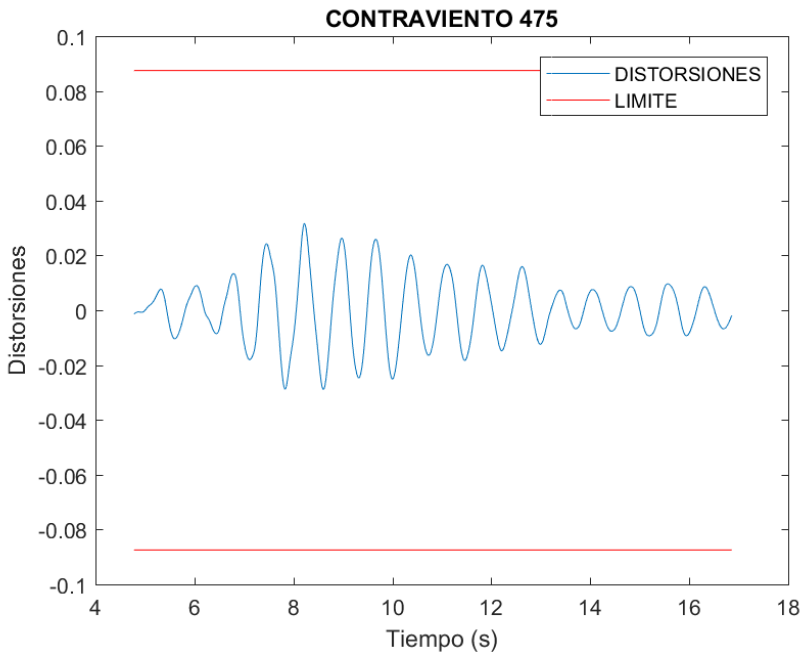


Figura 165. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9- SV -MCC con factor de escala de 2.02.

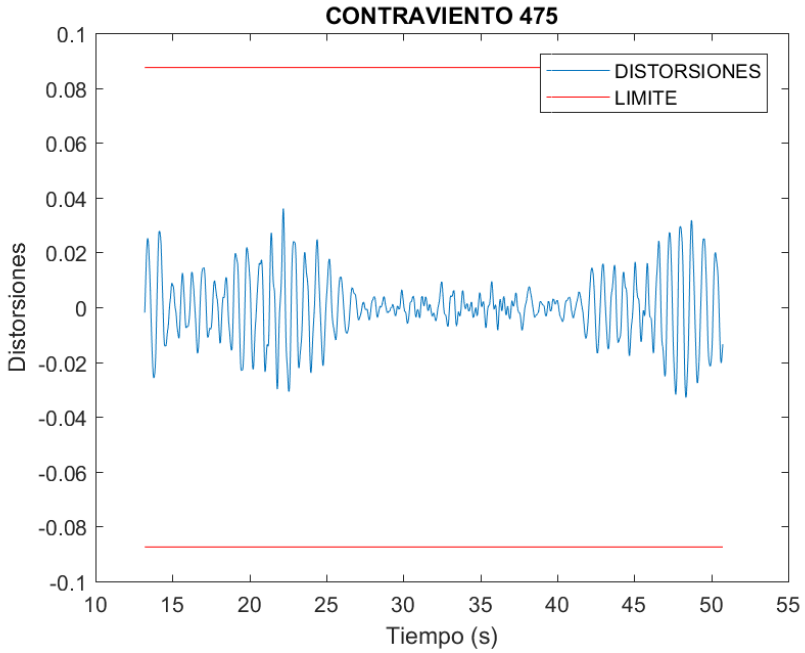


Figura 166. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo SICS7903.14 S10- SV -MCC con factor de escala de 2.2.

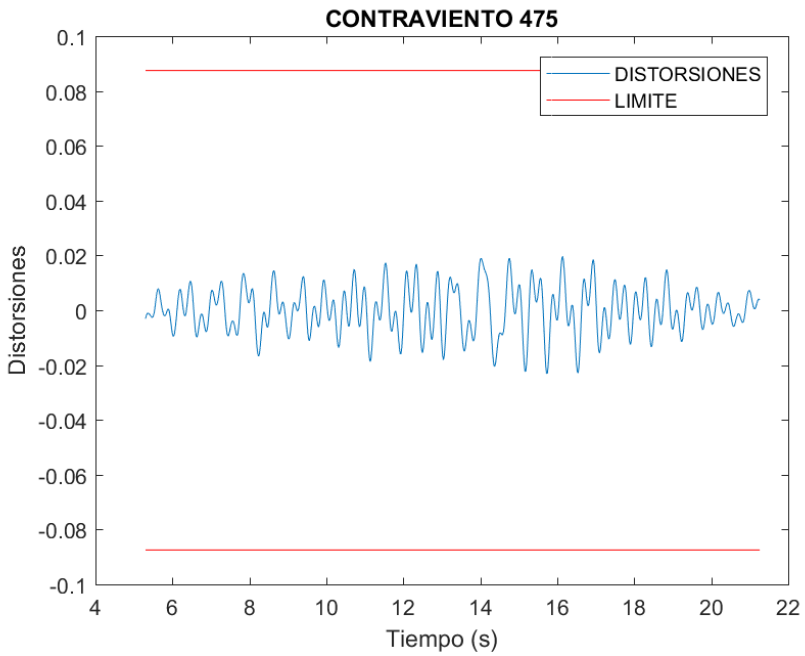


Figura 167. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11- SV -MCC con factor de escala de 2.28.

3.6.8.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida para Marcos Rígidos.

Revisando los análisis para seguridad de vida pero ahora para marcos rígidos, se puede observar que en la figura 168 se presentó el valor mínimo en las distorsiones máximas de los 11 sismos, teniendo un valor de 0.07009 m valor muy cercano al límite permisible para este nivel de desempeño que es de 0.0875 m. El valor máximo de las distorsiones es 0.09305 y se presentó en la gráfica mostrada en la figura 177, dicho valor no es permisible para los valores que propone la FEMA. En las figuras 170 y 172 también se puede apreciar que las distorsiones sobre pasan los límites permisibles. Revisando las figuras 169, 171, 173, 174, 175, 176, 177 y 178 se puede ver que los valores se encuentran aproximadamente en 0.080 m a pesar de que cumplen con el límite tolerante se encuentran muy cercanas a lo permisible.

Para concluir con el nivel de desempeño de seguridad de vida, en la Tabla 15 se pueden observar y comparar los resultados obtenidos para ambos sistemas, hablando en general, el valor promedio de las distorsiones máximas presentadas en los marcos rígidos es un 60% mayor que el valor promedio presentado en el sistema de contravientos. Por este valor, y por lo anteriormente expuesto, es que el diseño de marco resistente a momento sobrepasaba los límites permisibles de las distorsiones, se puede concluir que el sistema de contravientos tipo Chevrón aporta un mejor desempeño estructural a la edificación.

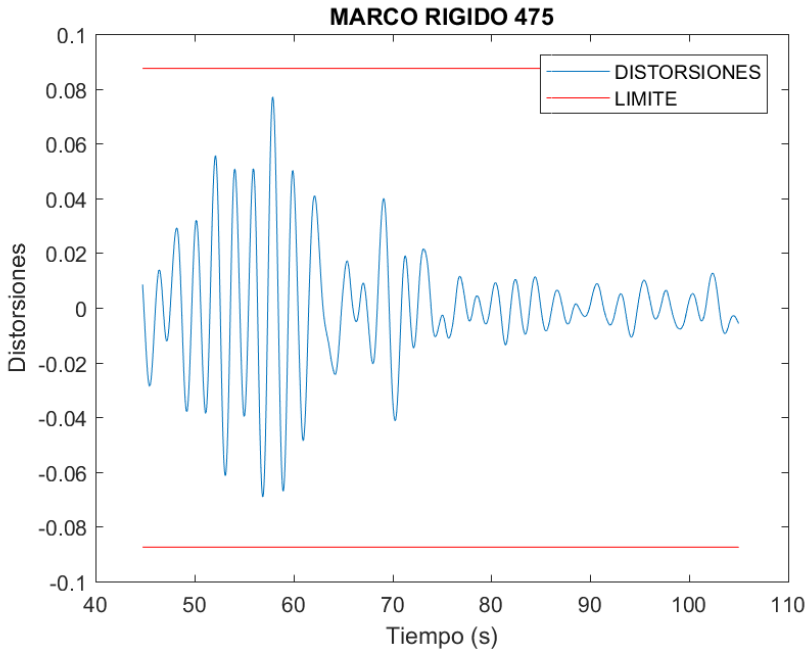


Figura 168. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de anclaje de 0.883.

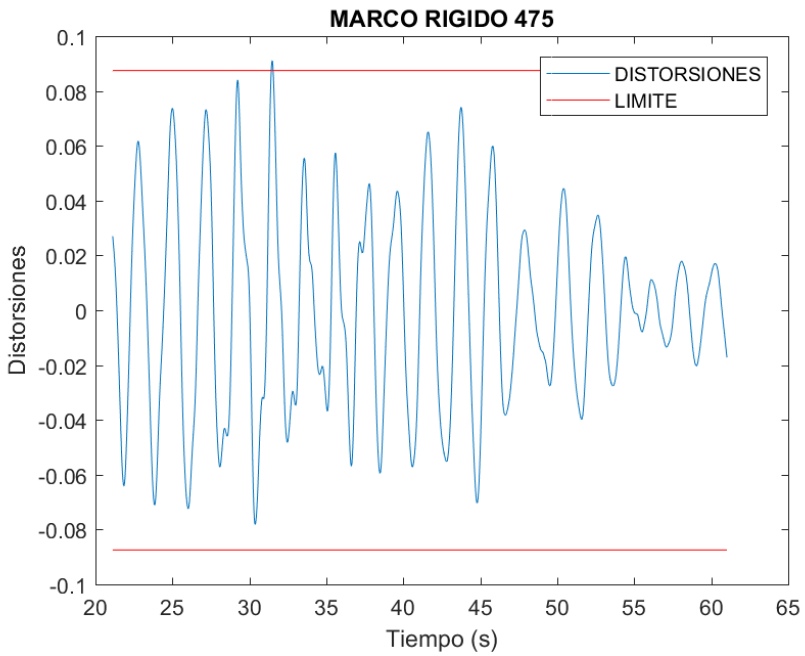


Figura 169. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S2-SV-MR con factor de anclaje de 0.903.

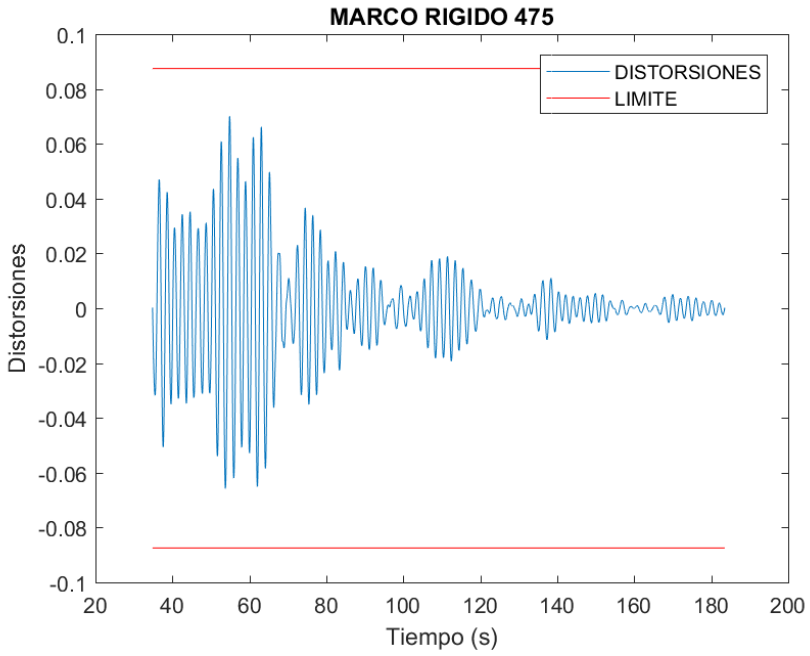


Figura 170. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S3-SV-MR con factor de anclaje de 1.6.

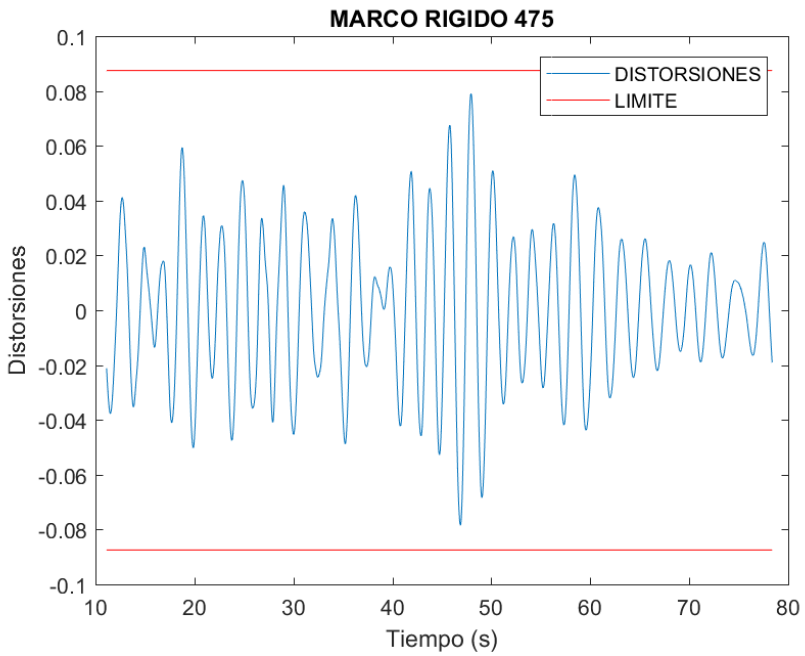


Figura 171. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S4-SV-MR con factor de anclaje de 1.8.

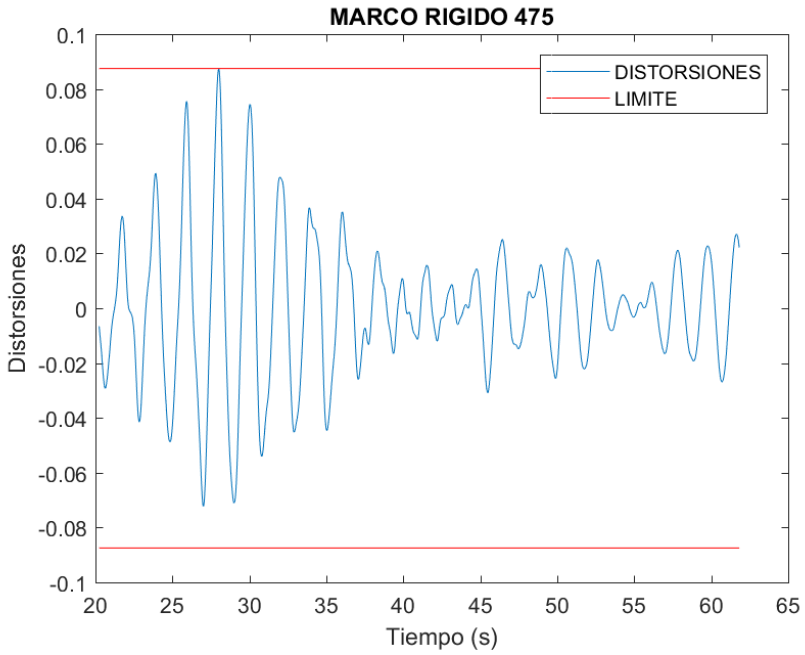


Figura 172. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S5-SV-MR con factor de anclaje de 1.15.

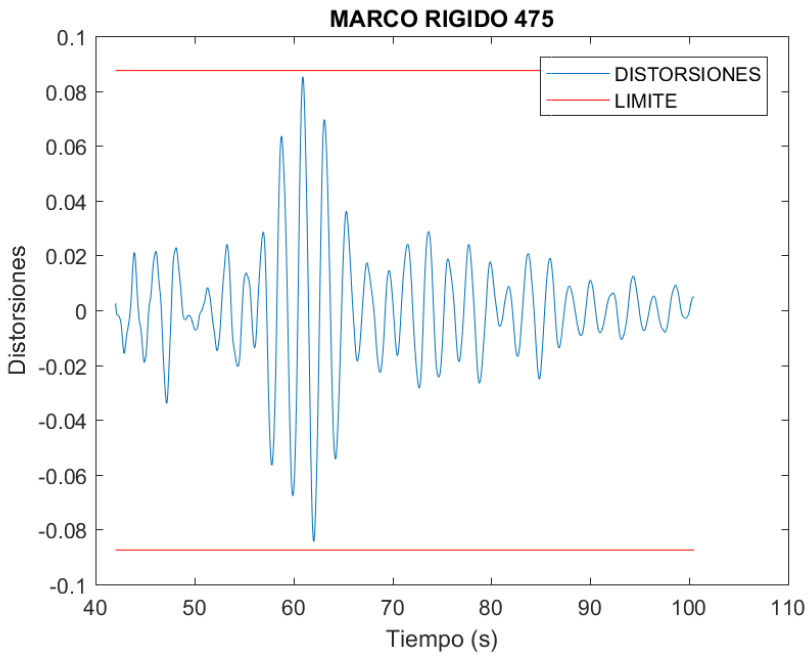


Figura 173. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S6-SV-MR con factor de anclaje de 1.23.

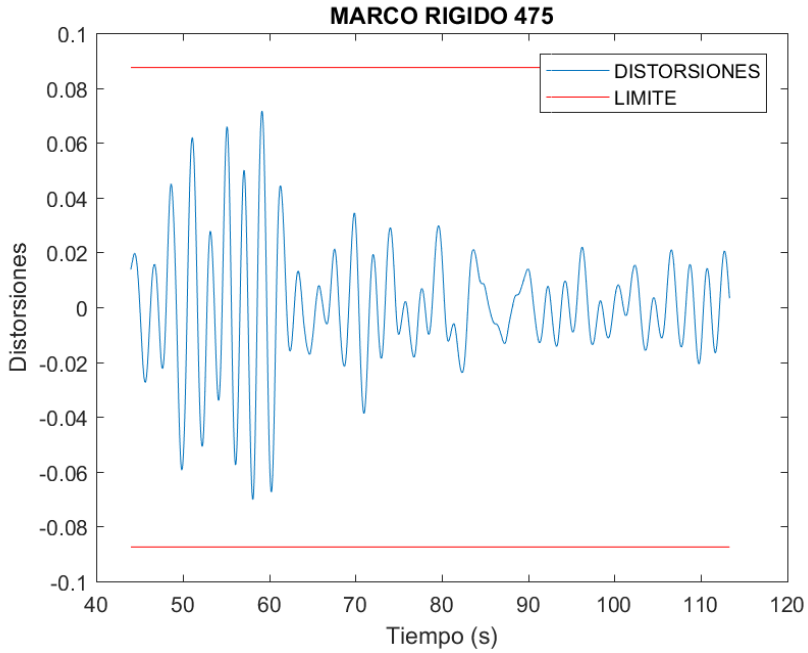


Figura 174. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S7-SV-MR con factor de anclaje de 1.28.

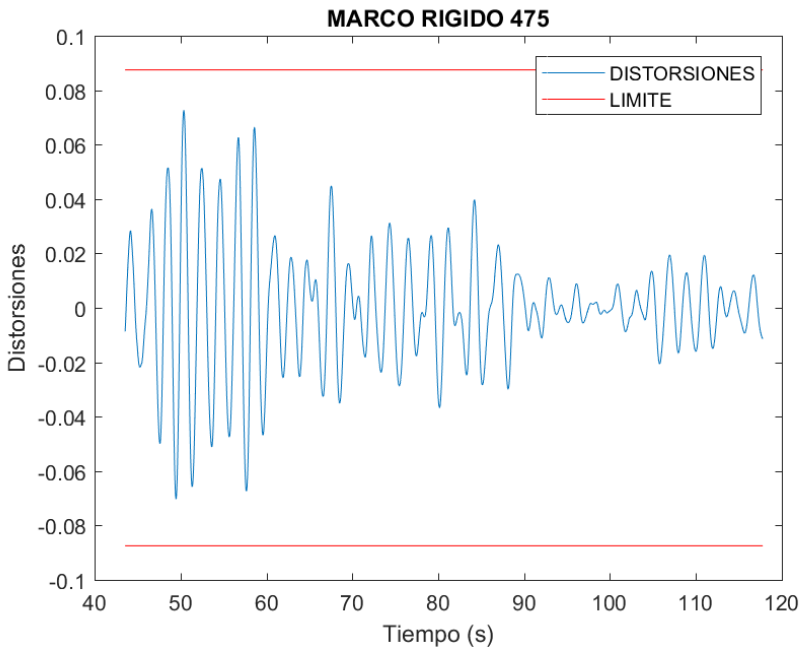


Figura 175. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S8-SV-MR con factor de anclaje de 1.36.

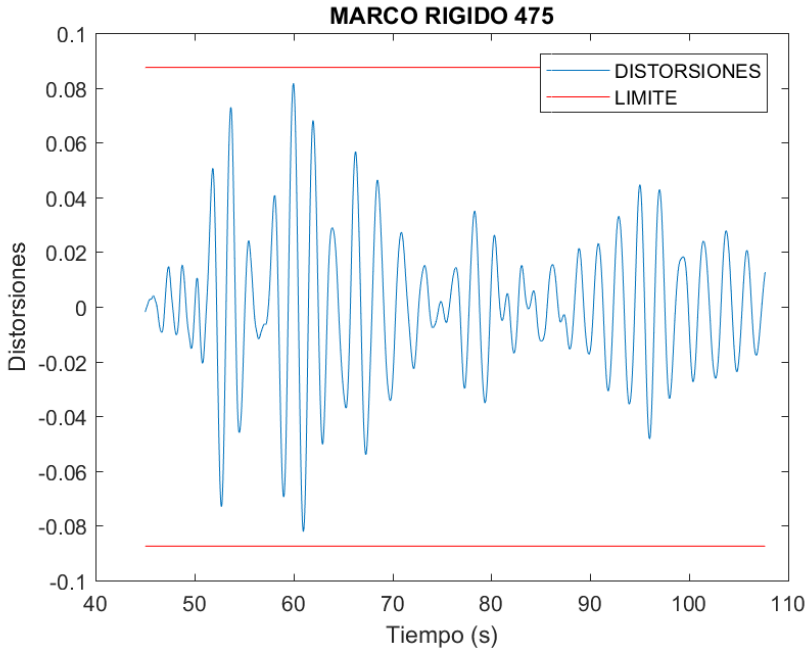


Figura 176. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S9-SV-MR con factor de anclaje de 1.68.

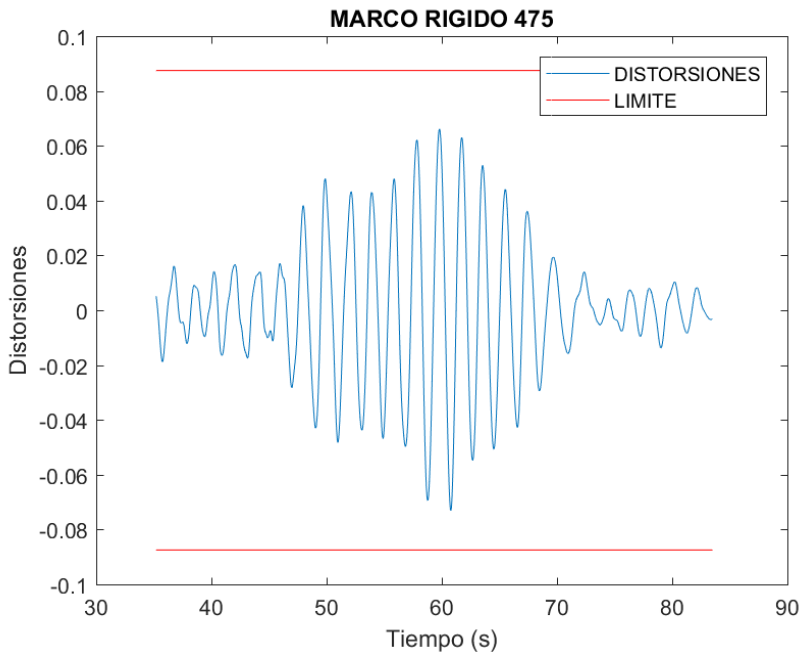


Figura 177. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S10-SV-MR con factor de anclaje de 2.01.

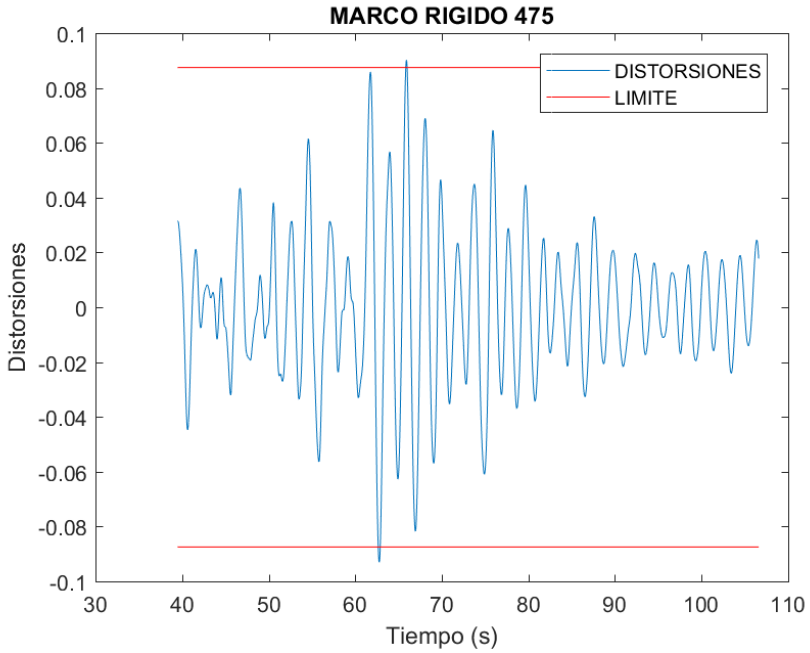


Figura 178. Distorsiones presentadas para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S11-SV-MR con factor de anclaje de 2.4.

Tabla 15. Distorsiones máximas presentadas para nivel de seguridad de vida en sistemas con contraviento tipo Chevrón y marco rígido (en m).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
SEGURIDAD DE VIDA			
SISMO	DISTORSIÓN	SISMO	DISTORSIÓN
SISMO 1	0.02317	SISMO 1	0.07009
SISMO 2	0.03244	SISMO 2	0.077
SISMO 3	0.04912	SISMO 3	0.07907
SISMO 4	0.03305	SISMO 4	0.08736
SISMO 5	0.03305	SISMO 5	0.08516
SISMO 6	0.0239	SISMO 6	0.07167
SISMO 7	0.01962	SISMO 7	0.07261
SISMO 8	0.03606	SISMO 8	0.09109
SISMO 9	0.03168	SISMO 9	0.08213
SISMO 10	0.02318	SISMO 10	0.09305
SISMO 11	0.02568	SISMO 11	0.07314
PROMEDIO	**0.03009**	**PROMEDIO**	**0.08022**

3.6.9 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso.

3.6.9.1 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos con Contravientos.

Pasando al nivel de desempeño de prevención al colapso se comienza hablando sobre los resultados obtenidos de los marcos con contravientos. Los valores máximos que muestran las figuras se encuentran en los rangos de 0.03 y 0.05 m, valores muy similares en las gráficas. El valor mínimo de distorsión de los 11 sismos representativos de este punto se muestra en la figura 179 con un valor de 0.03054 m, el valor máximo presentado se puede observar en la figura 181 teniendo un valor de 0.05108, menor del permisible que establece la FEMA, apoyándonos en la tabla de los desplazamientos permisible se obtuvieron los limites tolerante para las distorsiones el cual se multiplico por el factor de 0.05 por la altura del entre piso, en este caso en específico es de 3.5 metros teniendo como resultado un valor permisible de distorsión de 0.175 m para ocupación inmediata. En las figuras 181, 183, 184, 185 y 189 se puede apreciar un comportamiento suave en las distorsiones debido a que la aceleración de estos sismos es menos variable que las demás y sus valores máximos absolutos se encuentran muy cercanos a 0.05 metros. En las figuras 180, 182, 186, 187 y 188 se pueden apreciar más variaciones en las distorsiones ya que las aceleraciones de los sismos presentan un comportamiento contrario al de las figuras explicadas anteriormente.

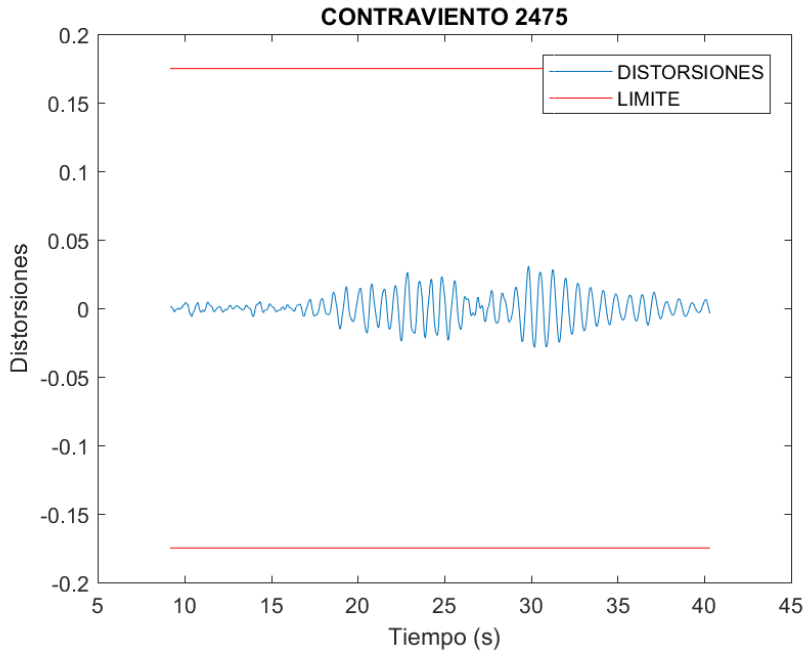


Figura 179. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de anclaje de 2.16.

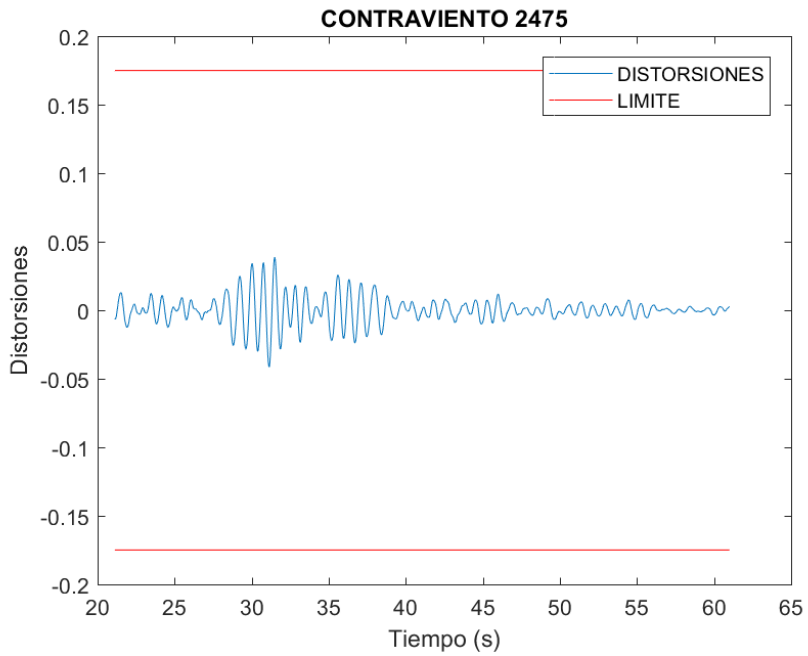


Figura 180. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-PC-MCC con factor de anclaje de 2.48.

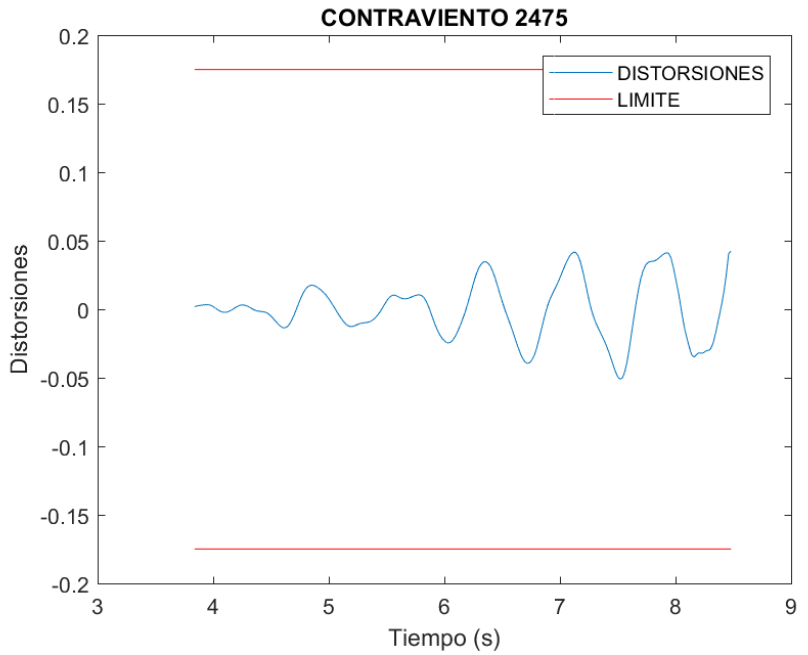


Figura 181. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-PC-MCC con factor de anclaje de 2.53.

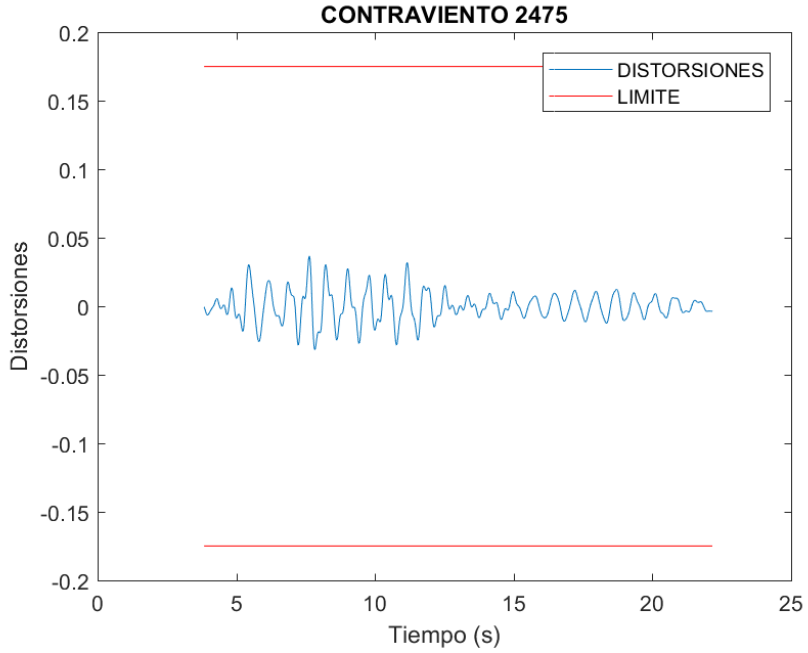


Figura 182. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de anclaje de 2.53 B.

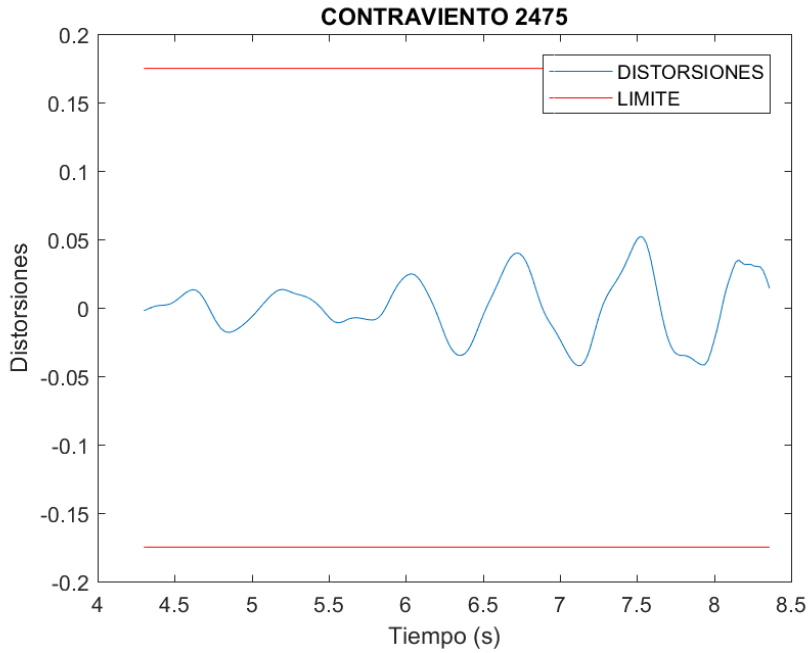


Figura 183. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de anclaje de 2.64.

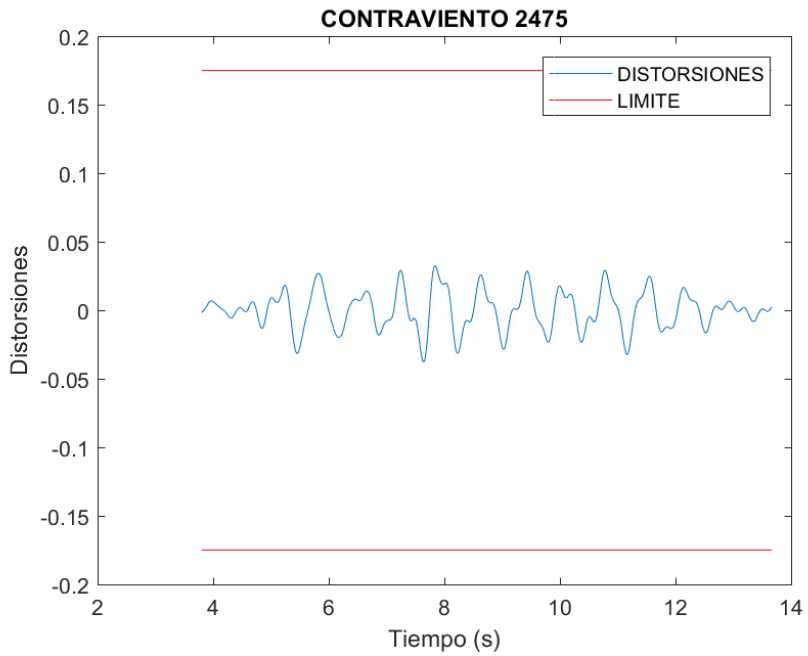


Figura 184. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-PC-MCC con factor de anclaje de 2.73.

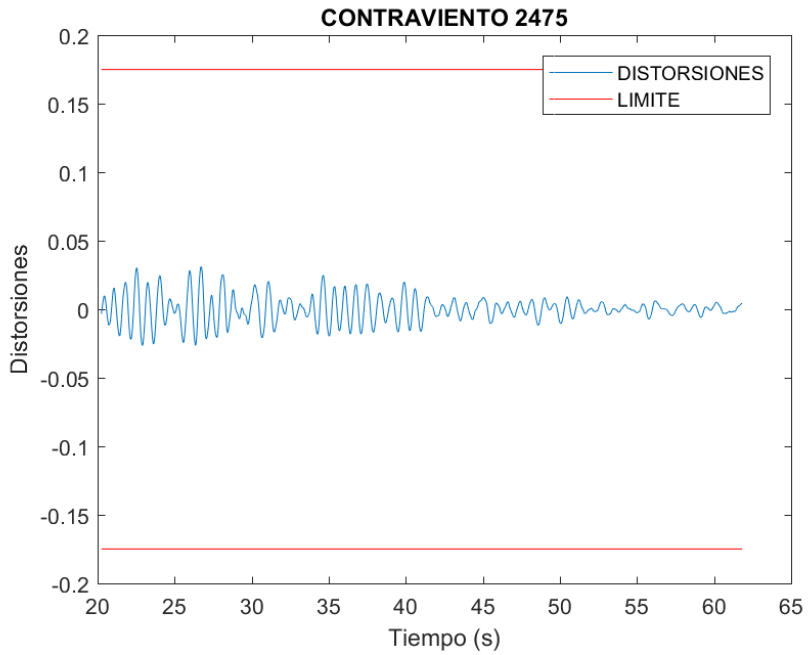


Figura 185. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-PC-MCC con factor de anclaje de 3.04.

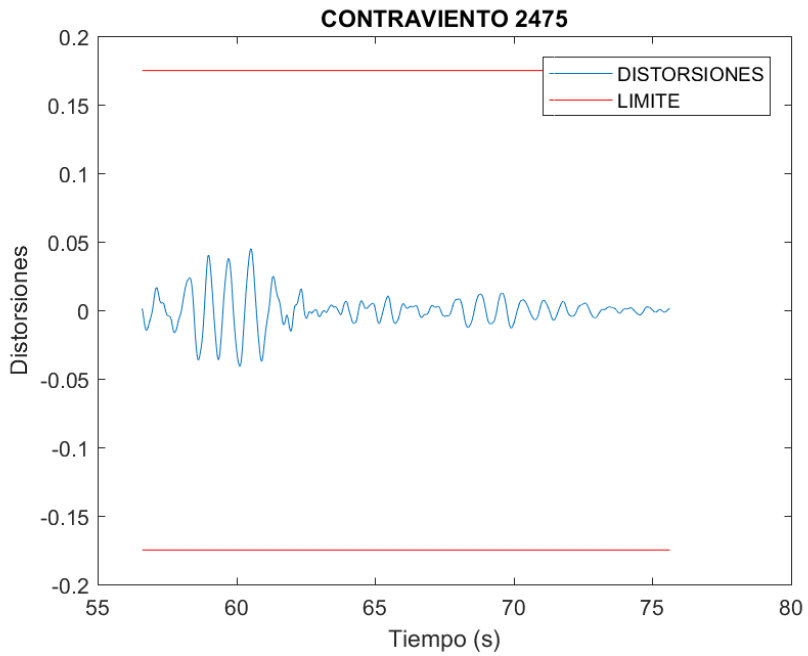


Figura 186. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-PC-MCC con factor de anclaje de 3.09.

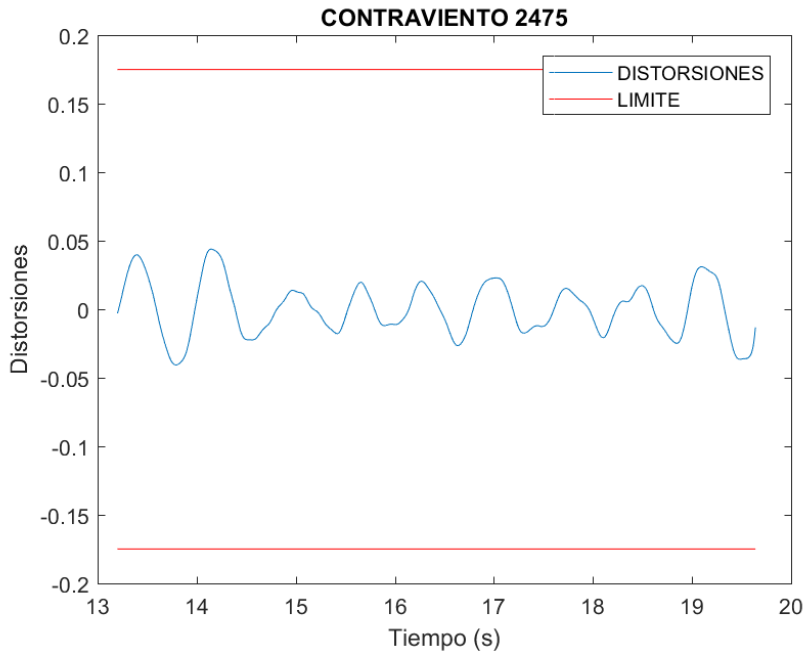


Figura 187. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-PC-MCC con factor de anclaje de 3.19.

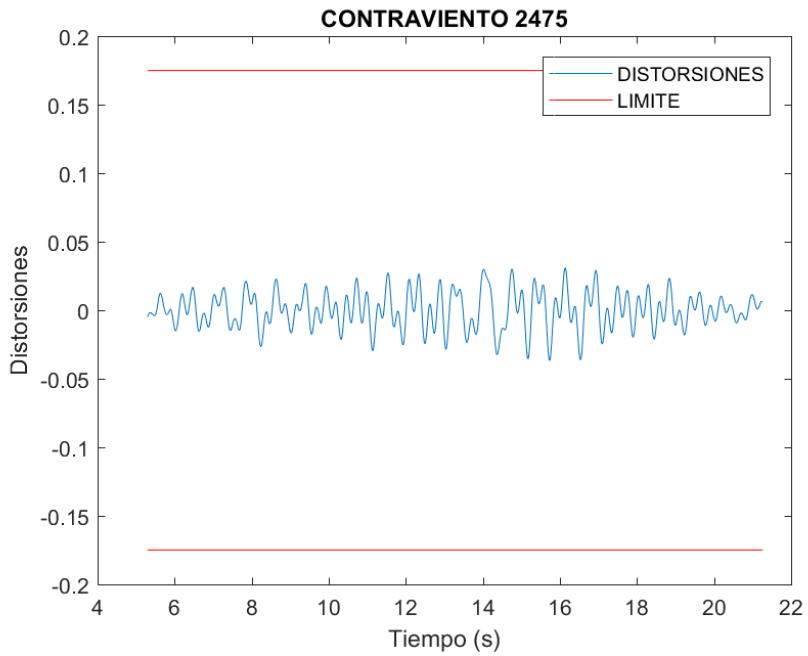


Figura 188. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-PC-MCC con factor de anclaje de 3.49.

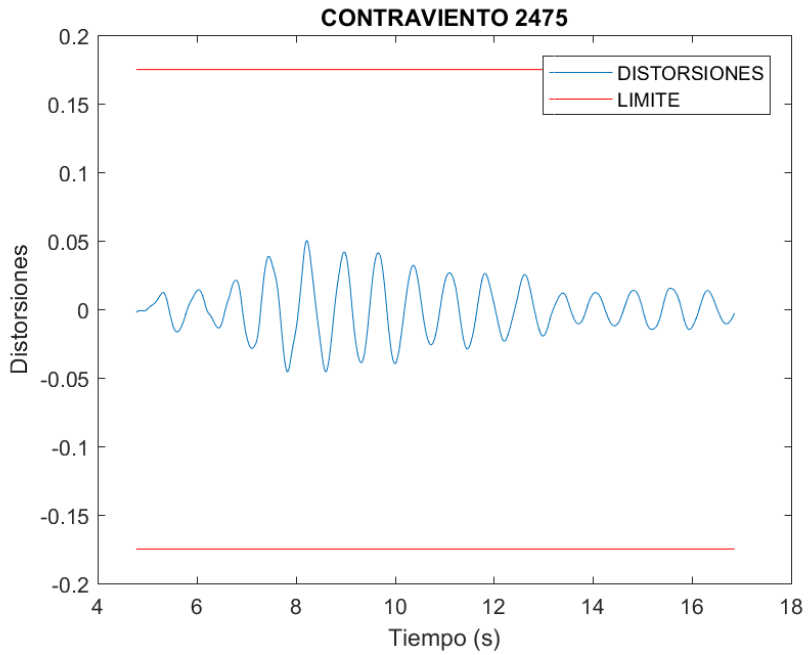


Figura 189. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-PC-MCC con factor de anclaje de 3.61.

3.6.9.2 Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso para Marcos Rígidos.

Finalmente, se presentan los resultados de las distorsiones para el marco rígido para un desempeño de prevención al colapso. Se puede ver en las figuras mostradas en el punto 3.6.9.1 y en las figuras de la 190 la 199 que ambos sistemas cumplen para el nivel de desempeño de ocupación inmediata si lo comparamos con el valor permisible de 0.175 m, calculado de la tabla propuesta por la FEMA-SAC (2000). En la tabla 16 se puede observar que el valor promedio de distorsiones máximas es 3 veces mayor en marcos rígidos respecto a la de los contravientos, a pesar que ambos sistemas cumplen con el nivel de desempeño es importante recalcar que el sistema de contraviento presenta un mejor estado límite de servicio, generando una mayor confianza a los ocupantes del edificio ante acciones sísmicas. Hablando más específico de los resultados obtenidos del marco rígido podemos observar que los valores máximo y mínimo se muestran en las figuras 198 y 190 con valores de 0.153 y 0.0755 metros. El comportamiento de las gráficas mostradas en las figuras 191 a la 197 y 199 es muy similares, al igual que sus distorsiones máximas absolutas, los valores oscilan entre los 0.13 m.

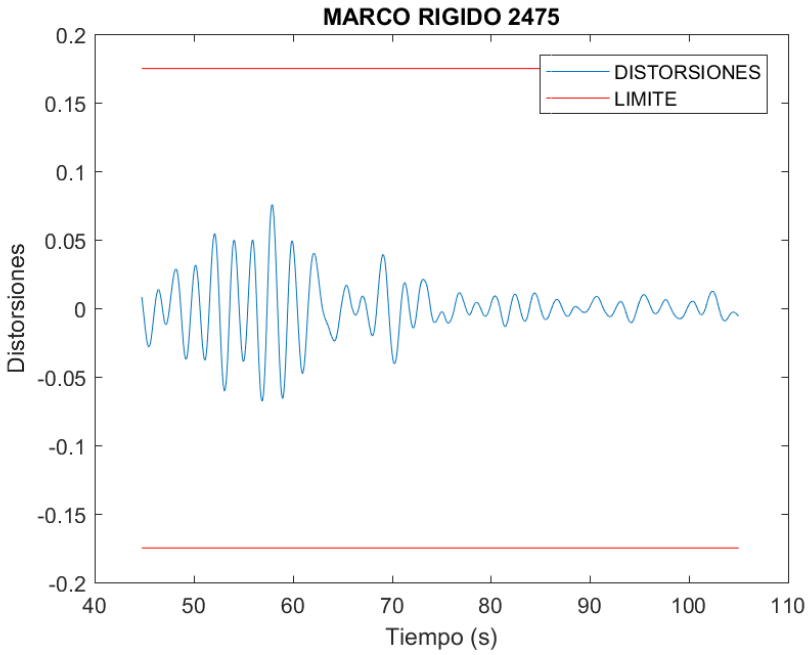


Figura 190. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2-PC-MR con factor de escala de 1.49.

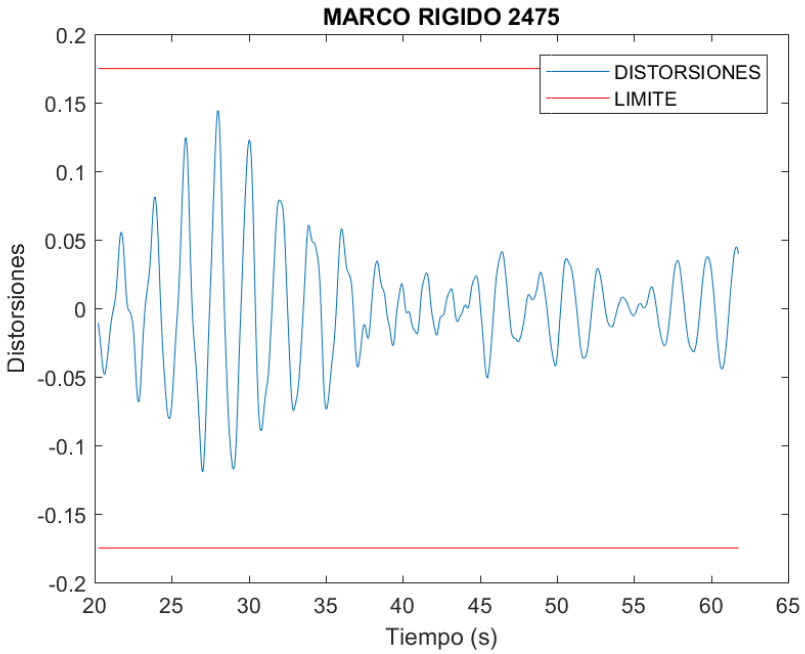


Figura 191. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S3-PC-MR con factor de escala de 1.90.

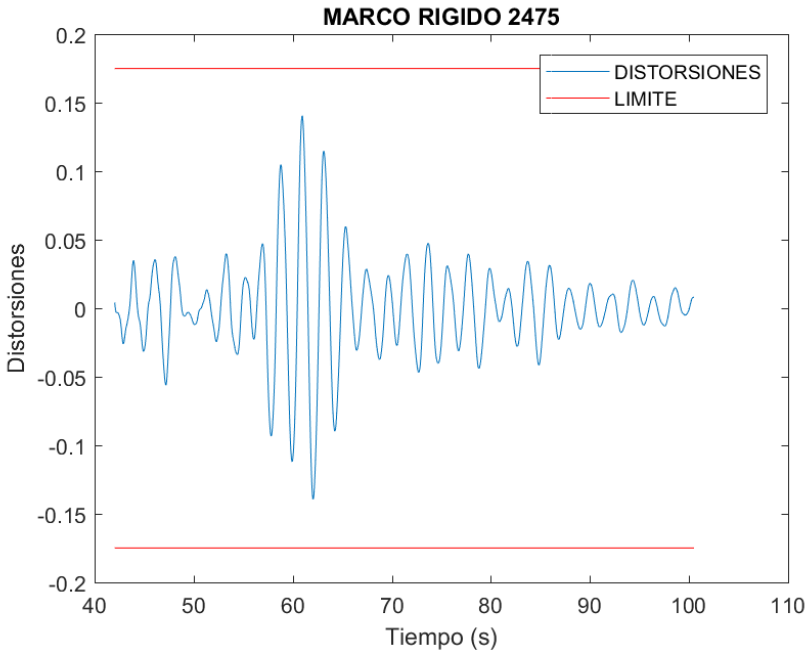


Figura 192. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4-PC-MR con factor de escala de 2.03.

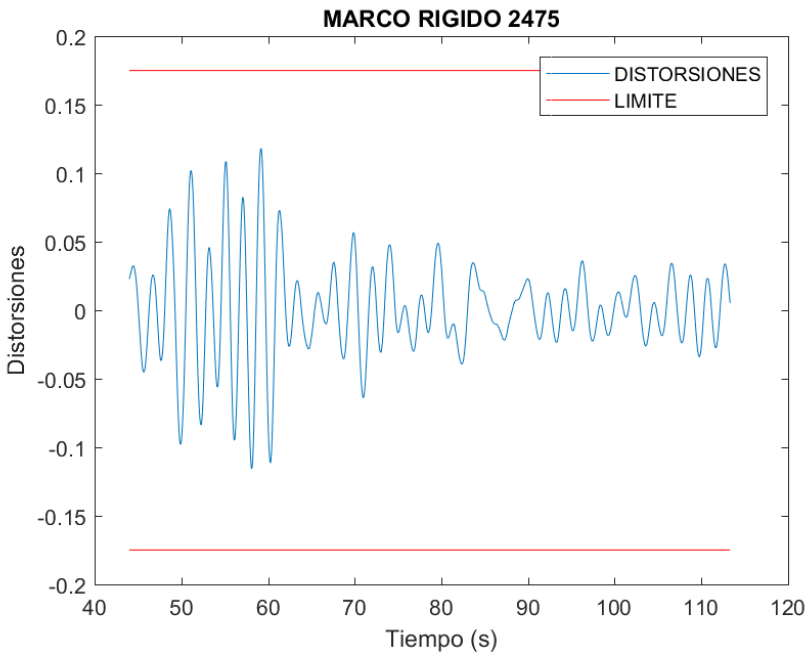


Figura 193. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5-PC-MR con factor de escala de 2.11.

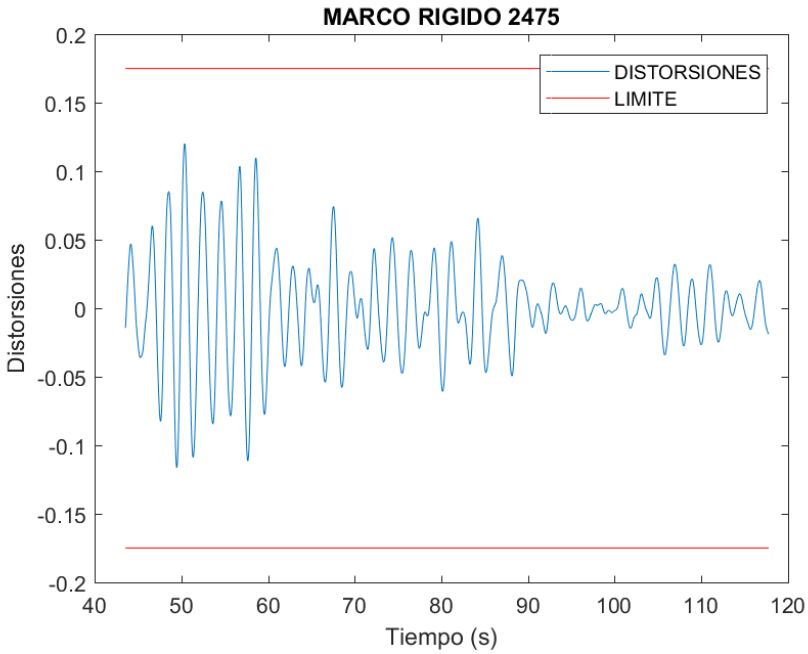


Figura 194. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6-PC-MR con factor de escala de 2.25.

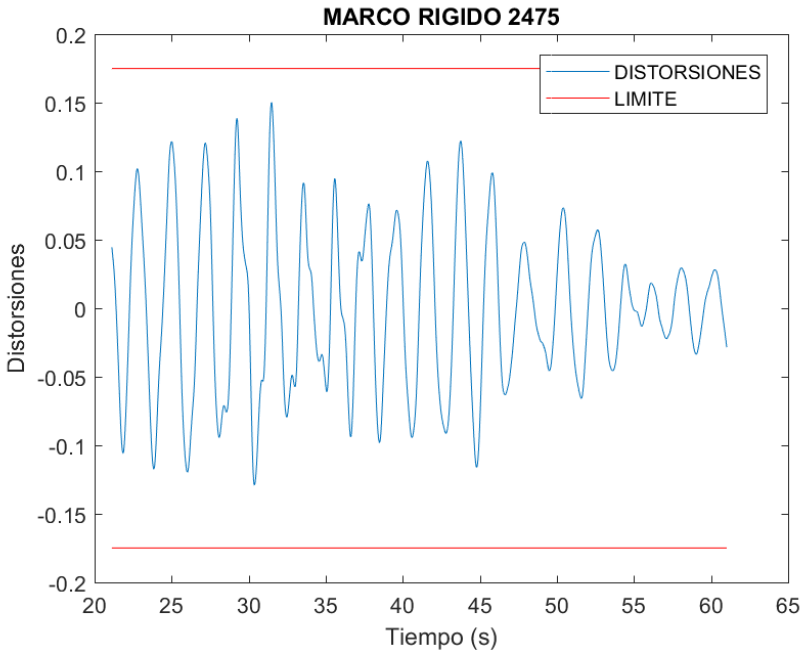


Figura 195. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7-PC-MR con factor de escala de 2.64.

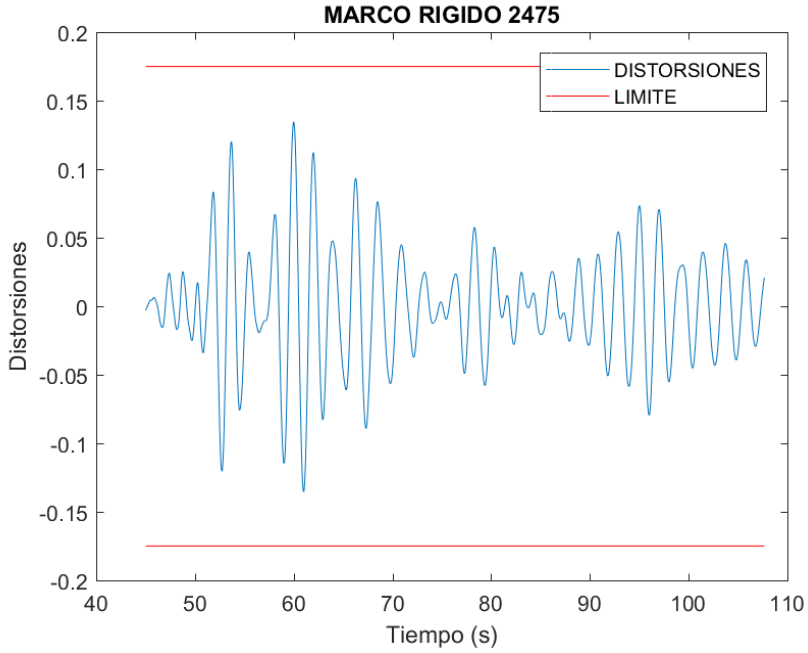


Figura 196. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S8-PC-MR con factor de escala de 2.77.

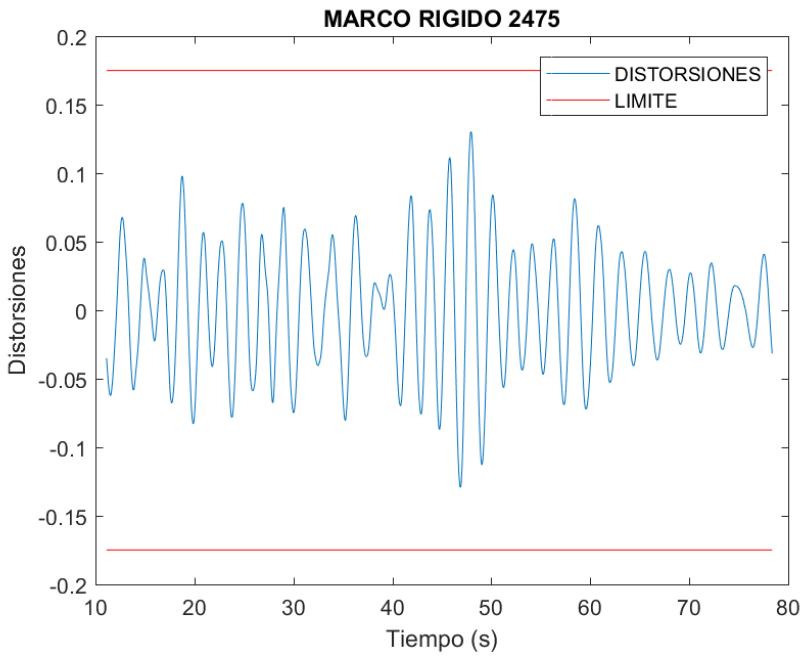


Figura 197. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9-PC-MR con factor de escala de 2.97.

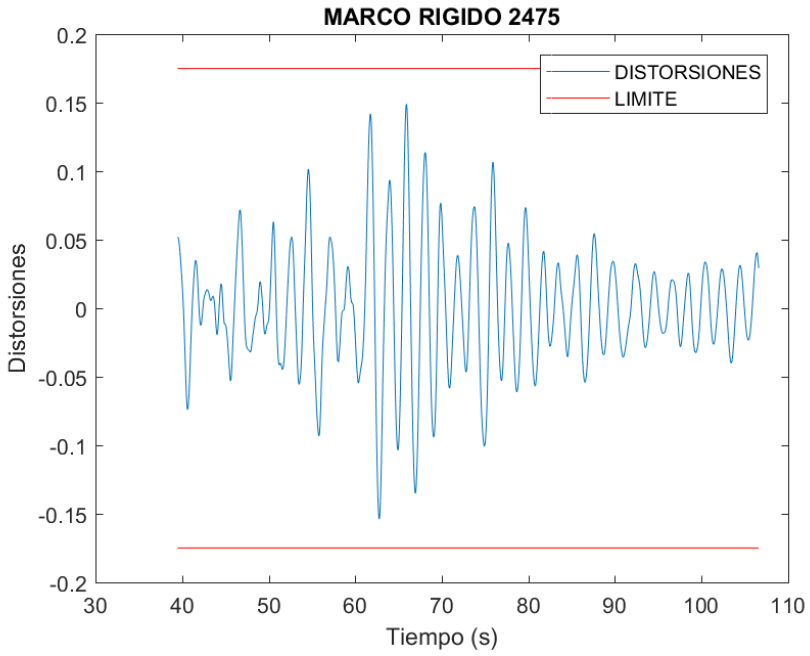


Figura 198. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10-PC-MR con factor de escala de 3.32.

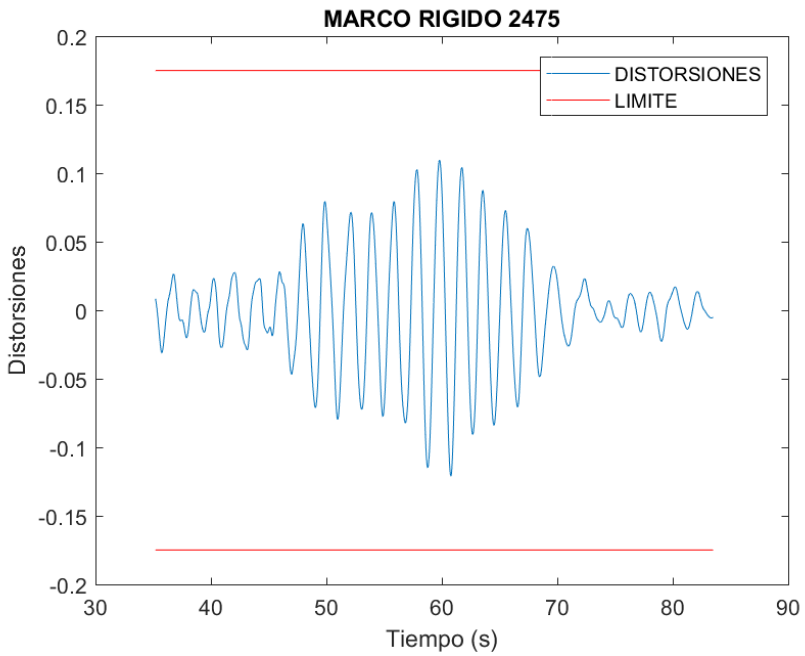


Figura 199. Distorsiones presentadas para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11-PC-MR con factor de escala de 3.97.

Tabla 16. Distorsiones máximas presentadas para nivel de prevención al colapso en sistemas con contraviento chevrón y marco rígido (en m).

SISTEMA CON CONTRAVIENTO		SISTEMA DE MARCO RIGIDO	
PREVENCIÓN AL COLAPSO			
SISMO	DISTORSIÓN	SISMO	DISTORSIÓN
SISMO 1	0.03054	SISMO 1	0.07555
SISMO 2	0.04139	SISMO 2	0.14431
SISMO 3	0.05108	SISMO 3	0.14052
SISMO 4	0.03664	SISMO 4	0.11813
SISMO 5	0.052	SISMO 5	0.12012
SISMO 6	0.03794	SISMO 6	0.15026
SISMO 7	0.03794	SISMO 7	0.13544
SISMO 8	0.04391	SISMO 8	0.13045
SISMO 9	0.04481	SISMO 9	0.15372
SISMO 10	0.05026	SISMO 10	0.12101
SISMO 11	0.03669	SISMO 11	0.12528
PROMEDIO	**0.04211**	**PROMEDIO**	**0.12862**

3.6.10 Confiabilidad Estructural en Términos de Distorsiones.

Una vez revisado el nivel de desempeño con los desplazamientos, rotaciones y distorsiones de cada sistema estructural, se continúa con el análisis de confiabilidad a partir de las distorsiones extraídas de los 11 sismos de ambos sistemas para cada nivel de desempeño, se determinó el comportamiento aleatorio de esta variable, por lo cual se generaron para cada registro su respectivo histograma, utilizando 13 distribuciones que ya se mencionaron anteriormente, una vez que se obtuvieron los histogramas, se elaboró una prueba de bondad chi-cuadrada con el fin de determinar cuál PDF (función de densidad de probabilidad por sus siglas en inglés) se ajustaba mejor al comportamiento del histograma y de esta manera conocer cuál distribución es las más acertada. Una vez identificada la función que más se ajustó al histograma, se extrajo la probabilidad de falla (p_f) y el índice de confiabilidad (β), con los límites establecidos para cada nivel de desempeño. A continuación se explica brevemente cada una de ellas.

Probabilidad de falla (p_f) a partir de distorsiones extraídas por análisis dinámicos no lineales.

La probabilidad de falla (p_f) se refiere a la seguridad de la estructura. Por lo tanto, al momento de diseñar las estructuras de las edificaciones, la probabilidad de falla debe ser considerablemente baja o garantizar que no sea mayor del 10%. Para dos límites particulares a y b, la (p_f) se puede calcular como (Nowak y Collins, 2012):

$$p_f = 1 - P(a < X \leq b); \qquad Ecuación\ 1$$

donde X, para el caso de este proyecto de intervención, son las distorsiones presentadas; a y b son los límites permisibles que propone la FEMA-SAC (2000) para cada nivel de desempeño. La Figura 200 muestra cómo se calcula (p_f) utilizando los límites a y b en términos de metros (m).

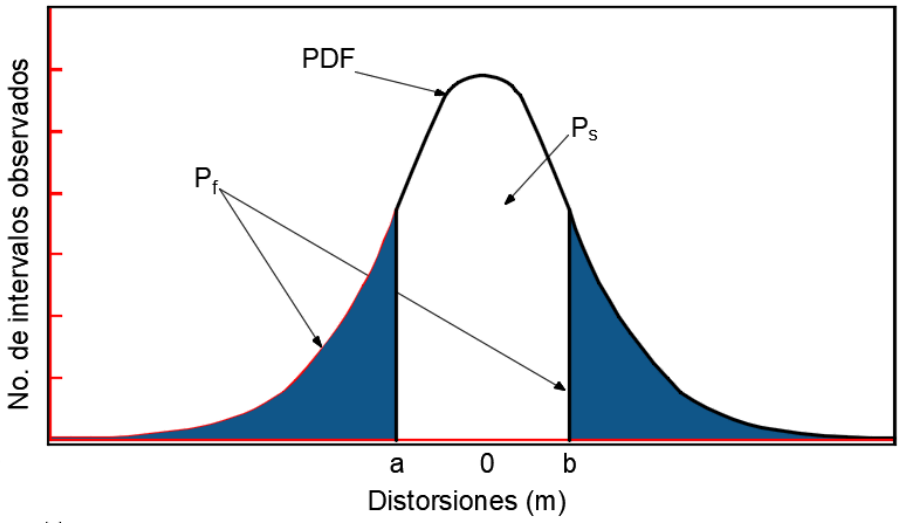


Figura 200. PDF con los limites correspondientes propuestas por la FEMA-SAC (2000).

Trabajando con el lado derecho de la ecuación 1, la probabilidad se puede calcular como (Nowak y Collins, 2012):

$$P(a < X \leq b) = \int_a^b fx\,(x)dx; \quad Ecuación\ 2$$

Donde $fx(x)$ es el PDF de las distorsiones obtenidas del edificio llevando a cabo un análisis dinámico no lineal paso a paso.

Para este proyecto de intervención, $fx(x)$ se refiere a la función de probabilidad de las 13 distribuciones utilizadas, y para a, b, los límites permisibles propuestos por la FEMA-SAC (2000) según sea el caso del nivel de desempeño que se esté analizando.

Índice de confiabilidad (β) a partir de la probabilidad de falla

Como ya se había mencionado anteriormente en la actualidad, existe un riesgo latente en nuestra sociedad por las implicaciones, tanto materiales como humanas, que pueden tener los efectos devastadores de los sismos. Por lo tanto, es muy importante expresar la confiabilidad de los puentes en términos de un factor específico. Dicho factor o índice se cono comúnmente en la literatura como índice de confiabilidad (Nowak y Collins, 2012); el cual se le denota con la letra (β). En términos generales, (β) es la confiabilidad asociada a un sistema para lograr la función requerida en condiciones de rendimiento específicas durante un período de tiempo determinado. Además, β está estrechamente relacionado con p_f, y se puede expresarse de la siguiente manera:

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - p_f); \text{ Ecuación 3}$$

Donde Φ^{-1} es la función de la distribución acumulativa inversa (CDF, por sus siglas en inglés) de interés, que se encuentra relacionada con el PDF de los datos en consideración.

Para el cálculo de la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad, se utilizó la herramienta de cálculo MATLAB, donde se utilizaron los códigos de probabilidad. Es importante mencionar que cuando la probabilidad de falla sea mayor a 50 % beta presentara valores negativos y cuando sea menor a 50 % presentara valores positivos, debido a que para obtener la probabilidad de falla es necesario integrar la función de densidad de probabilidad estandarizando la variable aleatoria, como se muestra en la ecuación 2.

3.6.10.1 Confiabilidad estructural para ocupación inmediata de marcos con contravientos

De la Figura 201 a la 211, se muestran los histogramas con las funciones de densidad de probabilidad que más se ajustan a los datos obtenidos para las distorsiones, acompañados de la gráfica de distorsiones con la finalidad de interpretar los histogramas de forma más clara. Las 11 imágenes que a continuación se presentan son las funciones que más se ajustaron a los histogramas de los sismos y finalmente se presentan los resultados en la Tabla 17, en la cual se pueden observar el nombre de la distribución que más se ajustó al sismo, su probabilidad de falla y su índice de confiabilidad. Hablando en general, de la Tabla 17 podemos concluir que para el nivel de desempeño de ocupación inmediata la estructura con

contravientos tipo Chevrón presenta buen índice de confiabilidad estructural, tomando como referencia la Norma ASCE 7-16 y 7-10, la cual establece que si el porcentaje de probabilidad de falla es menor a 10 % la estructura es segura.

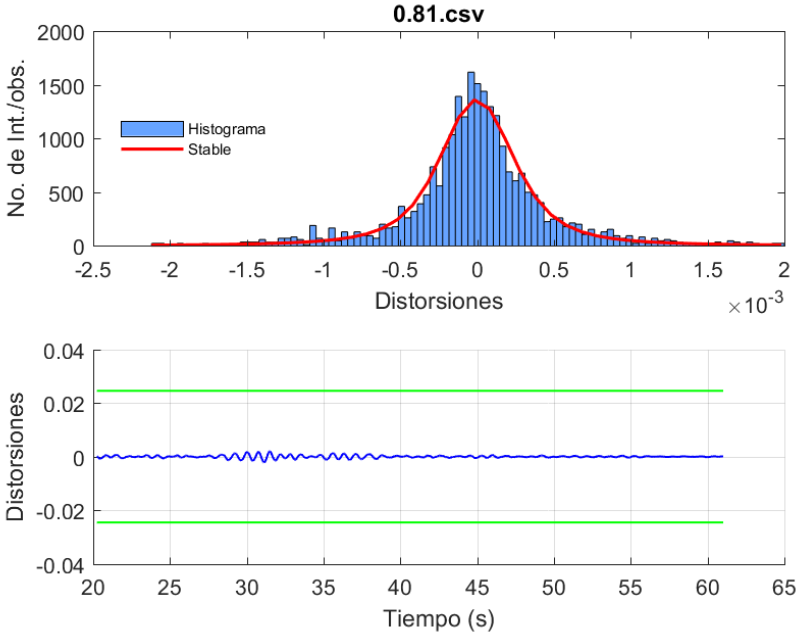


Figura 201. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-OI-MCC con factor de escala de 0.805.

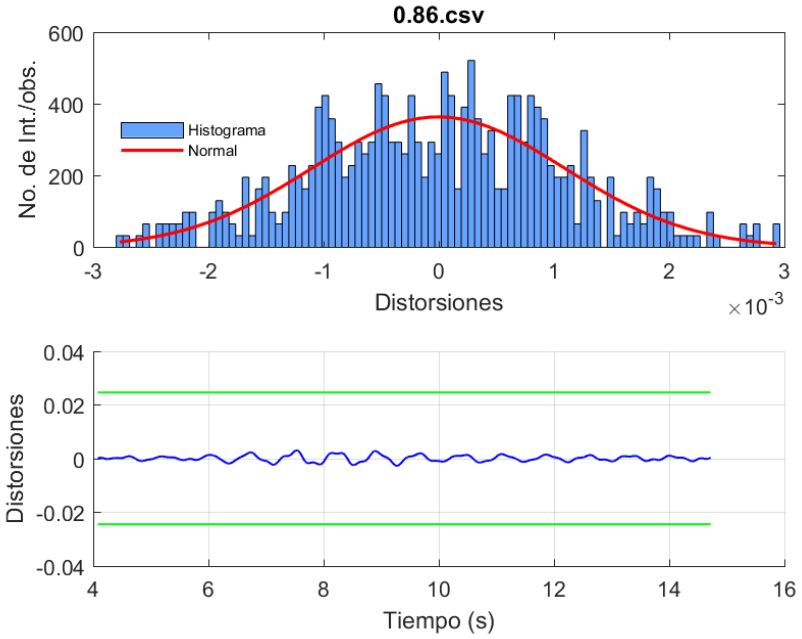


Figura 202. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-OI-MCC con factor de escala de 0.856.

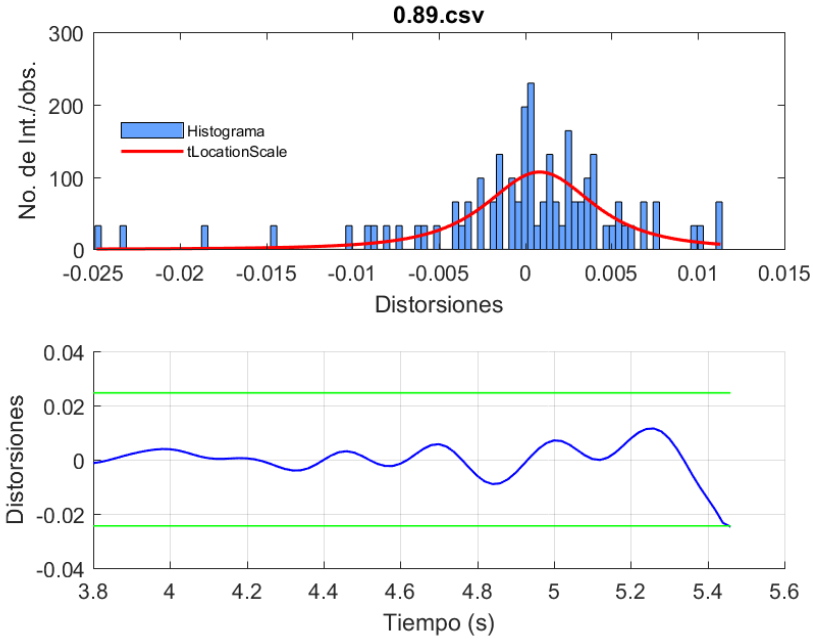


Figura 203. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-OI-MCC con factor de escala de 0.886.

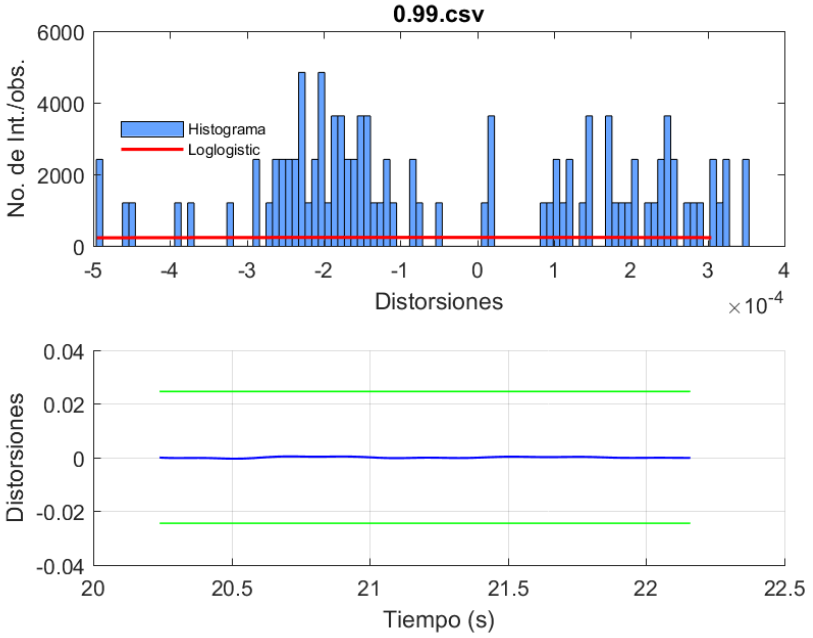


Figura 204. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-OI-MCC con factor de escala de 0.985.

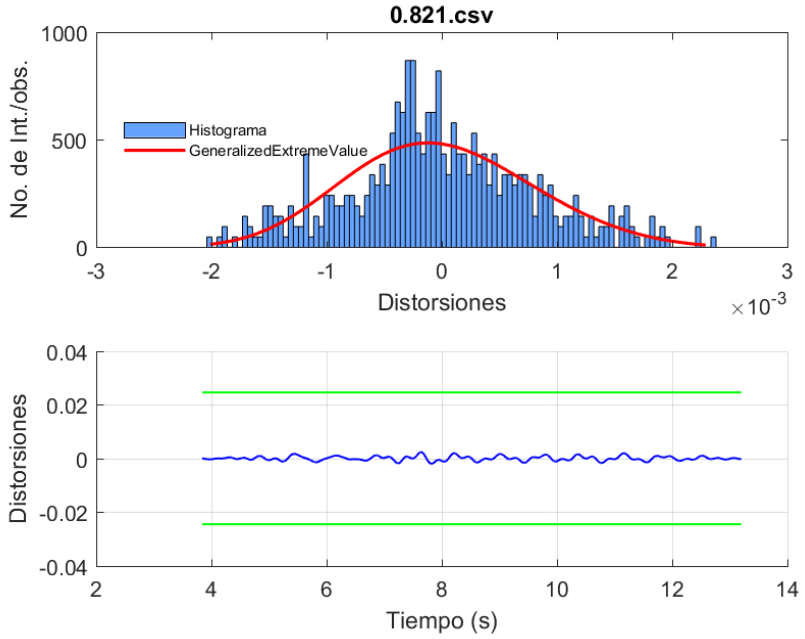


Figura 205. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-OI-MCC con factor de escala de 0.821.

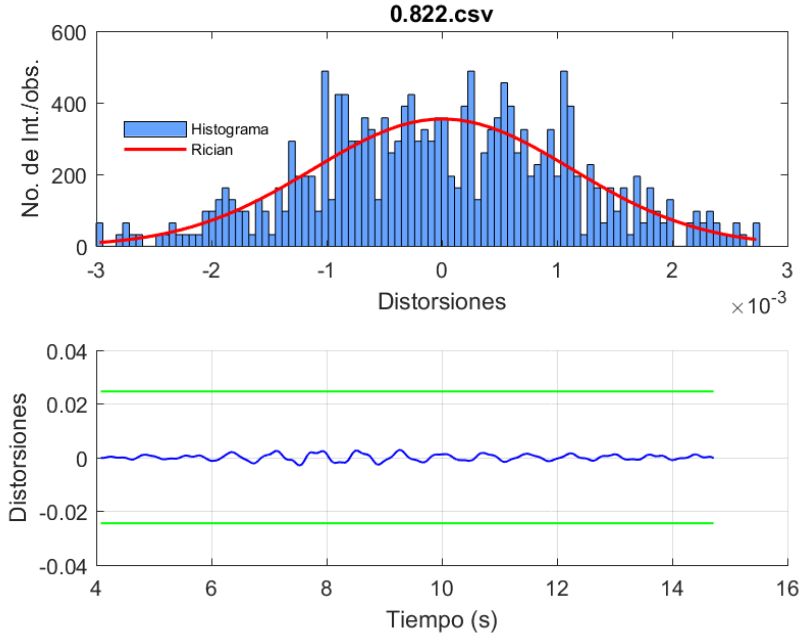


Figura 206. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-OI-MCC con factor de escala de 0.822.

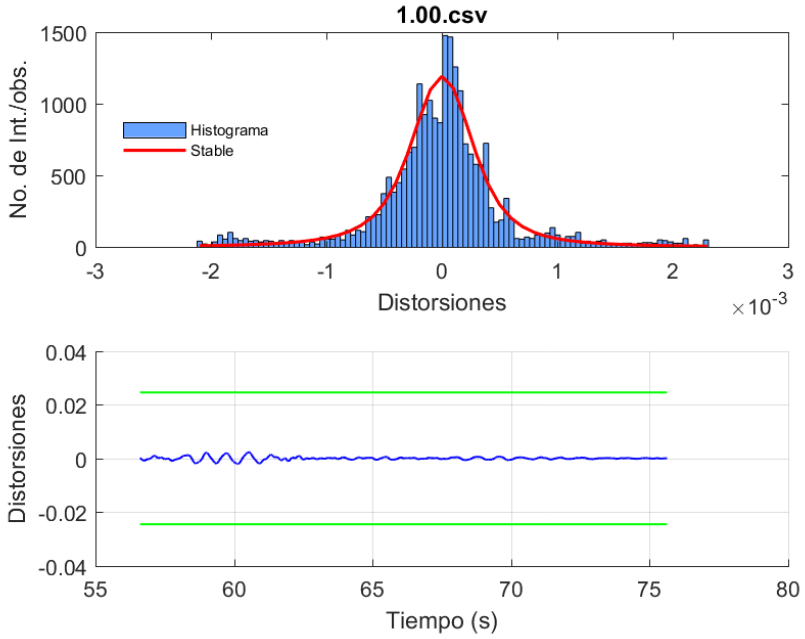


Figura 207. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-OI-MCC con factor de escala de 1.0.

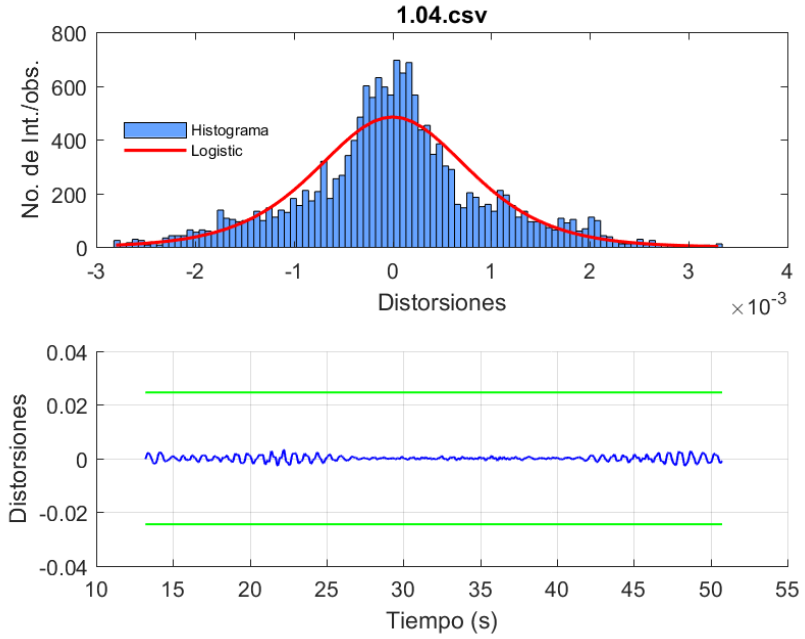


Figura 208. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S8-OI-MCC con factor de escala de 1.04.

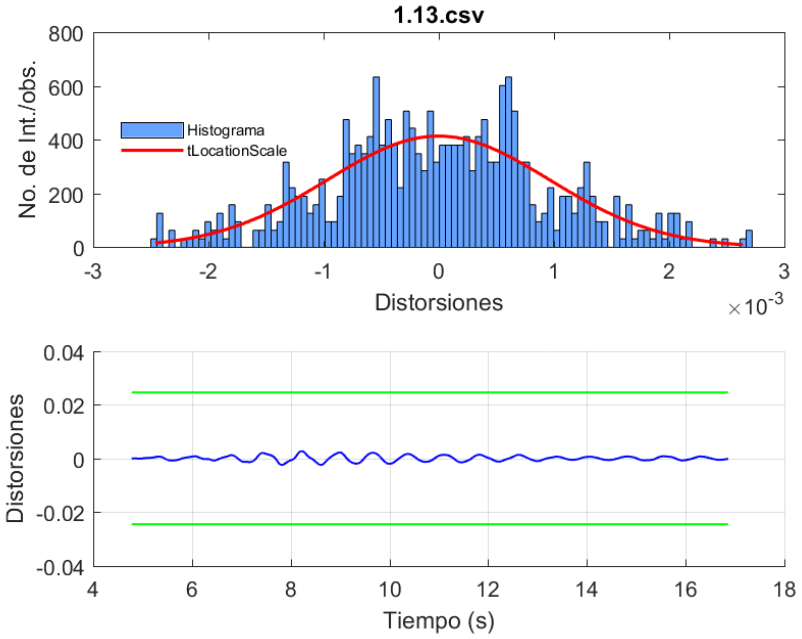


Figura 209. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-OI-MCC con factor de escala de 1.13.

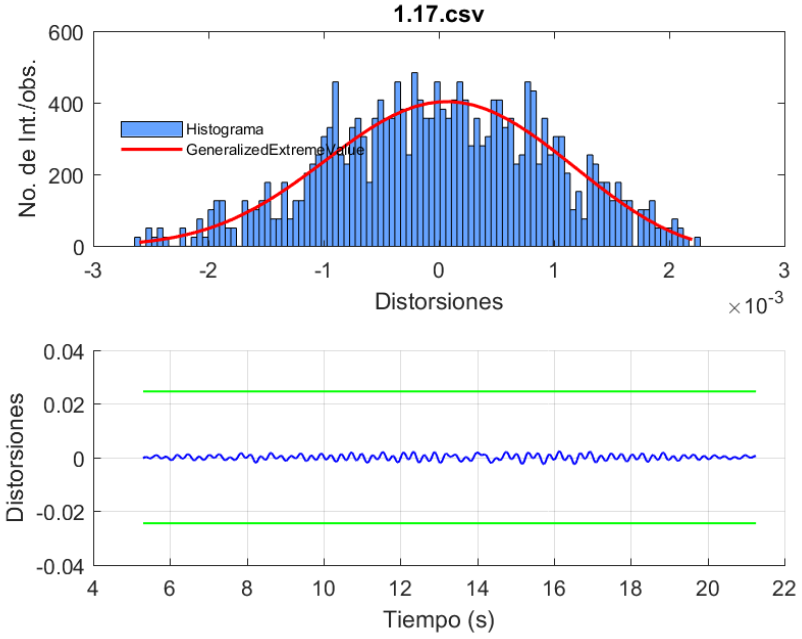


Figura 210. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S10-OI-MCC con factor de escala de 1.17.

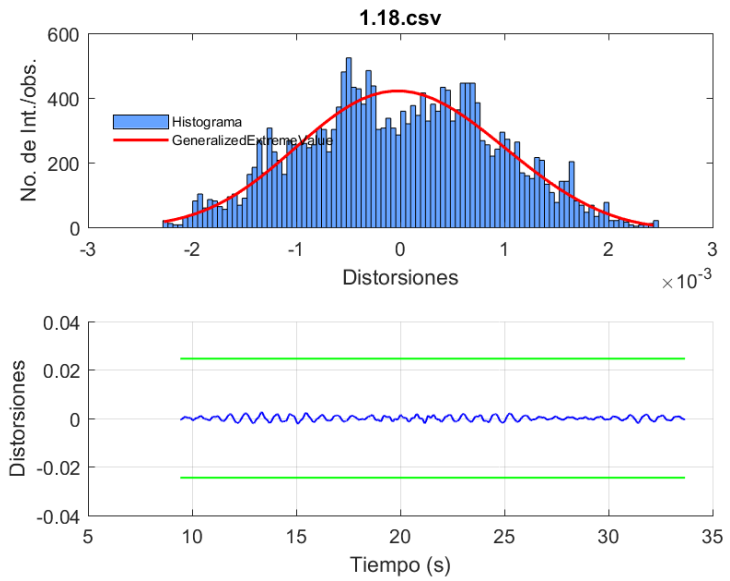


Figura 211. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-OI-MCC con factor de escala de 1.18.

Tabla 17. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de seguridad de vida.

MARCOS CON CONTRAVIENTO OCUPACIÓN INMEDIATA			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
0.81.csv	Stable	0.00079	30.699
0.86.csv	Normal	0	Inf
0.89.csv	tLocationScale	0.0137	2.93055
0.99.csv	Loglogistic	4.58E-11	105.002
0.821.csv	GeneralizedExtremeValue	0	3.88832
0.822.csv	Rician	0	Inf
1.00.csv	Stable	0.00118	22.831
1.04.csv	Logistic	0	Inf
1.13.csv	tLocationScale	0	Inf
1.17.csv	GeneralizedExtremeValue	0	2.69712
1.18.csv	GeneralizedExtremeValue	0	3.11282

3.6.10.2 Confiabilidad estructural para ocupación inmediata de marcos rígidos

Continuando con el desempeño de prevención al colapso, pero ahora para marcos rígidos, para las Figuras 212 a la 222, se muestran los histogramas de los sismos con las funciones que más se ajustaron. De la misma manera que en el punto 3.6.10.1, se presenta la tabla de resultados, la cual corresponde a la Tabla 12 misma que resume los resultados finales de confiabilidad estructural para el marco rígido. Si estos resultados son comparados con los de la Tabla 11, se puede concluir que los valores de probabilidades de fallas de los marcos con contraviento son mucho menores a la de los marcos rígidos. Además se puede observar que el valor promedio de probabilidad de falla es de 58%, valor que se encuentra por encima del 10%, limite que establece la norma ASCE 7-16 y 7-10 para considerar una estructura segura. Por lo que para este caso la probabilidad de falla va más allá de lo que marca la norma, lo cual cataloga como inseguro al marco rígido ante el nivel de desempeño de prevención de colapso.

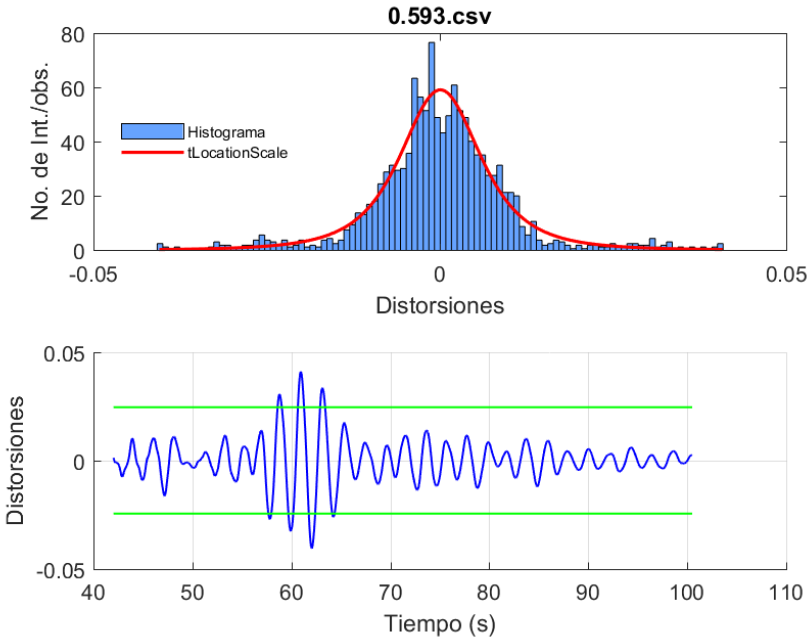


Figura 212. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S1-OI-MR con factor de escala de 0.593.

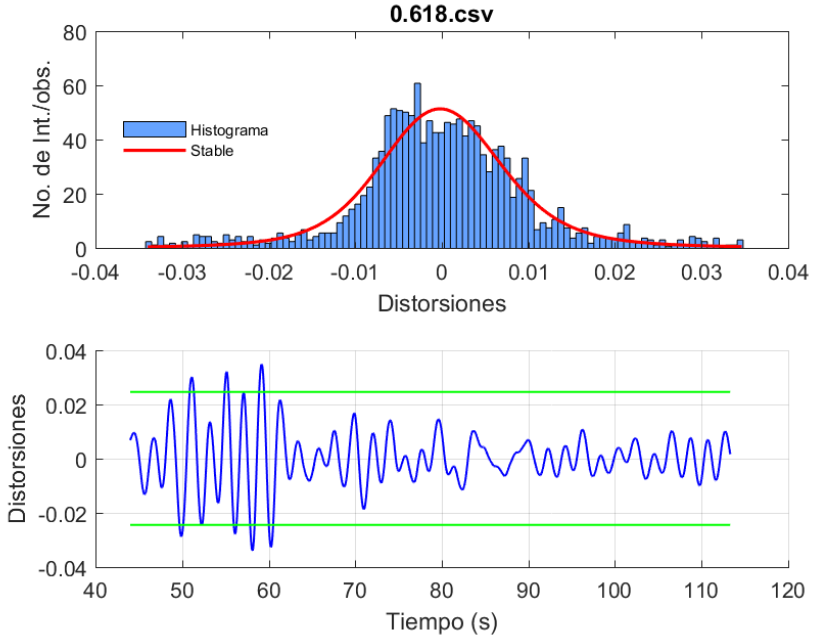


Figura 213. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S2-OI-MR con factor de escala de 0.618.

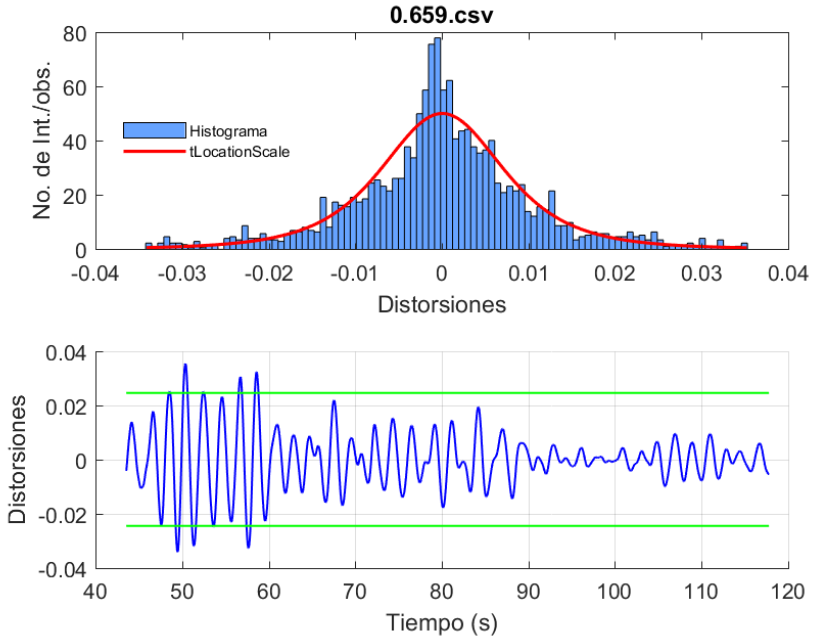


Figura 214. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S3-OI-MR con factor de escala de 0.659.

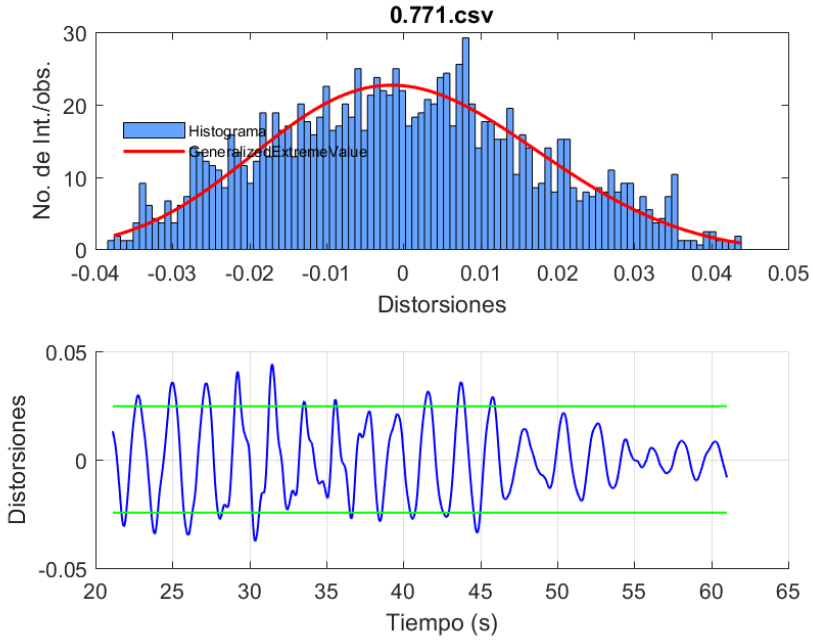


Figura 215. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S4-OI-MR con factor de escala de 0.771.

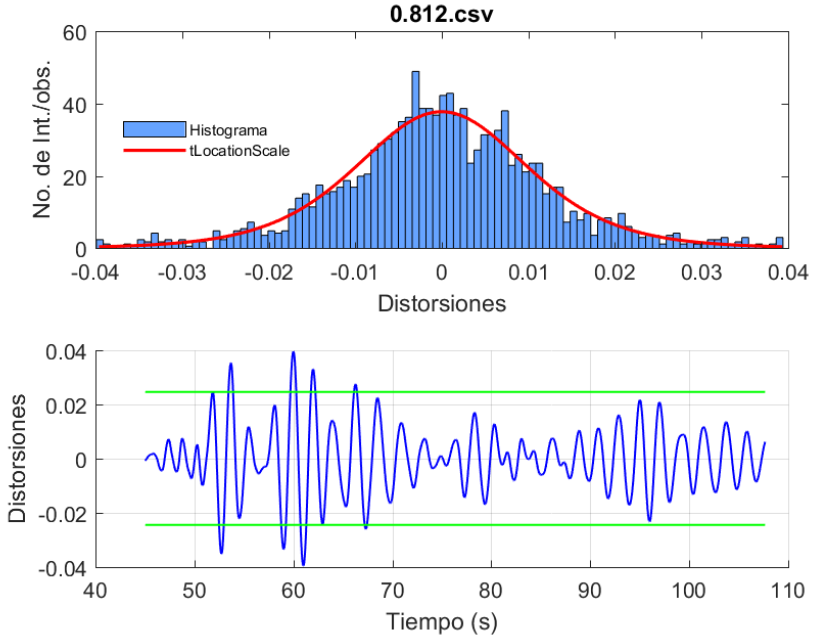


Figura 216. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S5-OI-MR con factor de escala de 0.812.

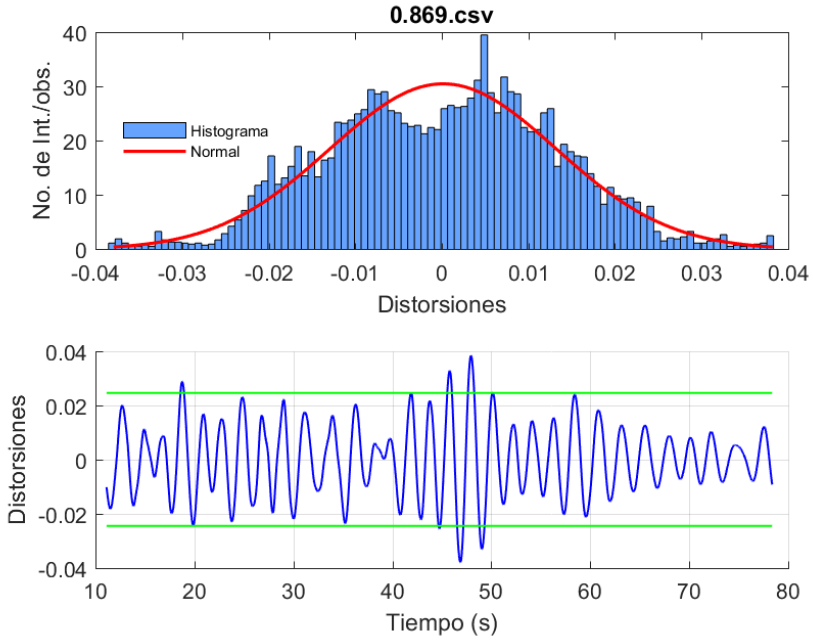


Figura 217. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S6-OI-MR con factor de escala de 0.869.

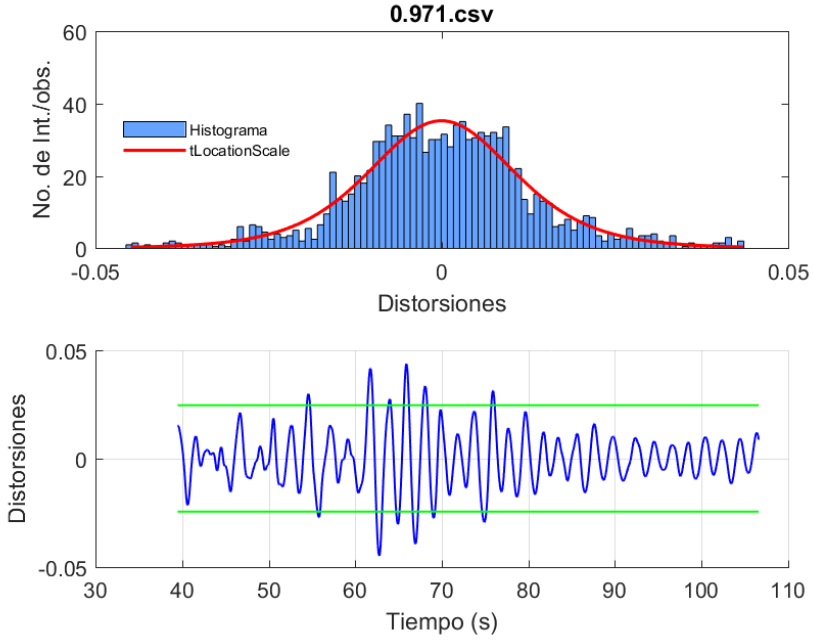


Figura 218. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S7-OI-MR con factor de escala de 0.971.

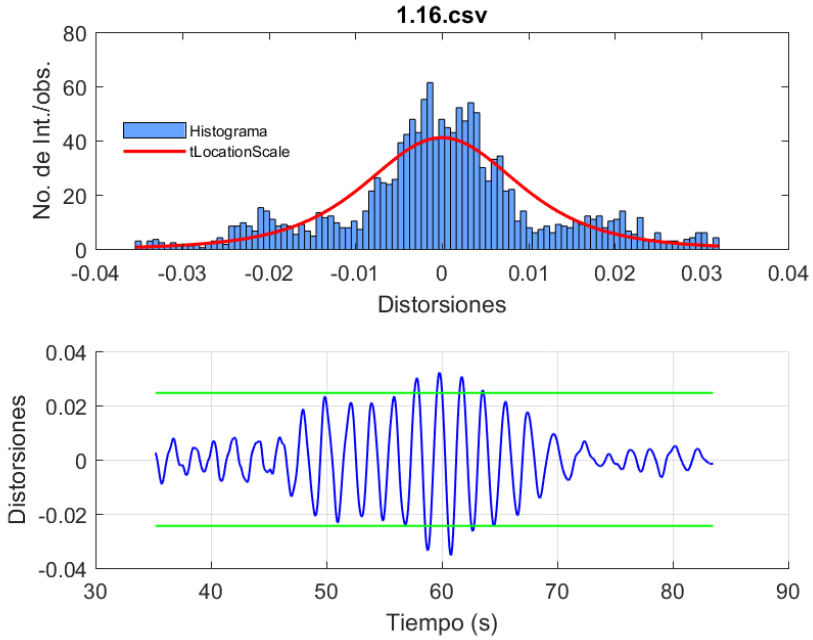


Figura 219. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S8-OI-MR con factor de escala de 1.16.

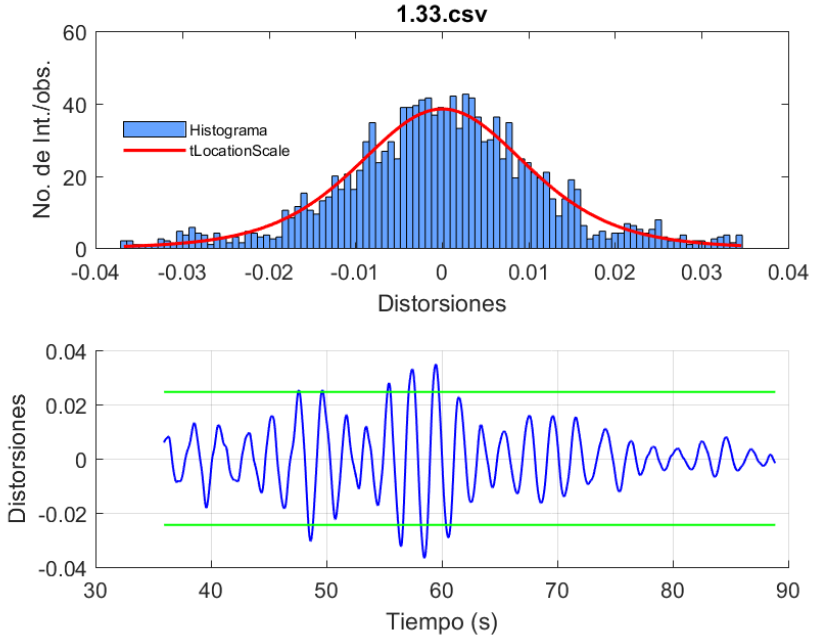


Figura 220. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S9-OI-MR con factor de escala de 1.33.

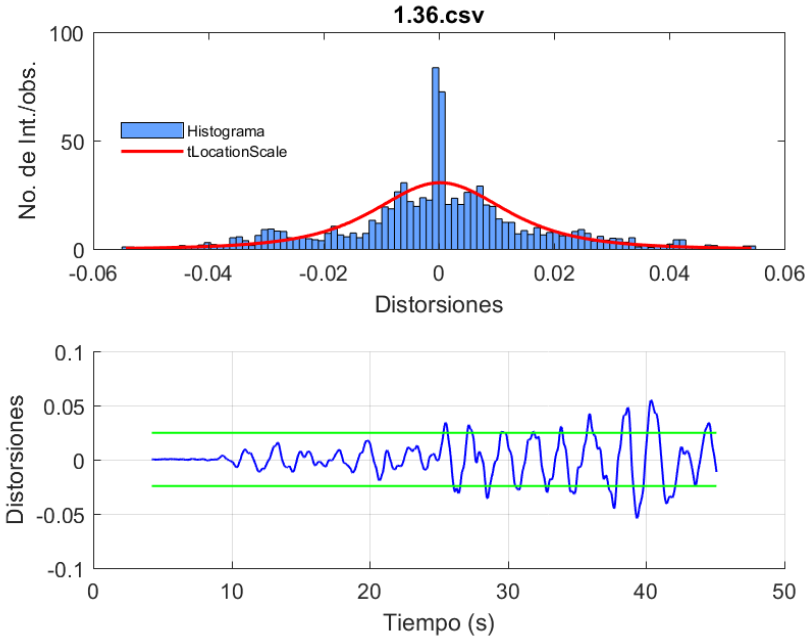


Figura 221. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S10-OI-MR con factor de escala de 1.36.

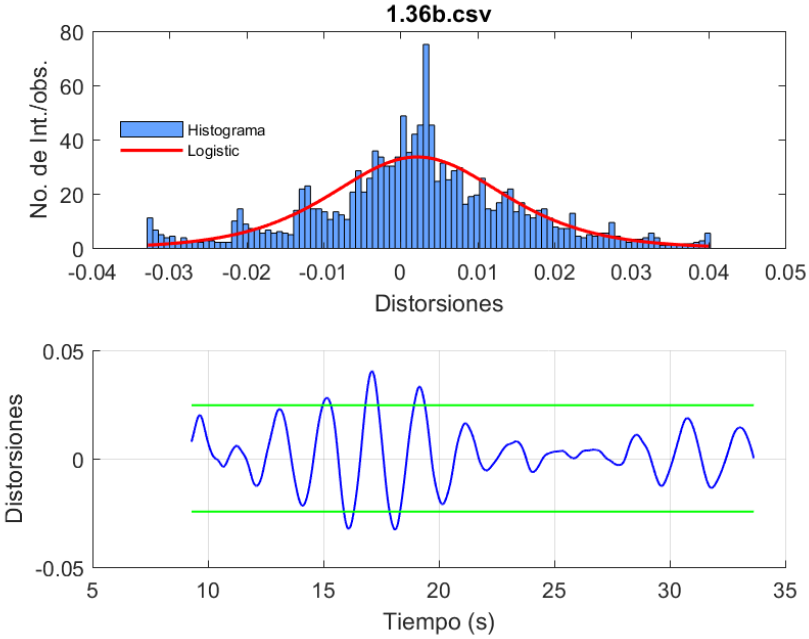


Figura 222. Histograma de distorsiones para nivel de ocupación inmediata para marcos rígidos en el sismo S11-OI-MR con factor de escala de 1.36B.

Tabla 18. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de ocupación inmediata.

MARCOS RÍGIDOS OCUPACIÓN INMEDIATA			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
0.593.csv	tLocationScale	0.0347076	0.0181581
0.618.csv	Stable	0.5216149	-0.033989
0.659.csv	tLocationScale	0.5281874	-0.055242
0.771.csv	GeneralizedExtremeValue	7.65E-01	-0.718223
0.812.csv	tLocationScale	0.6219009	-0.272591
0.869.csv	Normal	0.7027476	-0.561597
0.971.csv	tLocationScale	0.6449729	-0.31677
1.16.csv	tLocationScale	0.5926434	-0.195368
1.33.csv	tLocationScale	0.6153377	-0.261285
1.36.csv	tLocationScale	0.6914758	-0.385415
1.36b.csv	Logistic	0.6663996	-0.386558

3.6.10.3 Confiabilidad estructural para seguridad de vida de marcos con contravientos

De modo similar que el nivel de desempeño de ocupación inmediata, se extrajo la confiabilidad estructural para seguridad de vida aplicando la misma metodología, con la diferencia que en este apartado se usarán los sismos para un periodo de retorno de 475 años. En las Figuras 223-232 se muestran los histogramas con los PDF's (funciones e densidad de probabilidad) que más se ajustan para los 11 sismos más representativos para el nivel de seguridad de vida. Si se comparan los valores de probabilidad de falla e índice de confiabilidad de la Tabla 19 con el limite permisible de la ASCE 7-16 y 7-10, podemos observar que para ningún sismo la probabilidad de falla es mayor que el 10% o, en otras palabras, el índice de confiabilidad para todos los casos es mayor a 1.28. Por lo que se concluye que la estructura con contravientos sometida a sismos con periodo de retorno de 475 años es confiable.

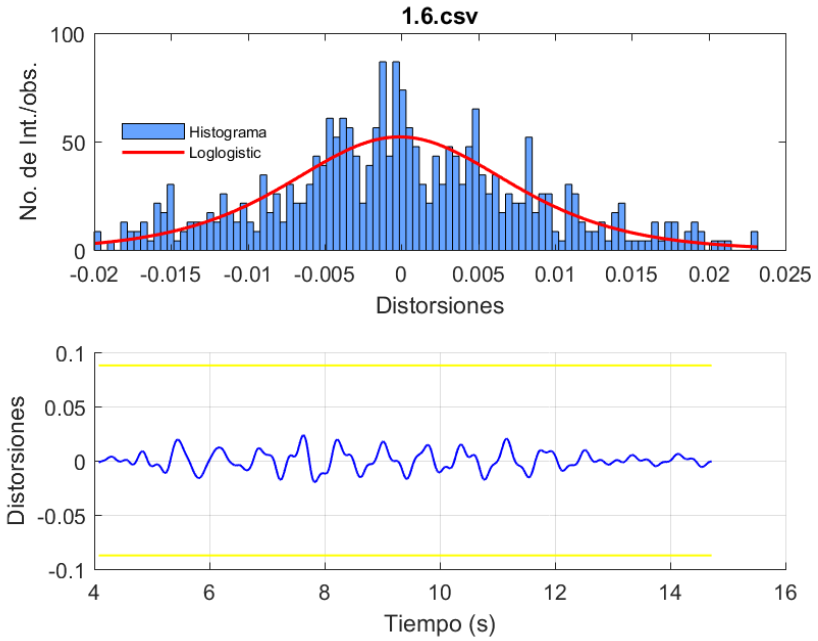


Figura 223. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S1-SV-MCC con factor de escala de 1.6.

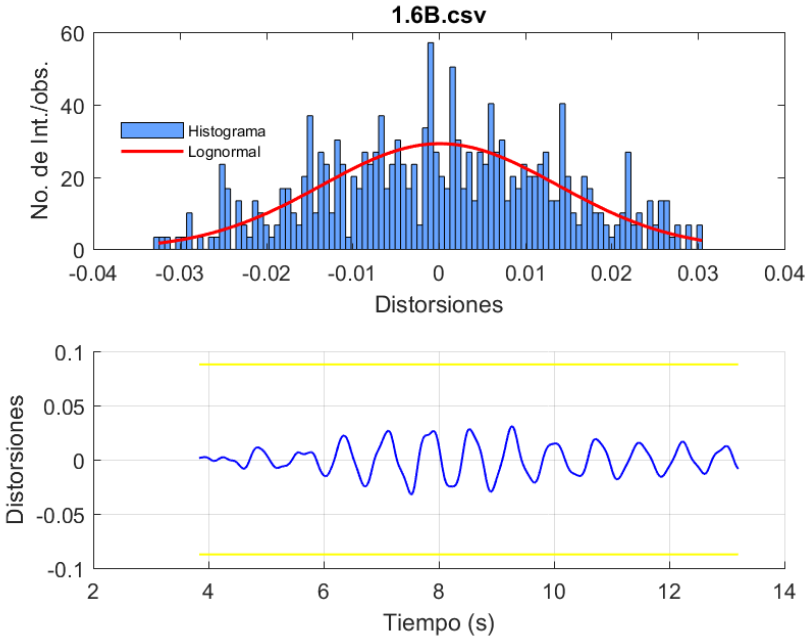


Figura 224. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S2-SV-MCC con factor de escaña de 1.6 B.

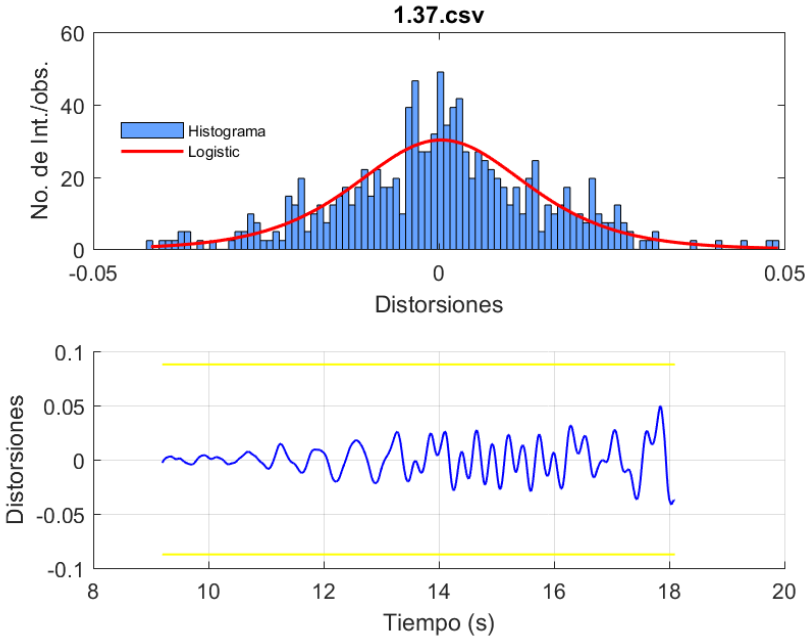


Figura 225. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S3-SV-MCC 151 con factor de escala de 1.37.

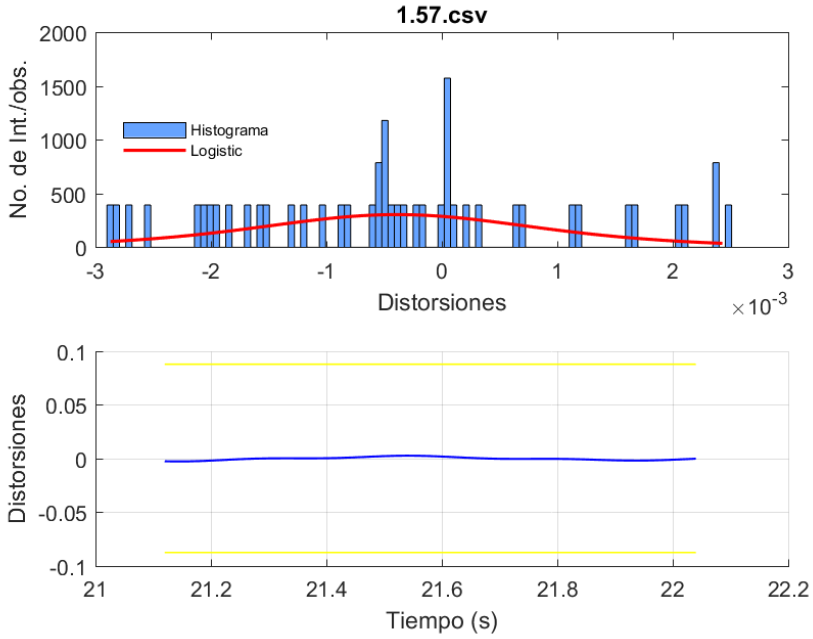


Figura 226. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S4-SV-MCC con factor de escala de 1.57.

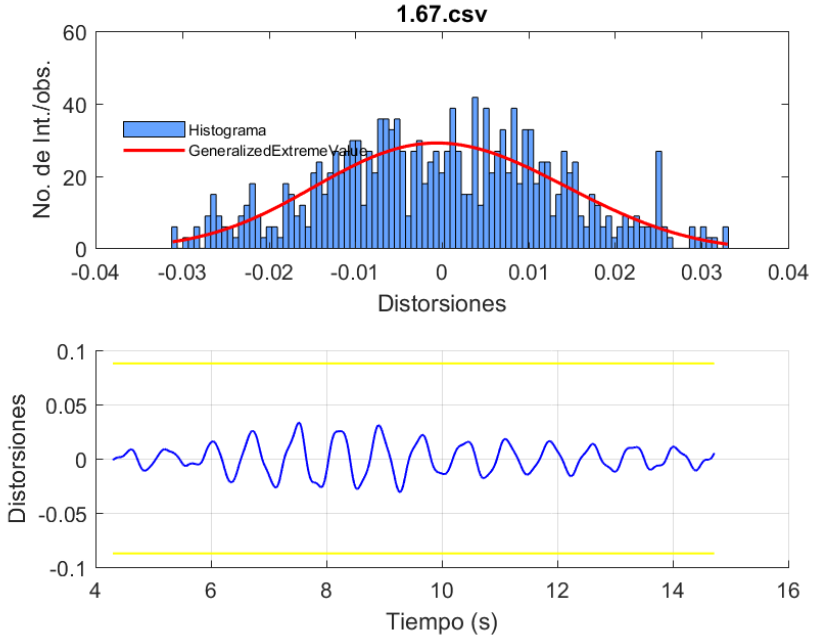


Figura 227. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S5-SV-MCC con factor de escala de 1.67.

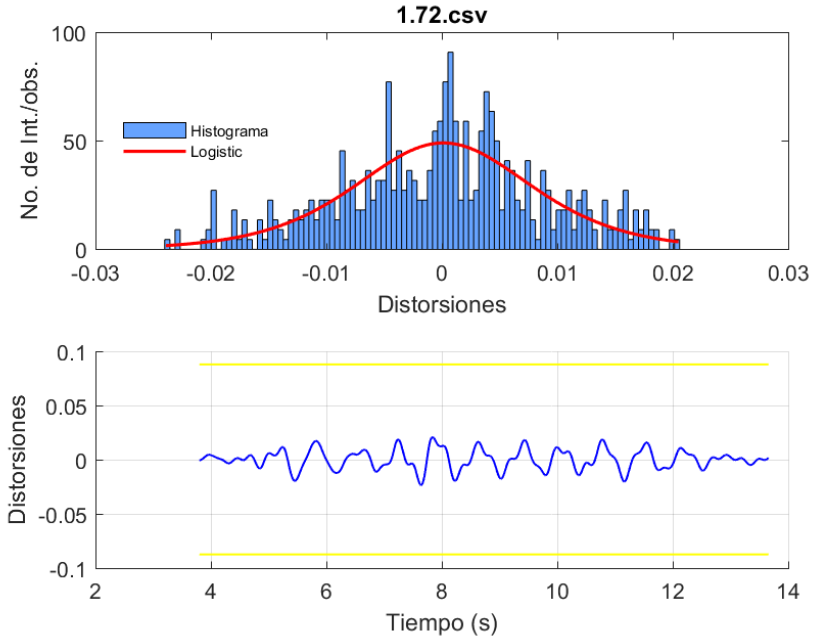


Figura 228. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S6-SV-MCC con factor de escala de 1.72.

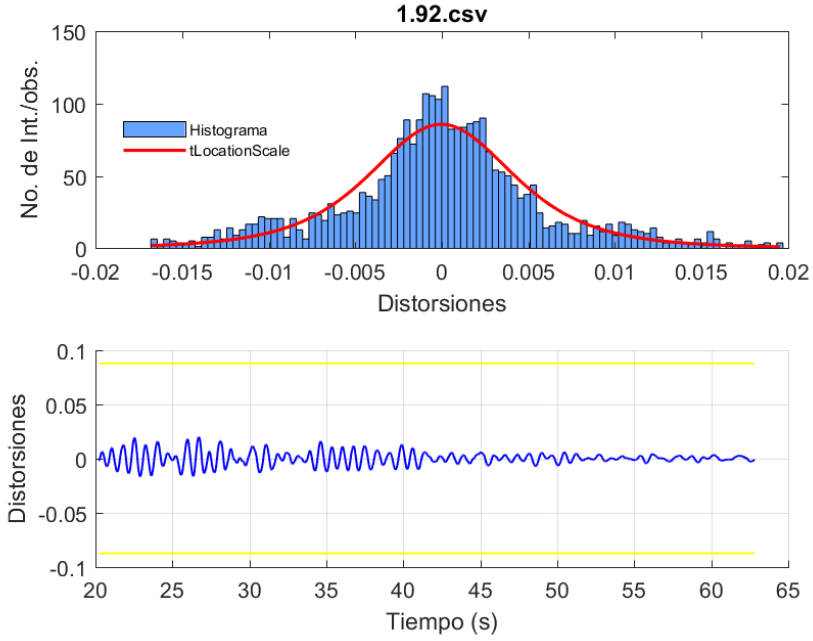


Figura 229. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S7-SV-MCC con factor de escala de 1.92.

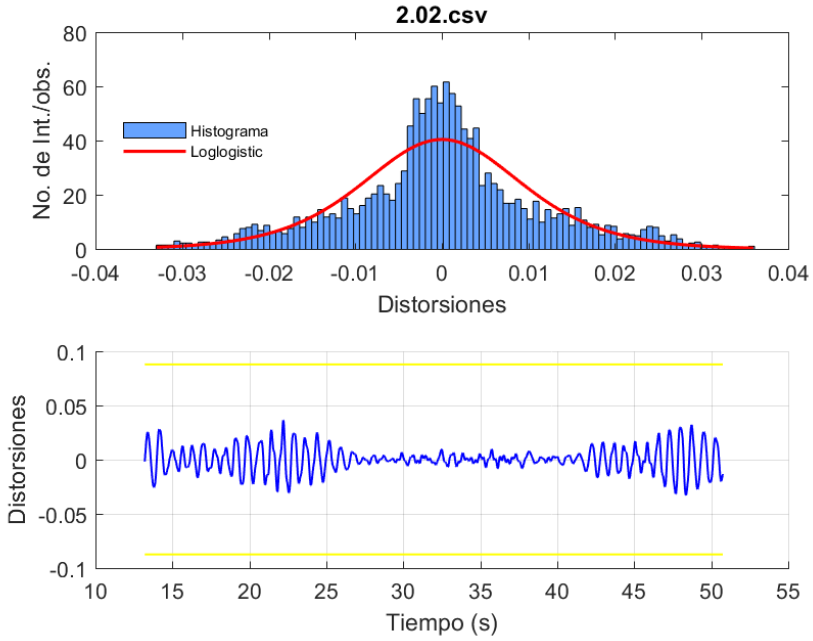


Figura 230.Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S9-SV-MCC con factor de escala de 2.02.

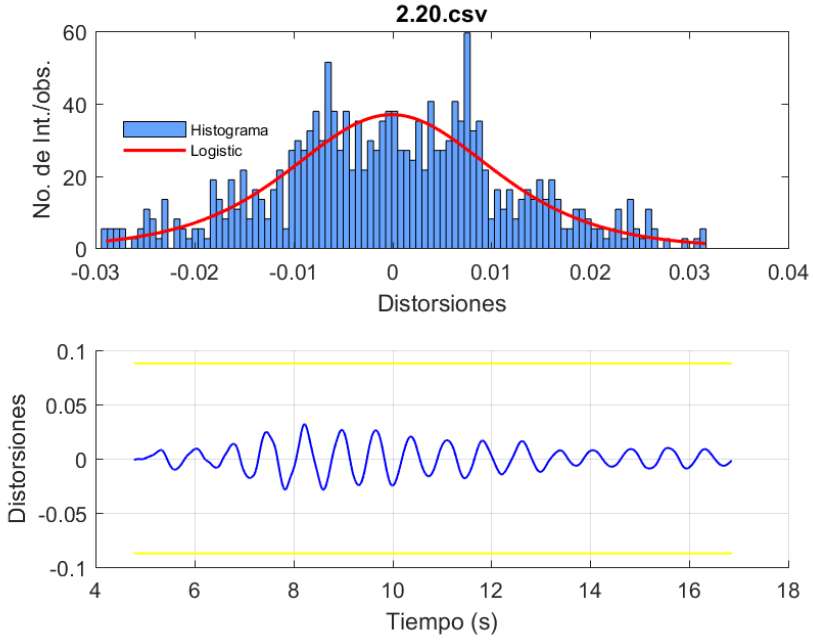


Figura 231. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S10-SV-MCC con factor de escala de 2.20

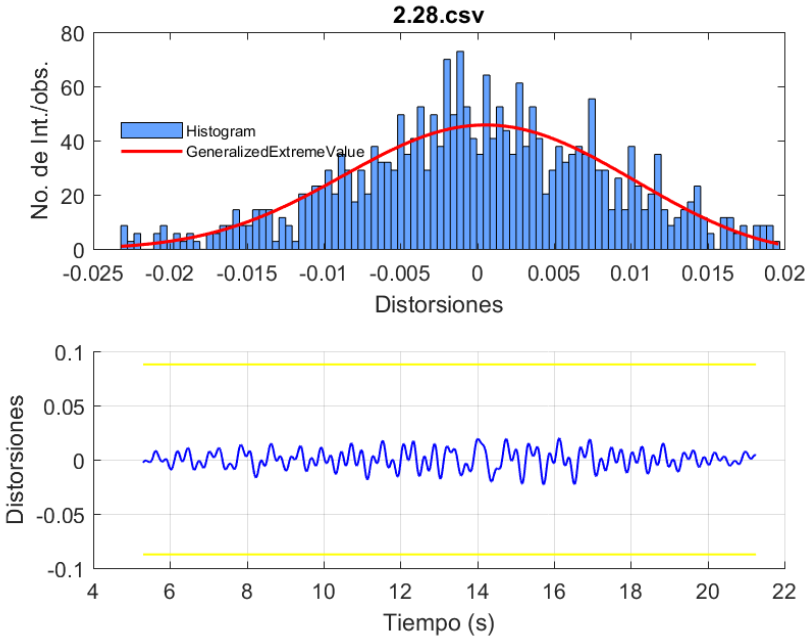


Figura 232. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos con contravientos Chevrón en el sismo S11-SV-MCC con factor de escala de 2.28.

Tabla 19. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de seguridad de vida.

MARCOS CON CONTRAVIENTO SEGURIDAD DE VIDA			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
1.6.csv	Loglogistic	0.0118906	2.4935494
1.6B.csv	Lognormal	0.0729616	1.4540911
1.37.csv	Logistic	0.0984953	1.2398555
1.57.csv	Logistic	2.48E-13	16.540194
1.67.csv	GeneralizedExtremeValue	0.0612454	1.5538023
1.72.csv	Logistic	0.016277	2.3553416
1.92.csv	tLocationScale	0.0061318	3.3468534
2.02.csv	Loglogistic	0.0371816	1.7756105
2.20.csv	Logistic	0.052189	1.6534015
2.28.csv	GeneralizedExtremeValue	0.0017638	2.3739464

3.6.10.4 Confiabilidad estructural para seguridad de vida de marcos rígidos

Siguiendo con el nivel de seguridad de vida, pero ahora con los datos extraídos para el marco rígido, de la Figura 233 hasta la 243 se muestran los distintos PDFs con mejor ajuste a los histogramas para este nivel de desempeño. De forma general, se puede observar en la Tabla 20 dos cosas muy importantes. La primera es que la distribución que más se ajusta para estos sismos es la tLocationScale, y por otra parte, se puede ver que todos los valores de probabilidad de falla con excepción del sismo CDAF8509 con factor de escala de 1.8 son mayores que la del sistema de contraviento tipo Chevrón y del 10 % que establece como limite el ASCE 7-16. Aclarando que no significa que la edificación con marcos rígidos colapsará, si no que su índice de confiabilidad es más bajo y debido a esto tiene más riesgo de que falle la edificación.

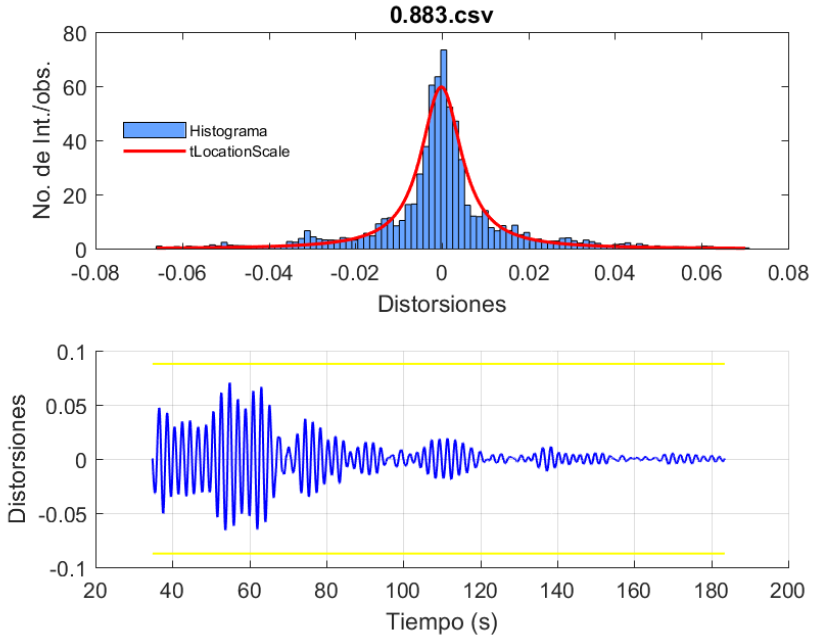


Figura 233. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S1-SV-MR con factor de escala de 0.883.

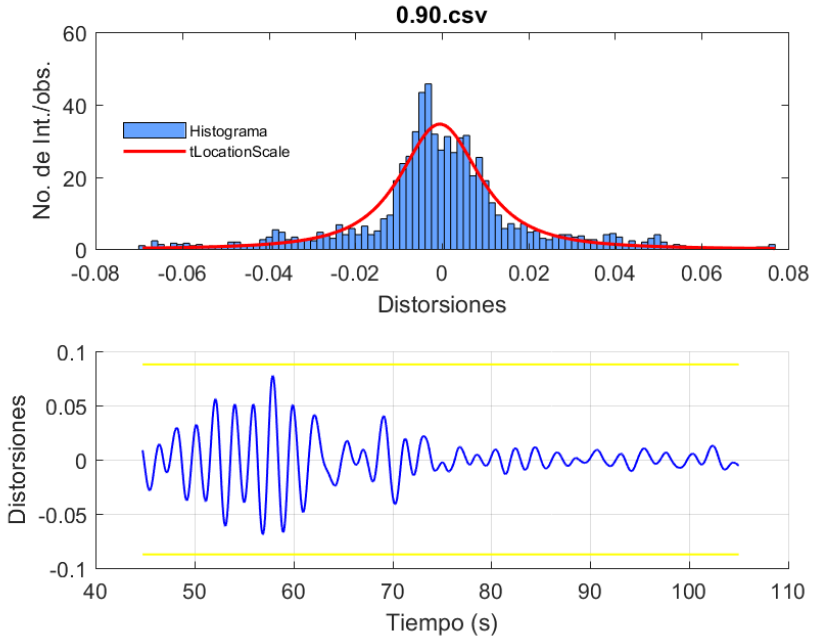


Figura 234. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S2-SV-MR con factor de escala de 0.903.

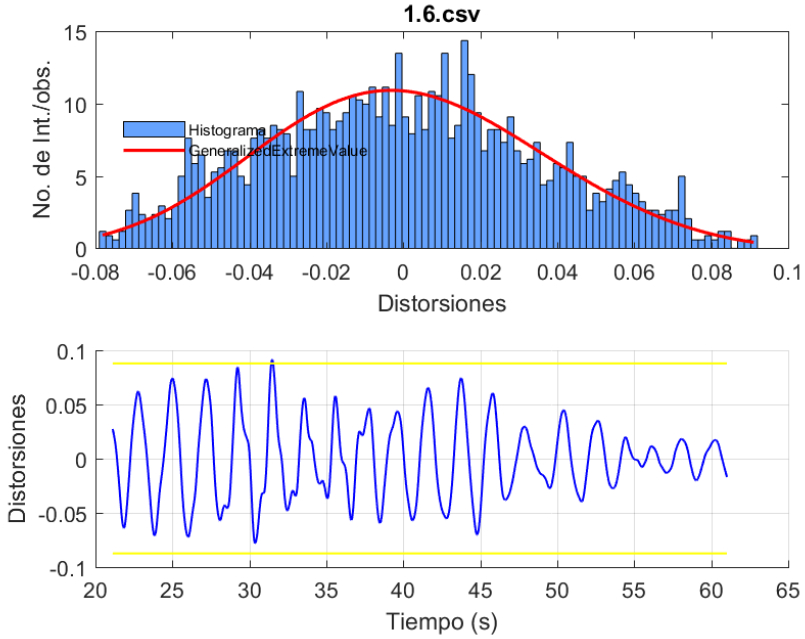


Figura 235. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S3-SV-MR con factor de escala de 1.60.

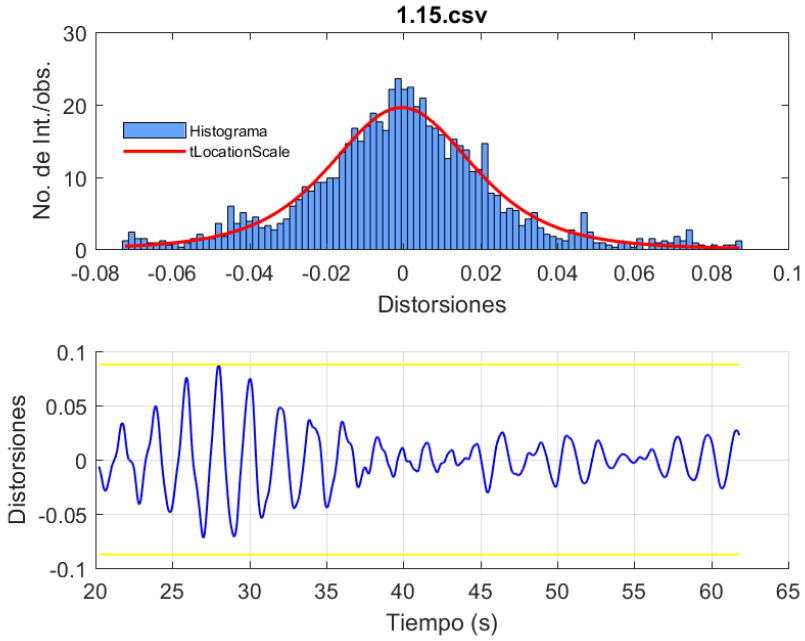


Figura 236. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S5-SV-MR con factor de escala de 1.15.

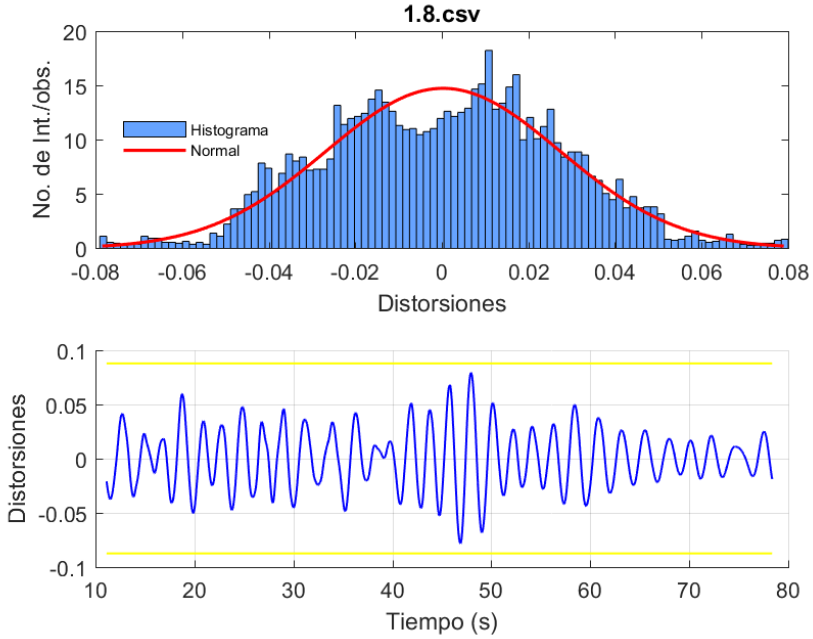


Figura 237. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S4-SV-MR con factor de escala de 1.80

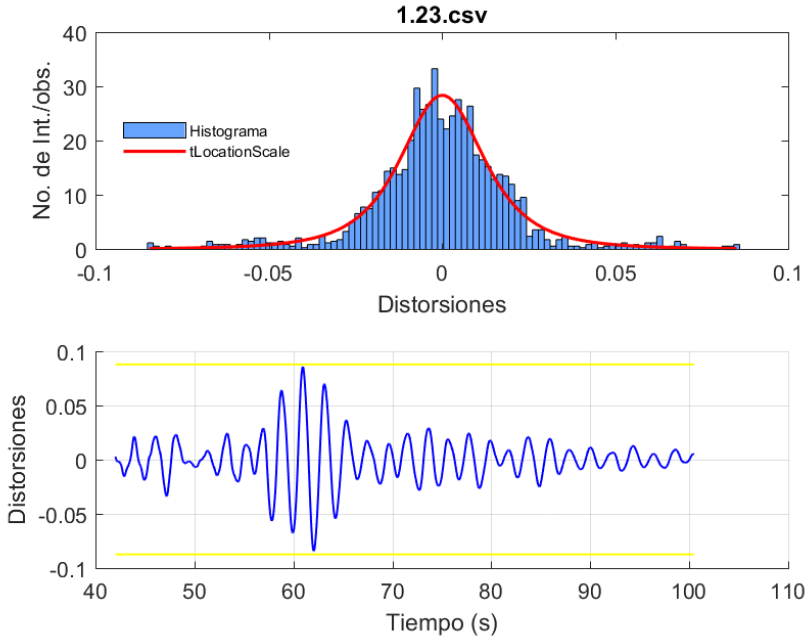


Figura 238. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S6-SV-MR con factor de escala de 1.23.

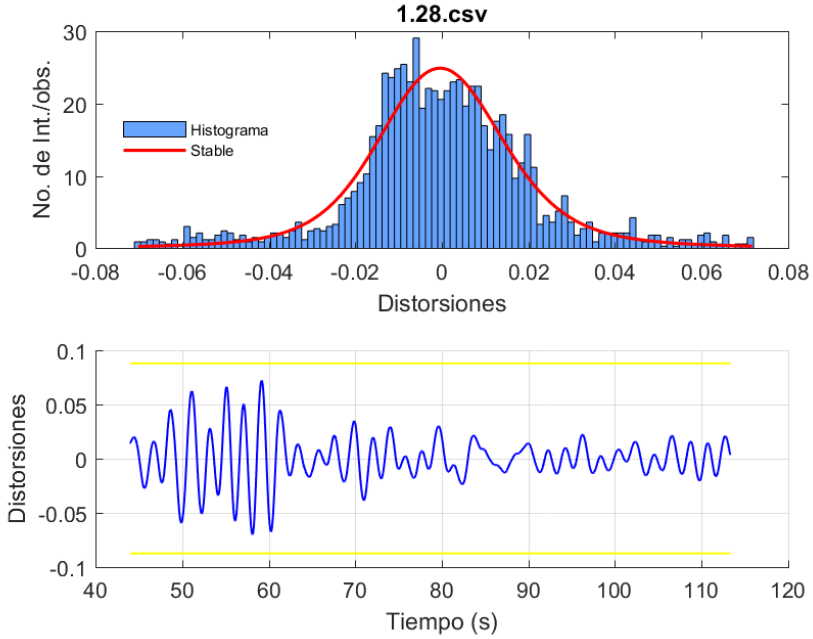


Figura 239. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S7-SV-MR con factor de escala 1.28.

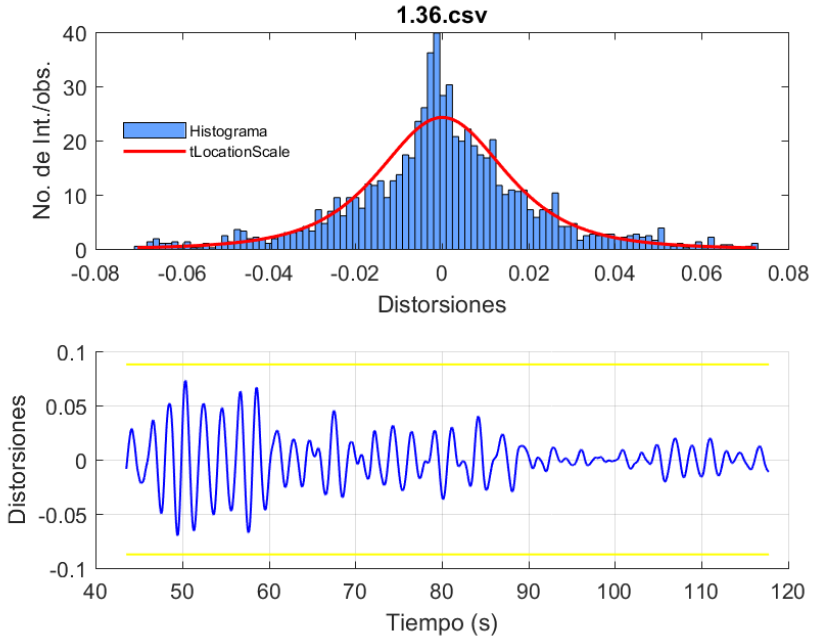


Figura 240. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S8-SV-MR con factor de escala 1.36.

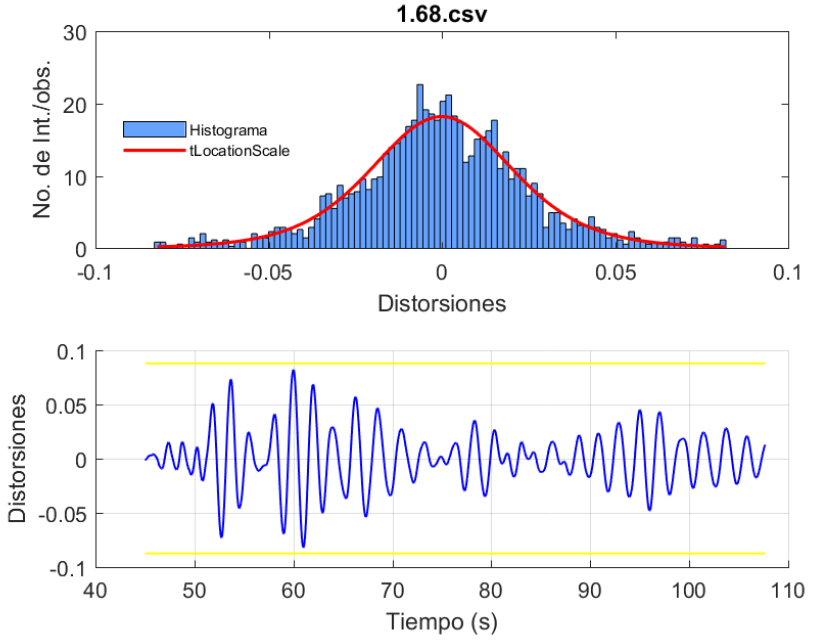


Figura 241. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S9-SV-MR con factor de escala de 1.68.

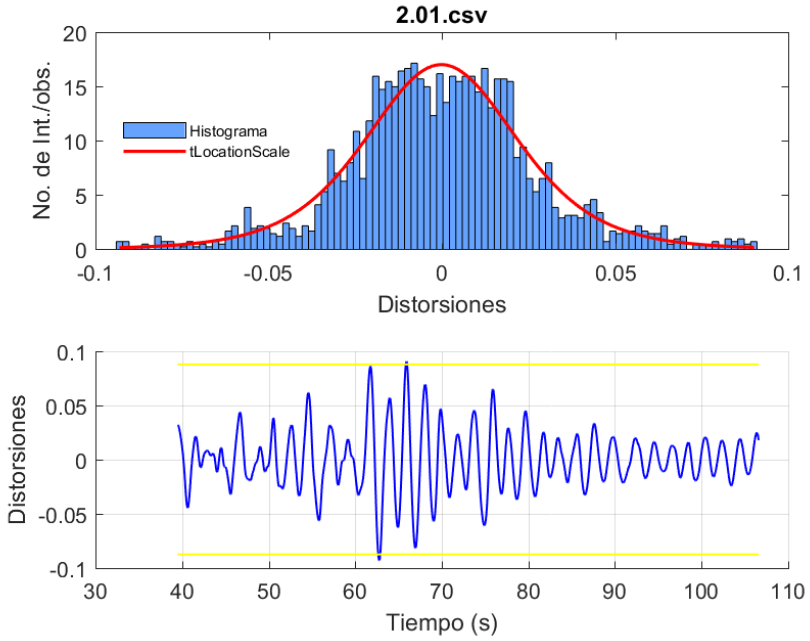


Figura 242. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S10-SV-MR con factor de escala de 2.01.

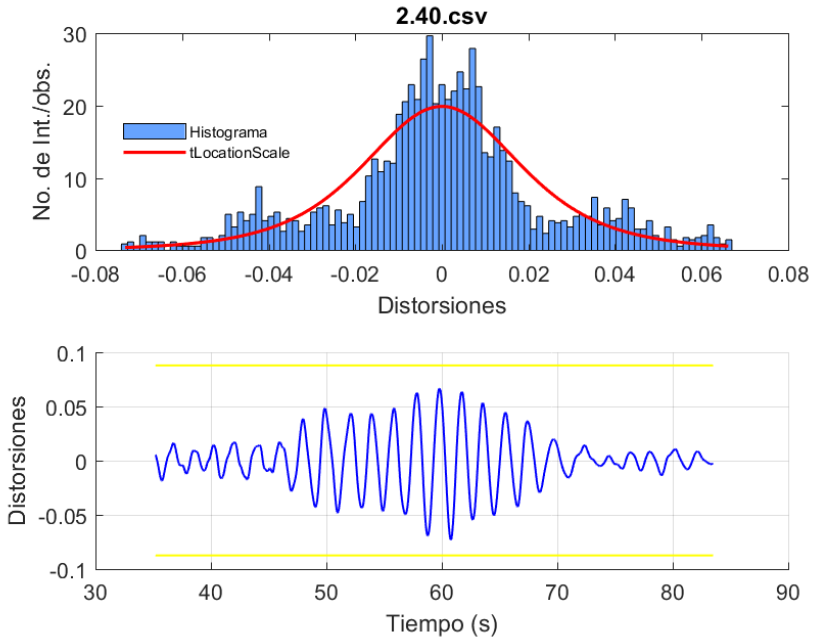


Figura 243. Histograma de distorsiones para nivel de seguridad de vida para marcos rígidos en el sismo S11-SV-MR con factor de escala de 2.4.

Tabla 20. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de seguridad de vida.

MARCOS RÍGIDO SEGURIDAD DE VIDA			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
0.90.csv	tLocationScale	0.1492796	0.6939572
0.883.csv	tLocationScale	0.1105976	0.7486958
1.6.csv	GeneralizedExtremeValue	0.5018361	-0.028234
1.8.csv	Normal	3.65E-01	0.3437967
1.15.csv	tLocationScale	0.2680173	0.4966028
1.23.csv	tLocationScale	0.1629888	0.7300613
1.28.csv	Stable	0.1796373	0.734464
1.36.csv	tLocationScale	0.1965921	0.6882022
1.68.csv	tLocationScale	0.28757	0.4922081
2.01.csv	tLocationScale	0.3186992	0.400804
2.40.csv	tLocationScale	0.2631798	0.5306044

3.6.10.5 Confiabilidad estructural para prevención al colapso de marcos con contravientos.

Para concluir con la confiabilidad estructural de los tres niveles de desempeño, se mostrarán los resultados para los marcos con contravientos para un nivel de prevención al colapso. En la Tabla 21, se muestran las distribuciones que más se ajustaron para los 11 sismos de prevención al colapso, y de la Figura 244 hasta la 252 se muestran sus histogramas. Se puede ver una vez más que, al utilizar los contravientos, los valores de probabilidad de falla dan pequeños, con excepción de los sismos con factores de escala de 2.53, 2.64, 3.19 y 3.49, los cuales son valores de probabilidad de falla mayores al 10% el cual es el límite establecido por la norma ASCE 7-16, pero si se saca un promedio de todas las probabilidades de falla como en los puntos anteriores da un valor de 11%, valor muy cercano al límite, por lo que se puede concluir que la estructura es confiable ante una probabilidad de falla. Hablando en general de los sistemas de contravientos, se puede decir que para los tres niveles de desempeño presento un buen índice de confiabilidad ya que para el nivel de ocupación inmediata y seguridad de vida sus promedios dan mayor a 1.28 y para el nivel de prevención al colapso se encuentra muy cercano a él.

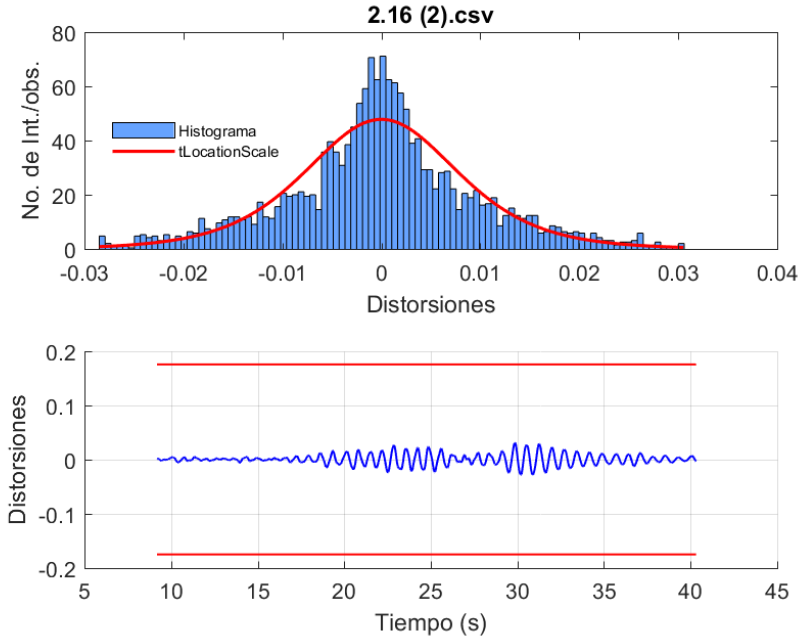


Figura 244. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S1-PC-MCC con factor de escala de 2.16.

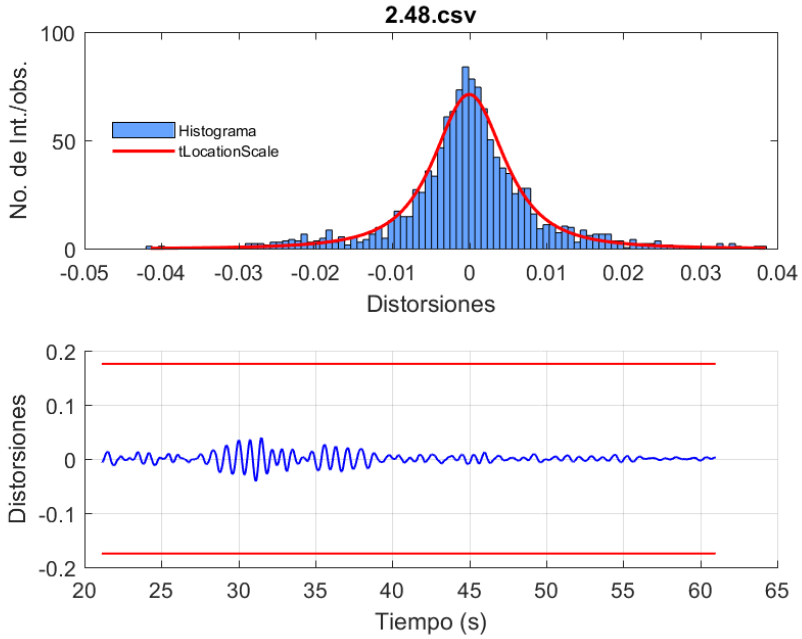


Figura 245. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S2-PC-MCC con factor de escala de 2.48.

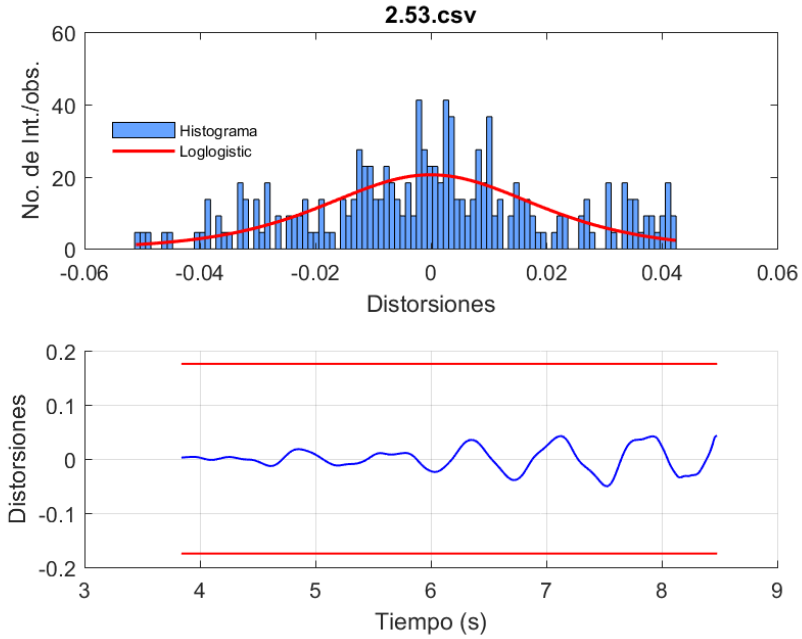


Figura 246. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S3-PC-MCC con factor de escala de 2.53.

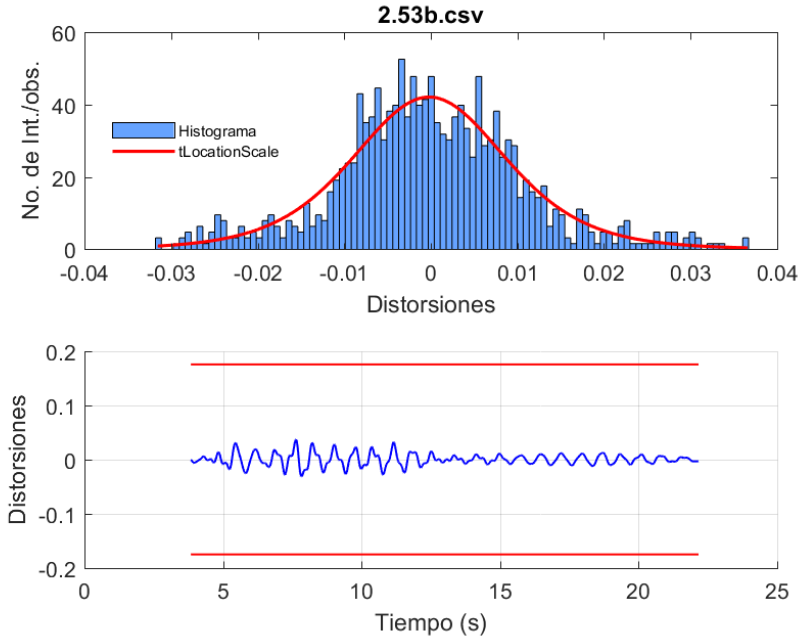


Figura 247. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S4-PC-MCC con factor de escala de 2.53B.

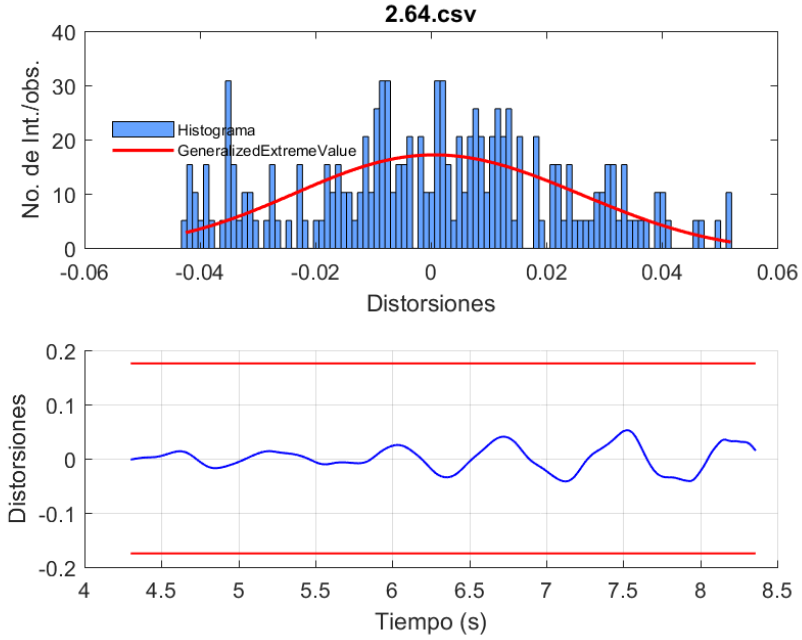


Figura 248. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S5-PC-MCC con factor de escala de 2.64.

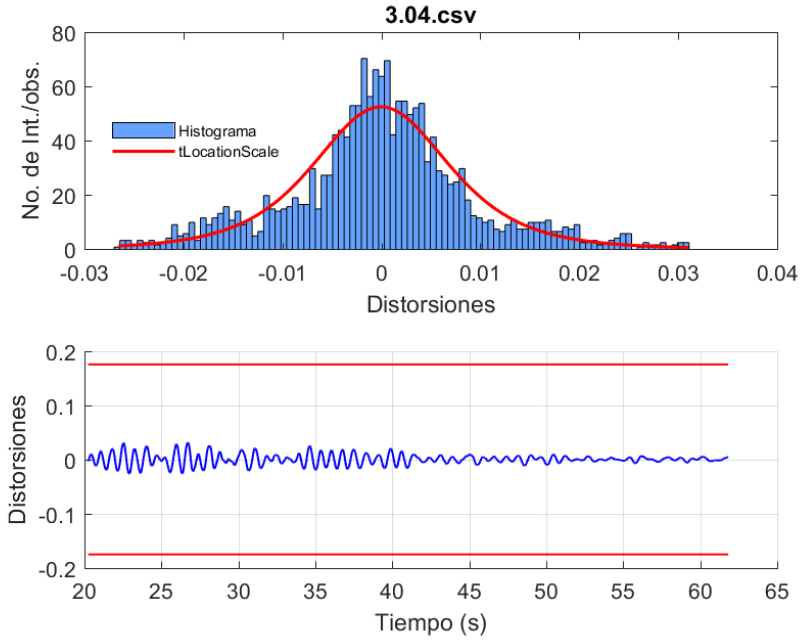


Figura 249. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S6-PC-MCC con factor de escala de 3.04.

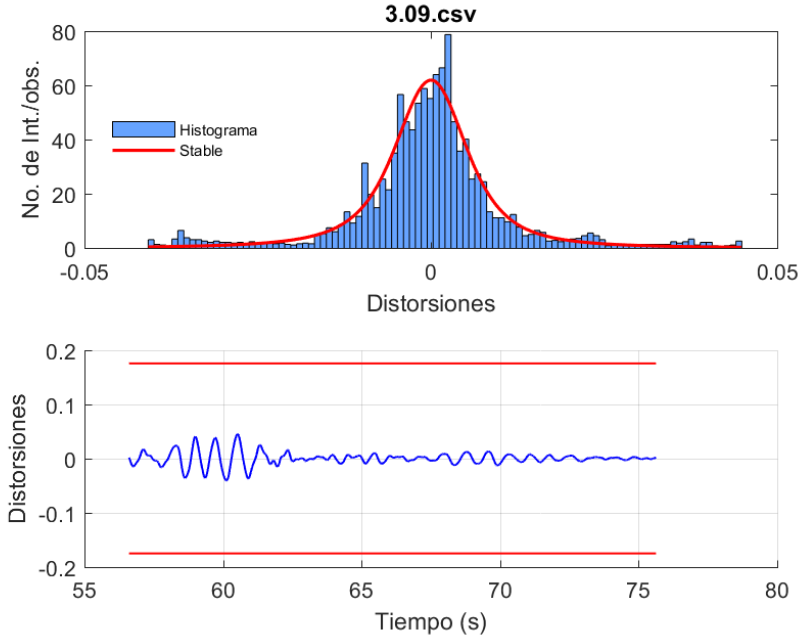


Figura 250. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S7-PC-MCC con factor de escala de 3.09.

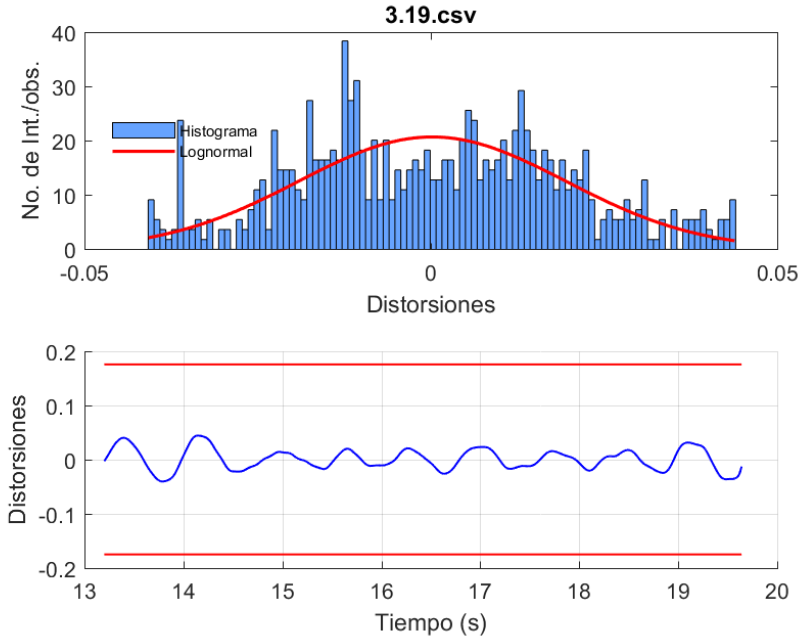


Figura 251. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S9-PC-MCC con factor de escala de 3.19.

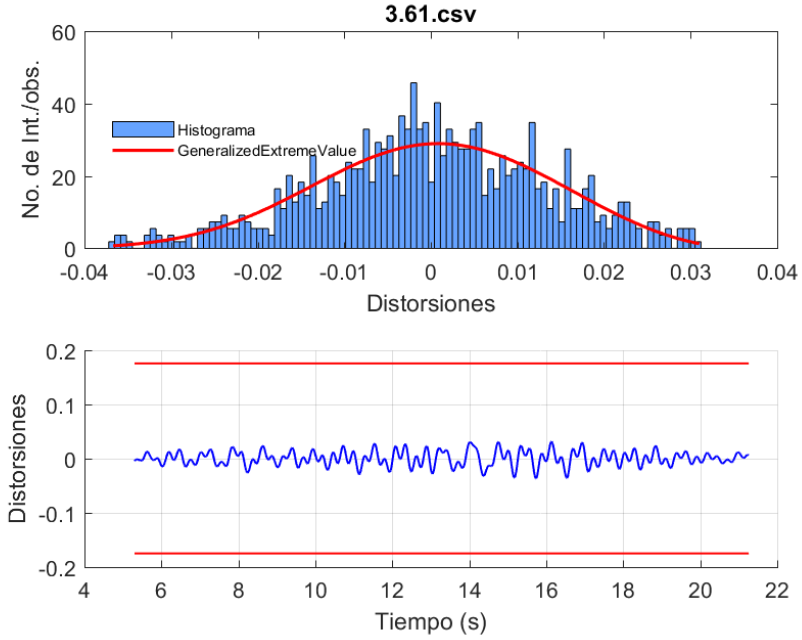


Figura 252. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos con contraviento Chevrón en el sismo S11-PC-MCC con factor de escala de 3.61.

Tabla 21. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos con contraviento Chevrón para un nivel de desempeño de prevención al colapso.

MARCOS CON CONTRAVIENTO PREVENCIÓN AL COLAPSO			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
2.16.csv	tLocationScale	0.0253679	2.0396055
2.48.csv	tLocationScale	0.0373145	1.769761
2.53.csv	Loglogistic	0.2359696	0.6695312
2.53b.csv	tLocationScale	3.57E-02	1.8001818
2.64.csv	GeneralizedExtremeValue	0.2831114	0.5921655
2.73.csv	Logistic	0.0925603	1.3168353
3.04.csv	tLocationScale	0.0266062	2.0396947
3.09.csv	Stable	0.0645444	1.2225835
3.19.csv	Lognormal	0.2035884	0.8288685
3.61.csv	GeneralizedExtremeValue	0.0592242	1.5336553
6.49.csv	Logistic	0.1850789	0.8438251

3.6.10.6 Confiabilidad estructural para prevención al colapso de marcos rígidos.

Para concluir con el análisis de resultados, se evaluó la confiabilidad estructural de marcos rígidos para un nivel de desempeño de ocupación inmediata, en el cual el valor promedio de probabilidad de falla resultado de 45.28 %, de acuerdo a la norma ASCE 7-16, el promedio obtenido se encuentra muy por encima del 10% que establece como límite, por lo que se puede considerar a la estructura como poco confiable. En la Tabla 22, se pueden observar los valores obtenidos para la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad, si estos valores lo comparamos de nuevo con el marco con contravientos, se verá como en los demás niveles que la implementación de contravientos tipo Chevrón favorece en el índice de confiabilidad de la estructura. Además, es importante mencionar que para este caso, la distribución que más se ajustó en los sismos fue la de tLocationScale. De la Figura 253 hasta la 262 se muestran los histogramas con los PDF's mostrados en la Tabla 22.

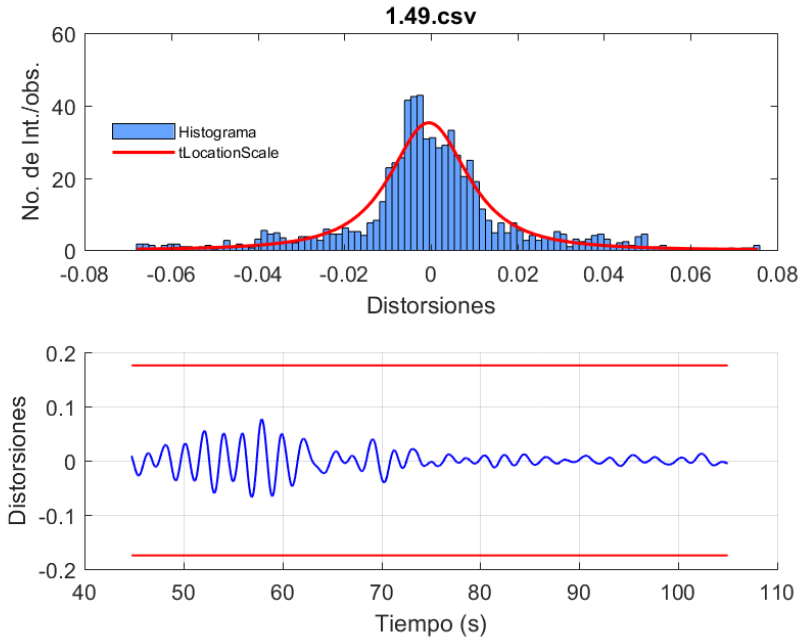


Figura 253. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR con factor de escala de 1.46.

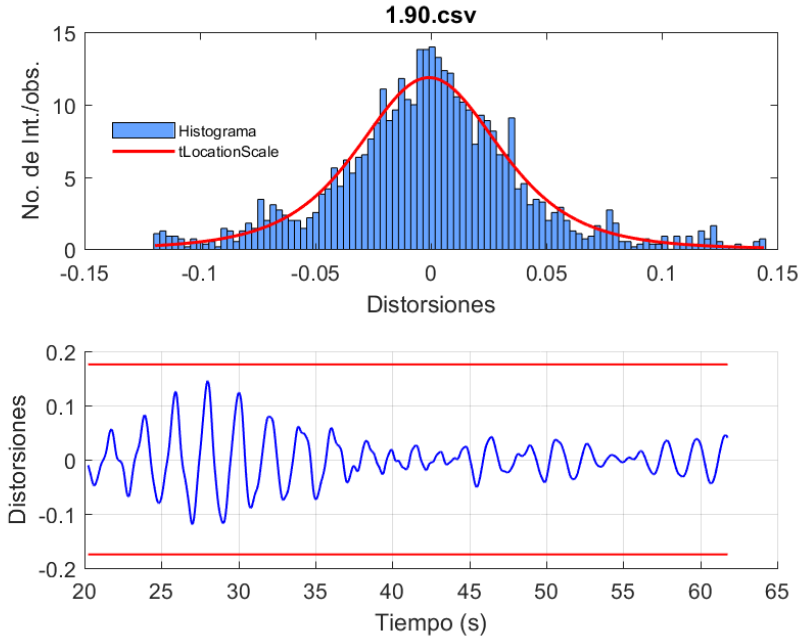


Figura 254. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S2- PC - MR factor de escala de 1.49.

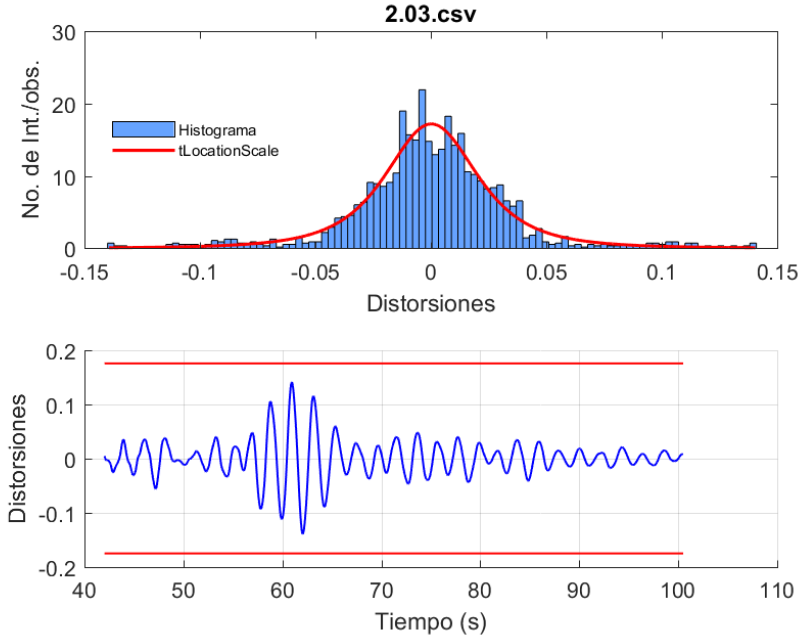


Figura 255. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S4- PC - MR con factor de escala de 1.9.

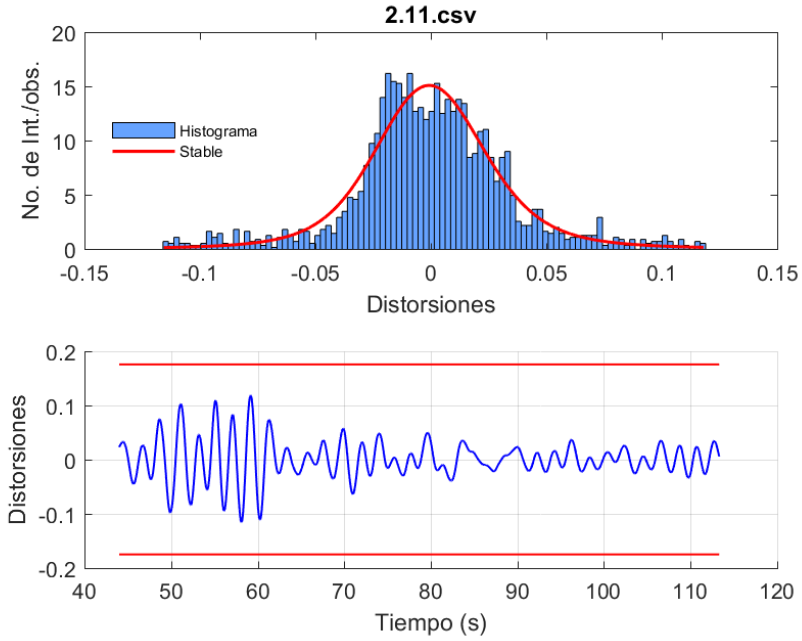


Figura 256. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S5- PC - MR con factor de escala de 2.11.

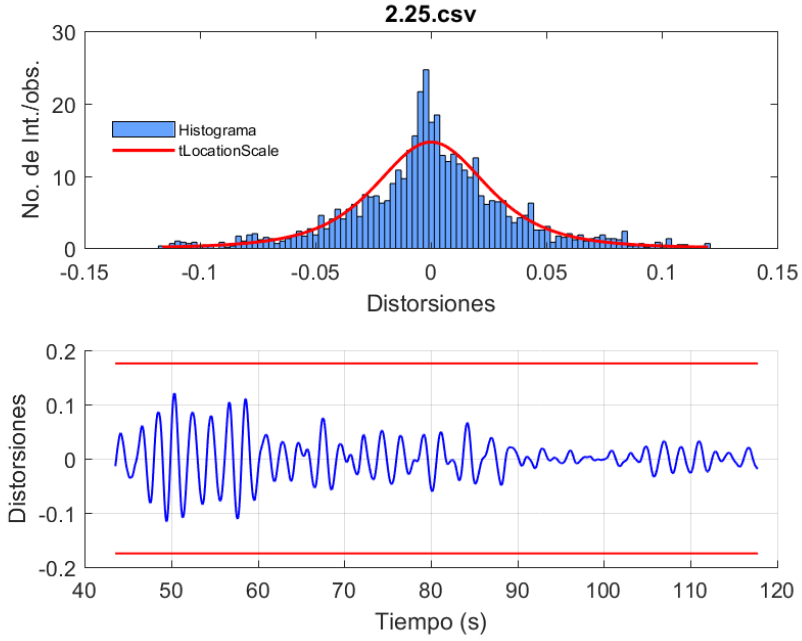


Figura 257. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S6- PC - MR con factor de escala de 2.25.

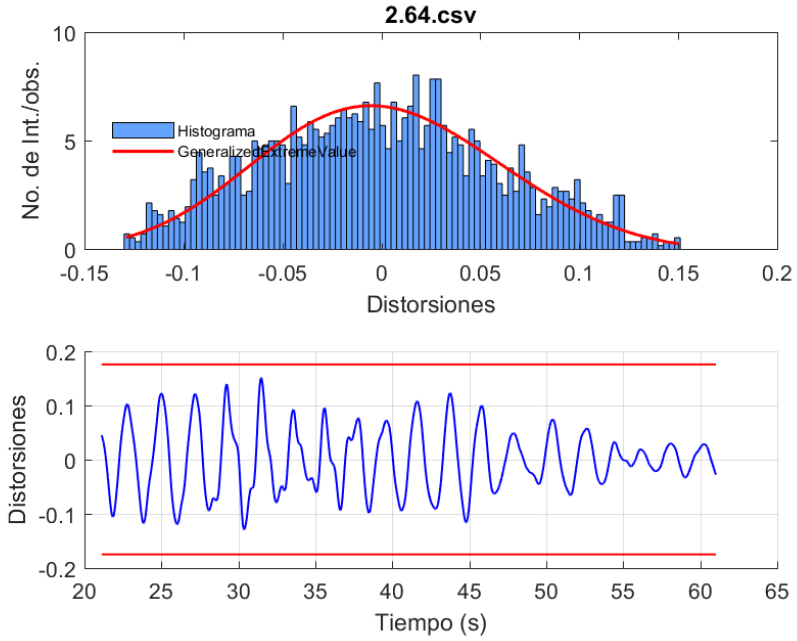


Figura 258. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S7- PC - MR con factor de escala de 2.64.

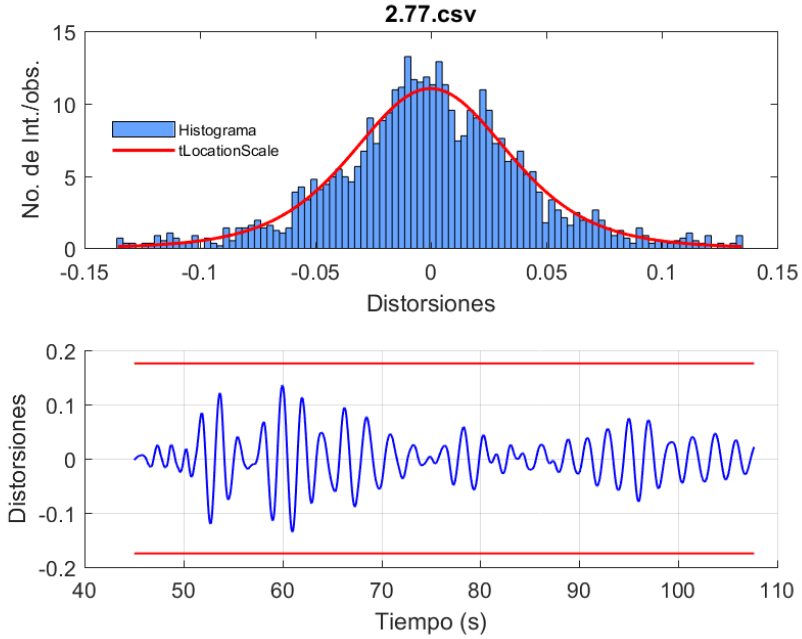


Figura 259. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para rígidos en el sismo S8- PC - MR con factor de escala de 2.77.

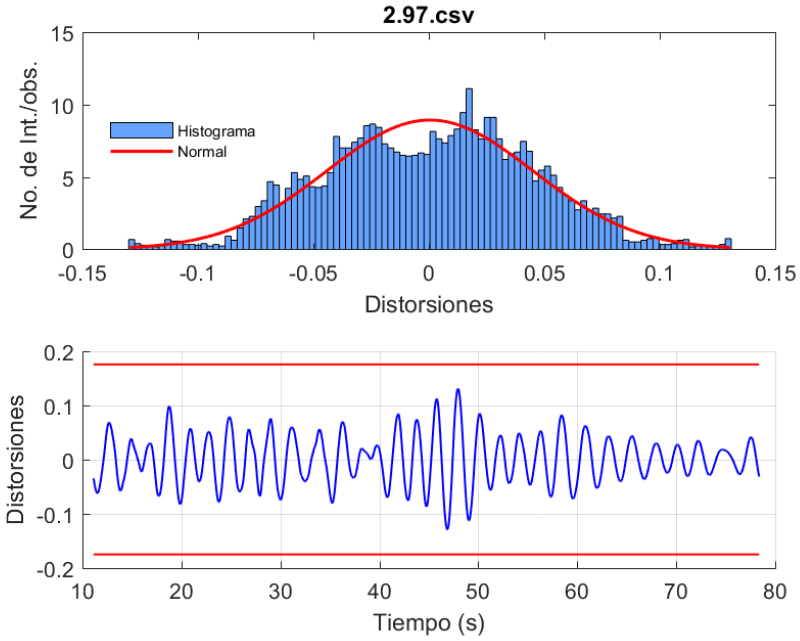


Figura 260. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S9- PC - MR con factor de escala de 2.97.

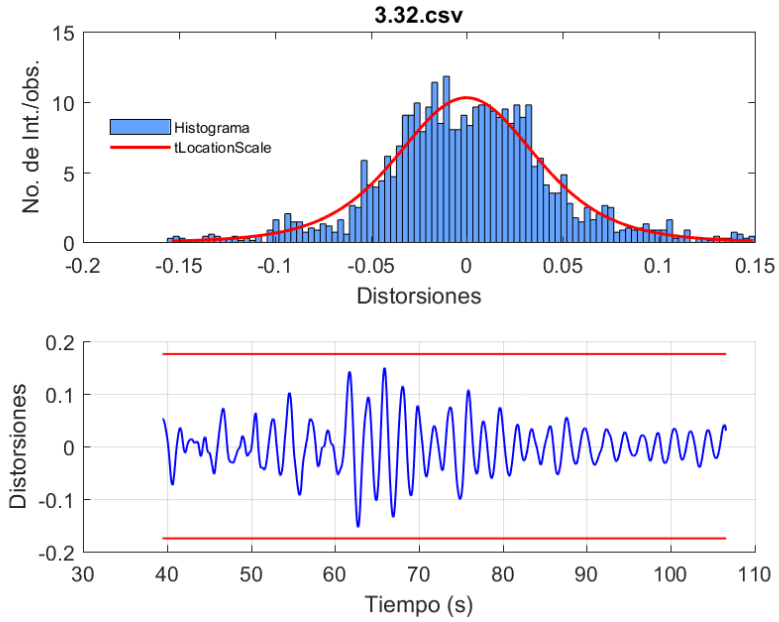


Figura 261. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S10- PC - MR con factor de escala de 3.32.

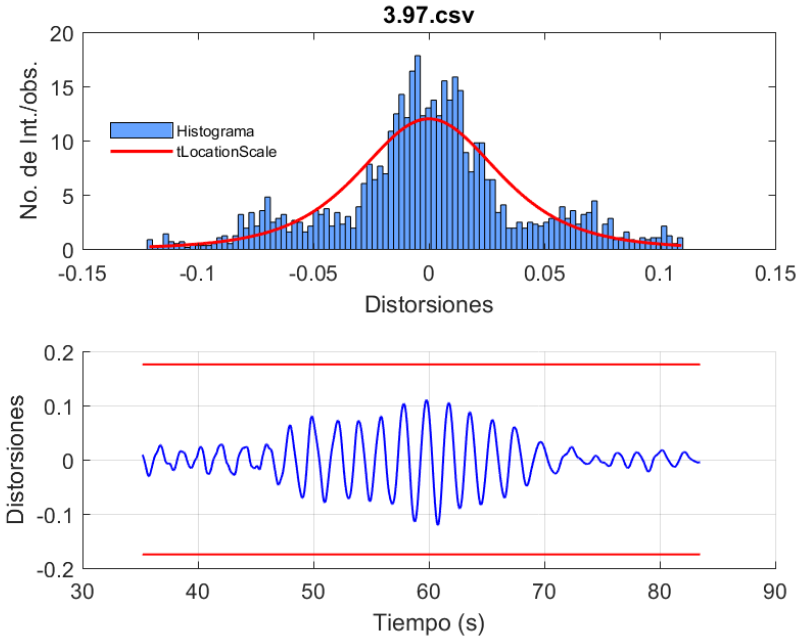


Figura 262. Histograma de distorsiones para nivel de prevención al colapso para marcos rígidos en el sismo S11- PC - MR con factor de escala de 3.97.

Tabla 22. Resultados finales de confiabilidad estructural para marcos rígidos para un nivel de desempeño de prevención al colapso.

MARCOS RÍGIDO PREVENCIÓN AL COLAPSO			
SISMO	**DISTRIBUCIÓN**	**Pf**	β
1.49.csv	tLocationScale	0.1450895	0.7114129
1.90.csv	tLocationScale	0.4809898	0.0252974
2.03.csv	tLocationScale	0.3399846	0.286413
2.11.csv	Stable	3.77E-01	0.2323573
2.25.csv	tLocationScale	0.3961671	0.2011724
2.64.csv	GeneralizedExtremeValue	0.6850228	-0.507276
2.77.csv	tLocationScale	0.5060763	-0.013367
2.97.csv	Normal	0.5833873	-0.210567
3.32.csv	tLocationScale	0.5344256	-0.080894
3.97.csv	tLocationScale	0.4758677	0.0529797

3.6.11 Comparación de Costos – Marcos de Acero Resistentes a Momento - Marcos de Acero con Contraviento tipo Chevrón

El propósito principal del ingeniero estructural es lograr que los elementos de las edificaciones cumplan con el estado límite de esfuerzos y de servicio, pero para lograr un diseño correcto en las estructuras, es importante revisar si la propuesta estructural es factible económicamente, ya que al momento de llevar a cabo los proyectos se busca optimizar los recursos y garantizar resultados positivos tangibles en tiempo, calidad y costo. Para llevar a cabo una comparativa de ambos sistemas estructurales se elaboró la Tabla 23, la cual muestra la tarjeta de precios unitarios del concepto de estructura metálica a base de perfiles de acero A36 y A50.

Tabla 23. Tarjeta de precio unitario para concepto de estructura metálica.

Clave:	01	CONCEPTO:	ESTRUCTURA METÁLICA BASE DE PERFILES DE ACERO A36 Y A50, INCLUYE: SUMINISTRO Y ACARREO DE MATERIALES, HERRAMIENTA, EQUIPO, MANO DE OBRA DE MONTAJE, GRUA, LIMPIEZA DEL ÁREA DE TRABAJO Y TODO LO QUE SE REQUIERA PARA SU CORRECTA EJECUCIÓN.	Unidad: Kg

INSUMOS		CANTIDAD	UNIDAD	P.U.	IMPORTE
MATERIALES					
MA-1	THINNER (LATA 19 LTS)	0.004000	lt	$ 19.00	$ 0.08
MA-2	PRIMARIO ANTICORROSIVO (CUBETA DE 19 LTS).	0.008000	lt	$ 79.80	$ 0.64
MA-3	SOLDADURA 70-18 PARA PERFILES ESTRUCTUR	0.010000	kg	$ 70.00	$ 0.70
MA-4	PERFILES ESTRUCTURALES POR KG.	1.05	kg	$ 18.10	$ 19.01
				SUMA	**$ 20.42**
MANO DE OBRA					
MO-1	CUADRILLA DE SOLDADORES TRABAJANDO POR DESTAJO.	1.000000	kg	$ 8.00	$ 8.00
MO-2	FACTOR DE HERRAMIENTA MENOR (3-5%)	0.03	%MO	$ 8.00	$ 0.24
MO-3	FACTOR DE EQUIPO DE SEGURIDAD (1-3%)	0.02	%MO	$ 8.00	$ 0.16
MO-4	FACTOR DE MANDO INTERMEDIO	0.1	%MO	$ 8.00	$ 0.80
				SUMA	**$ 9.20**
Equipo					
EQ-1	EQUIPO OXICORTE COMPUESTO POR OXIGENO Y GAS LP	0.000500	hora	$ 700.00	$ 0.35
EQ-2	SOLDADORA TIPO INVERSORA 110/220.	0.004	hora	$ 70.00	$ 0.28
EQ-3	GRUA S/CAMIÓN GROVE TMS750B	0.003	hora	$ 1,200.00	$ 3.60
				SUMA	**$ 4.23**

Costo Directo		$ 33.85
Indirectos de oficina	6.00%	$ 2.03
Indirectos de Campo	5.00%	$ 1.69
Subtotal		$ 37.57
Utilidad	10.00%	$ 3.76
Subtotal		$ 41.33
Cargos Adicionales	0.50%	$ 0.21
TOTAL PRECIO UNITARIO (P.U.)		**$ 41.54**

Una vez realizado el precio unitario para estructura metálica, se elaboraron las Tablas 24 y 25, las cuales muestran de forma muy general los volúmenes de acero requerido y el precio total para construir cada uno de los sistemas que se evalúan en este proyecto de intervención. Se puede observar en la Tabla 24 que a pesar de que el marco con contraviento tiene más elementos que el marco rígido, la estructura requiere menos acero, debido a que la implementación de contravientos tipo Chevrón en marcos, logra reducir las secciones principales de trabes y columnas. Se considera importante mencionar que el presupuesto se elaboró de forma muy general y no se sacó presupuesto de detalles constructivos o de conexiones.

Tabla 24. Cuantificación de material requerido para marco con contraviento.

COLUMNAS DE PLANTA BAJA					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X90	90.00	133.93	5.5	2	1.47
COLUMNAS 14X109	109.00	162.21	5.5	4	3.57
				suma=	**5.04**
TRABES DE PLANTA BAJA					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
				suma=	**4.05**
CONTRAVIENTOS DE PLANTA BAJA					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 6X6X3/8	27.41	40.79	6.8	6	1.66
				suma=	**1.66**
			PESO POR ENTREPISO=		**10.75**
COLUMNAS DE PLANTAS 1-2					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X90	82.00	122.03	3.5	2	0.85
COLUMNAS 14X109	109.00	162.21	3.5	4	2.27
				suma=	**3.13**
TRABES DE PLANTAS 1-2					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
				suma=	**4.05**
CONTRAVIENTOS DE PLANTAS 1-2					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 6X6X3/8	27.41	40.79	6.8	12	3.33
				suma=	**3.33**
			PESO POR ENTREPISO=		**10.50**
COLUMNAS DE PLANTAS 3-6					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X48	48.00	71.43	3.5	8	2.00
COLUMNAS 14X61	61.00	90.78	3.5	16	5.08
				suma=	**7.08**
TRABES DE PLANTAS 3-6					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X62	62.00	92.27	8	20	14.76
				suma=	**14.76**
CONTRAVIENTOS DE PLANTAS 3-6					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 6X6X3/8	27.41	40.79	6.8	24	6.66
				suma=	**6.66**
			PESO POR ENTREPISO=		**28.50**
			PESO TOTAL DEL MARCO=		**97.856**
				CONEXIONES=	**4.893**
				P.U=	**$ 41.54**
				MONTO TOTAL=	**$ 4,267,965.71**

Tabla 25. Cuantificación de material requerido para marco rígido.

COLUMNAS DE PLANTA BAJA					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X90	90.00	133.93	5.5	2	1.47
COLUMNAS 14X120	120.00	178.58	5.5	4	3.93
				suma=	**5.40**
TRABES DE PLANTA BAJA					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
				suma=	**4.05**
			PESO POR ENTREPISO=		**9.45**
COLUMNAS DE PLANTAS 1-2					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X82	82.00	122.03	3.5	4	1.71
COLUMNAS 14X109	109.00	162.21	3.5	8	4.54
				suma=	**6.25**
TRABES DE PLANTAS 1-2					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X68	68.00	101.20	8	10	8.10
				suma=	**8.10**
			PESO POR ENTREPISO=		**14.35**
COLUMNAS DE PLANTAS 3-6					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
COLUMNAS 14X48	48.00	71.43	3.5	8	2.00
COLUMNAS 14X61	61.00	90.78	3.5	16	5.08
				suma=	**7.08**
TRABES DE PANTAS 3-6					
Sección	**lb/ft**	**Kg/m**	**longitud (m)**	**cantidad**	**peso total (T)**
TRABES 21X62	62.00	92.27	8	20	14.76
				suma=	**14.76**
			PESO POR ENTREPISO=		**21.85**
			PESO TOTAL DEL MARCO=		**99.752**
			CONEXIONES=		**4.988**
			P.U=		**$ 41.54**
			MONTO=		**$ 4,350,636.50**

IV. CAPÍTULO 4 – ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN

4.1 Plan de Acción

Considerando los resultados obtenidos, que demuestran que los marcos de acero con contravientos tipo Chevrón presentan un mejor desempeño sísmico que los marcos resistentes a momento, es importante elaborar un plan de acción para la implementación de estos sistemas estructurales en edificios con el fin de controlar los daños de elementos estructurales y no estructurales.

Como se puede observar, al implementar los contravientos tipo Chevrón en estructuras de acero se disminuyeron hasta un 60% los desplazamientos, con esto se garantiza el control de los daños de las edificaciones y la reducción de futuras restauraciones en elementos estructurales. Es importante aclarar que por los alcances de esta investigación, únicamente se utilizó solo una configuración de contravientos tipo Chevrón en el edificio, sería importante hacer más iteraciones de distintas configuraciones y ver cuál es la óptima para cada edificio en específico.

Si continuamos hablando acerca de las mejoras de implementar contravientos tipo Chevrón, se puede observar la disminución de los momentos en las conexiones principales, por lo que se obtuvieron rotaciones menores. Si se mira esta reducción del lado económico, se puede decir que las conexiones para los contravientos tipo Chevrón serán de menor costo que las de los marcos rígidos.

Por otra parte, analizando el buen desempeño estructural que presentan las edificaciones al utilizar contravientos tipo Chevrón, se considera importante llevar a cabo un análisis de costo-beneficio para estructuras existentes que presenten grandes desplazamientos laterales bajo cargas sísmicas y de esta manera evaluar la alternativa de implementar contravientos tipo Chevrón con el fin de reducir los daños estructurales.

4.2 Estrategias usadas para Presentar y Persuadir a los Involucrados en el Proyecto

Una vez señalado los beneficios y las recomendaciones que podrían mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones de acero mediante la implementación de contravientos tipo Chevrón, es importante redactar las acciones que se realizarán para presentar y persuadir a los interesados sobre el tema. Es importante señalar que con este proyecto de intervención se verán beneficiados ingenieros estructurales que lleven a cabo diseños sismo-resistentes, ya que el trabajo les abrirá el panorama a la hora de proponer sistemas alternos a los convencionales.

Las estrategias propuestas para persuadir a los interesados de la implementación de sistemas de contravientos tipo Chevrón se describen a continuación.

Como primera instancia se propone publicar artículos en páginas de internet de los resultados obtenidos, ya que en la actualidad existen diversas plataformas en las cuales investigadores o estudiantes pueden acceder y obtener información de su interés.

También, se propone solicitar una plática en el colegio de ingenieros civiles para que de manera formal se presenten los resultados obtenidos, con el fin de que ingenieros estructurales comiencen a proponer sistemas alternos a los convencionales para reducir los desplazamientos laterales y de esta manera mejorar el desempeño estructural de los edificios. Además, es necesario llevar a cabo esta conferencia con el fin de que la sociedad de ingenieros civiles proponga la implementación de contravientos tipo Chevrón en las normas de construcción.

Por último, sería de gran ayuda programar una ponencia en conferencias que realiza la Sociedad de Ingeniería Sísmica del país para presentar los resultados, ya que en este tipo de conferencias recurre gran cantidad de ingenieros que buscan nuevas formas de mejorar los diseños y procesos constructivos de estructuras en edificios.

V. CAPÍTULO 5 – ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

5.1 Cronograma de Actividades

A continuación, en la tabla 26 se muestra el cronograma para llevar a cabo el plan de acción, con el fin de presentar los resultados finales a ingenieros involucrados en el área de estructuras y de esta manera persuadirlos para que implementen los sistemas de contraviento tipo Chevrón en el diseño de edificios de mediana y gran altura.

Tabla 26. Programación y control para llevar a cabo el plan de acción.

UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA

FACULTAD DE INGENIERÍA
MAESTRÍA DE INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN

PROGRAMACIÓN Y CONTROL PARA LLEVAR A CABO EL PLAN DE ACCIÓN

ACTIVIDADES	2020				
	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR
DEFENSA DE PROYECTO DE INTERVENCIÓN.					
PUBLICACIÓN DE ARTÍCULO CON LOS RESULTADOS OBTENIDOS DEL NIVEL DE DESEMPEÑO DE MARCOS CON CONTRAVIENTOS TIPO CHEVRÓN.					
PRESENTAR LOS RESULTADOS OBTENIDOS EN EL COLEGIO DE INGENIEROS CIVILES POR MEDIO DE UNA CONFERENCIA.					
PREPARAR PONENCIA EN CONFERENCIAS LLEVADAS A CABO POR LA SOCIEDAD DE INGENIERÍA SÍSMICA.	**FECHA MAS PRÓXIMA**				

5.2 Recursos

Para la implementación del proyecto de intervención, seran necesarios la contribución de los recursos que se describen en la figura 263.

Figura 263. Recursos para implementación de proyecto de intervención.

VI. CAPÍTULO 6 – CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1 Conclusiones

De acuerdo con los resultados obtenidos de los análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo, tanto para el marco con contraviento como para el marco regido podemos destacar varias conclusiones para la investigación de este proyecto de intervención.

Para el caso de los desplazamientos, al implementar contravientos tipo Chevrón se lograron reducir hasta un 40 % para el nivel de ocupación inmediata y seguridad de vida y un 60 % para prevención del colapso. En la Figura 264, se pueden observar los valores promedios para cada sistema, en el cual podemos ver que para marcos rígidos se alcanzaron valores de 0.746 m para ocupación inmediata, 0.49 para seguridad de vida y 0.2472 para ocupación inmediata, valores mayores a 0.2794 m para ocupación inmediata, 0.1855 m seguridad de vida y 0.1537 para prevención del colapso, presentados en marcos con contraviento tipo Chevrón.

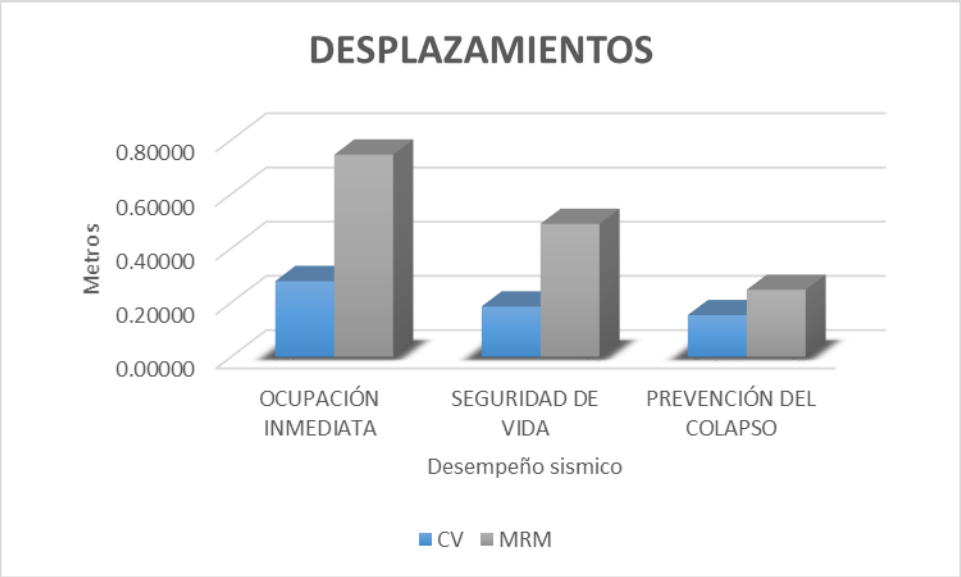


Figura 264. Comparación de desplazamientos en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados.

Pasando al tema de rotaciones, en esta variable es donde se pudo lograr mayor beneficio, hablando de los valores presentados en marcos con contraviento y marco rígido, en la Figura 265 se puede observar que para ocupación inmediata, las rotación con contraviento se redujo hasta 6 veces el valor con respecto a la de marcos rígidos, 10 veces en nivel de seguridad de vida y 3.33 radianes para prevención del colapso. Como ya se había mencionado esto anteriormente, es importante la reducción en rotaciones, debido a que mientras mayores sean los giros en las uniones de trabes-columnas, las conexiones serán más robustas y esto generará aumento en el costo de fabricación de la estructura.

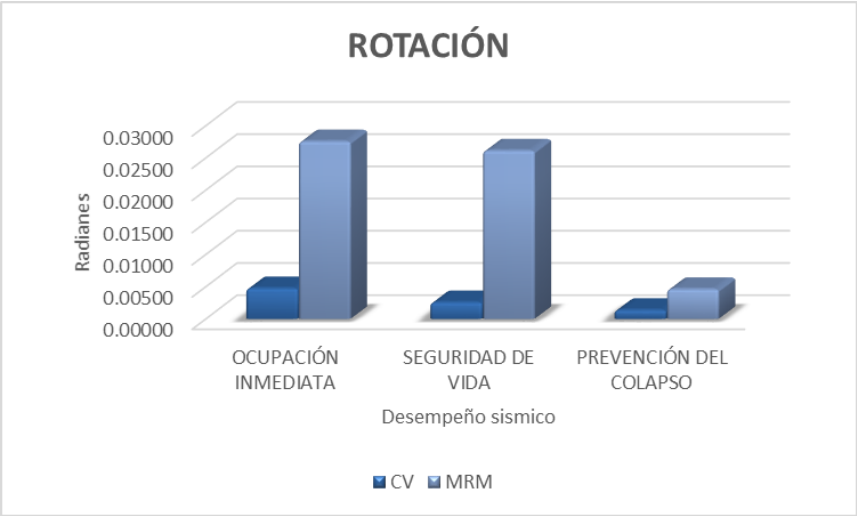


Figura 265. Comparación de rotaciones en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados.

Por último, se hablará de los beneficios obtenidos en distorsiones al implementar el sistema de contravientos. En la Figura 266 se puede ver que las distorsiones para ocupación inmediata en contravientos tipo Chevrón son 305% menores que la de marcos rígidos, 266 % en seguridad de vida y 263 % en ocupación inmediata. Se puede ver claramente que al utilizar sistemas alternos a marcos rígidos, en este caso contravientos tipo Chevrón se pueden reducir más del doble las distorsiones en entrepisos. Es importante hacer énfasis en estos resultados obtenidos, ya que en la actualidad los reglamentos de construcción dentro de sus normas para diseño sísmico de edificaciones consideran como parámetro principal de diseño la demanda de resistencia lateral, con el fin de cumplir ciertos límites de servicio, para satisfacer la tranquilidad de los ocupantes, y por otro lado, controlar el nivel de daño en la estructura que se presentan debido a movimientos sísmicos.

Figura 266. Comparación de rotaciones en marcos con contraviento tipo chevrón y marcos rígidos para los tres niveles de desempeños analizados.

Con esto se puede concluir que, al utilizar los contravientos tipo Chevrón en estructuras de acero, se pueden reducir los desplazamientos laterales, rotaciones en conexiones y distorsiones en entrepiso, y al reducir estos efectos que generados por las cargas sísmicas se alcanzan índices de confiabilidad más altos en las estructuras. Además, en temas constructivos se puede garantizar que las conexiones serán de menor costo y en los elementos principales se reducen las secciones de los perfiles, de forma más acotada se logran diseños estructurales óptimos. Por otra parte, al lograr un buen desempeño estructural en la edificación, se puede garantizar el control de los daños en la estructura, y de este modo, asegurar que la edificación quedara en estado operacional después de ser excitada ante fuertes cargas sísmicas. Este último punto es muy importante en la actualidad, ya que los inversionistas de hoy en día, además de buscar salva guardar la vida de los ocupantes en sus edificaciones, también ven por sus intereses y buscan que los equipos o mobiliarios dentro del edificio no sufran daños para que el sistema operativo o de producción no pare después de un sismo de alta intensidad, y de esta manera no sufran grandes pérdidas económicas.

6.2 Recomendaciones

Una vez finalizado el proyecto de intervención, se considera plantear las siguientes observaciones y recomendaciones. Primeramente, se considera importante que en los reglamentos de construcción local y federal se consideren llevar a cabo en estructuras de mediana y gran altura, análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo para conocer su nivel de desempeño estructural de la manera más real posible. Además, es importante que se apliquen estos métodos analíticos con el fin de conocer su comportamiento real y de esta forma proponer secciones efectivas y óptimas.

Se cree necesario seguir investigando el comportamiento que tienen las estructuras implementando contravientos tipo Chevrón, ya que los resultados obtenidos son muy favorables, pero se considera que aún se puede lograr un mejor resultado. Por ejemplo, en los alcances en un inicio, se consideró obtener ductilidades de la estructura pero por cuestiones de tiempo, no se pudo lograr concluir con estos resultados. Otra variable que se considera necesario abordar es la configuración de los contravientos tipo Chevrón en el edificio, para este proyecto de intervención por cuestiones de tiempo solo se implementó una configuración, pero podría ser el caso que cambiando la distribución de los contravientos tipo Chevrón, mejore el comportamiento sísmico de la estructura.

Por otra parte, es conveniente llevar a cabo investigaciones con contraviento tipo Chevrón pero excéntricos, ya que a lo largo de esta investigación se encontró información acerca del buen desempeño sísmico que se puede alcanzar utilizando contravientos excéntricos, en una imagen mostrada al inicio se presentó que los contravientos excéntricos tipo Chevrón pueden alcanzar un factor de comportamiento sísmico igual a cuatro.

Para concluir, es importante llevar a cabo el plan de acción propuesto para que de esta manera los resultados obtenidos puedan llegar al alcance de ingenieros en estructuras y futuros investigadores con el fin de mejorar el diseño de estructuras sismo-resistentes y sirvan como base de nuevos estudios relacionados al tema de estructuras con contraviento tipo Chevrón.

REFERENCIAS

Administración pública de la Ciudad de México (2017). Normas técnicas complementarias del reglamento de construcción de la Ciudad de México, Ciudad de México, México.

American Institute of Steel Construction (2011). Steel construction manual, United States of America.

ASCE/7-16 (2017), Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, Reston, Virginia, USA.

ASCE/SEI 41-13 (2014), "Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings", American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, USA.

Comisión Federal de Electricidad (2015). Manual de diseño de obras civiles. Capítulo de diseño por sismo 2015.

Comisión Federal de Electricidad (2008). Manual de diseño de obras civiles. Capítulo de diseño por viento 2008.

FEMA-350 (2000), "Recommended seismic design criteria for new Steel momento-frame buildings", Federal Emergency Management Agency (FEMA).

Gaxiola-Camacho, J. R., Haldar, A., Azizsoltani, H., Valenzuela-Beltran, F., & Reyes-Salazar, A. (2018). Performance-based seismic design of steel buildings using rigidities of connections. *ASCE-ASME Journal of Risk and Uncertainty in Engineering Systems, Part A: Civil Engineering*, *4*(1), 04017036.

https://ascelibrary.org/doi/abs/10.1061/AJRUA6.0000943

Godínez D. y Eber A. (2014). Influencia de contraventeos concéntricos en cruz o chevrón en el comportamiento no lineal de marcos dúctiles de concreto reforzado. Ingeniería sísmica, 1-30.

IMCA. (Octubre de 2014). Edificación torres y edificios altos. Vector de la ingeniería Civil, Vol. 5, 14-17.

Instituto Mexicano de la Construcción de Acero (1994). Manual de Construcción de Acero, México, Editorial Limusa.

Jack C. McCormac-Stephen F. Csernak. (2012). Diseño de estructuras de acero. México: Alfaomega.

Khatib, I.; Mahin, S. A.; Pister, K. S. (1988). Seismic Behavior of Concentrically Braced Steel Frames. Washington, DC.: National Science Foundation.

Kim J., Choi H. (2004). Response modification factors of chevron-braced frames, ElSELVIER, 286-300.

Quiroz Ramírez, A., Terán Gilmore, A., & Serrano Medrano, M. (2017). Ventajas sismorresistentes y ambientales del sistema de rejillas rígidas DIAGRID para edificios en zonas de alta sismicidad. Ingeniería sísmica, (97), 64-83.

Reglamento de construcción del municipio de Culiacan, Sinaloa (2007).

Nowak, A. S. y Collins, K. R. (2012). *Reliability of structures*. CRC Press.

NTCS-2004. (2004). Normas Técnicas Complementarias para diseño por Sismo, Gaceta Oficial del Distrito Federal, décimo cuarta época, tomo II No. 103-BIS, Distrito Federal, México.

Sabelli R., Mahin S., C. Chang. (2003). Seismic demands on steel braced frame buildings with bucklingrestrained braces. ELSELVIER, Vol. 25, 655-666.

Tapia Hernández E., & Tena A. (2007). Estudio del comportamiento de marcos dúctiles de acero con contraventeo concéntrico en edificios regulares en zonas sísmicas. In Memorias, XVI Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.

Tapia Hernández E. y Tena A. (2008) Behavior of regular Steel momento resisting concentrically braced frames (MRCBFs) in seismic zones, The 14th World conference on Earthquake engineeringm.

Tapia Hernández E. y Tena A. (2009). Comportamiento sísmico de edificios regulares con marcos dúctiles de acero con contraventeo concéntrico diseñado conforme al reglamento del Distrito Federal mexicano. Revista internacional de Ingeniería de Estructuras. Vol. 13 y 14, 1-25.

Tapia Hernández E. (2015). Uso de contravientos de acero. México: Artroom Innovative Thinking.

Ulises Mena H. y Luis Eduardo Pérez R. (2015). Manual de diseño de obras civiles (Diseño por sismo) D.F, México.