

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CULIACÁN  
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN  
INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**



**“EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO SÍSMICO DE EDIFICIOS DE  
ACERO CON SISTEMAS DE CONTRAVENTEADO EN  
CONFIGURACIÓN TIPO X EN LA CIUDAD DE CULIACÁN,  
SINALOA”**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:  
MAESTRO EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN**

**PRESENTA:**

**Ing. Aarón Gutiérrez López**

**DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. José Ramón Gaxiola Camacho**

**CO-DIRECTOR DE TESIS**

**Dr. Jesús Martín Leal Graciano**

Culiacán de Rosales, Sinaloa, noviembre de 2020



## 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.

## AGRADECIMIENTOS

**Dios**, a ti es quien te agradezco todos los logros que he podido culminar en mi vida, este es uno de los logros con mayor importancia a lo largo de mi trayectoria, y sin ti, nada de esto podría haber sido posible. Gracias, por cada amanecer lleno de energía y fortaleza que me permites vivir para lograr cada uno de mis sueños y por rodearme siempre de personas maravillosas que me alientan y motivan a ser una mejor persona.

A mi padre, **Roberto Gutiérrez** eres tú la persona que más admiro. Gracias, por estar siempre en cada uno de mis logros y por tu apoyo incondicional; tú eres de las personas que más me han motivado en la vida, ya que me has enseñado lo que significa en realidad ser una persona perseverante y querer lograr sus sueños.

A mi madre, **Nora López** por todo el amor y apoyo absoluto que me demuestras todos los días. Gracias, por enseñarme el verdadero significado de la palabra fortaleza y por haber forjado cada uno de mis valores, los cuales hoy en día son la base fundamental de mi vida. Es por ello que te agradezco infinitamente y no hay palabras que lo puedan expresar.

A mi único hermano, **Jesús Roberto Gutiérrez** por todo el apoyo incondicional que me has demostrado en cada etapa de mi vida. Gracias, por enseñarme el verdadero significado de la búsqueda de cumplir tus sueños y obtener las metas que te propones. Eso me ha motivado a querer cumplir cada una de mis metas y esta es una de ellas.

A mi ahijado, **Roberto Jr** por ser quien me recordó que el verdadero motivo de la vida es la felicidad. Es increíble como un ser humano tan pequeño puede transmitir tanta energía y felicidad a través de su sonrisa.

A toda mi familia, por siempre motivarme y demostrarme su apoyo incondicional; en especial a mis **abuelos** que adoro.

A mi novia, **Luisa Fernanda** por siempre demostrarme su apoyo incondicional en todo momento y motivarme a ser cada día una mejor persona. De ti he aprendido la importancia de ser una persona organizada y siempre mostrar determinación. Gracias, por tu amor incondicional y por estar a mi lado en esta meta tan importante. Te amo.

Al posgrado de **Maestría en Ingeniería de la Construcción**, de la Facultad de Ingeniería Culiacán, Universidad Autónoma de Sinaloa por ser quien me permitió realizar mis estudios en un posgrado de calidad.

Al **Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACyT)** por otorgarme la beca que me permitió realizar mis estudios de posgrado. Becario con número: **934344**.

Al **Dr José Ramón Gaxiola Camacho** por permitirme trabajar bajo su dirección y darme su confianza para formar parte de su equipo de trabajo. Además, agradezco por su apoyo absoluto en todo momento. Admiro su excelente forma de trabajar y la gran responsabilidad que muestra ante el ámbito de la investigación.

Al **Dr Jesús Martín Leal Graciano** por formar parte de mi trabajo y mostrar disposición de apoyo en todo momento.

A los **maestros de la Maestría en Ingeniería de la Construcción** por compartir un poco de sus conocimientos y por contribuir a mi formación tanto académicamente como personalmente.

A la **empresa ML Estructuras S.A. de C.V** por permitirme realizar mi estancia y por siempre mostrar disposición de apoyo. Gracias, al señor **Marco Antonio Luna** e hijo **Marco Antonio Luna Jr** por compartirme una parte de sus conocimientos y sus experiencias, las cuales me sirvieron para culminar de manera satisfactoria esta meta.

A mis **compañeros de la Maestría en Ingeniería de la Construcción** por su apoyo cuando las cosas no eran tan fáciles con extensos trabajos, además, me ayudaron a descubrir el verdadero significado del trabajo en equipo y la importancia de la confianza. Gracias por su amistad.

A mi cuñada, **Blanca** por demostrarme siempre su apoyo y motivarme al inicio de este proceso. Gracias, por esas palabras que me motivaron a culminar esta meta.

A mis **amigos de la licenciatura en Ingeniería Civil** por impulsarme siempre con su apoyo y motivarme a culminar esta meta. Su apoyo desde el inicio fue fundamental en este proceso.

A mis **amigos de la preparatoria** son parte fundamental de este logro, por motivarme desde el inicio de este proceso. Gracias, por regalarme una amistad verdadera y quererme ver triunfar siempre.

A mis mejores amigos **Alfredo, Sergio, Isaul, Jhoan, Julio, Helen y Melisa** por su apoyo incondicional en todo momento. Gracias por motivarme siempre a querer ser mejor. Ustedes me han enseñado la importancia de tener un buen amigo en la vida.

A mis **amigos de Kairós** por hacerme descubrir una parte importante de la vida que me hacía falta, la espiritualidad. Gracias a ellos tengo una relación más cercana a Dios.

Al **maestro Carlos Hernán Lora Urías** por impulsarme en intentar entrar al posgrado de la Maestría en Ingeniería de la Construcción, Gracias por su apoyo.

Al Dr. **Federico Valenzuela Beltrán** por ser parte de mi trabajo al fungir como lector crítico de mi tesis.

Al Dr. **Robespierre Chávez López** por ser parte de mi trabajo al fungir como lector crítico de mi tesis y ser parte de mi comité evaluador.

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 **Secretaría de Educación Pública (SEP)** a través del Fondo Sectorial de Investigación para la Educación.

A todas las **personas e instituciones** que contribuyeron para que esto fuera posible. De corazón, muchas gracias.

## ÍNDICE

RESUMEN .....	14
PALABRAS CLAVE .....	14
ABSTRACT .....	15
KEYWORDS.....	15
I. CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN .....	16
1.1 Presentación .....	16
1.2 Análisis situacional .....	16
1.3 Definición del problema seleccionado.....	17
II. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTO TEÓRICO.....	19
2.1. Marco histórico y contextual.....	19
2.2. Estado del arte.....	20
2.3. Marco teórico.....	21
2.4. Marco Legal.....	25
III. CAPÍTULO 3 - PROYECTO DE INTERVENCIÓN.....	27
3.1. Objetivo General.....	27
3.2. Objetivos Específicos.....	27
3.3. Hipótesis .....	27
3.4. Justificación .....	27
3.5. Metodología.....	28
3.5.1. Selección y descripción general del sitio.....	28
3.5.2. Geometría de la estructura de acero.....	30
3.5.3. Análisis de cargas .....	33
3.5.4. Diseño estructural .....	37
3.5.5. Selección de sismos .....	41
3.5.6. Estudio del desempeño sísmico .....	48
3.5.7. Evaluación de confiabilidad estructural.....	48
3.5.8. Comparación de Costos del Marco de Acero resistente a Momento y el Marco de Acero con contravientos en configuración tipo x.....	58
3.5.9. Diagrama de Flujo de la Metodología .....	59
3.6. Análisis de resultados .....	60
3.6.7. Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata.....	61
3.6.8. Desplazamientos para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.....	82
3.6.9. Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso. ....	104

3.6.10.	Comparativa de Desplazamientos Máximos.....	126
3.6.11.	Rotaciones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata .....	128
3.6.12.	Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.....	139
3.6.13.	Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso .....	150
3.6.14.	Comparativa de Rotaciones Máximas.....	161
3.6.15.	Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata .....	164
3.6.16.	Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida.....	175
3.6.17.	Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso.....	186
3.6.18.	Comparativa de distorsiones máximas.....	197
3.6.19.	Comparativa del Desempeño Sísmico de Marcos con Contravientos en configuración tipo Chevrón y configuración tipo X .....	199
3.6.20.	Confiabilidad Estructural de la variable Distorsión .....	201
3.6.21.	Comparativa en términos de Confiabilidad Estructural de la Variable Distorsión de Marcos de Acero con Contravientos tipo X y Marcos de Acero con Contravientos tipo Chevrón .....	229
3.6.22.	Comparación de Costos – Marcos de Acero Resistentes a Momento - Marcos de Acero con Contraviento tipo X.....	232
IV.	CAPÍTULO 4 - ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN .....	239
4.1.	Plan de acción .....	239
4.2.	Estrategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto ....	239
V.	CAPÍTULO 5 - ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO .....	241
5.1.	Cronograma de actividades.....	241
5.2.	Recursos.....	241
VI.	CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	243
6.1.	Conclusiones .....	243
6.2.	Recomendaciones .....	243
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	245

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Configuraciones típicas de contravientos concéntricos, (a) tipo x, (b) en K, (c) diagonal, (d) V invertida y (e) en V (Crisafulli, 2013).....	22
<b>Figura 2.</b> Configuraciones típicas para contravientos excéntricos, (a) chevrón, (b) diagonal y (c) en V (Crisafulli, 2013) .....	22
<b>Figura 3.</b> Secciones transversales de contravientos (Uso de contraviento de acero, 2015).....	23
<b>Figura 4.</b> Desempeño sísmico de marcos con diferentes contravientos (Uso de contraviento de acero, 2015).....	24
<b>Figura 5</b> Ubicación del sitio para desarrollo del proyecto de intervención (coordenadas: 24.824782, -107.375286) .....	29
<b>Figura 6</b> Centro comercial La Ceiba con sistema estructural a base de contravientos tipo X .....	29
<b>Figura 7</b> Edificio de Homex con sistema estructural de contravientos tipo X.....	30
<b>Figura 8</b> Vista en planta de las dimensiones de las edificaciones.....	31
<b>Figura 9</b> Vista en elevación de las dimensiones de las edificaciones de marcos de acero resistentes a momento .....	31
<b>Figura 10</b> Vista en elevación de las dimensiones de las edificaciones de marcos de acero con contravientos tipo X .....	32
<b>Figura 11</b> Modelo de la edificación y área de estacionamiento.....	32
<b>Figura 12</b> Proceso para el diseño de cargas de viento (CFE-MDOC, 2008).....	36
<b>Figura 13</b> Proceso para diseñar las cargas de sismo mediante análisis dinámico modal espectral (CFE-MDOC, 2015).....	37
<b>Figura 14</b> Marco 2D de Marco Resistente a Momento .....	38
<b>Figura 15</b> Marco 2D de Marco con contravientos.....	39
<b>Figura 16</b> Secciones de Marco Resistente a Momento.....	40
<b>Figura 17</b> Secciones de Marco con contravientos .....	41
<b>Figura 18</b> Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-75 años .....	42
<b>Figura 19</b> Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-475 años .....	43
<b>Figura 20</b> Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-2475 años .....	44
<b>Figura 21</b> Selección de sismos de Marco con Contravientos -75 años.....	45
<b>Figura 22</b> Selección de sismos de Marco con Contravientos -475 años.....	46
<b>Figura 23</b> Selección de sismos de Marco con Contravientos -2475 años.....	47
<b>Figura 24</b> PDF con límites correspondiente de variable distorsión .....	50
<b>Figura 25</b> Diagrama de flujo de la metodología .....	59
<b>Figura 26</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años) .....	61
<b>Figura 27</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años) .....	62
<b>Figura 28</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 75 años) .....	63
<b>Figura 29</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años) .....	64
<b>Figura 30</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años) .....	65
<b>Figura 31</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años) .....	66
<b>Figura 32</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años) .....	67
<b>Figura 33</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años) .....	68
<b>Figura 34</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años) .....	69
<b>Figura 35</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años) .....	70
<b>Figura 36</b> Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años) .....	71
<b>Figura 37</b> Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años) .....	72
<b>Figura 38</b> Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años) .....	73
<b>Figura 39</b> Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años) .....	74

<b>Figura 40</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años).....	75
<b>Figura 41</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años).....	76
<b>Figura 42</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años).....	77
<b>Figura 43</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años).....	78
<b>Figura 44</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años).....	79
<b>Figura 45</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años).....	80
<b>Figura 46</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años).....	81
<b>Figura 47</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años).....	82
<b>Figura 48</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años).....	83
<b>Figura 49</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años).....	84
<b>Figura 50</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años).....	85
<b>Figura 51</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años).....	86
<b>Figura 52</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años).....	87
<b>Figura 53</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años).....	88
<b>Figura 54</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años).....	89
<b>Figura 55</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años).....	90
<b>Figura 56</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años).....	91
<b>Figura 57</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años).....	92
<b>Figura 58</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años).....	93
<b>Figura 59</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años).....	94
<b>Figura 60</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años).....	95
<b>Figura 61</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años).....	96
<b>Figura 62</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años).....	97
<b>Figura 63</b>	Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años).....	98
<b>Figura 64</b>	Desplazamientos Marco Con Contraviento (Sismo 6 - 475 años).....	99
<b>Figura 65</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 7 - 475 años) .....	100
<b>Figura 66</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 8 - 475 años) .....	101
<b>Figura 67</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 9 - 475 años) .....	102
<b>Figura 68</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 10 - 475 años) .....	103
<b>Figura 69</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 11 - 475 años) .....	104
<b>Figura 70</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años).....	105
<b>Figura 71</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 2475 años).....	106
<b>Figura 72</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 2475 años).....	107
<b>Figura 73</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 2475 años).....	108
<b>Figura 74</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 2475 años).....	109
<b>Figura 75</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 2475 años).....	110
<b>Figura 76</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 2475 años).....	111
<b>Figura 77</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 2475 años).....	112
<b>Figura 78</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 2475 años).....	113
<b>Figura 79</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 2475 años).....	114
<b>Figura 80</b>	Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 2475 años).....	115
<b>Figura 81</b>	Desplazamientos Maro con Contravientos (Sismo 1 - 2475 años).....	116
<b>Figura 82</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 2 - 2475 años) .....	117
<b>Figura 83</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 3 - 2475 años) .....	118
<b>Figura 84</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 4 - 2475 años) .....	119
<b>Figura 85</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 5 - 2475 años) .....	120
<b>Figura 86</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 6 - 2475 años) .....	121

<b>Figura 87</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 7 - 2475 años)	122
<b>Figura 88</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 8 - 2475 años)	123
<b>Figura 89</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 9 - 2475 años)	124
<b>Figura 90</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 10 - 2475 años)	125
<b>Figura 91</b>	Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 11 - 2475 años)	126
<b>Figura 92</b>	Comparativa de Promedio de Desplazamientos Máximos	127
<b>Figura 93</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años)	128
<b>Figura 94</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años)	129
<b>Figura 95</b>	Rotaciones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 75 años)	129
<b>Figura 96</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años)	130
<b>Figura 97</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años)	130
<b>Figura 98</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años)	131
<b>Figura 99</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años)	131
<b>Figura 100</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años)	132
<b>Figura 101</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años)	132
<b>Figura 102</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años)	133
<b>Figura 103</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años)	133
<b>Figura 104</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años)	134
<b>Figura 105</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años)	134
<b>Figura 106</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años)	135
<b>Figura 107</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años)	135
<b>Figura 108</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años)	136
<b>Figura 109</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años)	136
<b>Figura 110</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años)	137
<b>Figura 111</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años)	137
<b>Figura 112</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años)	138
<b>Figura 113</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años)	138
<b>Figura 114</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años)	139
<b>Figura 115</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años)	139
<b>Figura 116</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años)	140
<b>Figura 117</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años)	140
<b>Figura 118</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años)	141
<b>Figura 119</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años)	141
<b>Figura 120</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años)	142
<b>Figura 121</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años)	142
<b>Figura 122</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años)	143
<b>Figura 123</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años)	143
<b>Figura 124</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años)	144
<b>Figura 125</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años)	144
<b>Figura 126</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años)	145
<b>Figura 127</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años)	145
<b>Figura 128</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años)	146
<b>Figura 129</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años)	146
<b>Figura 130</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años)	147
<b>Figura 131</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 475 años)	147
<b>Figura 132</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 475 años)	148
<b>Figura 133</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 475 años)	148

<b>Figura 134</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 475 años) .....	149
<b>Figura 135</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 475 años) .....	149
<b>Figura 136</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 475 años) .....	150
<b>Figura 137</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años) .....	151
<b>Figura 138</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 2475 años) .....	151
<b>Figura 139</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 2475 años) .....	152
<b>Figura 140</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 2475 años) .....	152
<b>Figura 141</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 2475 años) .....	153
<b>Figura 142</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 2475 años) .....	153
<b>Figura 143</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 2475 años) .....	154
<b>Figura 144</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 2475 años) .....	154
<b>Figura 145</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 2475 años) .....	155
<b>Figura 146</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 2475 años) .....	155
<b>Figura 147</b>	Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 2475 años) .....	156
<b>Figura 148</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 2475 años) .....	156
<b>Figura 149</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 2475 años) .....	157
<b>Figura 150</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 2475 años) .....	157
<b>Figura 151</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 2475 años) .....	158
<b>Figura 152</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 2475 años) .....	158
<b>Figura 153</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 2475 años) .....	159
<b>Figura 154</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 2475 años) .....	159
<b>Figura 155</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 2475 años) .....	160
<b>Figura 156</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 2475 años) .....	160
<b>Figura 157</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 2475 años) .....	161
<b>Figura 158</b>	Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 2475 años) .....	161
<b>Figura 159</b>	Comparativa de Rotaciones Máximas .....	163
<b>Figura 160</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 1 - 75 años) .....	164
<b>Figura 161</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 2 - 75 años) .....	165
<b>Figura 162</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 75 años) .....	165
<b>Figura 163</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 4 - 75 años) .....	166
<b>Figura 164</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 5 - 75 años) .....	166
<b>Figura 165</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 6 - 75 años) .....	167
<b>Figura 166</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 7 - 75 años) .....	167
<b>Figura 167</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 8 - 75 años) .....	168
<b>Figura 168</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 9 - 75 años) .....	168
<b>Figura 169</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 10 - 75 años) .....	169
<b>Figura 170</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 11 - 75 años) .....	169
<b>Figura 171</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años) .....	170
<b>Figura 172</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años) .....	170
<b>Figura 173</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años) .....	171
<b>Figura 174</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años) .....	171
<b>Figura 175</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años) .....	172
<b>Figura 176</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años) .....	172
<b>Figura 177</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años) .....	173
<b>Figura 178</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años) .....	173
<b>Figura 179</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años) .....	174
<b>Figura 180</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años) .....	174

<b>Figura 181</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años) .....	175
<b>Figura 182</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años) .....	175
<b>Figura 183</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años) .....	176
<b>Figura 184</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años) .....	176
<b>Figura 185</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años) .....	177
<b>Figura 186</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años) .....	177
<b>Figura 187</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años) .....	178
<b>Figura 188</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años) .....	178
<b>Figura 189</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años) .....	179
<b>Figura 190</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años) .....	179
<b>Figura 191</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años) .....	180
<b>Figura 192</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años) .....	180
<b>Figura 193</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años) .....	181
<b>Figura 194</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años) .....	181
<b>Figura 195</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años) .....	182
<b>Figura 196</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años) .....	182
<b>Figura 197</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años) .....	183
<b>Figura 198</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 475 años) .....	183
<b>Figura 199</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 475 años) .....	184
<b>Figura 200</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 475 años) .....	184
<b>Figura 201</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 475 años) .....	185
<b>Figura 202</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 475 años) .....	185
<b>Figura 203</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 475 años) .....	186
<b>Figura 204</b>	Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años) .....	186
<b>Figura 205</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 2 - 2475 años).....	187
<b>Figura 206</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 2475 años).....	187
<b>Figura 207</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 4 - 2475 años).....	188
<b>Figura 208</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 5 - 2475 años).....	188
<b>Figura 209</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 6 - 2475 años).....	189
<b>Figura 210</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 7 - 2475 años).....	189
<b>Figura 211</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 8 - 2475 años).....	190
<b>Figura 212</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 9 - 2475 años).....	190
<b>Figura 213</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 10 - 2475 años).....	191
<b>Figura 214</b>	Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 11 - 2475 años).....	191
<b>Figura 215</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 2475 años) .....	192
<b>Figura 216</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 2475 años) .....	192
<b>Figura 217</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 2475 años) .....	193
<b>Figura 218</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 2475 años) .....	193
<b>Figura 219</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 2475 años) .....	194
<b>Figura 220</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 2475 años) .....	194
<b>Figura 221</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 2475 años) .....	195
<b>Figura 222</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 2475 años) .....	195
<b>Figura 223</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 2475 años) .....	196
<b>Figura 224</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 2475 años) .....	196
<b>Figura 225</b>	Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 2475 años) .....	197
<b>Figura 226</b>	Comparativa de Distorsiones Máximas .....	199
<b>Figura 227</b>	Comparativa de desplazamientos de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X200	

<b>Figura 228</b>	Comparativa de rotaciones de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X.....	200
<b>Figura 229</b>	Comparativa de distorsiones de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X .....	201
<b>Figura 230</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años).....	202
<b>Figura 231</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años).....	202
<b>Figura 232</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 75 años).....	202
<b>Figura 233</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años).....	203
<b>Figura 234</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años).....	203
<b>Figura 235</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años).....	203
<b>Figura 236</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años).....	204
<b>Figura 237</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años).....	204
<b>Figura 238</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años).....	204
<b>Figura 239</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años).....	205
<b>Figura 240</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años).....	205
<b>Figura 241</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años).....	205
<b>Figura 242</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años).....	206
<b>Figura 243</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años).....	206
<b>Figura 244</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años).....	206
<b>Figura 245</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años).....	207
<b>Figura 246</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años).....	207
<b>Figura 247</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años).....	207
<b>Figura 248</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años).....	208
<b>Figura 249</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años).....	208
<b>Figura 250</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años).....	208
<b>Figura 251</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años).....	209
<b>Figura 252</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 -2 475 años).....	209
<b>Figura 253</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 -2 475 años).....	209
<b>Figura 254</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 -2 475 años).....	210
<b>Figura 255</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 -2 475 años).....	210
<b>Figura 256</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 -2 475 años).....	210
<b>Figura 257</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 -2 475 años).....	211
<b>Figura 258</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 -2 475 años).....	211
<b>Figura 259</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 -2 475 años).....	211
<b>Figura 260</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 -2 475 años).....	212
<b>Figura 261</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 -2 475 años).....	212
<b>Figura 262</b>	Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 -2 475 años).....	212
<b>Figura 263</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 75 años).....	213
<b>Figura 264</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 75 años).....	213
<b>Figura 265</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 75 años).....	213
<b>Figura 266</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 75 años).....	214
<b>Figura 267</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 75 años).....	214
<b>Figura 268</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 75 años).....	214
<b>Figura 269</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7- 75 años).....	215
<b>Figura 270</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 75 años).....	215
<b>Figura 271</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 75 años).....	215
<b>Figura 272</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 75 años).....	216
<b>Figura 273</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 75 años).....	216
<b>Figura 274</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 475 años).....	216

<b>Figura 275</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 475 años) .....	217
<b>Figura 276</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 475 años) .....	217
<b>Figura 277</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 475 años) .....	217
<b>Figura 278</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 475 años) .....	218
<b>Figura 279</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 475 años) .....	218
<b>Figura 280</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7 - 475 años) .....	218
<b>Figura 281</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 475 años) .....	219
<b>Figura 282</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 475 años) .....	219
<b>Figura 283</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 475 años) .....	219
<b>Figura 284</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 475 años) .....	220
<b>Figura 285</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 2475 años) .....	220
<b>Figura 286</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 2475 años) .....	220
<b>Figura 287</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 2475 años) .....	221
<b>Figura 288</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 2475 años) .....	221
<b>Figura 289</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 2475 años) .....	221
<b>Figura 290</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 2475 años) .....	222
<b>Figura 291</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7 - 2475 años) .....	222
<b>Figura 292</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 2475 años) .....	222
<b>Figura 293</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 2475 años) .....	223
<b>Figura 294</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 2475 años) .....	223
<b>Figura 295</b>	Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 2475 años) .....	223

## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Niveles de desempeño (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014).....	25
<b>Tabla 2.</b> Objetivos de desempeño sísmico (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014) .....	25
<b>Tabla 3.</b> Cargas vivas unitarias (Kg/m <sup>2</sup> ) .....	34
<b>Tabla 4</b> Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Ocupación Inmediata.....	43
<b>Tabla 5</b> Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Seguridad de Vida.....	44
<b>Tabla 6</b> Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Prevención de Colapso .....	45
<b>Tabla 7</b> Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Ocupación Inmediata .....	46
<b>Tabla 8</b> Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Seguridad de Vida .....	47
<b>Tabla 9</b> Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Prevención de Colapso .....	48
<b>Tabla 10</b> Límites de Diseño Sísmico Basado en Desempeño PBSB (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014) .....	60
<b>Tabla 11</b> Desplazamientos máximos para Marco Resistente a Momento.....	126
<b>Tabla 12</b> Desplazamiento máximos del Marco con Contravientos.....	127
<b>Tabla 13</b> Rotaciones Máximas para el Marco Resistente a Momento .....	162
<b>Tabla 14</b> Rotaciones Máximas del Marco con Contraviento.....	162
<b>Tabla 15</b> Distorsiones Máximas para el Marco Resistente a Momento.....	198
<b>Tabla 16</b> Distorsiones Máximas para el Marco con Contravientos .....	198
<b>Tabla 17</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Ocupación Inmediata) .....	224
<b>Tabla 18</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Seguridad de Vida).....	225
<b>Tabla 19</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Prevención de Colapso) .....	226
<b>Tabla 20</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Ocupación Inmediata) .....	227
<b>Tabla 21</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Seguridad de Vida).....	228
<b>Tabla 22</b> Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Prevención de Colapso).....	229
<b>Tabla 23</b> Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de ocupación inmediata.....	230
<b>Tabla 24</b> Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de seguridad de vida .....	231
<b>Tabla 25</b> Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de prevención de colapso .....	232
<b>Tabla 26</b> Precio Unitario de Estructura Metálica.....	233
<b>Tabla 27</b> Presupuesto del Marco Resistente a Momento.....	234
<b>Tabla 28</b> Presupuesto del Marco con Contravientos .....	236
<b>Tabla 29</b> Cronograma de Actividades del Plan de Acción .....	241
<b>Tabla 30</b> Plan de Recursos .....	242

## **RESUMEN**

El propósito de esta tesis es estudiar y comparar el desempeño sísmico mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo de sistemas de marcos de acero con contravientos tipo X y marcos de acero resistentes a momento, considerando edificios situados en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Los resultados obtenidos de las variables estudiadas, desplazamiento, rotación en las conexiones y distorsión de entrepiso, mediante el análisis dinámico no lineal fueron similares al comportamiento real de las edificaciones frente a un sismo. El análisis indicó que el marco de acero con contravientos presentó mejor desempeño sísmico que el marco de acero rígido para las variables desplazamiento, rotación en las conexiones y distorsión de entrepiso en las edificaciones, para los tres niveles de desempeño estudiados (1) ocupación inmediata, (2) seguridad de vida y (3) prevención de colapso, alcanzando una reducción hasta un 70% en los desplazamientos laterales y distorsiones de entrepiso. Asimismo, los contravientos en configuración tipo X aumentaron significativamente el índice de confiabilidad de las edificaciones frente a la distorsión para los tres niveles de desempeño estudiados, lo cual se traduce en una menor probabilidad de falla estructural frente a los efectos negativos ocasionados por los sismos. Sin embargo, la implementación de la configuración tipo X de contravientos en las estructuras aumenta alrededor del 20% el costo del sistema sismo-resistente.

## **PALABRAS CLAVE**

Diseño Sísmico Basado en Desempeño; Contraviento Tipo X; Estructuras de Acero; Confiabilidad Estructural; Ingeniería Sísmica.

## **ABSTRACT**

The main objective of this research is to study and compare the seismic performance of two structural systems: (1) steel moment resisting frames (SMRFs), and (2) steel frames with Type X bracing. In this sense, to perform such a study, nonlinear response history analysis is implemented. Both structures are designed to be located in Culiacan, Sinaloa. The results documented in this research are presented in terms of overall displacements, rotations of connections, and inter-story drifts, for three performance levels: (1) immediate occupancy, (2) life safety, and (3) collapse prevention, respectively. For each performance level, 11 characteristic ground motions were selected to study the response of the structures. Such responses were extracted by using a commercial software to perform structural analysis. Based on the results, it was demonstrated that the steel frame with Type X bracing developed a better seismic performance with respect to the SMRF for all three variables under consideration. In addition, it was found that a reduction up to 70% in overall displacements and inter-story drift can be reached when Type X bracing is used in steel structures. Furthermore, since the risk of the structure was extracted in terms of reliability index ( $\beta$ ) and probability of failure ( $p_f$ ), it was demonstrated that the reliability index increased considerably for structures with Type X bracing in comparison with SMRFs. Finally, an economic study presented in this research demonstrates that Type X bracing come to increase the cost of the structure. However, its use is justified because of the fact that serviceability conditions as overall displacement and inter-story drift are considerably improved.

## **KEYWORDS**

Performance-Based Seismic Design; Type X bracing; Steel structures; Structural reliability; Seismic engineering.

# I. CAPÍTULO 1 - INTRODUCCIÓN

## 1.1 Presentación

El presente proyecto de intervención plantea el estudio y comparación del desempeño sísmico mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo entre sistemas de marcos de acero con contravientos tipo X y marcos de acero resistentes a momentos, particularmente diseñados en la ciudad de Culiacán, Sinaloa. Para llevar a cabo el desarrollo del proyecto de intervención, fue necesaria la implementación de una metodología que consta de ocho etapas: (1) selección y descripción general del sitio, (2) geometría de la estructura de acero, (3) análisis de cargas, (4) diseño estructural, (5) selección de sismos, (6) estudio del desempeño sísmico, (7) evaluación de confiabilidad estructural, y (8) evaluación de costo/beneficio. Dentro de estas etapas, el diseño estructural es de suma importancia para el desarrollo del presente proyecto de intervención. De este modo, la evaluación de las estructuras estudiadas en este proyecto utilizó diversos criterios del diseño sísmico basado en desempeño (PBSD, por sus siglas en inglés), el cual se ha demostrado que reduce los daños estructurales de una manera considerable. Además, es importante mencionar que para cumplir con los objetivos del PBSD de acuerdo a los reportes técnicos del FEMA-350 (2000) y ASCE/SEI 41-13 (2014) se estudiaron tres niveles de desempeño: (1) ocupación inmediata, (2) seguridad de vida, y (3) prevención del colapso.

El desarrollo de dichas etapas se realizó bajo un sustento legal basado en distintos reglamentos, normas, códigos y manuales tanto nacionales como internacionales, esto con el fin de asegurar la confiabilidad del diseño y análisis de los sistemas estructurales resistentes a cargas sísmicas en estudio.

En resumen, este proyecto de intervención tiene la intención de demostrar que la implementación de sistemas estructurales a base de contravientos tipo X, tienen un mejor comportamiento sísmico que los marcos de acero convencionales más comúnmente conocidos como marcos resistentes a momento. Además, el proyecto de intervención tiene por objetivo validar que el diseño de estructuras mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo provee resultados más confiables, lo cual ayudaría al diseño de sistemas estructurales con mejor desempeño.

## 1.2 Análisis situacional

Actualmente, los sistemas estructurales sismo-resistentes a base de contravientos tipo X son utilizados cada día más en las edificaciones, esto como una solución a resistir las fuerzas laterales de manera satisfactoria, principalmente provocadas por los sismos. A lo largo de los años ha quedado demostrado el poder de destrucción que provocan los terremotos en las estructuras, tal es el ejemplo del sismo de gran magnitud que ocurrió en el año de 1985 en la ciudad de México donde una gran cantidad de estructuras se vieron afectadas. En ese tiempo, uno de los sistemas estructurales sismo-resistentes que más se implementaban eran los marcos de acero resistentes a momento. A partir de ese acontecimiento, los reglamentos de construcción en México se vieron obligados a realizar una gran cantidad de modificaciones y en la necesidad de la implementación de nuevos sistemas estructurales sismo-resistentes.

En este sentido, a raíz de eventos sísmicos catastróficos, los sistemas sismo-resistentes a base de contravientos tipo X han sido uno de los sistemas que más se han estudiado y dichas investigaciones han mostrado que su utilización mejora, de manera crucial, el desempeño sísmico de las estructuras. Nuevamente en el año 2017, México se vio afectado fuertemente por dos sismos registrados en el mes de septiembre, en donde un gran número de personas perdieron la vida. Sin embargo, si hacemos una comparativa con el sismo registrado en el año de 1985, se observa una gran reducción en la pérdida de vidas humanas. Desafortunadamente, en cuestión a pérdidas económicas, la tendencia es cada vez más impactante, debido a que las estructuras aún sufren grandes daños. A partir de esto, surge la inquietud de estudiar con más profundidad los sistemas estructurales sismo-resistentes a base de marcos de acero resistentes a momentos y marcos de acero con sistemas duales (sistema estructural resistente a momentos más un sistema de contravientos). Además, es necesaria la implementación de un diseño estructural basado en desempeño (PBSD), el cual consiste en cumplir con el objetivo de diseñar las estructuras con un desempeño satisfactorio cuando estas se someten a diferentes tipos de terremotos, y que muestren un comportamiento dentro de los valores permisibles en términos de respuestas estructurales asociadas a los niveles de desempeño.

En la ciudad de Culiacán, Sinaloa, la implementación de sistemas estructurales a base de marcos de acero es cada vez más común, sin embargo, los sistemas que predominan son los sistemas resistentes a momentos. Recientemente, nuevos desarrollos dentro de esta ciudad están implementando sistemas sismo-resistentes a base de contravientos, como por ejemplo los de tipo X y Chevrón, respectivamente. A pesar de ser sistemas que ya tienen cierto tiempo de estar implementándose en las edificaciones de la ciudad, aún se carece de investigación como por ejemplo del comportamiento de dichos sistemas estructurales con respecto a sismos característicos de la región. Es por ello que, en este trabajo de investigación se realiza la comparación de ambos sistemas sismo-resistentes con respecto a criterios utilizados en el diseño basado en desempeño (PSBD) utilizando sismos característicos de la región.

### **1.3 Definición del problema seleccionado**

En la actualidad, los sismos representan fenómenos naturales catastróficos que han causado pérdidas económicas y humanas alrededor del mundo. Por lo tanto, debido al gran impacto negativo que ocasionan en la infraestructura de las ciudades, representan un reto considerable en la ingeniería. En este sentido, los ingenieros estructurales son los encargados de realizar diseños sismo-resistentes de edificaciones para garantizar una seguridad adecuada en estas ante los sismos. Generalmente, los ingenieros se apoyan en los reglamentos de construcción, particularmente en las secciones que abarcan consideraciones de terremotos. Los diseños sismo-resistentes en edificaciones han ido evolucionando a través de los años, por la gran cantidad de afectaciones que los edificios han presentado ante las acciones repentinas de los sismos, lo cual ha propiciado que los reglamentos de construcción sean actualizados considerando acciones contra las nuevas fallas que presentan los edificios. De esta manera, también se ha propuesto la inclusión de ciertos elementos estructurales que permitan disipar energía de manera adecuada en las estructuras cuando se ven sometidas a cargas sísmicas. Un ejemplo de dichos elementos estructurales para disipar energía son los contravientos, los cuales son uno de los sistemas más utilizados actualmente para dicho fin. De acuerdo a

investigaciones recientes (Tapia & Tena, 2013), se ha reportado que los sistemas con contravientos se comportan de manera más eficiente que los sistemas convencionales ante la aparición de cualquier sismo. Existen diversos tipos de sistemas de contraviento en edificaciones como los Chevrón, Diagonal, X, etc. cada uno de ellos presenta sus respectivas ventajas y desventajas. Las principales ventajas con el uso de contravientos es el mejorar la estructura en cuanto a fallas de servicio. Por ejemplo, algunas de dichas ventajas serían: (1) reducción de desplazamientos laterales, (2) disminución de vibraciones, y (3) acortamiento de desplazamientos de entrepiso. Esto hace que el ocupante de la edificación se sienta más seguro. El uso de los contravientos depende principalmente del tipo de edificación a ser construida. En el caso particular de este proyecto de investigación, se estudia el desempeño sísmico de los contravientos en configuración tipo X. Como se mencionó anteriormente, el sistema estructural de marcos de acero con contravientos en configuración X es uno de los más utilizados en diseños sismo-resistentes por su eficiente comportamiento ante estos fenómenos. Además, es uno de los sistemas de contraviento acerca de los cuales más investigación se ha realizado, al igual que los de tipo V invertida o Chevrón. Sin embargo, a pesar de los trabajos de investigación desarrollados para los sistemas de contraviento, se necesitan realizar más investigaciones sobre el comportamiento de los marcos de acero con contraviento en configuración tipo X ante la acción repentina provocada por los terremotos. En la investigación que en este documento se realiza, se contribuye significativamente en esta área del conocimiento.

En México, la implementación de contravientos en configuración tipo X en edificios de acero, es común encontrarla en edificaciones destinadas al comercio, oficinas, hospitales, escuelas, etc. La principal ventaja de este sistema es la reducción de desplazamientos ante la acción de un sismo sobre la edificación, lo cual genera más seguridad a los ocupantes del edificio. Desafortunadamente, a pesar del uso de contravientos tipo X en diseños sismo resistentes, en México, se han registrado grandes afectaciones ante la presencia de un sismo, ocasionando considerables pérdidas económicas y humanas. Por ejemplo, estudios recientes sobre el comportamiento de edificios estructurados con marcos con contravientos de acero (Tapia, 2011) han demostrado que su diseño todavía se rige por lineamientos muy generales disponibles en reglamentos internacionales vigentes, razón por la cual los modelos no desarrollan forzosamente un comportamiento estructural adecuado ante sismos de gran intensidad, sino que la respuesta se ve dominada por la formación de mecanismos de colapso de pisos débiles, redistribuciones inesperadas de carga, concentración del daño, etc. El comportamiento inelástico en edificios con marcos con contraviento es dominado por la respuesta de las crujías contraventeadas, que es distinto a cómo se comportan los marcos resistentes a momentos (Tapia & Tena, 2013). Si se dividen los tipos de contravientos por su configuración, se podría decir que existen dos tipos: 1) contravientos concéntricos, y 2) contravientos excéntricos. De manera particular, en esta tesis se estudia el desempeño sísmico de marcos de acero con contravientos concéntricos en configuración tipo "X". También, se estudian los marcos de acero resistentes a momentos, para realizar una comparación del desempeño sísmico en ambos sistemas a través de análisis paso a paso no lineales en el dominio del tiempo, y entonces se determina cuál sistema tiene un mejor desempeño sísmico. El diseño de ambas estructuraciones se realiza para la ciudad de Culiacán, Sinaloa, debido a la gran cantidad de edificaciones con sistemas estructurales de acero que se están construyendo actualmente en la ciudad.

## II. CAPÍTULO 2 - FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1. Marco histórico y contextual

Los marcos con contravientos en edificios para resistir fuerzas laterales existen desde inicios del siglo XIX, donde su principal uso era en edificios industriales y puentes. En las primeras aplicaciones de marcos con contravientos en edificios eran típicas las configuraciones tipo *Knee-Braced* y *X-Braced*, las cuales solo trabajaban en tensión. Entre 1960 y 1980, los marcos con contravientos se fueron convirtiendo en sistemas estructurales más completos, debido a la promulgación de más detalles y requerimientos en las normas para diseños sismo-resistentes (Arellano, 2010). En este sentido, desde el sismo de 1906 en San Francisco, un gran número de edificios de acero con contravientos han sido sujetos a diversos terremotos de gran intensidad, demostrando la aplicabilidad de estos sistemas estructurales. Por otro lado, en el caso particular de México, uno de los sismos con mayor relevancia ha sido el de 1985 ocurrido en la Ciudad de México. Dicho sismo provocó gran daño en la ciudad, y fue el primer evento en el cual un significativo número de estructuras de acero fueron sujetas a un movimiento de gran magnitud y duración (aproximadamente 120 segundos). En ese entonces, los marcos rígidos eran el sistema usado con mayor frecuencia como sistema sismo-resistente, los cuales presentaron un buen comportamiento, ya que se reportaron pocos casos de daño estructural. El poco daño que se presentó, se concentró en conexiones soldadas viga-columna o en las vigas de armaduras donde se presentó inestabilidad por pandeo causado por la compresión de diagonales. El sismo de 1985 fue una dura, pero no excesiva prueba para las estructuras de acero. Los edificios bien diseñados resistieron el sismo sin daños considerables, sin llegar al colapso, como por ejemplo la Torre Latinoamericana. Las estructuras con mayor colapso fueron por problemas de diseño que no habían sido documentados en los reglamentos sísmicos en México (Tapia & Tena, 2001). Por otro lado, algunos años más tarde, ocurre el sismo de Northridge en los Estados Unidos a principios del año de 1994, el cual es considerado como el primer gran reto para las estructuras modernas de acero, donde a pesar de los grandes problemas, la gran mayoría de los edificios de acero no presentaron colapso. Sin embargo, se presentó un daño estructural considerable en las conexiones viga-columna soldadas (<http://www.eeri.org>). En el caso de estructuras con contraviento el daño fue pequeño. Un año más tarde, en 1995 durante el sismo de Kobe en Japón se reportó una gran cantidad de daños en edificios esbeltos en los cuales su área era muy pequeña en relación a su altura. Para el caso del sismo de Kobe, en los marcos con contraviento, el pandeo y la fluencia ante cargas cíclicas de tensión y compresión se presentaron frecuentemente, lo cual ocasionó pandeo local. Este problema se presentó en la mayoría de los contravientos, y se observó que el sistema de traveses empleados en las edificaciones de Kobe era muy similar a las de México durante los 70's (Tapia & Tena, 2001). En la Ciudad de México, existen estructuras que han sido reparadas con sistemas de contraviento, como ejemplo, los casos de los edificios conocidos en el gremio y denominados como, parque España o el edificio de oficinas de Colinas De Buen, los cuales resultaron con daños producto de los sismos de septiembre de 1985 y, posteriormente fueron reforzados mediante contravientos metálicos (Godínez, 2010). Con base en la discusión presentada en esta sección, queda claro que los sistemas de contraviento en estructuras de acero tienen bastantes años de haber sido implementados en la construcción. Sin embargo, existe la necesidad de aportar al estado del arte con respecto al comportamiento sísmico de estos. En

este sentido, este proyecto de investigación presenta los beneficios de los sistemas de contraviento tipo X considerando diferentes niveles de desempeño sísmico en estructuras de acero para después compararse con el comportamiento de marcos de acero resistentes a momento.

## 2.2. Estado del arte

Los diferentes tipos de sistemas de contraviento en estructuras han sido temas muy estudiados alrededor del mundo por un gran número de investigadores. En dichas investigaciones, los contravientos en configuración tipo X han sido de los más estudiados debido a su buen desempeño sísmico y su uso continuo en estructuras. En México, existen diferentes investigadores que han estado aportando en esta área (Tapia & Tena, 2013). En términos generales, diversas han sido las contribuciones en el mundo al tema del estudio del desempeño sísmico de edificaciones con contravientos. En esta sección se discuten a detalle algunas de las aportaciones más importantes al estado del arte en el tema al cual se contribuye con el desarrollo de este proyecto de investigación.

Por ejemplo, MacRae *et al.* (2004) reportaron un estudio muy extenso sobre la influencia de la rigidez de las columnas en la formación de pisos débiles en marcos de acero con contraviento tipo concéntrico. En dicho estudio, se propuso una metodología para evidenciar las concentraciones de respuesta inelástica a partir del número de niveles, la distribución vertical del cortante lateral resistente, la esbeltez de las columnas del primer nivel en relación con la rigidez lateral de los contravientos, y por último la ductilidad esperada para el edificio en estudio. En lo que respecta a marcos de acero con contravientos con configuración tipo X, Tremblay & Poncet (2005) realizaron un estudio con modelos de varios niveles estructurados con marcos con contravientos concéntricos diseñados con el Reglamento Canadiense. El objetivo principal de dicha investigación fue la evaluación y los efectos de la irregularidad de masa y geometría en el comportamiento de la estructura. Los modelos se analizaron en Drain-2DX usando diez registros sísmicos escalados para un terremoto en Vancouver con intervalos de 0.3 a 0.6 g, donde la máxima distorsión que se registró fue de 2.7% en el sexto nivel. En este sentido, Lacarte & Tremblay (2006) llevaron a cabo un estudio de la respuesta inelástica de edificios estructurados con marcos de acero con contravientos concéntricos con configuración tipo X. En este estudio, se investigaron modelos de 2, 4, 8 y 12 pisos, respectivamente, los cuales fueron diseñados con el Reglamento Canadiense (CNBC-05 y CSA-S16-01). En dicho reglamento, se considera que los factores de modificación por ductilidad y sobre-resistencia son de  $R_d= 3.0$  y  $R_o= 1.2$ , respectivamente. Este estudio demostró que los marcos con contraviento con configuración tipo X en estructuras de 8 niveles pueden experimentar deformaciones inelásticas significativas, pudiendo llegar al colapso por inestabilidad dinámica. Un año después, Karavasilis *et al.* (2007) realizaron un estudio de más de 100 edificios estructurados con marcos de acero con contravientos en configuración en cruz que fueron sujetos a 30 registros sísmicos. Dichos registros fueron escalados para conducir a las estructuras a distintos niveles de deformación inelástica. Los resultados indicaron que la cantidad de niveles, el periodo de vibración, la relación de esbeltez de los contravientos y la rigidez de las columnas influyen fuertemente en la amplitud y distribución con respecto a la altura de la respuesta inelástica. El estudio discute con detalle la incertidumbre asociada a la variabilidad de los registros, y propone una metodología para evaluar el comportamiento de estructuras existentes y el control de la deformación en el diseño sísmico de estructuras nuevas. Por otro lado, Tapia & Tena (2011) llevaron a cabo

una investigación donde analizaron edificaciones con geometría regular a base de marcos dúctiles de acero con contraviento concéntrico situados en suelo blando con alturas de 4 a 16 niveles (14 a 56 m). Los modelos se diseñaron siguiendo estrictamente los criterios del RCDF-04 y variando la contribución al cortante lateral resistente de las columnas del marco en relación con la aportación del sistema de contravientos. Siguiendo con el estudio anterior, Tapia & Tena (2013) presentaron una metodología de diseño por capacidad adaptada al Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-04), que establecía los requisitos mínimos que deben ser considerados en el diseño de sistemas estructurales con contravientos, lo anterior para que los mecanismos de colapso desarrollados concuerden con las premisas implícitas en el diseño (columna fuerte – viga débil – contraviento más débil), con una adecuada distribución de la respuesta inelástica en la altura y redistribuciones de cargas predecibles. La metodología presentada por Tapia & Tena (2013) incluye factores por ductilidad y sobre-resistencia más realistas para este sistema estructural, se ejemplifica con un modelo de 14 niveles diseñado en suelo blando. En el mismo año, Tapia & Tena (2013) reportaron en la literatura un estudio de edificios regulares de 10, 14 y 18 pisos estructurados con marcos de acero dúctiles con contraviento concéntrico. Estos modelos se diseñaron por capacidad siguiendo una metodología propuesta para este sistema estructural, dichas estructuraciones se ubicaron en la subzona IIIa del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal (RCDF-04). Los análisis no lineales dinámicos se realizaron con el programa de libre acceso OpenSees considerando la sobre-resistencia del material en el comportamiento de los edificios con base en 290 certificados de laboratorio de perfiles disponibles en el mercado mexicano. Muy recientemente, Tapia *et al.* (2017) estudiaron la respuesta inelástica de edificios regulares de 8 y 12 pisos estructurados con marcos de acero dúctiles con contraviento concéntrico y cimentaciones flexibles. En este estudio, se efectuaron análisis no lineales dinámicos con el propósito de evaluar la influencia de la interacción suelo-cimentación-estructura en tres escenarios: (1) modelos con base rígida, (2) modelos con pilotes de cimentación, y (3) modelos con cajón de cimentación. Los edificios de acero y las cimentaciones fueron diseñados siguiendo estrictamente los criterios para marcos dúctiles. La rigidez lateral se estudió a partir de tres tipos de marcos con contraviento: (1) sin crujías, (2) con una crujía, y (3) con dos crujías. Se realizaron análisis dinámicos no lineales incrementales para evaluar la respuesta en función de las demandas máximas por distorsión global, distorsión de entrepiso, factor de concentración de distorsión y demandas máximas de momento flector, fuerza cortante y carga axial en las columnas de los edificios.

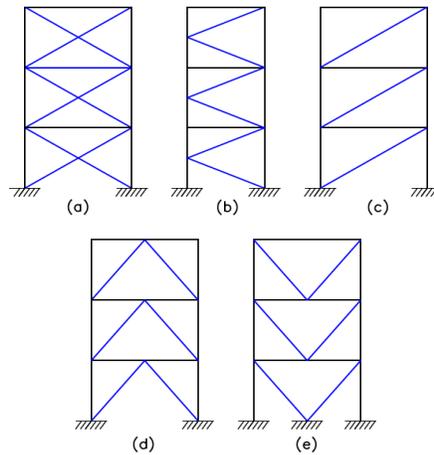
Siguiendo lo discutido en esta sección, no cabe duda que tanto a nivel mundial como nacional se ha estado contribuyendo de manera significativa al estado del arte en el estudio del desempeño sísmico de marcos de acero con contravientos. Sin embargo, queda bastante por hacer, en particular en el área de confiabilidad estructural de edificaciones de acero con contravientos. En el caso singular de este proyecto de investigación, se contribuye en esta área demostrando la confiabilidad que implica el utilizar contravientos tipo X en estructuras de acero sometidas a carga sísmica.

### **2.3. Marco teórico**

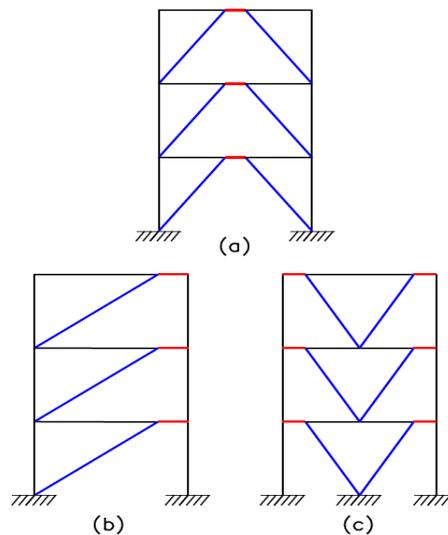
En ingeniería estructural, el contraviento es un elemento estructural que es usado para aumentar la rigidez lateral de los edificios. Generalmente, al ser modificada dicha rigidez, se reducen las deformaciones de la estructura ante excitaciones laterales como los terremotos. Es por ello que, en los edificios que sus sistemas sismo-resistentes son a base de

contravientos, la respuesta inelástica ante la presencia de cargas laterales en todo el sistema es dependiente de la respuesta que tienen los contravientos (MacRae *et al.*, 2004). Como se mencionó anteriormente, los marcos con contraviento se clasifican básicamente en dos grupos (Tapia, 2015): (1) concéntricos, y (2) excéntricos.

En la Figura 1, se muestran las configuraciones típicas de los contravientos concéntricos y en la Figura 2 se presentan las configuraciones típicas de los contravientos excéntricos, donde se puede observar de manera clara que las diagonales de los contravientos excéntricos no se interceptan con la columna-trabe.



**Figura 1.** Configuraciones típicas de contravientos concéntricos, (a) tipo x, (b) en K, (c) diagonal, (d) V invertida y (e) en V (Crisafulli, 2013).



**Figura 2.** Configuraciones típicas para contravientos excéntricos, (a) chevrón, (b) diagonal y (c) en V (Crisafulli, 2013).

En el diseño de los contravientos, se prefiere con frecuencia que tengan aproximadamente la misma capacidad en ambos ejes principales, por lo que en la práctica es común que los

contravientos tengan sección de cajón. Sin embargo, el diseño del contraviento queda prácticamente definido por la capacidad de pandeo global en compresión en el plano perpendicular al eje del marco. Por esta razón, no es necesario que la capacidad en ambos ejes principales sea la misma como ocurre en contravientos de sección transversal IR o en los formados por dos secciones canal (Tapia, 2015). En la Fig. 3 se muestran algunos tipos de secciones transversales que pueden ser utilizadas en contravientos.



**Figura 3.** Secciones transversales de contravientos (Uso de contraviento de acero, 2015)

En el pasado, el criterio fundamental de diseño se basaba principalmente en la limitación de la ocurrencia del pandeo global en los contravientos en compresión, con lo cual, la estructura no tenía posibilidades de disipar energía significativamente. Sin embargo, diversos ensayos cíclicos mostraron que el sistema puede disipar energía después del pandeo global de los contravientos, siempre y cuando se controlen otros modos de falla frágil como el pandeo local y la fractura de las conexiones. Es decir, se comprobó experimentalmente, que mediante un diseño adecuado, se puede lograr una respuesta dúctil y estable, con capacidad de disipar energía (Crisafulli, 2013). Para que esto funcione adecuadamente, es necesario considerar los siguientes aspectos:

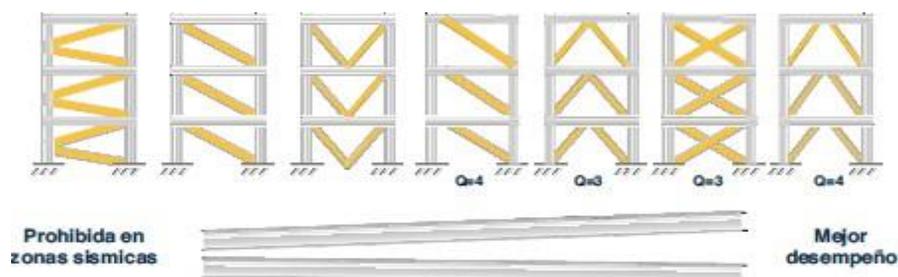
- Configuración de los contravientos.
- Diseño de todos los miembros de la estructura (contravientos, vigas, y columnas).
- Detalles para conexiones y empalmes.

Las especificaciones modernas de diseño consideran que los contravientos diagonales pueden desarrollar deformaciones inelásticas durante la ocurrencia de un sismo severo. De esta manera, la estructura dispone de capacidad para disipar energía bajo la acción del sismo, mediante sucesivos ciclos de fluencia por tracción y pandeo global en compresión (con formación de articulaciones plásticas en la zona central y en los extremos de los contravientos). Esta estrategia de diseño asegura que el resto de la estructura (columnas, vigas y conexiones) tengan la capacidad suficiente para resistir las cargas gravitacionales, aun cuando los contravientos ya posean cierto daño (Crisafulli, 2013).

La experiencia de sismos pasados indica que las estructuras con sistemas de contravientos concéntricos pueden presentar un desempeño insatisfactorio, si los componentes estructurales y sus conexiones no son diseñados adecuadamente (Tremblay *et al.*, 1996). En los edificios donde la estructuración se basa en marcos de acero con contravientos concéntricos, la demanda de las deformaciones de todo el sistema queda en restricción a la capacidad de algunos entrepisos después del pandeo por compresión (Lacarte & Tremblay, 2006). Por esto, la predicción correcta de las capacidades del contraviento es de gran importancia ya que trasciende a la estimación adecuada de la capacidad de deformación de

los entresijos y, en consecuencia, a la evaluación de la rigidez lateral de toda edificación (Tapia, 2015).

En la Figura 4 se muestra el desempeño sísmico de distintas configuraciones de contravientos concéntricos y excéntricos. Las estructuras están en orden conforme al desempeño dúctil ante excitaciones laterales, de manera que los contravientos del lado derecho presentan una respuesta inelástica estable y están relacionados con factores de comportamiento sísmico más altos ( $Q=3$ ,  $Q=4$ ), mientras que los contravientos mostrados al lado izquierdo tienen una respuesta inelástica muy limitada. Es importante mencionar que el contraviento con configuración K está prohibido en zonas sísmicas (Tapia, 2015). Dentro de los contravientos que se comportan de manera más estable ante la acción de un sismo están los de configuración tipo X, los cuales tienen un factor de comportamiento sísmico de  $Q=3$ .



**Figura 4.** Desempeño sísmico de marcos con diferentes contravientos (Uso de contraviento de acero, 2015)

En el diseño de edificaciones sometidas a cargas sísmicas existe un concepto relativamente nuevo conocido como diseño sísmico basado en desempeño (PBSD por sus siglas en inglés), el cual controla y reduce considerablemente los daños estructurales. El objetivo principal del PBSD es el diseñar las estructuras con un desempeño satisfactorio cuando estas se someten a diferentes tipos de terremotos, las cuales muestran un comportamiento dentro de los valores permisibles en términos de respuestas estructurales asociadas a los niveles de desempeño. El PBSD posee dos metas claves: (1) el asociar requerimientos estructurales con desempeños esperados para garantizar que los riesgos se traten de manera consistente, y (2) el asegurar que las pérdidas económicas asociadas a los daños estructurales sean las esperadas para el diseño propuesto. Para poder que estas dos metas se logren, la selección de los objetivos en el PBSD tiene un papel fundamental, y generalmente esta selección se fundamenta en términos de 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. En la Tabla 1, se describen los tres niveles de desempeño. (Gaxiola, 2018)

**Tabla 1.** Niveles de desempeño (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014).

<b>Nivel de desempeño</b>	<b>Descripción</b>
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 pueda ser reocupada.
Prevención de colapso	La edificación se encuentra en pie de manera muy frágil. El daño es bastante considerable. Las reparaciones estructurales resultan muy caras.

Por otro lado, dependiendo de la edificación bajo diseño y/o evaluación, el PBSB requiere cumplir algunos objetivos de desempeño en ciertas demandas sísmicas en términos de probabilidad de excedencia y periodo de retorno. En la Tabla 2 se muestran estos objetivos de desempeño sísmico (Gaxiola, 2018).

**Tabla 2.** Objetivos de desempeño sísmico (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014).

<b>Demanda Sísmica (Terremoto)</b>		<b>Nivel de Desempeño</b>		
<b>Probabilidad de Excedencia</b>	<b>Periodo de Retorno (Años)</b>	<b>Ocupación Inmediata</b>	<b>Seguridad de Vida</b>	<b>Prevención de Colapso</b>
50% en 50 años	75	1	0	0
10% en 50 años	475	2	1	0
2% en 50 años	2475	3	2	1

0.- Desempeño inaceptable; 1.- Edificaciones básicas; 2.- Edificaciones esenciales; 3.- Edificaciones de seguridad crítica.

## **2.4. Marco Legal**

El sustento legal de este proyecto de intervención recae sobre distintas normas, reglamentos, manuales y códigos tanto nacionales como internacionales, ya que se busca asegurar un buen diseño y análisis de los sistemas estructurales sismo-resistentes que se estudian. En lo que se presenta en este proyecto, se demuestran las ventajas que existen en considerar contravientos con configuración tipo X en estructuras de acero, de esta manera, se compara el comportamiento sísmico de edificios de acero sin este tipo de elementos estructurales, poniendo énfasis en las consideraciones con respecto al mejoramiento en el desempeño estructural cuando se implementan contravientos tipo X. La ciudad de Culiacán, Sinaloa, es el sitio para el cual se diseñan y analizan ambas edificaciones con sistemas sismo-resistentes distintos, es por ello que, el Reglamento de Construcción que se emplea es el de Culiacán (Reglamento de Construcción de Culiacán, 2010). En este reglamento, se especifican los manuales, códigos, normas, etc. que sirven de ayuda para el diseño de estructuras de acero. En esta sección del proyecto de intervención, se menciona cuáles son dichas normas, manuales, y/o códigos.

Una de las normas que se utiliza para el desarrollo del diseño y análisis de los sistemas sismo-resistentes son las Normas Técnicas Complementarias para Diseño y Construcción de Estructuras Metálicas (NTC-DCEA-CDMX, 2017), ya que dentro de estas normas se incluyen las estructuras con sistema de contraviento. Otra norma que se utiliza, es la Norma Técnica Complementaria para Diseño por Sismo (NTCS, 2004), debido a que en ella se incluye el análisis dinámico paso a paso, el cual se utiliza en este proyecto de intervención. En cuestión de manuales, se utiliza el Manual de diseño de obras civiles en el apartado de diseño por sismo de la Comisión Federal de Electricidad (CFE-MDOC, 2015). También, se utiliza el manual del *American Institute of Steel Construction* (AISC) para el diseño de los elementos de contraviento tipo X (AISC, 2011).

### **III. CAPÍTULO 3 - PROYECTO DE INTERVENCIÓN**

#### **3.1. Objetivo General**

Estudiar y comparar la confiabilidad del desempeño sísmico mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo de sistemas de marcos de acero con contravientos tipo X y marcos de acero resistentes a momento, considerando edificios situados en la ciudad de Culiacán, Sinaloa.

#### **3.2. Objetivos Específicos**

- Estudiar el desempeño sísmico respecto a desplazamientos, rotaciones en las conexiones y distorsiones de entrepiso en edificios de acero con contravientos tipo X y compararlo con respecto a edificios de acero con marcos resistentes a momento.
- Realizar análisis dinámicos no lineales de los dos sistemas sismo-resistentes utilizando el método de elementos finitos con la ayuda de software comercial de análisis y diseño estructural.
- Determinar el sistema estructural sismo-resistente que desarrolla mejor desempeño sísmico frente a desplazamientos, rotaciones en las conexiones y distorsiones de entrepiso de los edificios.
- Extraer la confiabilidad de ambos sistemas estructurales con respecto a la variable distorsión de entrepiso de las edificaciones en términos de índice de confiabilidad y probabilidad de falla.
- Comparar los costos de los dos sistemas estructurales sismo-resistentes haciendo énfasis en el desempeño sísmico de cada estructura.

#### **3.3. Hipótesis**

- El desempeño sísmico de marcos de acero resistentes a momento y marcos de acero con contravientos tipo X, puede ser calculado usando análisis dinámicos no lineales.
- Los edificios de marcos de acero con contravientos tipo X tienen un mejor comportamiento sísmico que los marcos de acero resistentes a momento.
- El mejoramiento del comportamiento sísmico de estructuras de acero con contravientos tipo X justifica el incremento en costos de implementar estos sistemas estructurales.

#### **3.4. Justificación**

A lo largo de los años, el poder de destrucción de los sismos ha quedado demostrado con las grandes afectaciones que han ocasionado alrededor del mundo. Existen algunos sismos que han generado grandes pérdidas económicas, por ejemplo, el que sucedió en 1985 en la Ciudad de México, el cual representó daños estructurales con un costo aproximado de 4 billones de dólares. Algunos años después, a finales de octubre en 1989, un sismo de magnitud 6.9 Mw se registró en Loma Prieta, California, el cual ocasionó una pérdida económica de 6 billones de dólares. Otro sismo que generó grandes pérdidas económicas sucedió en enero de 1994 en Northridge, California, con una magnitud de 6.7 Mw generando pérdidas económicas aproximadas de 30 billones de dólares. Un año después, del sismo de Northridge, ocurrió el

sismo en Kobe, Japón, con magnitud de 6.9 Mw, el cual dejó pérdidas económicas alrededor de 150 billones de dólares (Gaxiola, 2018).

Recientemente, acontecimientos de sismos de gran magnitud en México fueron registrados el 7 y 19 de septiembre del año 2017, dichos sismos ocasionaron en la Ciudad de México alrededor de 98 y 370 pérdidas humanas, respectivamente. Sin embargo, comparando los sismos de 2017 con respecto al sismo de 1985 que sucedió en la Ciudad de México, se puede observar la gran reducción de pérdidas humanas, representando una disminución de 40,000 a 370 muertes. Sin embargo, los daños estructurales siguen siendo de gran impacto económico. Esto justifica la importancia del desarrollo de nuevos sistemas estructurales sismo-resistentes, tal es el caso de los marcos de acero con contraviento en configuración tipo “X”. Por lo anteriormente mencionado, es significativo realizar una comparativa entre los marcos de acero resistentes a momentos, los cuales son comúnmente utilizados, y los marcos de acero con contraviento tipo X, para determinar qué sistema desarrolla mejores niveles de desempeño sísmico. La sociedad en general, es el principal elemento que se beneficiaría con este tipo de proyectos de intervención, debido a que, estudios como el que se presenta en esta investigación, ayudaría a los ingenieros estructurales a diseñar estructuras más estables ante la acción de un sismo, evitando en lo mayor posible pérdidas humanas y económicas. Además, la implementación de los nuevos sistemas estructurales sismo-resistentes, como son los marcos de acero con contravientos tipo X, mejoraría el comportamiento de las estructuras al reducir los desplazamientos cuando se presenta una acción sísmica, dando así mayor seguridad a los ocupantes.

### **3.5. Metodología**

El desarrollo del proyecto de intervención es posible dividirlo en ocho etapas que conforman la metodología: (1) selección y descripción general del sitio, (2) geometría de la estructura de acero, (3) análisis de cargas, (4) diseño estructural, (5) selección de sismos, (6) estudio del desempeño sísmico, (7) evaluación de confiabilidad estructural, y (8) comparación de costos entre ambos sistemas sismo-resistentes. Con el objetivo de ilustrar la integración de cada una de las etapas de la metodología, al final de esta sección se presenta un diagrama de flujo que describe dicho proceso.

#### **3.5.1. Selección y descripción general del sitio**

El estudio del presente proyecto de intervención que consta de la comparación entre sistemas estructurales sismo-resistentes a base de marcos de acero resistentes a momentos y marcos de acero con contravientos tipo X, se decidió realizarlo para la ciudad de Culiacán, Sinaloa, debido, al aumento de construcciones de edificios con sistemas estructurales a base de contravientos tipo X. Dentro de la misma ciudad, varios sectores están en desarrollo constante de proyectos, un ejemplo de estos sectores, es el desarrollo Isla Musala, es por ello que se decidió elegir a este sector para llevar a cabo esta investigación.

La ubicación del sitio es de suma importancia para el desarrollo de este proyecto de intervención, ya que a partir de dicha ubicación se llevó a cabo la selección de sismos característicos de la región. El predio, como se mencionó anteriormente se encuentra dentro del desarrollo Isla Musala con coordenadas 24.824782, -107.375286, mismas que se

utilizaron para la selección de los sismos. Además, es importante mencionar que el predio cuenta con una dimensión de 78 x 218 metros. En la Figura 5, la ubicación exacta del predio donde se llevó a cabo el desarrollo del proyecto.



**Figura 5** Ubicación del sitio para desarrollo del proyecto de intervención (coordenadas: 24.824782, -107.375286)

En párrafos anteriores se mencionó el desarrollo de proyectos dentro de la ciudad de Culiacán, Sinaloa en donde sus sistemas estructurales son a base de la implementación de contravientos en configuración tipo X, es por ello, la importancia de mencionar algunos ejemplos de este tipo de desarrollos. El caso más relevante, es la construcción de un centro comercial llamado “Plaza Comercial Ceiba” en donde gran parte de la estructuración se implementaron contravientos tipo X. Otro proyecto, es la construcción de un edificio destinado a uso de oficina de la empresa Homex en el desarrollo Tres Ríos. En la Figura 6, se muestra el desarrollo de plaza comercial “La Ceiba” y en la Figura 7, el desarrollo de la edificación de la empresa Homex para uso de oficina.



**Figura 6** Centro comercial La Ceiba con sistema estructural a base de contravientos tipo X

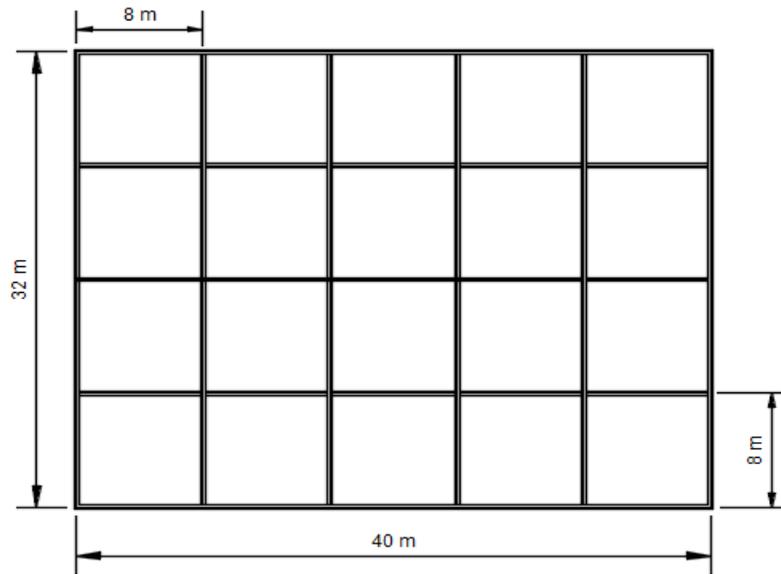


**Figura 7** Edificio de Homex con sistema estructural de contravientos tipo X

### **3.5.2. Geometría de la estructura de acero**

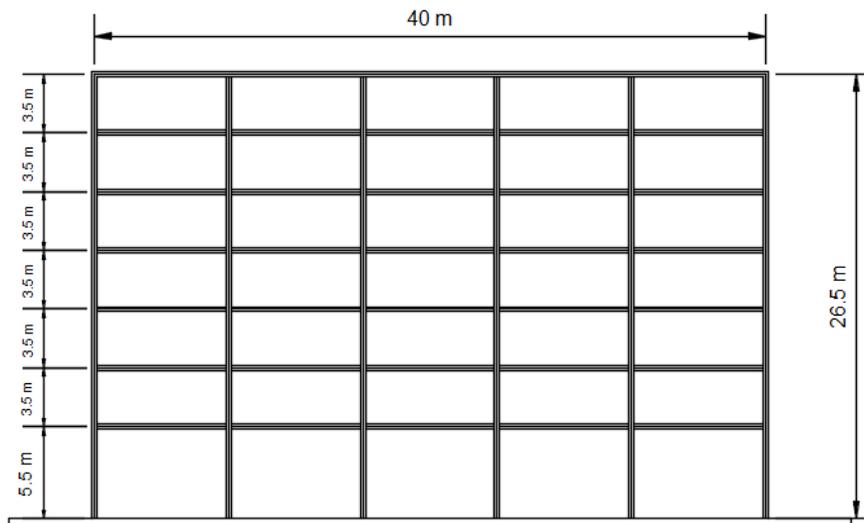
El conocer la geometría de la edificación es un aspecto de suma importancia para llevar a cabo un correcto diseño estructural, y así, obtener un resultado satisfactorio en cuanto al desempeño estructural que desarrolla el edificio. Para este proyecto de intervención se contempló una edificación de acero con una geometría regular y se utilizaron dos sistemas estructurales sismo-resistentes diferentes: (1) marcos de acero resistentes a momentos y (2) marcos duales, los cuales se pueden definir como la suma entre un sistema de marcos de acero resistentes a momentos más un sistema de contravientos, en el caso particular de este proyecto son de tipo X los cuales se encuentran localizados en cada entrepiso. La colocación de los contravientos en las estructuras es fundamental para el buen funcionamiento de las edificaciones, sin embargo, dicha colocación se deja a criterio del ingeniero estructural encargado de diseñar la estructura. Solamente existen dos criterios que se deben tomar en cuenta al momento de colocar los contravientos en las estructuras: (1) colocar los contravientos con alto grado de simetría y (2) no caer en redundancia al exceder en el número de contravientos en cada entrepiso. Colocar contravientos en exceso en cada entrepiso puede resultar desfavorable y afectar el desempeño sísmico de la estructura. Además, la configuración del contraviento que el ingeniero estructural decide en utilizar se relaciona con el uso que se le dará a la edificación. En el caso particular de este proyecto de intervención se decidió colocar los contravientos en configuración tipo X de la forma en que se observa en la Figura 10. Dicha decisión se tomó en base a los dos criterios mencionados anteriormente. Por otro lado, se observó que la colocación de los contravientos influye de manera directa en el valor del periodo de vibrar de las estructuras. Además, es importante mencionar que los edificios de ambos sistemas sismo-resistentes cuentan con 7 niveles de altura y que cada nivel cuenta con una altura de 3.5 metros, exceptuando solo el primer nivel el cual cuenta una altura de 5.5 metros. La diferencia de altura del primer piso con respecto a los demás se debe a que es un área destinada al recibimiento de personas, debido que el uso que se le dará a la edificación es de tipo oficina. En la Figura 8 se muestra la vista en planta para los dos sistemas sismo-resistentes y en la Figura 9, se muestra el proyecto con vista en elevación de la edificación a base de marcos de acero resistentes a momento.

### Vista en Planta

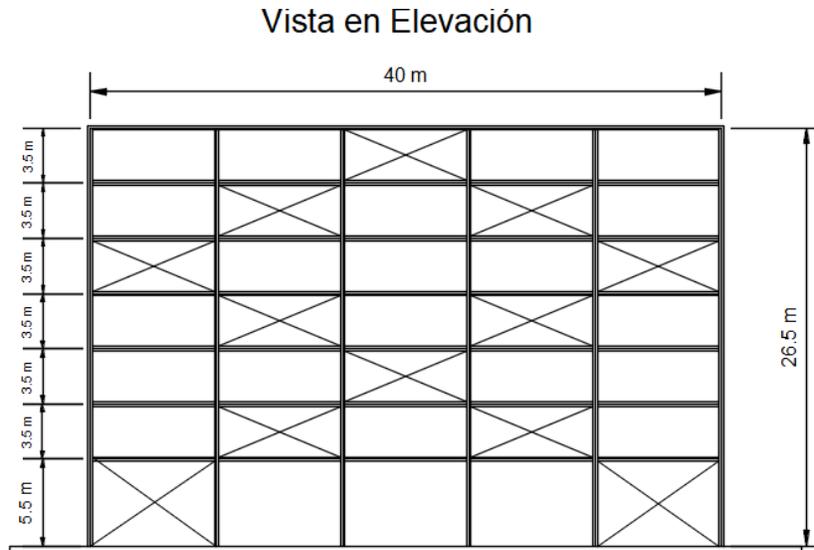


**Figura 8** Vista en planta de las dimensiones de las edificaciones

### Vista en Elevación

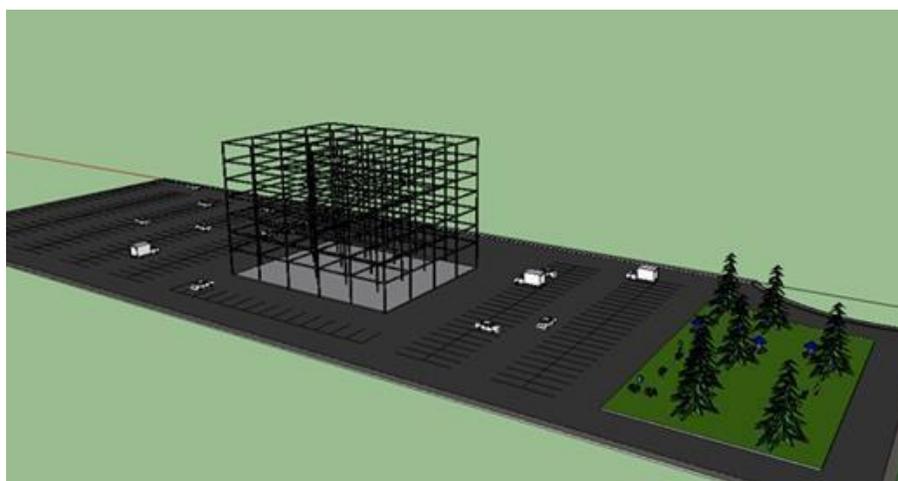


**Figura 9** Vista en elevación de las dimensiones de las edificaciones de marcos de acero resistentes a momento



**Figura 10** Vista en elevación de las dimensiones de las edificaciones de marcos de acero con contravientos tipo X

El motivo de la elección de un predio con dimensiones amplias para el desarrollo de este proyecto se debe a que se eligió un predio con respecto a lo que estipula el Reglamento de Construcciones para el Municipio de Culiacán, el cual establece que para un edificio donde su uso es destinado a tipo oficina, se debe contar con un cajón de estacionamiento por cada  $30 \text{ m}^2$  de construcción, además, el Artículo 102 de este Reglamento estipula que se debe de dejar un área libre de construcción del 10% del área total del terreno, esto para construcciones mayores a  $5000 \text{ m}^2$ , lo cual corresponde a este proyecto. En la Figura 11, se muestra un modelo de la edificación y el área destinada a estacionamiento.



**Figura 11** Modelo de la edificación y área de estacionamiento

### **3.5.3. Análisis de cargas**

El análisis de cargas consiste en la determinación de las demandas para el diseño de las estructuras sismo-resistentes las cuales son: (a) carga muerta, (b) carga viva, (c) carga por viento y (d) carga por sismo. Las cargas verticales (muerta y viva) se obtuvieron de los pesos que especifica el Reglamento de Construcción de la Ciudad de México (RCCM) del año 2017, y para el cálculo de las cargas laterales (viento y sismo), se utilizó el Manual de la CFE en donde se especifica la metodología para realizar el cálculo de dichas cargas

#### **3.5.3.1. Determinación de carga muerta**

Por definición, la carga muerta consiste en el peso de todos los elementos constructivos incorporados al edificio. Por ejemplo, el peso de los elementos estructurales, muros, pisos, techos, acabados, etc. Para la obtención de las cargas muertas que actúan sobre la edificación se consultó el Reglamento de Construcciones de la Ciudad de México del año 2017, el cual especifica que se consideran como cargas muertas los pesos de todos los elementos constructivos, de los acabados y de todos los elementos que ocupan una posición permanente y tienen un peso que no cambia sustancialmente con el tiempo. Además, es importante mencionar que el RCCM, especifica que se debe contemplar una distinción entre carga muerta de azotea y carga muerta de entrepisos.

#### **3.5.3.2. Determinación de carga viva**

Por definición, las cargas vivas son aquellas cargas que son impuestas a la estructura cuando esta es utilizada u ocupada. Estas cargas varían con el tiempo en posición y/o magnitud y pueden clasificarse como cargas móviles y cargas de movimiento. Las cargas móviles son aquellas que pueden transportarse de un lugar a otro de la estructura sin efecto dinámico, por ejemplo, personas, mobiliario, libros, equipo, mercancía almacenada, etc. Por otra parte, las cargas de movimiento son aquellas que continuamente se están trasladando sobre la estructura, por ejemplo, grúas sobre travesaños, vehículos sobre puentes, etc.

Para la obtención de las cargas vivas que actúan sobre las estructuras sismo-resistentes, se consultó el RCCM, el cual recomienda, los valores de la Tabla 3 titulada “cargas vivas unitarias, kN/m<sup>2</sup> (kg/m<sup>2</sup>)”, en este sentido, la Tabla 3 se encuentra dentro de este reglamento. En la Tabla 3, se presentan los valores de carga viva estimadas, para el diseño de edificaciones destinadas a oficinas, se tomaron dichos valores ya que el uso ocupacional de las edificaciones se destinó a oficinas.

**Tabla 3.** Cargas vivas unitarias (Kg/m<sup>2</sup>)

<b>Destino de piso o cubierta</b>	<b>W</b>	<b>Wa</b>	<b>Wm</b>	<b>Observaciones</b>
a) Habitación (casa-habitación, departamentos, cuartos de hotel, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales, hospitales y similares).	0.8 (80)	1.0 (100)	1.9 (190)	1
b) Oficinas, despachos y laboratorios.	1.0 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	2
c) Aulas	1.0 (100)	1.8 (180)	2.5 (250)	
d) Comunicación para peatones (pasillos, escaleras, rampas, vestíbulos, y pasajes de acceso libre al público)	0.4 (40)	1.5 (150)	3.5 (350)	3 y 4
e) Estadios y lugares de reunión sin asientos individuales	0.4 (40)	3.5 (350)	4.5 (450)	5
f) Otros lugares de reunión (bibliotecas, templos, cines, teatros, gimnasios, salones de baile, restaurantes, sales de juego y similares)	0.4 (40)	2.5 (250)	3.5 (350)	5
g) Comercios, fábricas y bodegas	0.8 Wm	0.9 Wm	Wm	6
h) Azoteas con pendiente no mayor de 5%	0.15 (15)	0.7 (70)	1.0 (100)	4 y 7
i) Azoteas con pendiente mayor de 5%, otras cubiertas, cualquier pendiente	0.05 (5)	0.2 (20)	0.4 (40)	4, 7, 8 y 9
j) Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	0.15 (15)	0.7 (70)	3 (300)	

### **3.5.3.3. Determinación de carga por viento**

La carga de viento sobre la estructura se presenta en manera de presiones sobre la estructura, esto se refiere a que, al impactarse las corrientes de viento sobre la estructura, se generan presiones y succiones en el edificio, y dichas presiones pueden alcanzar valores altos que pueden afectar la estructura de manera significativa. Por lo tanto, esta carga juega un papel muy importante al momento de diseñar las estructuras, y sobre todo en edificaciones de alturas considerables, ya que la velocidad del viento es aproximadamente proporcional a la altura del edificio y otro factor que interviene en las cargas por viento es la región geográfica donde se ubica el edificio, el terreno que lo rodea y el tamaño y tipo de las estructuras que lo rodean. En el análisis de la carga por viento, es importante identificar en qué sentido de la estructura es más crítico realizar dicho análisis. Es por ello, que se identificó que dirección de la estructura es más afectada por el viento. El lado perpendicular a la dirección del viento se denominó lado de barlovento, el lado paralelo al mencionado anteriormente se denominó lado de sotavento.

Las cargas de viento se calcularon mediante el método del manual de la Comisión Federal de Electricidad (CFE), el cual es útil para edificaciones menores a 200 metros de altura, es por ello que se utilizó este método para el cálculo de las cargas para viento. A manera de resumen, en la figura, se muestra un diagrama de flujo en la forma que se realizó el análisis de carga por viento para la obtención de las cargas que actúan sobre ambas estructuras de acero sismo-resistentes.

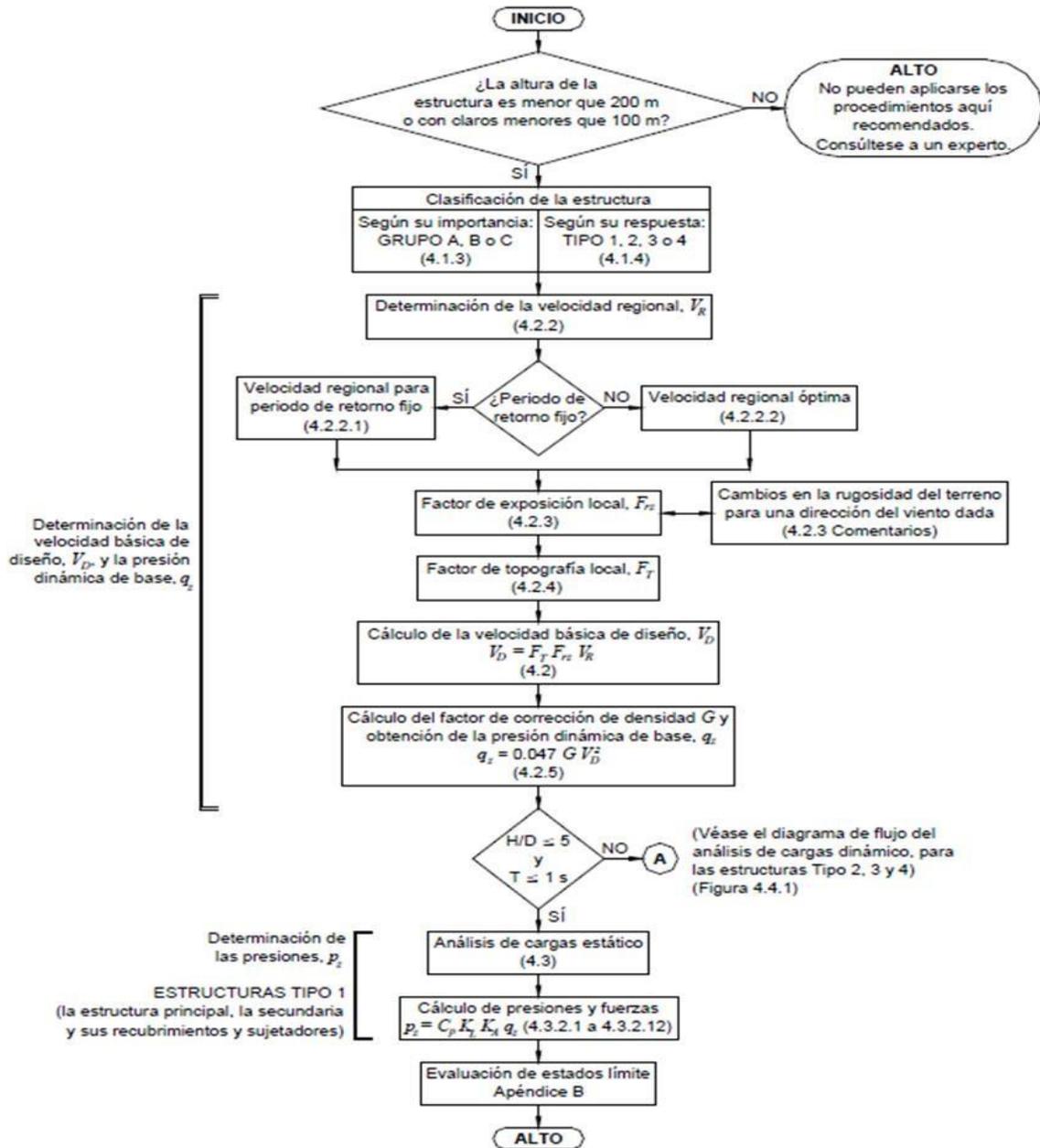


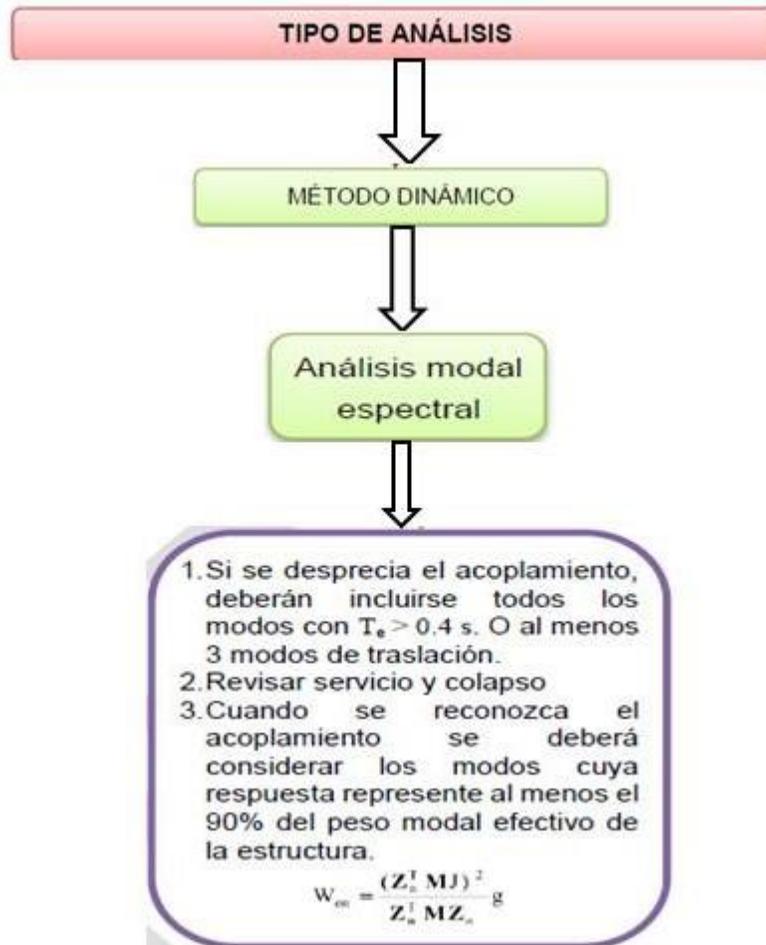
Figura 12 Proceso para el diseño de cargas de viento (CFE-MDOC, 2008)

### 3.5.3.4. Determinación de carga por sismo

Otro tipo de carga que se consideró en el diseño de las estructuras sismo-resistentes fue la carga provocada por sismos ya que éstos imponen cargas laterales significativas a las edificaciones las cuales pueden llegar a hacer colapsar la estructura y además, a lo largo de la historia han ocurrido fenómenos de este tipo que han logrado destruir ciudades enteras desgraciadamente.

Para el cálculo de sismo se utilizó el Manual de Comisión Federal de Electricidad (CFE)

del año 2015. También, es importante mencionar que el método que se contempló es el método modal espectral. Además, se utilizó el Programa de PRODISIS el cual proporcionó un espectro de diseño para la ciudad de Culiacán, Sinaloa. En la Figura 13, se muestra un diagrama de los pasos que se consideraron para determinar las cargas de sismo que afectan a las estructuras mediante el análisis dinámico modal espectral.

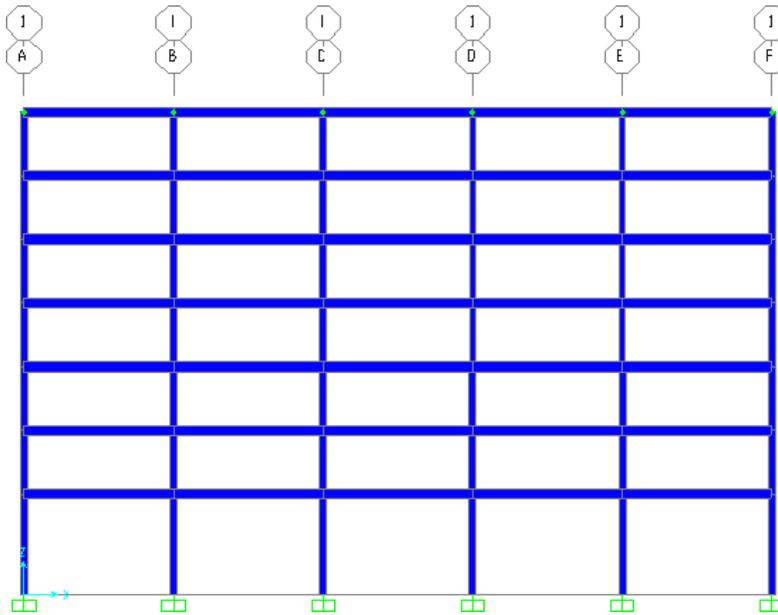


**Figura 13** Proceso para diseñar las cargas de sismo mediante análisis dinámico modal espectral (CFE-MDOC, 2015)

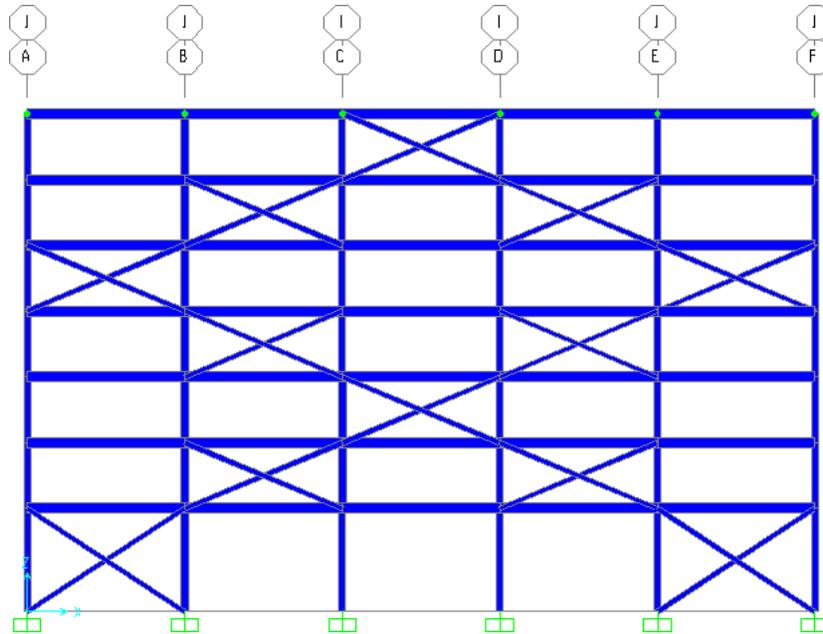
### 3.5.4. Diseño estructural

Una vez que son determinadas las cargas que actúan sobre la estructura (carga muerta, viva, por viento y por sismo), se procedió a realizar un análisis de tipo modal espectral de la estructura para determinar qué efecto tienen dichas cargas sobre los elementos estructurales del edificio y así poder determinar las secciones de acero de los elementos estructurales. Para realizar el análisis se utilizaron métodos aproximados, los cuales son muy útiles. El primer

método que se utilizó es el método de Wolf el cual sirve para cargas verticales y el método del Portal el cual es útil para carga lateral. Una vez teniendo la pre-dimensión de los elementos estructurales, se procedió a hacer la revisión y diseño final en el software de elemento finito SAP2000. En el caso particular de este proyecto de intervención se decidió utilizar el software comercial SAP2000 para realizar el diseño estructural de ambos sistemas sismo-resistentes, ya que es un programa computacional de uso frecuente en el diseño de estructuras por los ingenieros estructurales. En cambio, el programa de cómputo OpenSees es utilizado con fines de investigación es por ello que fue descartado para el desarrollo del presente proyecto. En la figura 14 y 15, se muestran los sistemas sismo-resistentes a base de marcos de acero resistentes a momento y marcos de acero con contravientos tipo X, respectivamente.



**Figura 14** Marco 2D de Marco Resistente a Momento

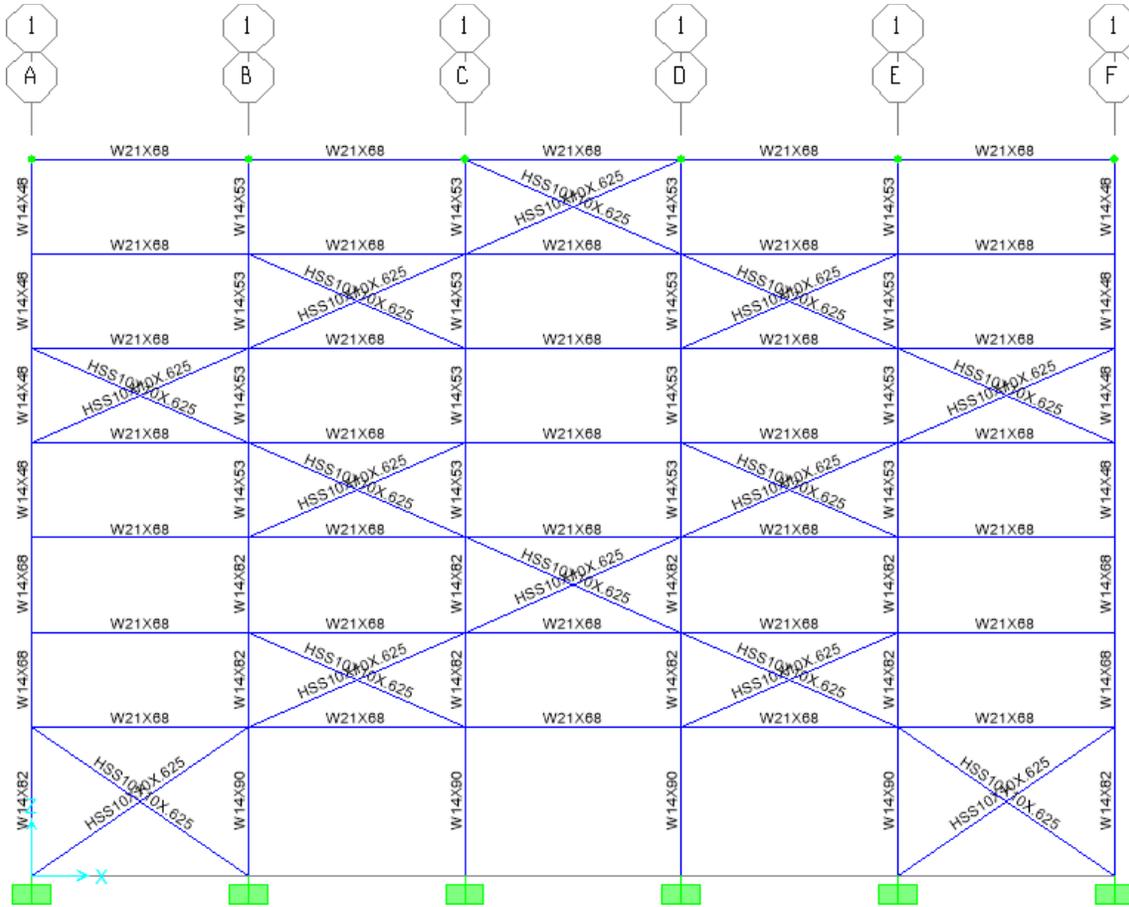


**Figura 15** Marco 2D de Marco con contravientos

Un aspecto de suma importancia, son las secciones de los elementos mecánicos con los cuales están conformados los sistemas sismo-resistentes de las estructuras de acero. Para ello, como se mencionó en el párrafo anterior se utilizaron métodos aproximados para llevar a cabo un pre-dimensionamiento de dichos elementos mecánicos. Por lo tanto, es primordial mostrar dichas secciones de las edificaciones. Además, es significativo señalar que las secciones están conformadas por medio de perfiles W para vigas y columnas, y en los que respecta a los contravientos mediante perfiles HSS. En las Figuras 16 y 17, se observan las secciones de los elementos mecánicos para ambos sistemas estructurales.



**Figura 16** Secciones de Marco Resistente a Momento



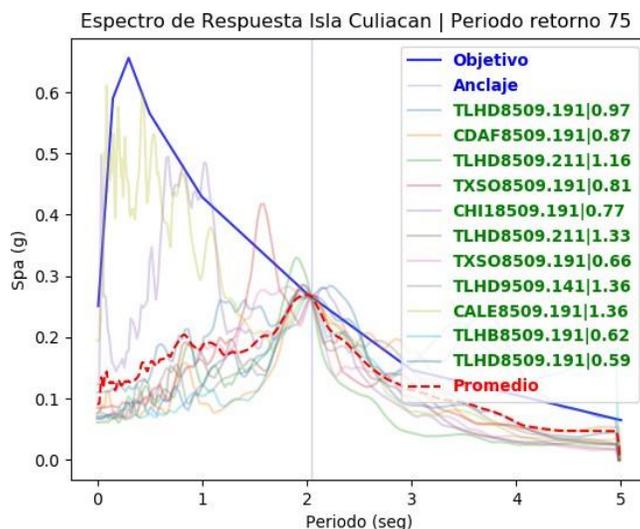
**Figura 17** Secciones de Marco con contravientos

### 3.5.5. Selección de sismos

La selección de sismos consta en elegir los terremotos con la mejor representación del riesgo de dichos fenómenos para la zona en estudio. Para llevar a cabo la selección de los sismos solamente se tomó el primer modo de vibrar en ambos sistemas sismo-resistentes y se llevó a coincidir los espectros de respuesta de los sismos seleccionados en ese punto con respecto al espectro objetivo proporcionado por el programa PRODISIS de la Comisión Federal de Electricidad (CFE). Los sismos utilizados para llevar a cabo dicha selección se obtuvieron de la base de datos del Instituto de Ingeniería de la Universidad Nacional Autónoma de México (II-UNAM), la cual tiene varios miles de registros reales registrados en la República Mexicana. Sin embargo, para este proyecto solamente se usó una base de datos de 20,000 registros sísmicos. La selección se realizó eligiendo una cantidad de 11 sismos para cada periodo de retorno bajo estudio y para cada sistema estructural (66 en total), los cuales muestran la mejor representación para el espectro de respuesta de las edificaciones analizadas en el desarrollo Isla Musala en Culiacán, Sinaloa. Para realizar la selección de los 11 sismos

mencionados anteriormente, se utilizó un programa desarrollado por el equipo de investigación bajo el liderazgo del Dr. J. Ramón Gaxiola C., el cual puede ser obtenido mediante comunicación directa con el Dr. J. Ramón Gaxiola C. La funcionalidad de dicho software consta en buscar los sismos más representativos de una base de datos de 20,000 registros sísmicos reales que representen el riesgo de la zona bajo estudio, y además asociarlos con tres periodos de retorno (75 años, 475 años y 2475 años) utilizados para el Diseño Sísmico Basado en Desempeño (PBSD).

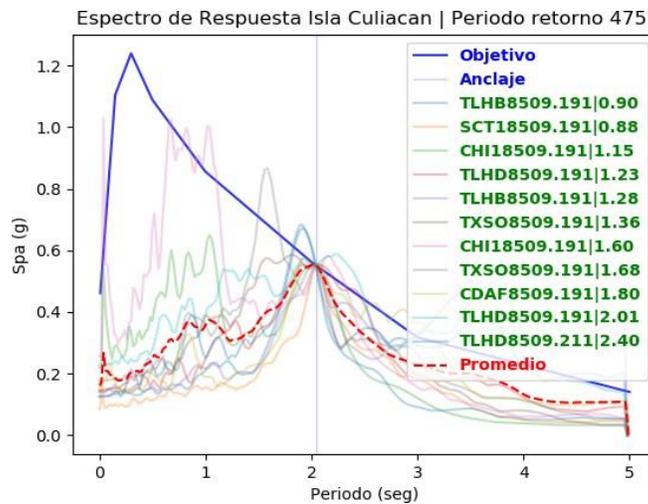
Lo mencionado anteriormente, se puede observar mediante representaciones gráficas de los espectros objetivos y de cada uno de los registros sísmicos seleccionados. De la Figura 18 a la 20, se muestran los sismos seleccionados para el Marco de Acero Resistente a Momento y de la Figura 21 a la 24 para el Marco de Acero con Contravientos. Además, mediante tablas se mostrará la información general para cada sismo seleccionado, tanto para los marcos resistentes a momento como los marcos con contravientos en configuración tipo X. De la Tabla 4 a la 6, se mostrará la información de los sismos seleccionados para los marcos resistentes a momento y de la Tabla 7 a la 9 los sismos para los marcos con contravientos, dichas tablas se mostrarán conforme al nivel de desempeño correspondiente para cada sismo.



**Figura 18** Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-75 años

**Tabla 4** Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Ocupación Inmediata

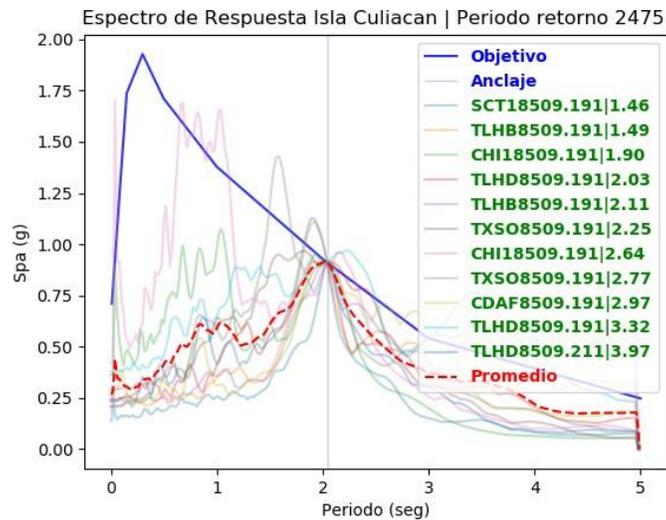
REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO					
Nivel de Desempeño: Ocupación Inmediata					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	CALE8509.191	1.36	Caleta de Campos	Caleta de Campos, Michoacan	02 marzo de 1998
2	CDAF8509.191	0.869	Central de Abastos Frigorífico	Col. San José Aculco, México, D.F.	26 febrero de 1997
3	CHI18509.191	0.771	Chilpancingo	Chilpancingo, Guerrero	06 mayo de 1998
4	TLHB8509.191	0.618	Tlahuac Bombas	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
5	TLHD8509.191	0.593	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
6	TLHD8509.191	0.971	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
7	TLHD8509.191	1.33	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
8	TLHD8509.191	1.16	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
9	TLHD9509.191	1.36	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	22 febrero de 1996
10	TXSO8509.191	0.659	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998
11	TXSO8509.191	0.812	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998



**Figura 19** Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-475 años

**Tabla 5** Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Seguridad de Vida

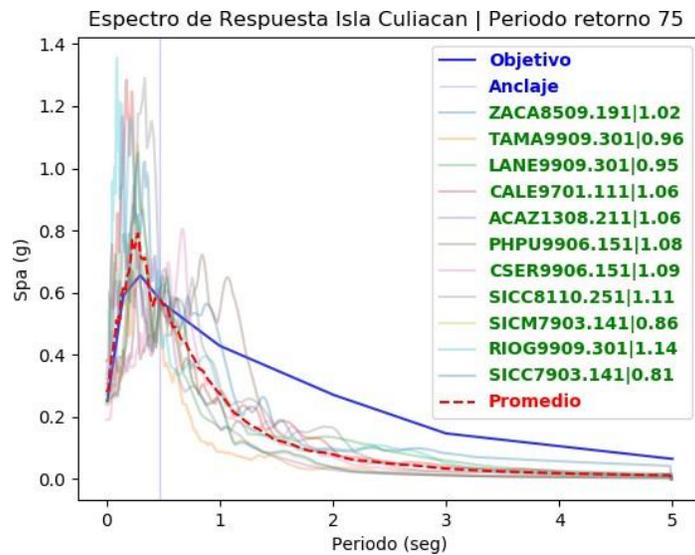
REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO					
Nivel de Desempeño: Seguridad de Vida					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	CDAF8509.191	1.8	Central de Abastos Frigorífico	Col. San José Aculco, México, D.F.	26 febrero de 1997
2	CHI18509.191	1.6	Chilpancingo	Chilpancingo, Guerrero	06 mayo de 1998
3	CHI18509.191	1.15	Chilpancingo	Chilpancingo, Guerrero	06 mayo de 1998
4	SCT18509.191	0.883	SCT-B1	Col. Narvarte, México, D.F.	26 febrero de 1997
5	TLHB8509.191	0.903	Tlahuac Bombas	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
6	TLHB8509.191	1.28	Tlahuac Bombas	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
7	TLHD8509.191	1.23	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
8	TLHD8509.191	2.01	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
9	TLHD8509.191	2.4	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
10	TXSO8509.191	1.36	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998
11	TXSO8509.191	1.68	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998



**Figura 20** Selección de sismos de Marco Resistente a Momento-2475 años

**Tabla 6** Registros Sísmicos de Marco Resistente a Momento - Prevención de Colapso

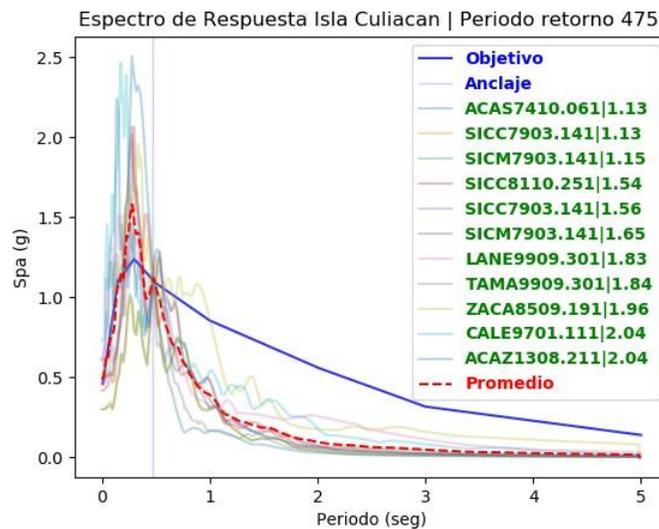
REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO					
Nivel de Desempeño: Prevención de Colapso					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	CDAF8509.191	2.97	Central de Abastos Frigorífico	Col. San José Aculco, México, D.F.	26 febrero de 1997
2	CHI18509.191	2.64	Chilpancingo	Chilpancingo, Guerrero	06 mayo de 1998
3	CHI18509.191	1.9	Chilpancingo	Chilpancingo, Guerrero	06 mayo de 1998
4	SCT18509.191	1.46	SCT-B1	Col. Narvarte, México, D.F.	26 febrero de 1997
5	TLHB8509.191	1.49	Tlahuac Bombas	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
6	TLHB8509.191	2.11	Tlahuac Bombas	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
7	TLHD8509.191	2.03	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
8	TLHD8509.191	3.32	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
9	TLHD8509.191	3.97	Tlahuac Deportivo	Tlahuac, México, D.F.	12 marzo de 1998
10	TXSO8509.191	2.25	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998
11	TXSO8509.191	2.77	Texcoco, Sosa	Texcoco, Estado de México	12 marzo de 1998



**Figura 21** Selección de sismos de Marco con Contravientos -75 años

**Tabla 7** Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Ocupación Inmediata

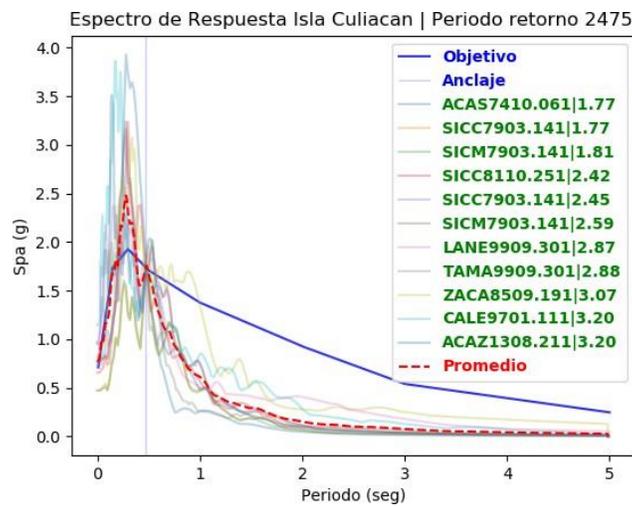
REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO CON CONTRAVIENTOS TIPO X					
Nivel de Desempeño: Ocupación Inmediata					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	ACAZ1308.211	1.06	Acapulco La Zanja	5 km de aeropuerto, Acapulco, Guerrero	08 abril de 2014
2	CALE9701.111	1.06	Caleta de Campos	Caleta de Campos, Michoacán	16 junio de 1997
3	CSER9906.151	1.09	Ciudad Serdan	Ciudad Serdan, Puebla	27 septiembre de 1999
4	LANE9909.301	0.954	Las Negras	14 km de Puerto Escondido, Oaxaca	04 octubre de 1999
5	PHPU9906.151	1.08	Parque La Habana, Puebla	Parque La Habana, Puebla	22 junio de 1999
6	RIOG9909.301	1.14	Río Grande	Carretera Puerto Escondido, Oaxaca-Pinotepa Nacional	04 octubre de 1999
7	SICC7903.141	0.813	Sicarta Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
8	SICC8110.251	1.11	Sicarta Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	19 marzo de 1998
9	SICM7903.141	0.861	Sicarta Caseta Maestro	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
10	TAMA9909.301	0.956	Tamazulapan	A 7 km de la Ciudad de Miahuatlan, Oaxaca	05 octubre de 1999
11	ZACA8509.191	1.02	Zacatula	Lazaro Cardenas, Michoacan	03 marzo de 1997



**Figura 22** Selección de sismos de Marco con Contravientos -475 años

**Tabla 8** Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Seguridad de Vida

REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO CON CONTRAVIENTOS TIPO X					
Nivel de Desempeño: Seguridad de Vida					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	ACAS7410.061	1.13	Acapulco Sop	Dos cuerdas del Parque Papagayo, Guerrero	12 marzo de 1998
2	ACAZ1308.211	2.04	Acapulco La Zanja	A 5 km del aeropuerto, Acapulco, Guerrero	08 abril de 2014
3	CALE9701.111	2.04	Caleta de Campos	Caleta de Campos, Michoacan	16 junio de 1997
4	LANE9909.301	1.83	Las Negras	A 14 km de Puerto Escondido, Oaxaca	04 octubre de 1999
5	SICC7903.141	1.13	Sacartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
6	SICC7903.141	1.56	Sacartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
7	SICC8110.251	1.54	Sicartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	19 marzo de 1998
8	SICM7903.141	1.15	Sicartsa Caseta Maestro	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
9	SICM7903.141	1.65	Sicartsa Caseta Maestro	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
10	TAMA9909.301	1.84	Tamazulapan	A 7 km de la Ciudad de Miahuatlan, Oaxaca	05 octubre de 1999
11	ZACA8509.191	1.96	Zacatula	Lazaro Cardenas, Michoacan	03 marzo de 1997



**Figura 23** Selección de sismos de Marco con Contravientos -2475 años

**Tabla 9** Registros Sísmicos de Marco con contravientos tipo X - Prevención de Colapso

REGISTROS SÍSMICOS PARA MARCO CON CONTRAVIENTOS TIPO X					
Nivel de Desempeño: Prevención de Colapso					
Sismo	Nombre del Sismo	Factor de Escala	Nombre de Estación	Ubicación Estación	Fecha de Registro
1	ACAS7410.061	1.77	Acapulco Sop	Dos cuadras del Parque Papagayo, Guerrero	12 marzo de 1998
2	ACAZ1308.211	3.2	Acapulco La Zanja	A 5 km del aeropuerto, Acapulco, Guerrero	08 abril de 2014
3	CALE9701.111	3.2	Caleta de Campos	Caleta de Campos, Michoacan	16 junio de 1997
4	LANE9909.301	2.87	Las Negras	A 14 km de Puerto Escondido, Oaxaca	04 octubre de 1999
5	SICC7903.141	1.77	Sacartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
6	SICC7903.141	2.45	Sacartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
7	SICC8110.251	2.42	Sicartsa Caseta Testigo	Lazaro Cardenas, Michoacan	19 marzo de 1998
8	SICM7903.141	1.81	Sicartsa Caseta Maestro	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
9	SICM7903.141	2.59	Sicartsa Caseta Maestro	Lazaro Cardenas, Michoacan	04 marzo de 1998
10	TAMA9909.301	2.88	Tamazulapan	A 7 km de la Ciudad de Miahuatlan, Oaxaca	05 octubre de 1999
11	ZACA8509.191	3.07	Zacatula	Lazaro Cardenas, Michoacan	03 marzo de 1997

### 3.5.6. Estudio del desempeño sísmico

Para evaluar el desempeño sísmico en ambos sistemas estructurales sismo-resistentes, se realizan análisis no-lineales dinámicos paso a paso en el dominio del tiempo. Dichos análisis se llevan a cabo en el software SAP2000 V14. En este sentido, el desempeño sísmico de los sistemas estructurales se estudia en términos de las rotaciones en las conexiones, los desplazamientos, y la distorsión de entrepiso. De manera adicional, se comparan dichos desempeños con los reportados como admisibles en las recomendaciones de diseño sísmico basado en desempeño.

### 3.5.7. Evaluación de confiabilidad estructural

Una vez obtenidos los desempeños estructurales de cada uno de los sistemas sismo-resistentes, se procede a evaluar su confiabilidad estructural con base en conceptos probabilísticos. Dicho proceso consiste en evaluar el comportamiento estocástico del nivel de desempeño bajo estudio (ocupación inmediata, seguridad de vida y prevención de colapso) mediante el empleo de funciones de densidad de probabilidad (PDF, por sus siglas en inglés). Utilizando dichos PDFs y límites de desempeño establecidos en recomendaciones particulares del diseño sísmico basado en desempeño, se calcula de manera explícita probabilidades de falla ( $p_f$ ) e índices de confiabilidad ( $\beta$ ). En el caso particular de este proyecto de intervención se decidió realizar la evaluación de confiabilidad estructural únicamente para el desempeño sísmico relacionado con la distorsión de entrepiso, esto, debido a que se concluyó que es la variable con mayor importancia dentro de la reglamentación mexicana.

De acuerdo a Kissell & Poserina (2017), en la teoría de probabilidad, la función de densidad de probabilidad define la probabilidad relativa en donde según la variable aleatoria tomará determinado valor y para que dicha variable aleatoria se encuentre dentro de una

región del espacio de posibilidades, se da mediante la integral de la densidad de esta variable entre uno y otro límite de dicha región. Dicha función es positiva a lo largo de todo su dominio y en cuanto a su integral, es de valor unitario sobre todo el espacio.

En base al párrafo anterior, una función de densidad de probabilidad caracteriza el comportamiento probable de una población en tanto especifica la posibilidad relativa de que una variable aleatoria continua  $X$  tome un valor cercano a  $X$ . Una variable aleatoria  $X$  tiene densidad  $f$ , siendo  $f$  una función no negativa integrable de Lebesgue, si:

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f(x) dx \quad (3.1)$$

Por lo tanto, si  $F$  es la función de distribución acumulativa de  $X$ , entonces:

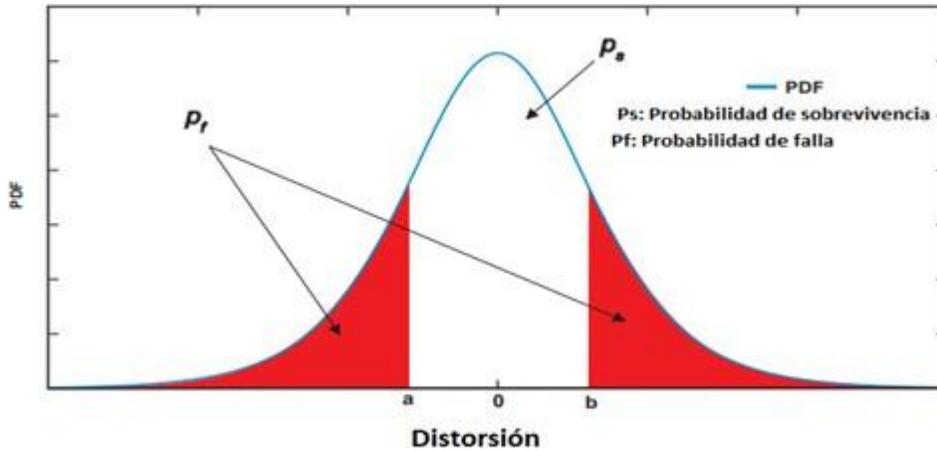
$$F(x) = \int_{-\infty}^x f(u) du \quad (3.2)$$

Las funciones de densidad de probabilidad en su mayoría requieren de uno o más parámetros para especificarlas en su totalidad, un ejemplo es la distribución normal que se puede definir a partir de dos parámetros como la media ( $\mu$ ) y la desviación estándar ( $\sigma$ ). Para el caso particular de este proyecto de intervención se utilizaron 13 distribuciones diferentes, las cuales se describen de manera breve a continuación:

Una vez comprendida la definición de las funciones de densidad de probabilidad es importante mencionar en que consiste la probabilidad de falla ( $p_f$ ) e índice de confiabilidad ( $\beta$ ), los cuales se calculan de manera explícita. La probabilidad de falla  $p_f$  se refiere a la seguridad de la estructura, lo cual quiere decir que durante el proceso de diseño de las estructuras, la probabilidad falla debe ser baja. En cuanto a su cálculo, para los dos límites particulares  $a$  y  $b$ , la  $p_f$  se puede calcular de la siguiente manera (Nowak & Collins, 2012):

$$p_f = 1 - P(a < X \leq b) \quad (3.3)$$

Donde  $X$ , para el caso particular de este proyecto, es la distorsión de entepiso;  $a$  y  $b$  son límites que establece el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. En la Figura 24, se muestra cómo se calculará la  $p_f$  utilizando los límites  $a$  y  $b$  que establece el Diseño mencionado anteriormente.



**Figura 24** PDF con límites correspondiente de variable distorsión

Asimismo, trabajando en el lado derecho de la Ecuación 3.3, la probabilidad se puede calcular como (Nowak & Collins, 2012):

$$P[a \leq x \leq b] = \int_a^b f_x(x) dx \quad (3.4)$$

Donde  $f_x(x)$  es el PDF de las distorsiones de entrepiso de las edificaciones.

Para el caso particular de este proyecto de intervención  $f_x(x)$  se refiere a la función de probabilidad de las 13 distribuciones utilizadas y los límites  $a$  y  $b$  son los límites que se establece en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño.

El otro termino se refiere a la confiabilidad ( $\beta$ ), la cual términos generales, es la confiabilidad asociada a un sistema para lograr la función requerida en condiciones de rendimiento específicas durante un periodo de tiempo determinado (Leimare, 2013). Asimismo,  $\beta$  está ampliamente relacionado con  $p_f$  y puede calcularse de la siguiente manera:

$$\beta = \Phi^{-1}(1 - p_f) \quad (3.5)$$

Donde  $\Phi^{-1}$  es la función de distribución acumulativa inversa (CDF, por sus siglas en inglés) de interés y por supuesto relacionada con el PDF de los datos considerados. En el caso particular de este proyecto, la probabilidad de falla y el índice de confiabilidad fueron calculados mediante la herramienta de cómputo MatLab.

### 3.5.7.1. Distribución Normal.

La distribución normal, se puede considerar como la distribución de probabilidad de variable continua más importante en el cálculo de probabilidades. La importancia de dicha distribución queda totalmente consolidada por ser la distribución límite de numerosas variables aleatorias, discretas y continuas. La forma de la gráfica de este tipo de distribución es acampanada y es simétrica respecto de un determinado parámetro estadístico. Además, es

importante mencionar que dicha distribución queda definida por medio de dos parámetros: (1) la media ( $\mu$ ) y (2) la desviación estándar o desviación típica ( $\sigma > 0$ ) (Canavos, 1988).

La función de la distribución normal está definida de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right), \text{Dominio: } -\infty < x < +\infty \quad (3.6)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{(x-\mu)}{\sigma}\right) \quad (3.7)$$

Donde  $\Phi$  es la integral de Laplace,  $\mu$  es la media y  $\sigma$  es la desviación estándar o desviación típica.

### 3.5.7.2. Distribución LogNormal.

La distribución normal logarítmica se puede definir como la distribución de probabilidad de una variable aleatoria cuyo logaritmo está normalmente distribuido. Esto quiere decir que si  $X$  es una variable aleatoria con una distribución normal, entonces  $e^x$  tiene una distribución logarítmica normal. Es significativo mencionar que la base de una función logarítmica no es de importancia, ya que  $\log_a x$  está distribuida normalmente si y solo si  $\log_b x$  está distribuida normalmente, solo se diferencia en un factor constante. La distribución log-normal considera tres parámetros: (1) desviación estándar ( $\sigma$ ), (2) la media ( $\mu$ ) y (3) parámetro de localización ( $\gamma$ ) (Kissell & Poserina, 2017).

De acuerdo a los tres parámetros mencionados anteriormente, la distribución log-normal queda definida de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{(x-\gamma)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right)^2\right), \text{Dominio: } \gamma < x < +\infty \quad (3.8)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \Phi\left(\frac{\ln(x-\gamma)-\mu}{\sigma}\right) \quad (3.9)$$

Donde  $\Phi$  es la integral de Laplace.

La función de densidad de probabilidad de la distribución log-normal considerando dos parámetros está definida como:

$$f(x) = \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{1}{2}\left(\frac{\ln x - \mu}{\sigma}\right)^2\right) \quad (3.10)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \Phi \left( \frac{\ln x - \mu}{\sigma} \right) \quad (3.11)$$

Donde  $\Phi$  es la integral de Laplace,  $\sigma$  es la desviación estándar,  $\mu$  la media y  $\gamma$  es el parámetro de localización.

### 3.5.7.3. Distribución Logística.

La curva logística fue descrita por primera vez por Pierre Francois Verhulst (1804-1849) en un trabajo que se publicó en el año de 1845. En tanto a su descripción, se parece a la distribución normal en su forma, pero tiene colas más pesadas y por lo tanto menor curtosis. La función de densidad de probabilidad de la distribución está definida por dos parámetros: (1) parámetro de localización ( $\mu$ ) y parámetro de escala ( $s > 0$ ) (Kissell & Poserina, 2017).

Dicha función está definida de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{1}{s \left( 1 + \exp \left( \frac{-(x - \mu)}{s} \right) \right)^2} \exp \left( \frac{-(x - \mu)}{s} \right), \text{Dominio: } -\infty < x < +\infty \quad (3.12)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \exp \left( \frac{-(x - \mu)}{s} \right)} \quad (3.13)$$

Donde  $\mu$  es el parámetro de localización y  $s$  es el parámetro de escala.

### 3.5.7.4. Distribución Log-logística.

La distribución log-logística es una distribución de probabilidad para una variable aleatoria no negativa. Esta distribución está en función de dos parámetros: (1) parámetro de escala ( $\alpha$ ) y (2) parámetro de forma ( $\gamma$ ) (Al-shomrani et al., 2016).

La función mencionada anteriormente está definida de la siguiente manera:

$$f(x) = \frac{\left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\gamma-1}}{\left(1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{\gamma}\right)^2}, \text{Dominio: } 0 < x < +\infty \quad (3.14)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \frac{1}{1 + \left(\frac{x}{\alpha}\right)^{-\gamma}} \quad (3.15)$$

Donde  $\alpha$  es el parámetro de escala y  $\gamma$  es el parámetro de forma.

### 3.5.7.5. Distribución Gamma.

Este tipo de distribución es adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias continuas con asimetría positiva. Lo cual quiere decir que las variables que presentan una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha. En su expresión siempre se encuentran dos parámetros positivos  $\alpha$  y  $\varepsilon$  de los que depende la forma y alcance por la derecha y también la función Gamma  $\tau(\alpha)$ , la cual es responsable de la convergencia de la distribución (Pliego & Ruiz-Maya, 2004).

La función de densidad de probabilidad de la distribución gamma para tres parámetros está definida como:

$$f(x) = \frac{(x - \gamma)^{\alpha-1}}{\varepsilon^{\alpha} \tau(\alpha)} \exp\left(-\frac{(x - \gamma)}{\varepsilon}\right), \text{Dominio: } \gamma \leq x \leq +\infty \quad (3.16)$$

Donde  $\alpha$  es el parámetro de forma ( $\alpha > 0$ ),  $\varepsilon$  es el parámetro de escala ( $\varepsilon > 0$ ) y  $\gamma$  es el parámetro de localización. La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \frac{\tau\left(\frac{(x - \gamma)}{\varepsilon}\right)}{\tau(\alpha)} \quad (3.17)$$

La función de densidad de probabilidad de la distribución gamma para dos parámetros está definida como:

$$f(x) = \frac{x^{\alpha-1}}{\varepsilon^{\alpha} \tau(\alpha)} \exp\left(-\frac{x}{\varepsilon}\right) \quad (3.18)$$

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \frac{\tau\left(\frac{x}{\varepsilon}\right)}{\tau(\alpha)} \quad (3.19)$$

Donde  $\alpha$  es el parámetro de forma,  $\varepsilon$  es el parámetro de escala y  $\tau(\alpha)$  es la función gamma.

### 3.5.7.6. Distribución de Weibull.

La distribución de Weibull es una distribución de probabilidad continua. En 1951, Walodi Weibull la describió detalladamente, sin embargo, fue descubierta inicialmente

por Fréchet en 1927 y se aplicó por primera vez en 1933 por Rosin y Rammler (Pliego & Ruiz-Maya, 2004).

La función de densidad de probabilidad de la distribución Weibull está definida como:

$$f(x) = \frac{\alpha(x-\gamma)^{\alpha-1}}{s} \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{s}\right)^\alpha\right) \quad (3.20)$$

Donde  $\alpha$  es el parámetro de forma ( $\alpha > 0$ ),  $\varepsilon$  es el parámetro de escala ( $\varepsilon > 0$ ) y  $\gamma$  es el parámetro de localización.

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = 1 - \exp\left(-\left(\frac{x-\gamma}{\varepsilon}\right)^\alpha\right) \quad (3.21)$$

Donde  $\varepsilon$  es el parámetro de escala y  $\alpha$  es el parámetro de forma.

### 3.5.7.7. Distribución Estable.

Se denomina estable una distribución si es una combinación lineal de dos o más copias independientes de una muestra aleatoria que tiene la misma distribución de probabilidad, salvo algún parámetro de localización o factor de escala. Dicha distribución se define mediante cuatro parámetros y el más significativo es el parámetro de estabilidad ( $\alpha$ ). Las distribuciones estables satisfacen que  $0 < \alpha \leq 2$ , correspondiendo el valor máximo con una distribución normal. El valor  $\alpha = 1$  corresponde a la distribución de Cauchy. Además, las distribuciones estables no tienen una varianza finita si  $\alpha < 2$ , más aún si  $\alpha \leq 1$ , ni siquiera tienen media finita (Voit, 2013).

Una distribución no degenerada se considera como estable si satisface las siguientes notaciones:

Sean  $X_1$  y  $X_2$  dos copias de una variable aleatoria  $X$  (estas dos variables aleatorias independientes tienen la misma distribución de  $X$ ). Por lo tanto,  $X$  se denomina estable si existen dos constantes  $a > 0$  y  $b > 0$  tales que la nueva variable aleatoria  $aX_1 + bX_2$  tenga la misma distribución que  $cX + d$  para otras dos constantes  $c > 0$  y  $d$ .

De acuerdo a la propiedad anterior, existen tres distribuciones que la satisfacen: (1) la distribución normal, (2) la distribución de Cauchy y (3) la distribución de Levy, por lo tanto, son casos particulares de distribuciones estables. La densidad de probabilidad de estas distribuciones estables no admite una fórmula matemática cerrada, sin embargo, su función característica se admite una fórmula matemática cerrada. Por otro lado, cualquier distribución de probabilidad dada por la transformada de Fourier de una función característica  $\phi(t)$  del tipo

$$f(x) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{\infty} \phi(t) e^{-ixt} dt \quad (3.22)$$

Una variable aleatoria X es estable si su función característica puede escribirse como (Mandelbrot, 1961):

$$\phi(t; \alpha, \varepsilon, c, \mu) = \exp [it\mu - |ct|^\alpha (1 - i\varepsilon \operatorname{sgn}(t)\Phi)] \quad (3.23)$$

Donde  $\operatorname{sgn}(t)$  es la función de signo t y  $\phi$  está dada de la siguiente forma:

$$\phi = \tan \frac{\pi\alpha}{2} \quad (3.24)$$

Para todo  $\alpha$ , excepto  $\alpha = 1$ .

Los cuatro parámetros mencionados anteriormente para definir la distribución Estable son:

- $\alpha \in (0, 2]$  (Parámetro de estabilidad).
- $\varepsilon \in [-1, 1]$  (Parámetro de asimetría).
- $c \in (0, \infty)$  (Parámetro de escala).
- $\mu \in (-\infty, +\infty)$  (Parámetro de localización).

### 3.5.7.8. Distribución Birnbaum-Saunders.

La distribución Birnbaum-Saunders describe el tiempo de falla que ha transcurrido cuando cierto tipo de daño acumulado excede un umbral. Dicha función de densidad de probabilidad es de la siguiente forma (Birnbaum & Saunders, 1969):

$$f(x) = \frac{\frac{\sqrt{x-\mu}}{\varepsilon} + \sqrt{\frac{\varepsilon}{x-\mu}}}{2\gamma(x-\mu)} \phi \left( \frac{\sqrt{x-\mu}}{\varepsilon} - \sqrt{\frac{\varepsilon}{x-\mu}} \right) \quad x > \mu, \gamma, \varepsilon > 0 \quad (3.25)$$

Donde  $\gamma$  es el parámetro de forma,  $\mu$  es el parámetro de ubicación,  $\varepsilon$  es el parámetro de escala,  $\phi$  es la función de densidad de probabilidad de la distribución normal estándar y x es la variable aleatoria.

La fórmula para la función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = \frac{\phi\left(\frac{\sqrt{x} - \sqrt{\frac{1}{\gamma}}}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}}}\right)}{\frac{1}{\sqrt{\gamma}}} \quad x > 0; \gamma > 0 \quad (3.26)$$

Donde  $\gamma$  es el parámetro de forma,  $\phi$  es la función de densidad de probabilidad de la distribución normal estándar y  $x$  es la variable aleatoria.

### 3.5.7.9. Distribución Rice.

La distribución Rice se define por dos parámetros de forma:  $v$  ( $v \geq 0$ ) y  $\sigma$  ( $\sigma > 0$ ). La fórmula de la función de densidad de probabilidad es la siguiente (Gudbjartsson & Patz, 1995):

$$f(x) = \frac{x}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{x^2 + v^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{xv}{\sigma^2}\right), \text{Dominio: } 0 \leq x < +\infty \quad (3.27)$$

Siendo  $\sigma$  cualquier número positivo real y donde  $I_0$  es una función Bessel modificada del primer tipo con orden cero.

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = 1 - Q_1\left(\frac{v}{\sigma}, \frac{x}{\sigma}\right) \quad (3.28)$$

Donde  $Q_1$  es la función de Q-Marcum.

### 3.5.7.10. Distribución Nakagami.

La distribución Nakagami, es relativamente nueva y es una forma generalizada de modelar el desvanecimiento a pequeña escala para dispersiones de señales densas y es una de las distribuciones más comunes para modelar conjuntos de datos positivos y sesgados hacia la derecha (Nikagami, 1960). La fórmula de función de densidad de probabilidad es la siguiente:

$$f(x) = \frac{2m^m}{\Gamma(m)\Omega^m} x^{2m-1} \exp\left(-\frac{m}{\Omega}x\right) \text{Dominio: } 0 \leq x < +\infty \quad (3.29)$$

Donde  $m$  es el parámetro de forma ( $m \geq 0.5$ ),  $\Omega$  es el parámetro de escala ( $\Omega > 0$ ) y  $\Gamma^2$  es la función Gamma.

La función de la distribución acumulativa está definida por medio de la siguiente fórmula:

$$F(x) = \frac{\Gamma mx^2/\Omega(m)}{\Gamma(m)} \quad (3.30)$$

Donde  $\Gamma$  es la función gamma,  $m$  es el parámetro de forma,  $\Omega$  es el parámetro de escala y  $X$  es la variable aleatoria.

### 3.5.7.11. Distribución de Valor Extremo.

La distribución de valor extremo son las distribuciones para el mínimo o máximo de una colección demasiado grande de observaciones aleatorias de la misma distribución arbitraria (Gumbel, 2012). La teoría del valor extremo expresa que, independientemente de la elección del modelo de competente, el modelo se asemejará a un Weibull a medida que  $n$  se hace mayor. La función de densidad de probabilidad está definida de la siguiente forma:

$$f(x) = \frac{1}{\varepsilon} \exp\left(\frac{x - \mu}{\varepsilon}\right) \exp\left[-\exp\left(\frac{x - \mu}{\varepsilon}\right)\right] \text{ Dominio: } -\infty < x < +\infty \quad (3.31)$$

Donde  $\varepsilon$  es el parámetro de escala ( $\varepsilon > 0$ ) y  $\mu$  es el parámetro de localización ( $\mu > 0$ ).

La función de distribución acumulativa está definida como:

$$F(x) = 1 - \exp\left[-\exp\left(\frac{x - \mu}{\varepsilon}\right)\right] \quad (3.32)$$

Donde  $X$  es la variable aleatoria,  $\mu$  es el parámetro de localización y  $\varepsilon$  es el parámetro de escala.

### 3.5.7.12. Distribución de Valor Extremo Generalizado.

Esta distribución se puede definir como un modelo flexible de tres variables que realiza la combinación de las distribuciones de valor extremo máximo de Gumbel, Fréchet y Weibull. La distribución VEG es la distribución límite de máximos correctamente normalizados de una secuencia de variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas, esto, según el teorema del valor extremo. Por lo tanto, Coles et al., (2001), proporcionaron información para explicar que la distribución VEG se usa como una aproximación para modelar los máximos de secuencias largas de variables aleatorias. La función de densidad de probabilidad está definida como se expresa a continuación (Kotz & Nadarajah, 2000):

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma} \exp\left(-\frac{1}{k}(1+kz)\right) \frac{1}{k} (1+kz)^{-1-\frac{1}{k}} k & \\ \frac{1}{\sigma} (-z - \exp(-z)), k = 0 & \end{cases} \quad (3.33)$$

Donde  $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$  y  $k, \sigma, \mu$  son los parámetros de forma, escala y ubicación, respectivamente. La forma y ubicación pueden tomar cualquier valor real y el parámetro de escala debe ser positivo. La función de distribución acumulativa está definida como:

$$f(x) = \exp [-(1 + kz)^{-\frac{1}{k}}] \quad k \neq 0 \quad (3.34)$$

$$\exp[-\exp(-z)], \quad k = 0$$

Donde  $k$  es el parámetro de forma,  $z = \frac{x-\mu}{\sigma}$ ,  $x$  es la variable aleatoria,  $\sigma$  es el parámetro de escala y  $\mu$  es el parámetro de ubicación.

Las distribuciones mencionadas anteriormente son las que se utilizaron en este proyecto de intervención. A dichas distribuciones se le realizó una prueba de bondad de ajuste ( $\chi^2$ ) el cual es el test de bondad de ajuste más utilizado. Esta prueba se le realizó a cada una de las distribuciones con el fin de averiguar que distribución se ajusta de mejor manera a la variable en estudio (distorsión de entrepiso). En el caso particular de este proyecto, la prueba de bondad de ajuste ( $\chi^2$ ) se calculó mediante el software MatLab versión 2017. En dicho software se programó un código, el cual facilitó el cálculo y así se pudo observar de manera adecuada la distribución con mejor ajuste a la variable de distorsión.

### 3.5.8. Comparación de Costos del Marco de Acero resistente a Momento y el Marco de Acero con contravientos en configuración tipo x

El último aspecto a llevarse a cabo en el proyecto de intervención es la presupuestación de ambas estructuraciones sismo-resistentes y la realización de una comparativa, en donde se determina que sistema estructural presentó mejor viabilidad económica con respecto a los daños provocados por el sismo.

### 3.5.9. Diagrama de Flujo de la Metodología

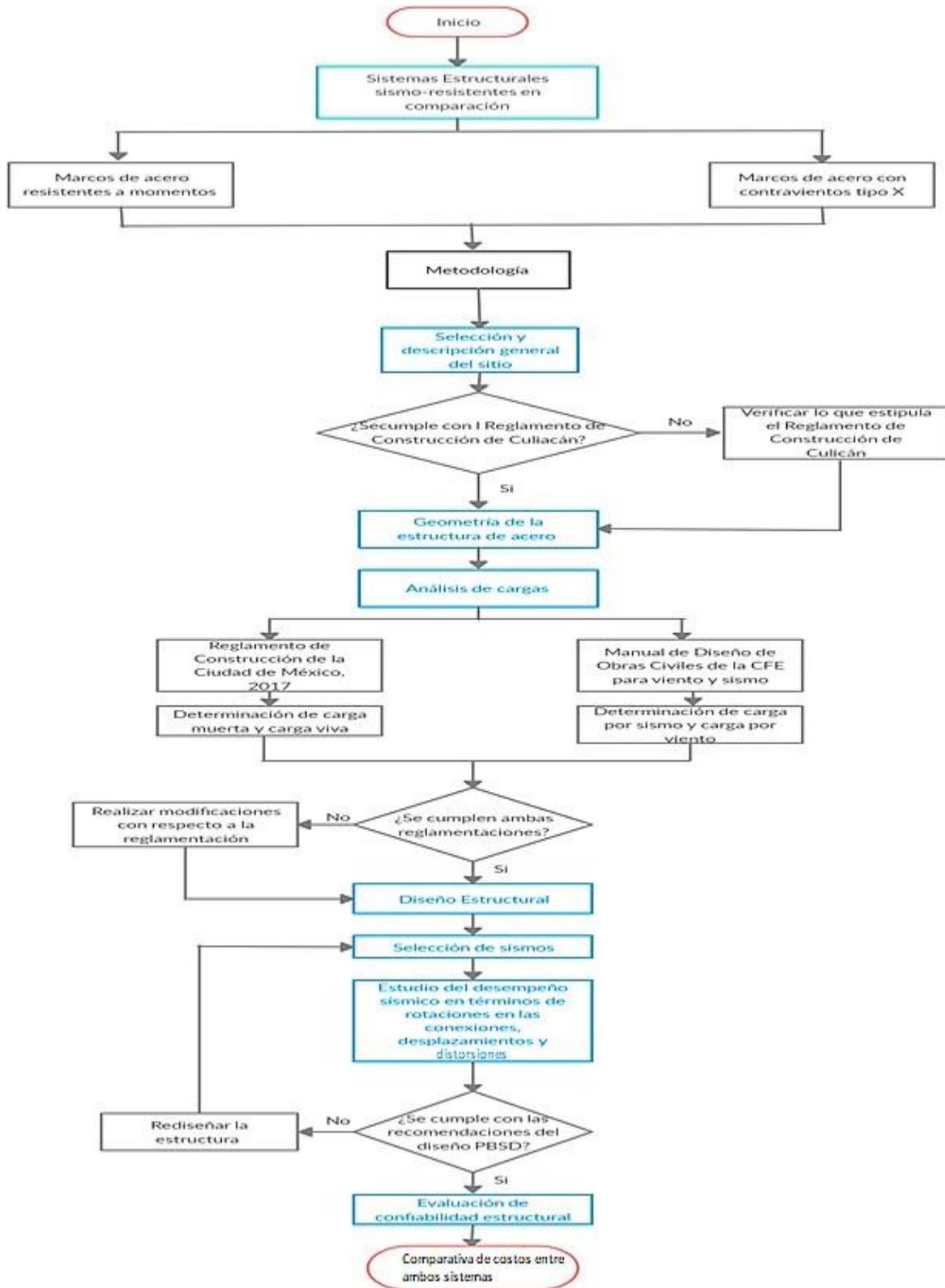


Figura 25 Diagrama de flujo de la metodología

### 3.6. Análisis de resultados

Los resultados del marco de acero resistente a momento y marco de acero dual constó del estudio de tres variables: (1) desplazamiento en el nodo superior derecho de las estructuras, (2) rotación en el nodo superior derecho de las estructuras y (3) distorsión en el cuarto entrepiso de las estructuras. Los resultados se presentan en forma de gráficas. Dichas graficas se obtuvieron del software Sap2000 V14, después de realizar un análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo. Además, con los resultados obtenidos de las variables estudiadas, se realizó una comparativa con los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño (PBSD, por sus siglas en ingles), los cuales también se muestran dentro de las gráficas mencionadas anteriormente y así, se pudo visualizar si las estructuras están dentro de lo especificado en el PBSD. En la Tabla 10, se muestran los límites que define el PBSD, los cuales están asociados al nivel de desempeño y periodo de retorno de las estructuras.

**Tabla 10** Límites de Diseño Sísmico Basado en Desempeño PBSD (FEMA-350, 2000; ASCE/SEI 41-13, 2014).

Nivel de desempeño	Periodo de retorno	Probabilidad de ocurrencia	Deriva permitida
Prevención de colapso	2475 años	2% en 50 años	$0.05 * H^1$
Seguridad de vida	475 años	10% en 50 años	$0.025 * H^1$
Ocupación inmediata	75 años	50% en 50 años	$0.007 * H^1$

<sup>1</sup>H=Altura del entre piso (si se analizan distorsiones) o altura del edificio (si se analiza desplazamiento lateral).

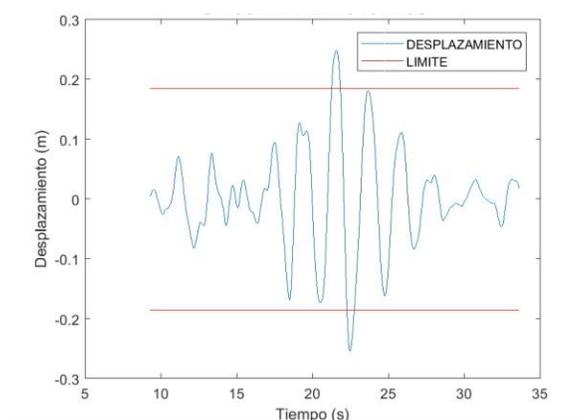
Las gráficas con el resultado del análisis de las tres variables en estudio (desplazamiento, rotación, y distorsión) se mostrarán en los apartados posteriores. Además, cada gráfica contiene una breve descripción del comportamiento de la estructura ante el sismo e información general del sismo en estudio; dentro de esta información, se encontrarán datos como el tiempo que el programa de cómputo anteriormente mencionado se llevó en realizar el análisis dinámico no lineal y asimismo el tiempo que tuvo el sismo de acuerdo al registro de estación. Sin embargo, las gráficas solamente mostrarán el tiempo en que el sismo afecto más a la estructura de acuerdo a la variable que se analizó; esto se realizó con el fin de descartar los periodos de tiempo en donde el sismo no afecto a la estructura y así, mostrar solamente el tiempo efectivo. Lo anterior, se realizó mediante la elaboración de un código en el software MATLAB. Asimismo, el código se construyó conforme a la teoría de intensidad de áreas (Travasarou *et al.*, 2003).

### 3.6.7. Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata

Los desplazamientos del marco resistente a momento del sismo 1 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75 años, se pueden observar en la Figura 26. El sismo que se analizó para el resultado de estos desplazamientos, tuvo una duración de 50.60 segundos (s). En cuanto al tiempo del análisis estructural en el programa Sap2000 V14 para el sismo 1 del marco resistente a momento asociado a la variable de desplazamiento, tuvo una duración de 4430.87 s. En dicho análisis se utilizó un factor de escala de 1.36, el cual se introdujo en el software comercial, con el fin de obtener mejores resultados.

El sismo analizado, de acuerdo a los datos del II- UNAM, se registró en Caleta de Campos, Michoacán, en una caseta ubicada en la Escuela Secundaria Técnica 68 de pesca con coordenadas 19.366 LAT. N y 102.754441 LONG. W. La estación de registro se encuentra a una altitud de 10 msnm en un suelo tipo roca. El archivo del sismo se generó el día 02 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros); el análisis que se realizó es un análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo. Los resultados de estos desplazamientos se pueden visualizar en la siguiente gráfica, como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia claramente que se salen de los límites especificados por el PBSB. De acuerdo a la Tabla 10 mostrada en la sección anterior, el límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo que se obtuvo y que está fuera de los límites es de 0.25 m.



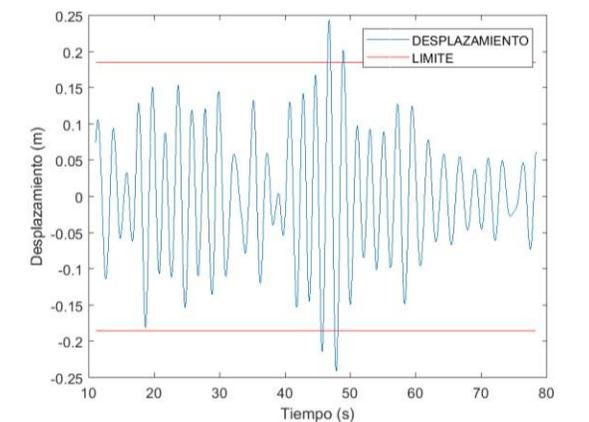
**Figura 26** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años)

En la Figura 27 se muestran los resultados para el marco resistente a momento asociado al sismo 2 y un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75

años, de los desplazamientos. El sismo que se analizó para la variable anteriormente mencionada tuvo una duración de 143.19 segundos (s). Un aspecto importante en cuanto al análisis estructural, es el tiempo de duración del programa SAP2000 en analizar la estructura en estudio, dicho tiempo tuvo una duración de 5365.31 s. Otro aspecto importante, es el factor de escala por el cual se deben multiplicar las aceleraciones del sismo en el programa de cómputo antes mencionado, para el caso particular de este sismo ese factor de escala fue de 0.869.

El sismo 2 para el marco resistente a momento y asociado al nivel de desempeño de ocupación inmediata, se registró en México, D.F., en la estación ubicada atrás del frigorífico de Central de Abastos en la Avenida Río Churubusco, esquina Apatlaco en la colonia San José Aculco con coordenadas 19.366 LAT. N y 99.086 LONG. W. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y esta sobre un suelo tipo arcilla. Esto, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. El archivo del sismo se generó el día 26 de marzo de 1997.

Los desplazamientos se analizaron (análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo) en el nodo superior de la estructura el cual se encuentra a una altura de 26.5 metros. Los resultados de estos desplazamientos de acuerdo a las especificaciones del PBSD están fuera del intervalo permitido. Lo anterior se puede visualizar en la gráfica de la Figura 27. El límite que se utilizó, se calculó mediante la multiplicación de un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, lo cual dio como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855 y de acuerdo a lo observado el desplazamiento máximo que se obtuvo es de 0.24m.



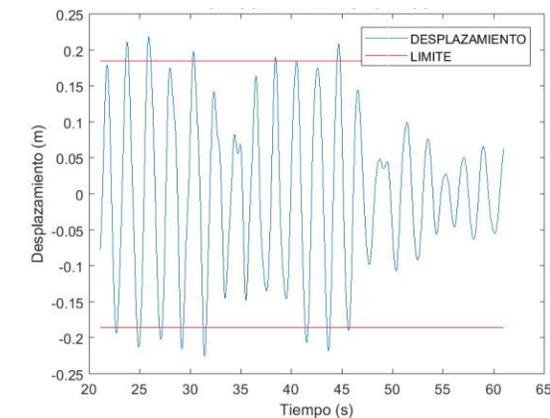
**Figura 27** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años)

La variable que se evaluó en esta sección son los desplazamientos en el marco resistente a momento para el sismo 3. Este sismo antes mencionado, está asociado a un periodo de retorno de 75 años lo cual pertenece a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. El tiempo de duración de este sismo fue de 84.64 s como se puede apreciar en la gráfica de la Figura 28. Los resultados de dichos desplazamientos se calcularon mediante el programa de

cómputo de elementos finitos más común en la región (Sap2000). Dicho programa duro un tiempo de 2307.04 s en analizar la estructura de acero para el sismo 3.

Los datos del sismo en estudio se consideran de gran importancia para saber en qué parte de la república mexicana se encuentra la estación que almacenó los datos. El sismo 3 se registró en la estación llamada Chilpancingo la cual se encuentra ubicada en calle Ignacio Ramírez y Colon a 3 cuadras del Zócalo en Chilpancingo, Guerrero. La estación Chilpancingo se encuentra a una altura de 1360 msnm y sobre un suelo tipo roca, esto según lo reportado en la base de datos en Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este registro se almacenó en la base de datos el día 06 de mayo de 1998.

El análisis que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y una vez realizado el análisis se procedió a obtener los desplazamientos en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros), dichos desplazamientos son los que se pueden observar en la siguiente gráfica y se apreció que en algunos intervalos de tiempo no se cumple con los límites establecidos en el PBSD. El límite que se utilizó se estableció de acuerdo a la Tabla 10. El límite, se calculó multiplicando un factor de 0.007 por los 26.5 m ya que es donde se encuentra el nodo en estudio, dando, así como resultado un intervalo de  $-0.1855$  a  $+0.1855$ , lo cual está por debajo del desplazamiento máximo que fue de 0.22 m. aproximadamente.

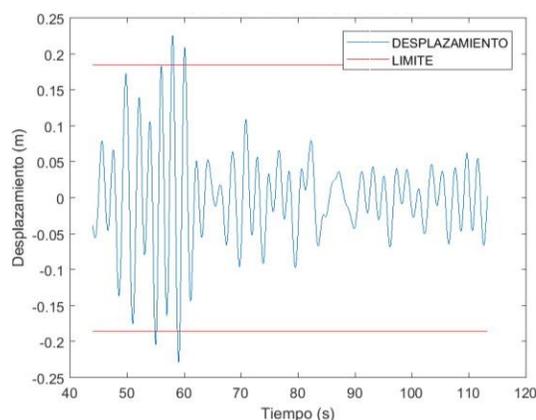


**Figura 28** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 4 con un periodo de retorno de 75 años y por obstante a un nivel de desempeño de ocupación inmediata se presentan en la Figura 29 en forma de gráfica. En dicha gráfica se puede apreciar que el sismo 4, tuvo una duración de 150.03 s. Otro aspecto importante, es el tiempo en que el programa Sap2000 analizó la estructura asociada al sismo 4, este tiempo fue de 1289.48 s. En cuanto al factor de escala que se introdujo al programa antes mencionado fue de 0.618.

De acuerdo al Instituto de Ingeniería de la UNAM, el sismo 4 se registró en la estación Tláhuac Bombas ubicada en Caseta D en México, D.F. con coordenadas 19.279 LAT. N y 99.008 LONG. W y se encuentra a una altitud de 2240 msnm. El suelo que considera esta estación es tipo arcilla. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos de los resultados mostrados en la gráfica se analizaron en el nodo superior de la estructura. El nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. El análisis para estos desplazamientos que se utilizó, es un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para dichos resultados se realizó una comparativa con los límites establecidos por el PBSB y se puede observar que en ciertos intervalos de tiempo los desplazamientos se exceden de los límites. El límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo que se obtuvo en este análisis y que está fuera de los límites es de 0.23 m.

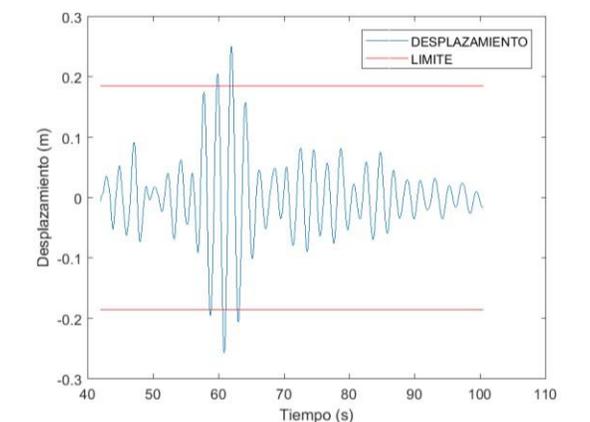


**Figura 29** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento del sismo 5 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75 años, se pueden observar en la Figura 30. El sismo que se analizó para el resultado de estos desplazamientos, tuvo una duración de 150.03 segundos (s). En cuanto al tiempo del análisis estructural en el programa Sap2000 V14 para el sismo 5 del marco resistente a momento asociado a la variable de desplazamiento, tuvo una duración de 262.44 s. En dicho análisis se utilizó un factor de escala de 0.593, el cual se introdujo en el software comercial, con el fin de obtener mejores resultados.

El sismo analizado, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se registró en Tláhuac, México, D.F., en una caseta ubicada a 5 m de la avenida Tláhuac de con coordenadas 19.293 LAT. N y 99.035 LONG. W. La estación de registro se encuentra a una altitud de 2240 msnm en un suelo tipo arcilla. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros); el análisis que se realizó es un análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo. Los resultados de estos desplazamientos se pueden visualizar en la siguiente gráfica, como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia claramente que se salen de los límites especificados por el PBSB. De acuerdo a la tabla mostrada en la sección anterior, el límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo que se obtuvo y que está fuera de los límites es de 0.26 m.



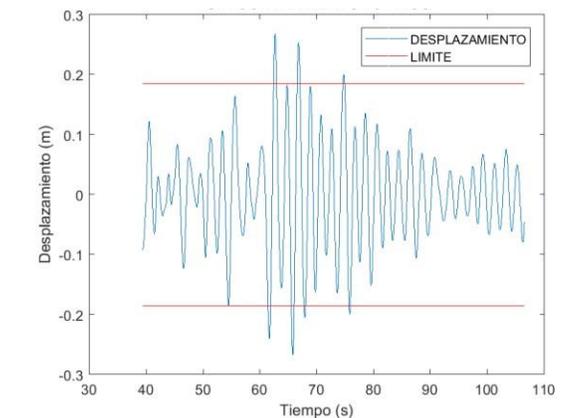
**Figura 30** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años)

En la Figura 31 se muestran los resultados para el marco resistente a momento asociado al sismo 6 y un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75 años, de los desplazamientos. El sismo que se analizó para la variable anteriormente mencionada tuvo una duración de 150.03 segundos (s). Un aspecto importante en cuanto al análisis estructural, es el tiempo de duración del programa Sap2000 en analizar la estructura en estudio, dicho tiempo tuvo una duración de 266.82 s. Otro aspecto importante, es el factor de escala por el cual se deben multiplicar las aceleraciones del sismo en el programa de cómputo antes mencionado, para el caso particular de este sismo ese factor de escala fue de 0.971.

El sismo 6 para el marco resistente a momento y asociado al nivel de desempeño de ocupación inmediata, se registró en Tláhuac, México, D.F., en la estación ubicada a 5 m de la avenida Tláhuac con coordenadas 19.293 LAT. N y 99.035 LONG. W. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y esta sobre un suelo tipo arcilla. Esto, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron (análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo) en el nodo superior de la estructura el cual se encuentra a una altura de 26.5 metros. Los resultados de estos desplazamientos de acuerdo a las especificaciones del PBSB están fuera

del intervalo permitido. Lo anterior se puede visualizar en la gráfica de la Figura 31. El límite que se utilizó, se calculó mediante la multiplicación de un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, lo cual dio como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855 y de acuerdo a lo observado el desplazamiento máximo que se obtuvo es de 0.27m.



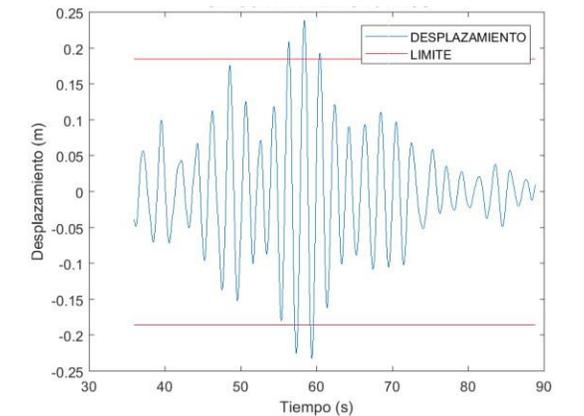
**Figura 31** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años)

La variable que se evaluó en esta sección son los desplazamientos en el marco resistente a momento para el sismo 7. Este sismo antes mencionado, está asociado a un periodo de retorno de 75 años lo cual pertenece a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. El tiempo de duración de este sismo fue de 121.32 s como se puede apreciar en la gráfica de la Figura 32. Los resultados de dichos desplazamientos se calcularon mediante el programa de cómputo de elementos finitos más común en la región (Sap2000). Dicho programa duro un tiempo de 403.77 s en analizar la estructura de acero para el sismo 7.

Los datos del sismo en estudio se consideran de gran importancia para saber en qué parte de la república mexicana se encuentra la estación que almacenó los datos. El sismo 7 se registró en la estación llamada Tláhuac Deportivo la cual se encuentra ubicada 5 m de la avenida Tláhuac en México, D.F. La estación Tláhuac Deportivo se encuentra a una altura de 2240 msnm y sobre un suelo tipo arcilla, esto según lo reportado en la base de datos en Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este registro se almacenó en la base de datos el día 12 de marzo de 1998.

El análisis que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y una vez realizado el análisis se procedió a obtener los desplazamientos en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros), dichos desplazamientos son los que se pueden observar en la siguiente gráfica y se apreció que en algunos intervalos de tiempo no se cumple con los límites establecidos en el PBSO. El límite que se utilizó se estableció de acuerdo a la Tabla 10. El límite, se calculó multiplicando un factor de 0.007 por los 26.5 m ya que es donde se encuentra el nodo en estudio, dando así como resultado

un intervalo de  $-0.1855$  a  $+0.1855$ , lo cual está por debajo del desplazamiento máximo que fue de  $0.24$  m. aproximadamente.

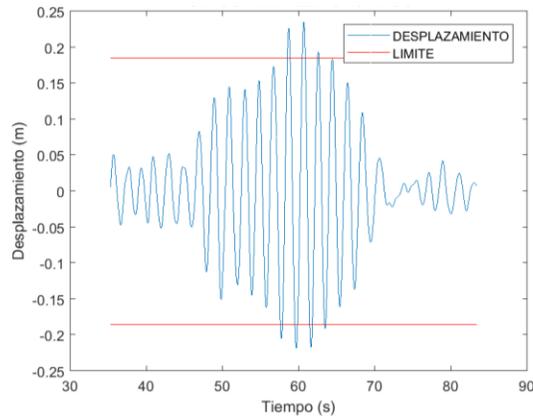


**Figura 32** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 8 con un periodo de retorno de 75 años y por obstante a un nivel de desempeño de ocupación inmediata se presentan en la Figura 33 en forma de gráfica. En dicha gráfica se puede apreciar que el sismo 8, tuvo una duración de 121.32 s. Otro aspecto importante, es el tiempo en que el programa Sap2000 analizó la estructura asociada al sismo 8, este tiempo fue de 399.52 s. En cuanto al factor de escala que se introdujo al programa antes mencionado fue de 1.16.

De acuerdo al Instituto de Ingeniería de la UNAM, el sismo 8 se registró en la estación Tláhuac Deportivo ubicada en México, D.F. con coordenadas 19.293 LAT. N y 99.035 LONG. W y se encuentra a una altitud de 2240 msnm. El suelo que considera esta estación es tipo arcilla. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos de los resultados mostrados en la gráfica se analizaron en el nodo superior de la estructura. El nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. El análisis para estos desplazamientos que se utilizó, es un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para dichos resultados se realizó una comparativa con los límites establecidos por el PBSD y se puede observar que en ciertos intervalos de tiempo los desplazamientos se exceden de los límites. El límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de  $-0.1855$  a  $+0.1855$ . El desplazamiento máximo que se obtuvo en este análisis y que está fuera de los límites es de  $0.24$  m.

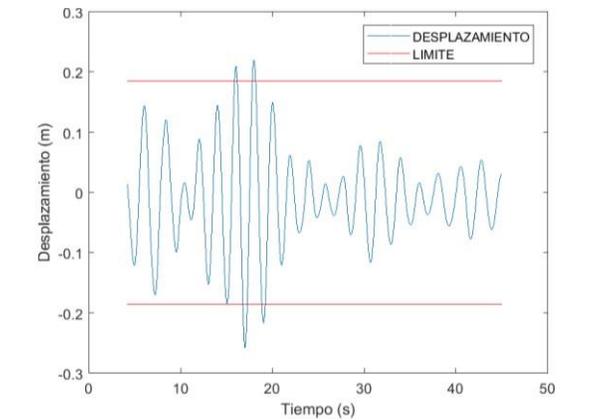


**Figura 33** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento del sismo 9 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75 años, se pueden observar en la Figura 34. El sismo que se analizó para el resultado de estos desplazamientos, tuvo una duración de 52.39 segundos (s). En cuanto al tiempo del análisis estructural en el programa Sap2000 V14 para el sismo 1 del marco resistente a momento asociado a la variable de desplazamiento, tuvo una duración de 356.86 s. En dicho análisis se utilizó un factor de escala de 1.36, el cual se introdujo en el software comercial, con el fin de obtener mejores resultados.

El sismo 9 para el marco resistente a momento y asociado al nivel de desempeño de ocupación inmediata, se registró en Tláhuac, México, D.F., en la estación ubicada a cinco metros de la avenida Tláhuac con coordenadas 19.293 LAT. N y 99.035 LONG. W. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y esta sobre un suelo tipo arcilla. Esto, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. El archivo del sismo se generó el día 22 de febrero de 1996.

El análisis que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y una vez realizado el análisis se procedió a obtener los desplazamientos en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros), dichos desplazamientos son los que se pueden observar en la siguiente gráfica y se apreció que en algunos intervalos de tiempo no se cumple con los límites establecidos en el PBSD. El límite que se utilizó se estableció de acuerdo a la Tabla 10. El límite, se calculó multiplicando un factor de 0.007 por los 26.5 m, ya que es donde se encuentra el nodo en estudio, dando, así como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855, lo cual está por debajo del desplazamiento máximo que fue de 0.26 m. aproximadamente.

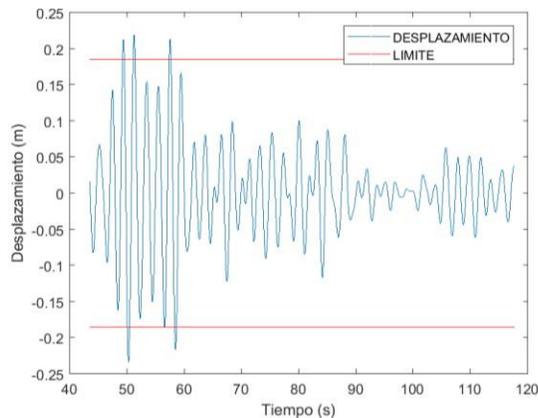


**Figura 34** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años)

En la Figura 35 se muestran los resultados para el marco resistente a momento asociado al sismo 10 y un nivel de desempeño de ocupación inmediata con un periodo de retorno de 75 años, de los desplazamientos. El sismo que se analizó para la variable anteriormente mencionada tuvo una duración de 214.11 segundos (s). Un aspecto importante en cuanto al análisis estructural, es el tiempo de duración del programa Sap2000 en analizar la estructura en estudio, dicho tiempo tuvo una duración de 358.50 s. Otro aspecto importante, es el factor de escala por el cual se deben multiplicar las aceleraciones del sismo en el programa de cómputo antes mencionado, para el caso particular de este sismo ese factor de escala fue de 0.659.

Los datos del sismo en estudio se consideran de gran importancia para saber en qué parte de la república mexicana se encuentra la estación que almacenó los datos. El sismo 10 se registró en la estación llamada Texcoco, Sosa, la cual se encuentra ubicada 5 m de la orilla del caracol, lado Noroeste en Texcoco, Estado de México. La estación Texcoco se encuentra a una altura de 2240 msnm y sobre un suelo tipo arcilla, esto según lo reportado en la base de datos en Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este registro se almacenó en la base de datos el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos de los resultados mostrados en la gráfica se analizaron en el nodo superior de la estructura. El nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. El análisis para estos desplazamientos que se utilizó, es un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para dichos resultados se realizó una comparativa con los límites establecidos por el PBSB y se puede observar que en ciertos intervalos de tiempo los desplazamientos se exceden de los límites. El límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo que se obtuvo en este análisis y que está fuera de los límites es de 0.23 m.

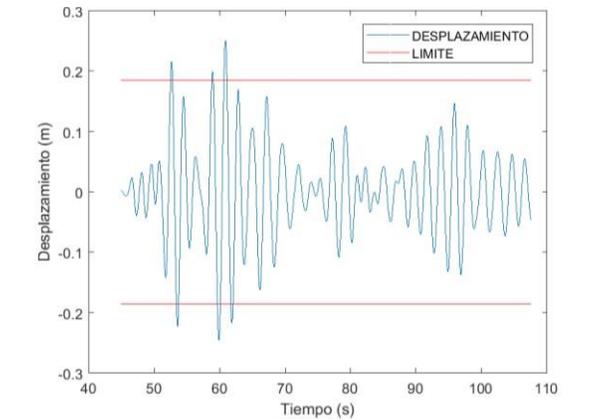


**Figura 35** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 11 con un periodo de retorno de 75 años y por obstante a un nivel de desempeño de ocupación inmediata se presentan en la Figura 36 en forma de gráfica. En dicha gráfica se puede apreciar que el sismo 11, tuvo una duración de 214.11 s. Otro aspecto importante, es el tiempo en que el programa Sap2000 analizó la estructura asociada al sismo 8, este tiempo fue de 363.22 s. En cuanto al factor de escala que se introdujo al programa antes mencionado fue de 0.812.

El sismo analizado, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se registró en Texcoco, Estado de México, en una caseta ubicada a cinco metros de la orilla del caracol, en el lado noroeste con coordenadas 19.580 LAT. N y 99.019 LONG. W. La estación de registro se encuentra a una altitud de 10 msnm en un suelo tipo roca. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos de los resultados mostrados en la gráfica se analizaron en el nodo superior de la estructura. El nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. El análisis para estos desplazamientos que se utilizó, es un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para dichos resultados se realizó una comparativa con los límites establecidos por el PBSD y se puede observar que en ciertos intervalos de tiempo los desplazamientos se exceden de los límites. El límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.007 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo que se obtuvo en este análisis y que está fuera de los límites es de 0.25 m.

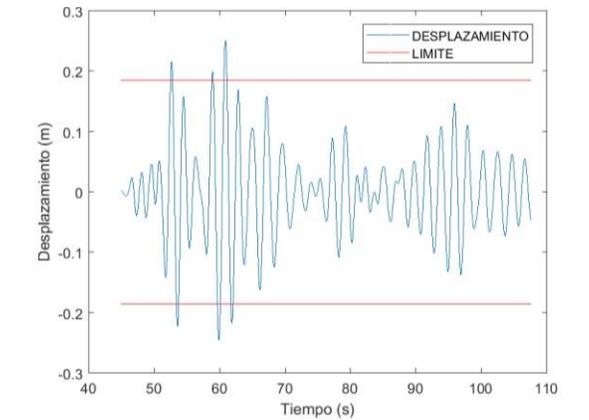


**Figura 36** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 1, se presentan en la Figura 37 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 75 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 220 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 3527.57 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Acapulco, Guerrero en la estación ubicada en una escuela primaria en el Ejido la Zanja cerca del entronque con la autopista Puerto Márquez-México y como a 5 km del aeropuerto. La estación se encuentra a 10 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo depósito barra y además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de 6.0 ( $M=6.0$ ). El archivo del sismo se generó el día 08 de abril de 2014.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 75 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 75 años se utilice un factor de 0.007 multiplicado por la altura ( $H$ ). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.053 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

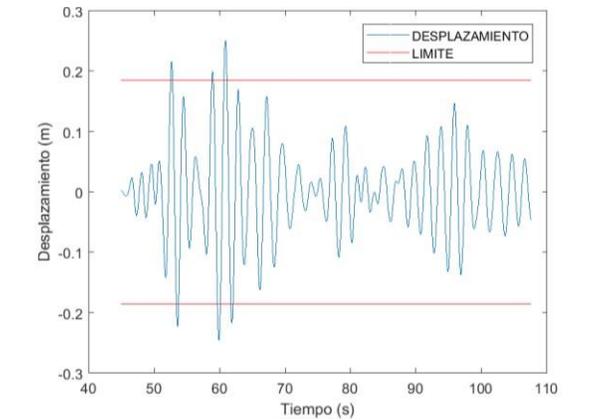


**Figura 37** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 2, se visualizan en la Figura 38 en forma de gráfica. Este sismo está asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata y un periodo de retorno de 75 años. El sismo tuvo una duración de 65.505 s, lo cual es fácil de observar en la gráfica. Además, el tiempo en que se analizó este sismo para el marco con contravientos fue un tiempo de 953.27 s. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo.

El sismo 2, de acuerdo al Instituto de Ingeniería y a su base de datos con más de 20,000 registros, se registró en la estación llamada Caleta de Campos, la cual se encuentra ubicada en Caleta de Campos, michoacana en una Escuela Secundaria Técnica de Pesca. La estación se encuentra situada a una altura de 10 msnm y un suelo tipo roca. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo tuvo una magnitud de la onda corporal (mb) de 6.5 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 6.9. El archivo del sismo se generó el día 16 de junio de 1997.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura en estudio (altura de nodo de 26.5 m). Dichos desplazamientos se encuentran dentro de los límites especificados por el PBSD. Los límites que especifica este diseño para un periodo de retorno de 75 años, es el producto entre un factor que en este caso es de 0.007 por la altura de 26.5 m que tiene el nodo y así, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo en este análisis fue de 0.0502 m, un valor muy por debajo del límite permitido.

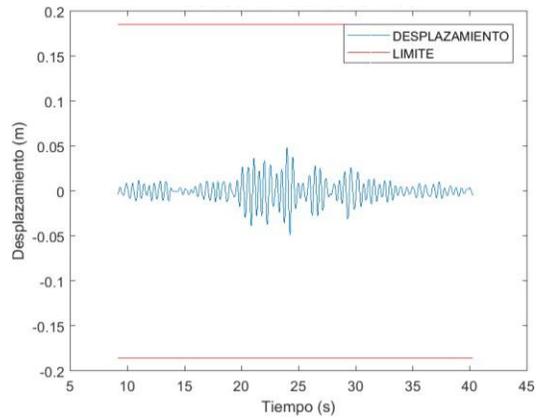


**Figura 38** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años)

Los desplazamientos asociados al marco con contravientos para el sismo 3, se presentan gráficamente por medio de la Figura 39. Este sismo se analizó para un periodo de retorno de 75 años y un nivel de desempeño de ocupación inmediata. Como se observa en la gráfica, el sismo 3 tuvo una duración de 134.41 s y en cuanto al análisis (análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo) se realizó en un tiempo de 993.24 s.

De acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.4, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 6.5 y además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.0. La estación donde se llevó a cabo el registro posee el nombre de ciudad Serdán y se encuentra en el cerro Lomatel en ciudad Serdán, Puebla. El archivo del sismo se generó el día 27 de septiembre de 1999.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura, el cual se encuentra a una altura de 26.5 m. Estos desplazamientos, se muestran en la gráfica junto con el intervalo de los límites especificados por el PBSD. El intervalo de los límites se calculó de acuerdo a la Tabla 10: multiplicación entre el factor que corresponde al periodo de retorno de 75 años (0.007) y la altura del nodo en estudio (26.5 m). El intervalo oscila entre -0.1855 y +0.1855. De acuerdo a los resultados obtenidos el desplazamiento máximo fue de 0.04903 m, un valor muy por debajo del intervalo antes mencionado.

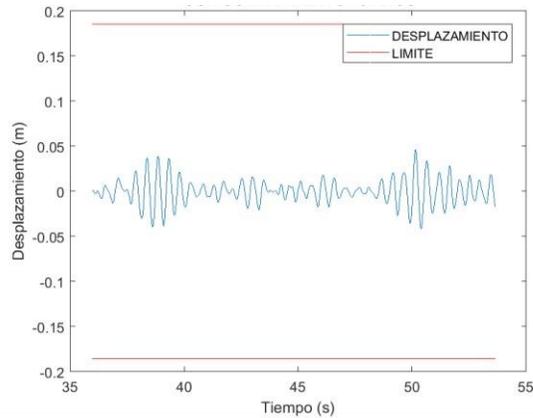


**Figura 39** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años)

El marco con contravientos para el sismo 4 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 40. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 117 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 1980.88 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 4 fue registrado en la Escuela Primaria General Lázaro Cárdenas del Río, a 14 kilómetros de Puerto Escondido rumbo a Pinotepa Nacional en Oaxaca. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.5, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 6.5 y, además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.6. El archivo del sismo se generó el día 04 de octubre de 1999.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSB. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 75 años se considera un factor de 0.007 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.1855 a +0.1855). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.04596 m que se tuvo.

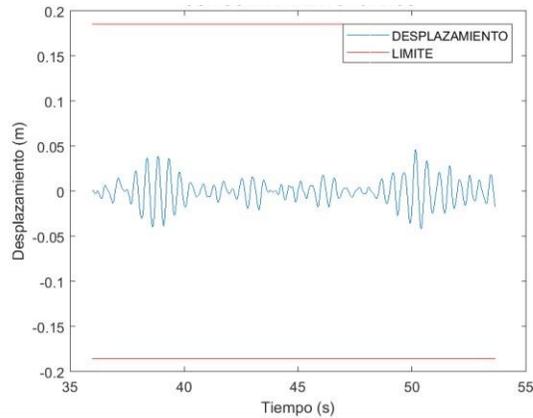


**Figura 40** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 5, se presentan en la Figura 41 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 75 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 177 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 4767.32 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Puebla en la estación ubicada en Parque Habana, calle Parque Habana, Zona Oriente. La estación se encuentra a 2161 msnm y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.4, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 6.3 y, además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 22 de junio de 1999.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 75 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 75 años se utilice un factor de 0.007 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.048 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

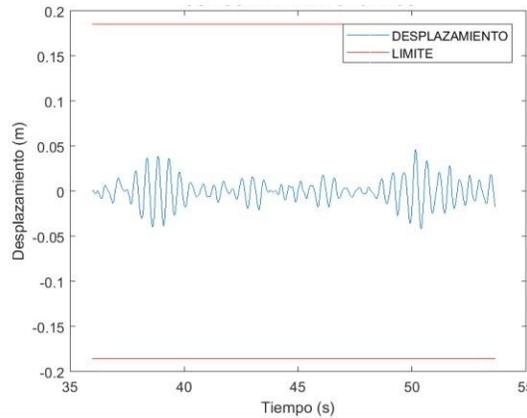


**Figura 41** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 6, se visualizan en la Figura 42 en forma de gráfica. Este sismo está asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata y un periodo de retorno de 75 años. El sismo tuvo una duración de 113 s, lo cual es fácil de observar en la gráfica. Además, el tiempo en que se analizó este sismo para el marco con contravientos fue un tiempo de 2235.34 s. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo.

El sismo 6, de acuerdo al Instituto de Ingeniería y a su base de datos con más de 20,000 registros, se registró en la estación llamada Río Grande, la cual se encuentra ubicada en Oaxaca en la catedral de Río Grande. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo tuvo una magnitud de la onda corporal (mb) de 6.5 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.5. El archivo del sismo se generó el día 04 de octubre de 1999.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura en estudio (altura de nodo de 26.5 m). Dichos desplazamientos se encuentran dentro de los límites especificados por el PBSO. Los límites que especifica este diseño para un periodo de retorno de 75 años, es el producto entre un factor que en este caso es de 0.007 por la altura de 26.5 m que tiene el nodo y así, dando como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855. El desplazamiento máximo en este análisis fue de 0.04691 m, un valor muy por debajo del límite permitido.

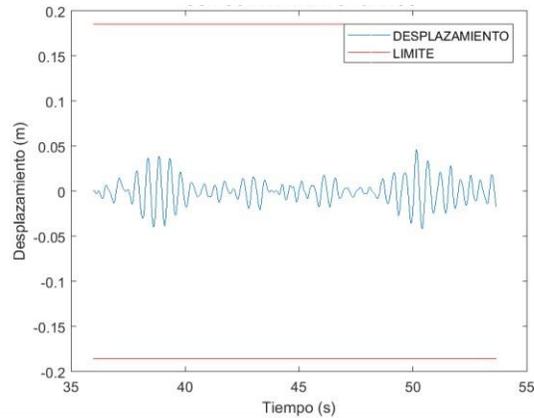


**Figura 42** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años)

Los desplazamientos asociados al marco con contravientos para el sismo 7, se presentan gráficamente por medio de la Figura 43. Este sismo se analizó para un periodo de retorno de 75 años y un nivel de desempeño de ocupación inmediata. Como se observa en la gráfica, el sismo 7 tuvo una duración de 22.14 s y en cuanto al análisis (análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo) se realizó en un tiempo de 84.95 s.

De acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0. La estación donde se llevó a cabo el registro posee el nombre de Caseta Testigo y se encuentra en Lázaro Cárdenas, Michoacán. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura, el cual se encuentra a una altura de 26.5 m. Estos desplazamientos, se muestran en la gráfica junto con el intervalo de los límites especificados por el PBSO. El intervalo de los límites se calculó de acuerdo a la Tabla 10: multiplicación entre el factor que corresponde al periodo de retorno de 75 años (0.007) y la altura del nodo en estudio (26.5 m). El intervalo oscila entre -0.1855 y +0.1855. De acuerdo a los resultados obtenidos el desplazamiento máximo fue de 0.04735 m, un valor muy por debajo del intervalo antes mencionado.

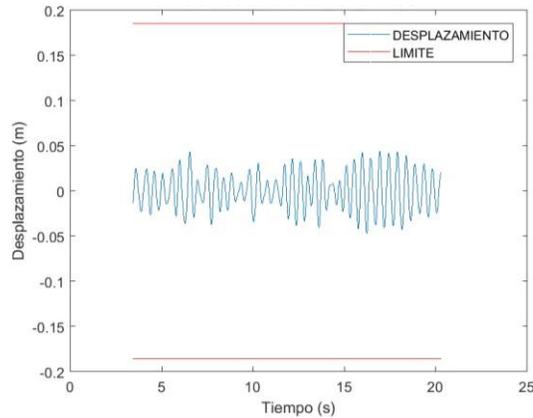


**Figura 43** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años)

El marco con contravientos para el sismo 8 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 44. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 33.84 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 131.85 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 8 fue registrado a 500 m puerta # 1, primera etapa, caseta a 100 m de la planta aceración en Lázaro Cárdenas, Michoacán. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.1 y una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 7.3. El archivo del sismo se generó el día 19 de marzo de 1998.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 75 años se considera un factor de 0.007 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.1855 a +0.1855). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.04695 m que se tuvo.

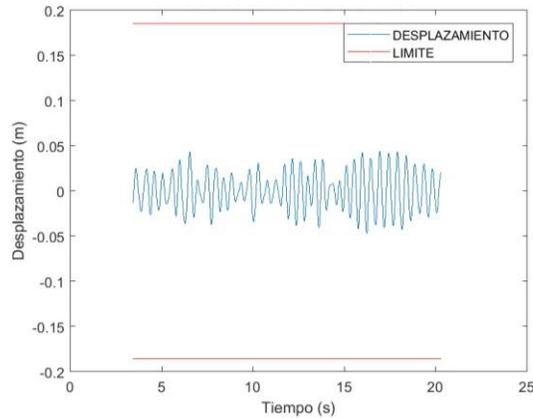


**Figura 44** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 9, se presentan en la Figura 45 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 75 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 22.02 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 85.38 s.

El sismo 9, de acuerdo al Instituto de Ingeniería y a su base de datos con más de 20,000 registros, se registró en la estación llamada Caseta Maestro, la cual se encuentra ubicada en Lázaro Cárdenas, Michoacán en la planta baja del edificio del alto horno. La estación se encuentra situada a una altura de 3 msnm y un suelo tipo arcilla. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo tuvo una magnitud de la onda corporal (mb) de 6.5. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura, el cual se encuentra a una altura de 26.5 m. Estos desplazamientos, se muestran en la gráfica junto con el intervalo de los límites especificados por el PBSB. El intervalo de los límites se calculó de acuerdo a la Tabla 10: multiplicación entre el factor que corresponde al periodo de retorno de 75 años (0.007) y la altura del nodo en estudio (26.5 m). El intervalo oscila entre -0.1855 y +0.1855. De acuerdo a los resultados obtenidos el desplazamiento máximo fue de 0.0472 m, un valor muy por debajo del intervalo antes mencionado.

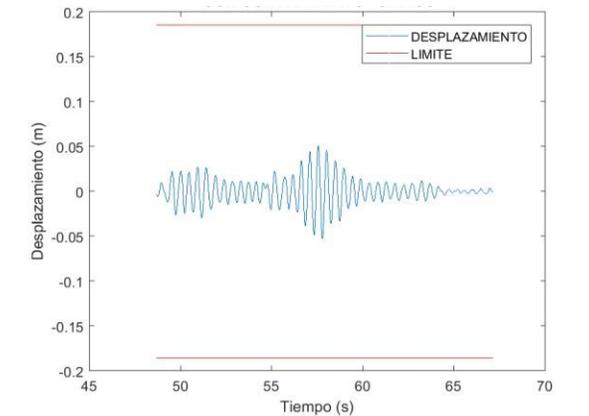


**Figura 45** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 10, se visualizan en la Figura 46 en forma de gráfica. Este sismo está asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata y un periodo de retorno de 75 años. El sismo tuvo una duración de 161 s, lo cual es fácil de observar en la gráfica. Además, el tiempo en que se analizó este sismo para el marco con contravientos fue un tiempo de 2878.41 s. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo.

De acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.5, también, una magnitud de ondas de superficie (ms) de 5.2 y, además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.6. La estación donde se llevó a cabo el registro posee el nombre de Tamazulapan y se encuentra a 7 kilómetros de ciudad de Miahuatlán en Oaxaca. La estación tiene una altura de 1699 msnm y está situada sobre un suelo tipo roca. El archivo del sismo se generó el día 05 de octubre de 1999.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSO. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 75 años se considera un factor de 0.007 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.1855 a +0.1855). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.05252 m que se tuvo.

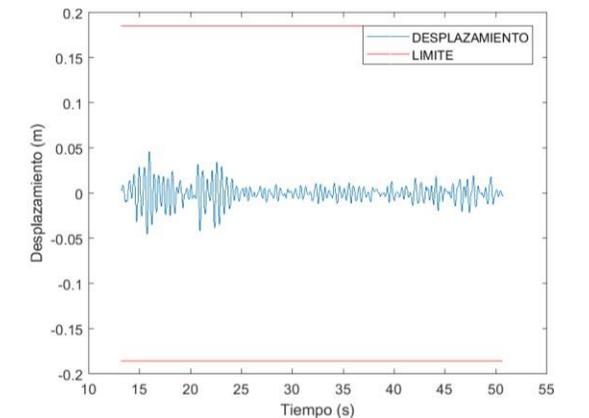


**Figura 46** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 11, se presentan en la Figura 47 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 75 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 146.38 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 1195.04 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró a 10 kilómetros de Lázaro Cárdenas en Michoacán en la estación ubicada en la Escuela Primaria Zacatula. La estación se encuentra a 40 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo arcilla compacta y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.8, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 8.10 y, además, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 03 de marzo de 1997.

El PBSO, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 75 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 75 años se utilice un factor de 0.007 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.1855 a +0.1855 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.04624 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.



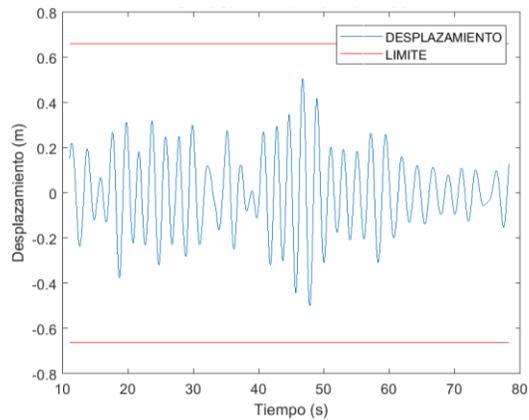
**Figura 47** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años)

### 3.6.8. Desplazamientos para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida

Los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 1, se pueden observar en la Figura 48. De acuerdo a los datos proporcionados de la selección de sismos, este sismo está asociado con un periodo de retorno de 475 años, y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. El sismo tuvo una duración de 143.19 s como se puede apreciar en la gráfica. Para la obtención de estos resultados, se analizó el marco resistente a momento mediante un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y el tiempo en que se realizó dicho análisis fue de 790.17 s.

De acuerdo a la base de datos que se utilizó del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo fue leído en la estación llamada central de abastos frigorífico la cual se encuentra en la colonia San José Aculco en México, D.F. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y en suelo tipo arcilla. Además, se tiene registro que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 26 de febrero de 1997.

En la estructura de acero el nodo superior derecho asumió un papel muy importante ya que en ese punto se estudiaron los desplazamientos que se presentan en el gráfico. Junto con los desplazamientos aparecen los límites expuestos por el PBSD. De acuerdo a este diseño, el límite para un periodo de retorno de 475 años se calculó multiplicando un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m que es donde se encuentra el nodo. El resultado de este producto fue un intervalo que oscila entre -0.6625 y +0.6625. Por lo tanto, los desplazamientos se encuentran dentro de este rango, ya que el desplazamiento máximo que se presentó fue de 0.51 m.

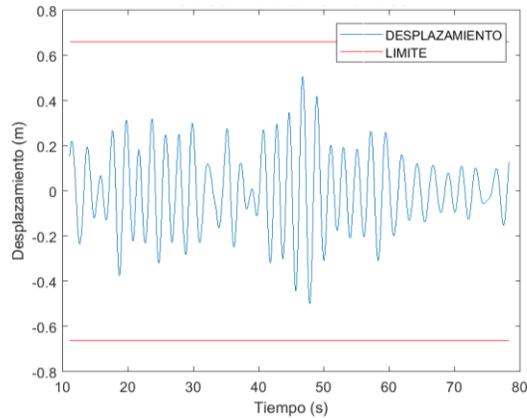


**Figura 48** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años)

El marco resistente a momento para el sismo 2 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, presenta los desplazamientos que se observan en la gráfica de la Figura 49. Para la obtención de este resultado se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. De acuerdo al programa de elementos finitos Sap2000 V14, este análisis se realizó en un tiempo de 1553.25 s para un sismo que tuvo una duración de 84.64 s.

El sismo antes mencionado se registró en la base de datos del Instituto de Ingeniería el día 06 de mayo de 1998. Dicho se registró se llevó a cabo en una estación ubicada en Chilpancingo, Guerrero. La estación se encuentra a una altitud de 1360 msnm y esta plantada sobre un suelo tipo roca. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10.

Los desplazamientos se muestran en la siguiente gráfica como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia que los desplazamientos no sobrepasan los límites recomendados por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.47 m, lo cual está por debajo del intervalo de -0.6625 a +0.6625. El intervalo se calculó mediante la ayuda de la Tabla 10, la cual especifica realizar un producto entre el factor de 0.025 por la altura que en este caso es el nodo superior de la estructura de acero.

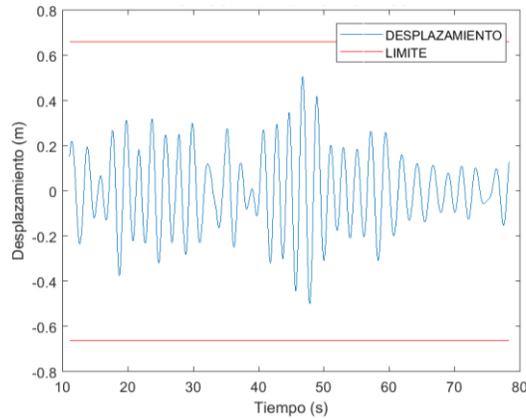


**Figura 49** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años)

Los desplazamientos relacionados al sismo 3 para el marco resistente a momento y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en la Figura 50. Para la obtención de estos desplazamientos se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo, lo cual tardó un tiempo de 604.55 s, esto de acuerdo al programa Sap2000 V14. El sismo 3 tuvo una duración de 84.64 s como se puede observar en la gráfica.

El sismo 3, se registró en Chilpancingo, Guerrero en la estación de medición llamada Chilpancingo. Dicha estación se encuentra a una altura de 1360 msnm y se localiza en un suelo tipo roca. Los datos mencionados anteriormente se proporcionaron de acuerdo a la información que tiene almacenada la base de datos del Instituto de Ingeniería. El archivo del sismo se generó el día 06 de mayo de 1998.

Observando la gráfica de la Figura 50, se apreció que los desplazamientos en el nodo superior de la estructura de acero durante un periodo de tiempo de 84.66 s no rebasaron los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se presentó en este caso fue de 0.49 m, un valor por debajo del intervalo que se permite para una estructura de acero relaciona a un nivel de desempeño de seguridad de vida (-0.6625 a + 0.6625).

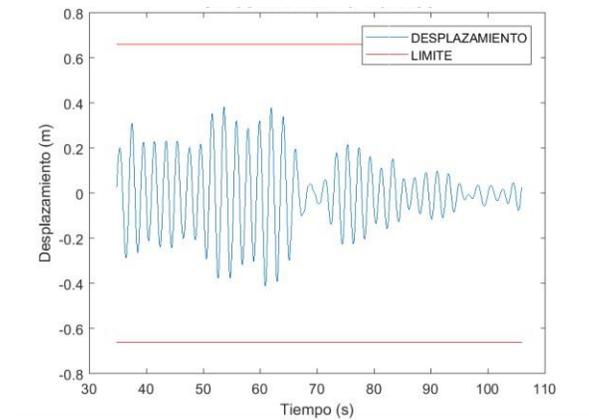


**Figura 50** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años)

Los desplazamientos para el marco resistente a momento del sismo 4 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en forma gráfica en la Figura 51. Dichos desplazamientos se obtuvieron después de haber realizado un análisis dinámico no lineal. El análisis se realizó por medio del programa Sap2000 V14, el cual duro un tiempo aproximado de 1659.34 s en analizar este sismo, dicho sismo tuvo una lectura de duración de 183.51 s de acuerdo al registro.

De acuerdo a los datos anexados en la base de datos del Instituto de Ingeniería este sismo se registró en un estacionamiento de un edificio de la Secretaría de Comunicación y Transporte (SCT) en México, D.F., por medio de una estación llamada SCT1, la cual se encuentra a una altitud de 2240 msnm y en un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 26 de febrero de 1997.

De acuerdo a los resultados presentados en la gráfica de la Figura 51, el desplazamiento máximo se presentó en el intervalo del tiempo entre 50 y 60 s del sismo y tuvo un valor de 0.41 m. De acuerdo a los límites recomendados por el Diseño sísmico Basado en Desempeño, este desplazamiento máximo se encuentra dentro del intervalo recomendado. Dicho intervalo oscila entre -0.6625 y +0.6625 y es el resultado de multiplicar el factor 0.025 por la altura del nodo en estudio (26.5 m).

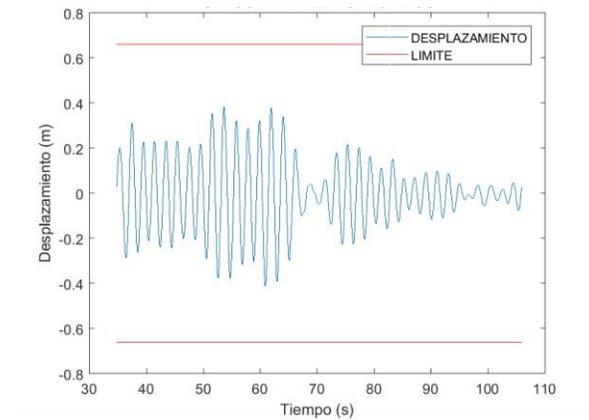


**Figura 51** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 5, se pueden observar en la Figura 52. De acuerdo a los datos proporcionados de la selección de sismos, este sismo está asociado con un periodo de retorno de 475 años, y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. El sismo tuvo una duración de 150.03 s como se puede apreciar en la gráfica. Para la obtención de estos resultados, se analizó el marco resistente a momento mediante un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y el tiempo en que se realizó dicho análisis fue de 608.26 s.

De acuerdo a la base de datos que se utilizó del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo fue leído en la estación llamada SCT1 la cual se encuentra en el estacionamiento del edificio de SCT en México, D.F. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y en suelo tipo arcilla. Además, se tiene registro que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

En la estructura de acero el nodo superior derecho asumió un papel muy importante ya que en ese punto se estudiaron los desplazamientos que se presentan en el gráfico. Junto con los desplazamientos aparecen los límites expuestos por el PBSO. De acuerdo a este diseño, el límite para un periodo de retorno de 475 años se calculó multiplicando un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m que es donde se encuentra el nodo. El resultado de este producto fue un intervalo que oscila entre -0.6625 y +0.6625. Por lo tanto, los desplazamientos se encuentran dentro de este rango, ya que el desplazamiento máximo que se presentó fue de 0.46 m.

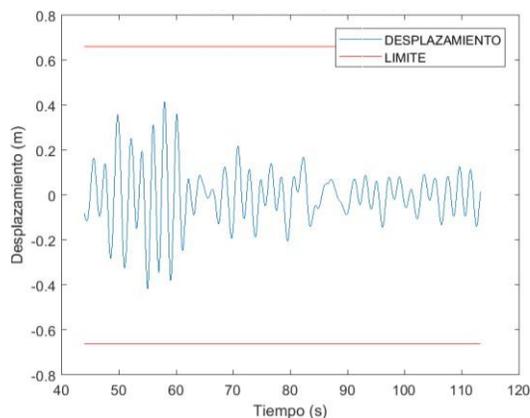


**Figura 52** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años)

El marco resistente a momento para el sismo 6 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, presenta los desplazamientos que se observan en la gráfica de la Figura 53. Para la obtención de este resultado se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. De acuerdo al programa de elementos finitos Sap2000 V14, este análisis se realizó en un tiempo de 1004.26 s para un sismo que tuvo una duración de 150.03 s.

El sismo antes mencionado se registró en la base de datos del Instituto de Ingeniería el día 12 de marzo de 1998. Dicho se registró se llevó a cabo en una estación ubicada en Tláhuac, México, D.F. La estación se encuentra a una altitud de 2240 msnm y esta plantada sobre un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10.

Los desplazamientos se muestran en la siguiente gráfica como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia que los desplazamientos no sobrepasan los límites recomendados por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.42 m, lo cual está por debajo del intervalo de -0.6625 a +0.6625. El intervalo se calculó mediante la ayuda de la Tabla 10, la cual especifica realizar un producto entre el factor de 0.025 por la altura que en este caso es el nodo superior de la estructura de acero.

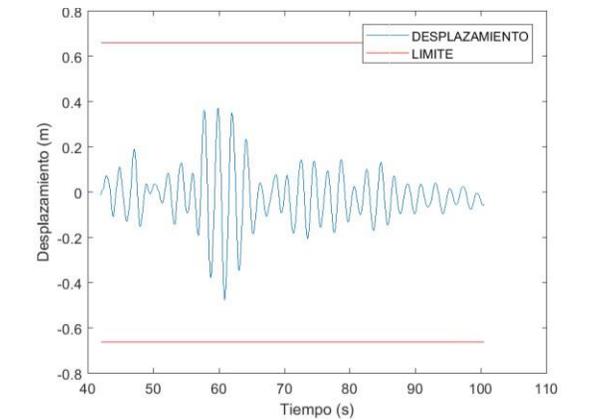


**Figura 53** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años)

Los desplazamientos relacionados al sismo 7 para el marco resistente a momento y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en la Figura 54. Para la obtención de estos desplazamientos se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo, lo cual tardó un tiempo de 438.70 s, esto de acuerdo al programa Sap2000 V14. El sismo 3 tuvo una duración de 150.03 s como se puede observar en la gráfica.

El sismo 7, se registró en Tláhuac, México, D.F. en la estación de medición llamada Tláhuac Deportivo. Dicha estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y se localiza en un suelo tipo arcilla. Los datos mencionados anteriormente se proporcionaron de acuerdo a la información que tiene almacenada la base de datos del Instituto de Ingeniería. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Observando la gráfica de la Figura 54, se apreció que los desplazamientos en el nodo superior de la estructura de acero durante un periodo de tiempo de 150.03 s no rebasaron los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se presentó en este caso fue de 0.48 m, un valor por debajo del intervalo que se permite para una estructura de acero relaciona a un nivel de desempeño de seguridad de vida (-0.6625 a + 0.6625).

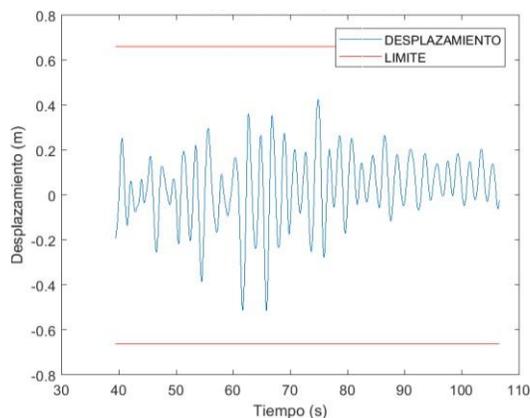


**Figura 54** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años)

Los desplazamientos para el marco resistente a momento del sismo 8 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en forma gráfica en la Figura 55. Dichos desplazamientos se obtuvieron después de haber realizado un análisis dinámico no lineal. El análisis se realizó por medio del programa Sap2000 V14, el cual duro un tiempo aproximado de 9538.18 s en analizar este sismo, dicho sismo tuvo una lectura de duración de 150.03 s de acuerdo al registro.

De acuerdo a los datos anexados en la base de datos del Instituto de Ingeniería este sismo se registró a 5 m de la avenida Tláhuac en México, D.F., por medio de una estación llamada Tláhuac Deportivo, la cual se encuentra a una altitud de 2240 msnm y en un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

De acuerdo a los resultados presentados en la gráfica de la Figura 55, el desplazamiento máximo se presentó en el intervalo del tiempo entre 60 y 70 s del sismo y tuvo un valor de 0.51 m. De acuerdo a los límites recomendados por el Diseño sísmico Basado en Desempeño, este desplazamiento máximo se encuentra dentro del intervalo recomendado. Dicho intervalo oscila entre -0.6625 y +0.6625 y es el resultado de multiplicar el factor 0.025 por la altura del nodo en estudio (26.5 m).

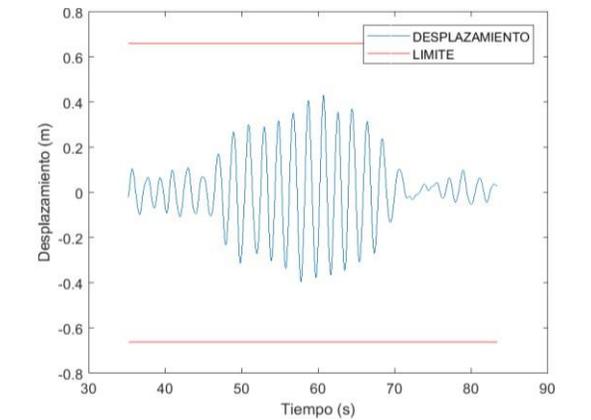


**Figura 55** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 9, se pueden observar en la Figura 56. De acuerdo a los datos proporcionados de la selección de sismos, este sismo está asociado con un periodo de retorno de 475 años, y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. El sismo tuvo una duración de 121.32 s como se puede apreciar en la gráfica. Para la obtención de estos resultados, se analizó el marco resistente a momento mediante un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y el tiempo en que se realizó dicho análisis fue de 493.67 s.

El sismo antes mencionado se registró en la base de datos del Instituto de Ingeniería el día 12 de marzo de 1998. Dicho se registró se llevó a cabo en una estación ubicada en Tláhuac, México, D.F. La estación se encuentra a una altitud de 2240 msnm y esta plantada sobre un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10.

Observando la gráfica de la Figura 56, se apreció que los desplazamientos en el nodo superior de la estructura de acero durante un periodo de tiempo de 121.32 s no rebasaran los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se presentó en este caso fue de 0.43 m, un valor por debajo del intervalo que se permite para una estructura de acero relaciona a un nivel de desempeño de seguridad de vida (-0.6625 a + 0.6625).

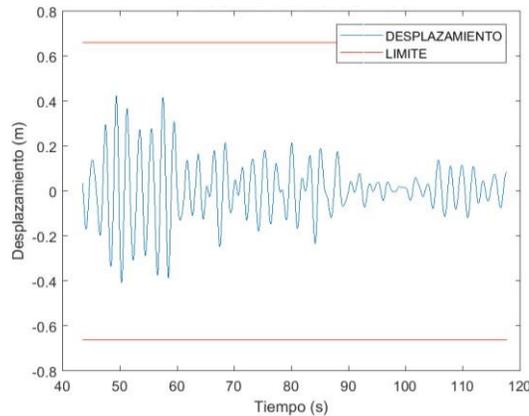


**Figura 56** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años)

El marco resistente a momento para el sismo 10 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, presenta los desplazamientos que se observan en la gráfica de la Figura 57. Para la obtención de este resultado se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. De acuerdo al programa de elementos finitos Sap2000 V14, este análisis se realizó en un tiempo de 982.88 s para un sismo que tuvo una duración de 214.11 s.

El sismo 10, se registró en Texcoco, Estado de México en la estación de medición llamada Texcoco, Sosa. Dicha estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y se localiza en un suelo tipo arcilla. Los datos mencionados anteriormente se proporcionaron de acuerdo a la información que tiene almacenada la base de datos del Instituto de Ingeniería. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

De acuerdo a los resultados presentados en la gráfica de la Figura 57, el desplazamiento máximo se presentó en el intervalo del tiempo entre 50 y 60 s del sismo y tuvo un valor de 0.42 m. De acuerdo a los límites recomendados por el Diseño sísmico Basado en Desempeño, este desplazamiento máximo se encuentra dentro del intervalo recomendado. Dicho intervalo oscila entre -0.6625 y +0.6625 y es el resultado de multiplicar el factor 0.025 por la altura del nodo en estudio (26.5 m).

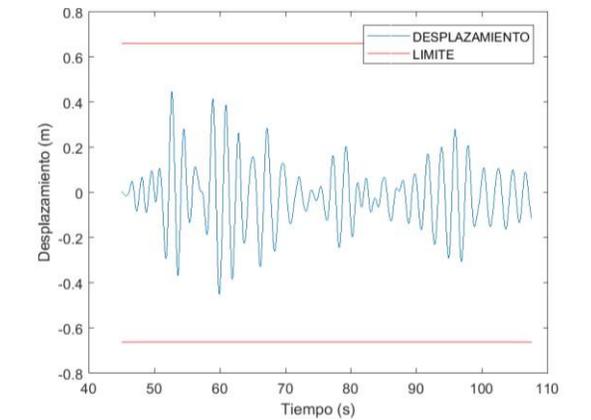


**Figura 57** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años)

Los desplazamientos relacionados al sismo 11 para el marco resistente a momento y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en la Figura 58. Para la obtención de estos desplazamientos se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo, lo cual tardó un tiempo de 1764.82 s, esto de acuerdo al programa Sap2000 V14. El sismo 3, tuvo una duración de 214.11 s como se puede observar en la gráfica.

De acuerdo a los datos anexados en la base de datos del Instituto de Ingeniería este sismo se registró a 5 m de la orilla del caracol en Texcoco, Estado de México, por medio de una estación llamada Texcoco (Sosa), la cual se encuentra a una altitud de 2240 msnm y en un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

En la estructura de acero el nodo superior derecho asumió un papel muy importante ya que en ese punto se estudiaron los desplazamientos que se presentan en el gráfico. Junto con los desplazamientos aparecen los límites expuestos por el PBSD. De acuerdo a este diseño, el límite para un periodo de retorno de 475 años se calculó multiplicando un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m que es donde se encuentra el nodo. El resultado de este producto fue un intervalo que oscila entre -0.6625 y +0.6625. Por lo tanto, los desplazamientos se encuentran dentro de este rango, ya que el desplazamiento máximo que se presentó fue de 0.45 m.

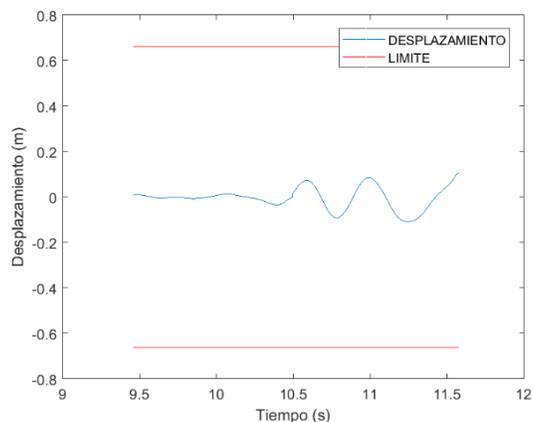


**Figura 58** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años)

Los resultados que aparecen en la gráfica de la Figura 59, pertenecen a los desplazamientos asociados al marco con contravientos para un nivel de desempeño para un nivel de desempeño de seguridad de vida. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal por medio del software comercial Sap2000. En dicha gráfica se puede observar que el sismo transcurrió en un tiempo de 18.96 s de acuerdo a los datos obtenidos del registro. En cuanto al análisis se ejecutó en un tiempo de 173.93 s.

El sismo en estudio se registró en Guerrero y su lectura se llevó a cabo mediante una estación colocada en la Dirección de Policía y Tránsito. La estación se encuentra a una altitud de 20 msnm y en un suelo tipo aluvial. En cuanto a la magnitud de registro de este sismo se registró que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 5.50 y de acuerdo al Instituto de Ingeniería ocurrió el día 12 de marzo 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura de acero, dicho nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. En la Figura 59 es fácil observar que los desplazamientos se encuentran dentro de los límites recomendados en el Diseño sísmico Basado en Desempeño. El cálculo del intervalo de estos límites se llevó a cabo de acuerdo a la recomendación de la Tabla 10, dicha recomendación es multiplicar un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 y si este intervalo lo comparamos con el desplazamiento máximo obtenido que fue de 0.11 m, se puede notar lo excedida que esta la estructura de acero con contravientos en cuanto a la variable de desplazamiento para este sismo en particular.

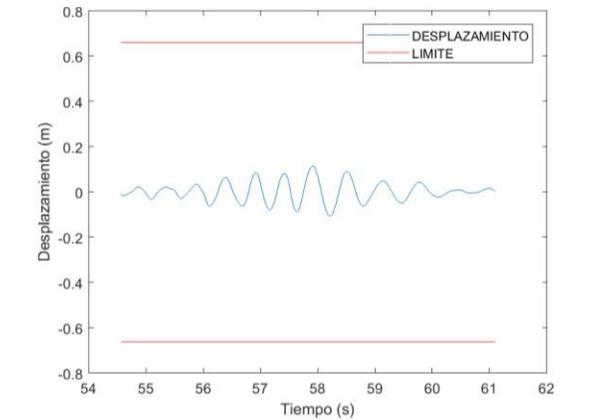


**Figura 59** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años)

El marco con contravientos asociado al sismo 2, presentó desplazamientos muy por debajo de los límites. Lo anterior se puede observar en la Figura 60 de manera gráfica. El sismo 2 tuvo una duración de 220 s de acuerdo al Instituto de Ingeniería. Para presentar estos resultados se utilizó un análisis dinámico no lineal, por motivo de modelar la estructura lo más real posible al momento de efectuarse un sismo. En el caso particular de esta estructura asociada al sismo 2, el análisis se ejecutó en un tiempo de 6019.90 s.

La información del sismo 2 se extrajo de la base de datos del Instituto de Ingeniería y como dato relevante se encontró el lugar en donde se realizó su lectura. El registro del sismo 2 se creó en Acapulco, Guerrero en una Escuela Primaria en el Ejido la Zanja por medio de una estación llamada Acapulco la zanja. La estación se encuentra a 10 msnm y en suelo tipo deposito barra. Otro dato de suma importancia es la magnitud de este sismo, la cual fue de 6.0. El archivo del sismo se generó el día 08 de abril de 2014.

Los desplazamientos mostrados en la gráfica, se obtuvieron del nodo superior derecho de la estructura de acero ya que se consideró el nodo más susceptible ante la efectuación del sismo. En la gráfica se observan los intervalos que los desplazamientos no pueden exceder y para el cálculo de ese intervalo fue útil la Tabla 10. De acuerdo a esta tabla se utilizó un factor de 0.025 multiplicado por la altura de 26.5 m (altura de nodo en estudio) dando como resultado un intervalo entre -0.6625 y +0.6625. En cuanto al desplazamiento máximo, se observó que tuvo un valor de 0.12 m y en contraste con el intervalo sugerido este es un valor por debajo significativamente.

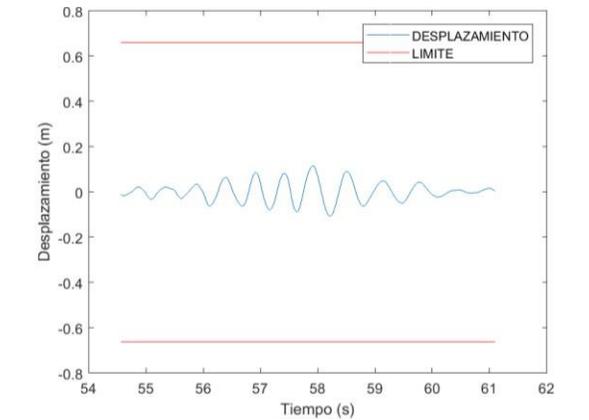


**Figura 60** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 3, se presentan en la Figura 61 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 475 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 65.505 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 1264.14 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Caleta de Campos, Michoacán en la estación ubicada en una Escuela Secundaria Técnica 68 de Pesca. La estación se encuentra a 10 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo roca y además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.0 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 6.9. El archivo del sismo se generó el día 16 de junio de 1997.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 475 años se utilice un factor de 0.025 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.11 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

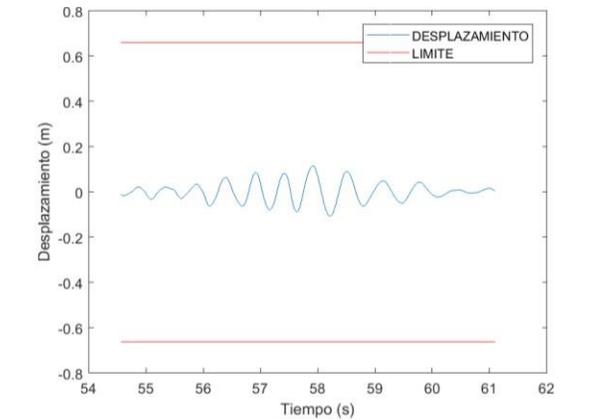


**Figura 61** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años)

El marco con contravientos para el sismo 4 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 62. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 117 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 2553.13 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 4 fue registrado en la Escuela Primaria General Lázaro Cárdenas del Río, a 14 kilómetros de Puerto Escondido rumbo a Pinotepa Nacional en Oaxaca. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.5, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 6.5 y además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.6. El archivo del sismo se generó el día 04 de octubre de 1999.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 475 años se considera un factor de 0.025 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.6625 a +0.6625). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.093 m que se tuvo.

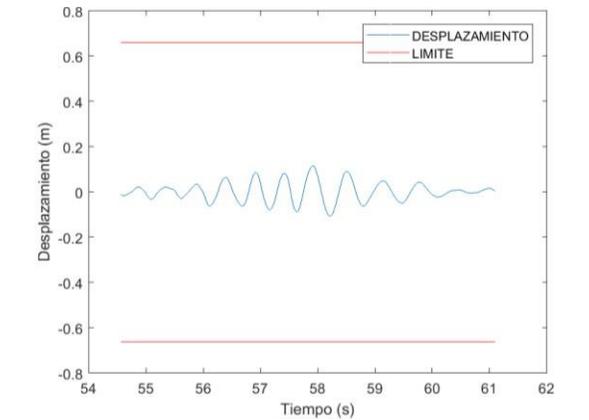


**Figura 62** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años)

Los resultados que aparecen en la gráfica de la Figura 63, pertenecen a los desplazamientos asociados al marco con contravientos para un nivel de desempeño de seguridad de vida. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal por medio del software comercial Sap2000. En dicha gráfica se puede observar que el sismo transcurrió en un tiempo de 22.14 s de acuerdo a los datos obtenidos del registro. En cuanto al análisis se ejecutó en un tiempo de 79131.20 s.

El sismo en estudio se registró en Lázaro Cárdenas, Michoacán y su lectura se llevó a cabo mediante una estación colocada en la planta aceracion SICARTSA. La estación se encuentra a una altitud de 5 msnm y en un suelo tipo aluvial. En cuanto a la magnitud de registro de este sismo se registró que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0 y de acuerdo al Instituto de Ingeniería ocurrió el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura de acero, dicho nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. En la Figura 63 es fácil observar que los desplazamientos se encuentran dentro de los límites recomendados en el Diseño sísmico Basado en Desempeño. El cálculo del intervalo de estos límites se llevó a cabo de acuerdo a la recomendación de la Tabla 10, dicha recomendación es multiplicar un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 y si este intervalo lo comparamos con el desplazamiento máximo obtenido que fue de 0.11 m, se puede notar lo excedida que esta la estructura de acero con contravientos en cuanto a la variable de desplazamiento para este sismo en particular.

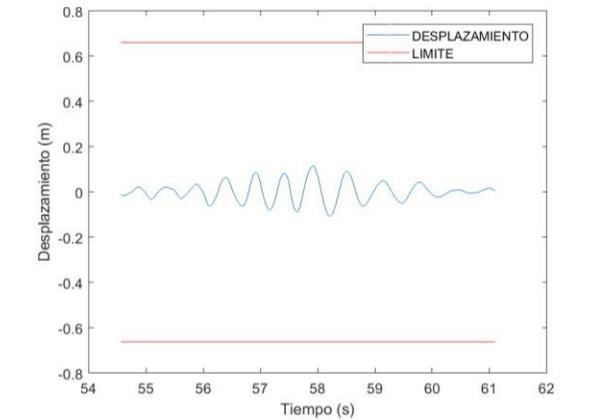


**Figura 63** Desplazamientos Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años)

El marco con contravientos asociado al sismo 6, presentó desplazamientos muy por debajo de los límites. Lo anterior se puede observar en la Figura 64 de manera gráfica. El sismo 6 tuvo una duración de 22.14 s de acuerdo al Instituto de Ingeniería. Para presentar estos resultados se utilizó un análisis dinámico no lineal, por motivo de modelar la estructura lo más real posible al momento de efectuarse un sismo. En el caso particular de esta estructura asociada al sismo 6, el análisis se ejecutó en un tiempo de 125.38 s.

La información del sismo 6 se extrajo de la base de datos del Instituto de Ingeniería y como dato relevante se encontró el lugar en donde se realizó su lectura. El registro del sismo 6 se creó en Lázaro, Cárdenas, Michoacán en la planta aceración SICARTSA por medio de una estación llamada SICARTSA Caseta testigo. La estación se encuentra a 5 msnm y en suelo tipo aluvial. Otro dato de suma importancia es la magnitud de onda corporal (mb) de este sismo, la cual fue de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos mostrados en la gráfica, se obtuvieron del nodo superior derecho de la estructura de acero ya que se consideró el nodo más susceptible ante la efectuación del sismo. En la gráfica se observan los intervalos que los desplazamientos no pueden exceder y para el cálculo de ese intervalo fue útil la Tabla 10. De acuerdo a esta tabla se utilizó un factor de 0.025 multiplicado por la altura de 26.5 m (altura de nodo en estudio) dando como resultado un intervalo entre -0.6625 y +0.6625. En cuanto al desplazamiento máximo, se observó que tuvo un valor de 0.093 m y en contraste con el intervalo sugerido este es un valor por debajo significativamente.

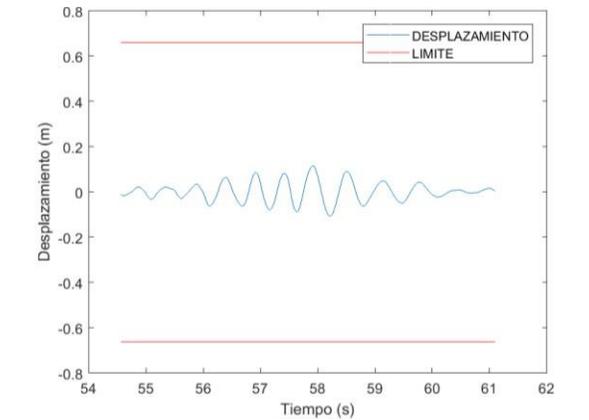


**Figura 64** Desplazamientos Marco Con Contraviento (Sismo 6 - 475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 7, se presentan en la Figura 65 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 475 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 33.84 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 217.32 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Lázaro Cárdenas, Michoacán en la estación ubicada en la planta aceración SICARTSA. La estación se encuentra a 5 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo aluvial y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.10 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.30. El archivo del sismo se generó el día 19 de marzo de 1998.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 475 años se utilice un factor de 0.025 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.091 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

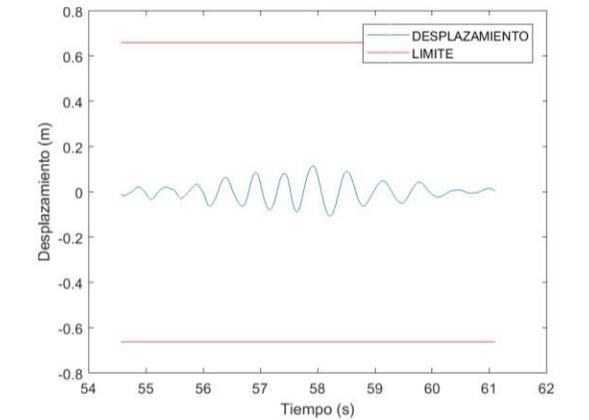


**Figura 65** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 7 - 475 años)

El marco con contravientos para el sismo 8 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 66. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 22.02 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 320.52 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 8 fue registrado en Lázaro Cárdenas, Michoacán. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 475 años se considera un factor de 0.025 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.6625 a +0.6625). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.11 m que se tuvo.

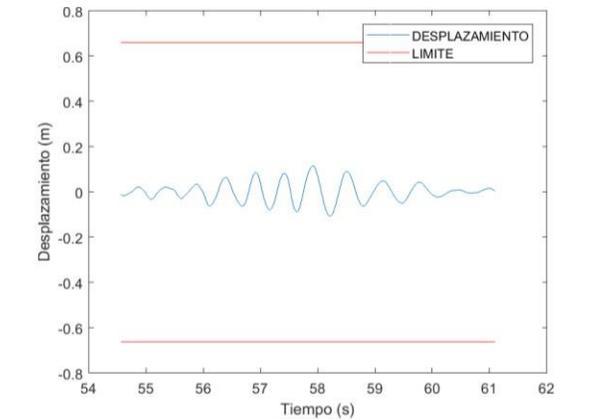


**Figura 66** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 8 - 475 años)

Los resultados que aparecen en la gráfica de la Figura 67, pertenecen a los desplazamientos asociados al marco con contravientos para un nivel de desempeño de seguridad de vida. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal por medio del software comercial Sap2000. En dicha gráfica se puede observar que el sismo transcurrió en un tiempo de 22.02 s de acuerdo a los datos obtenidos del registro. En cuanto al análisis se ejecutó en un tiempo de 129.20 s.

La información del sismo 9 se extrajo de la base de datos del Instituto de Ingeniería y como dato relevante se encontró el lugar en donde se realizó su lectura. El registro del sismo 9 se creó en Lázaro Cárdenas, Michoacán en Planta baja del edificio del alto horno por medio de una estación llamada Acapulco la zanja. La estación se encuentra a 3 msnm y en suelo tipo aluvial. Otro dato de suma importancia es la magnitud de onda corporal (mb) de este sismo, la cual fue de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

El PBSD, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 475 años se utilice un factor de 0.025 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.093 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

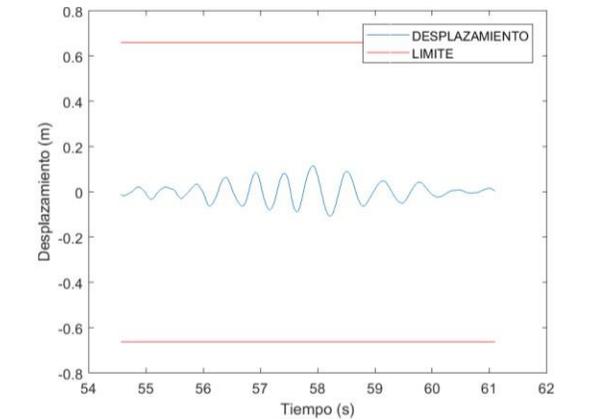


**Figura 67** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 9 - 475 años)

El marco con contravientos asociado al sismo 10, presentó desplazamientos muy por debajo de los límites. Lo anterior se puede observar en la Figura 68 de manera gráfica. El sismo 10 tuvo una duración de 161 s de acuerdo al Instituto de Ingeniería. Para presentar estos resultados se utilizó un análisis dinámico no lineal, por motivo de modelar la estructura lo más real posible al momento de efectuarse un sismo. En el caso particular de esta estructura asociada al sismo 10, el análisis se ejecutó en un tiempo de 6473.24 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró a 7 kilómetros de la ciudad de Miahuatlán, Oaxaca en la estación ubicada sobre la carretera a Pochutla en un terreno de propiedad privada. La estación se encuentra a 1699 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo roca y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.5 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.5. El archivo del sismo se generó el día 05 de octubre de 1999.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 475 años se considera un factor de 0.025 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-0.6625 a +0.6625). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.12 m que se tuvo.

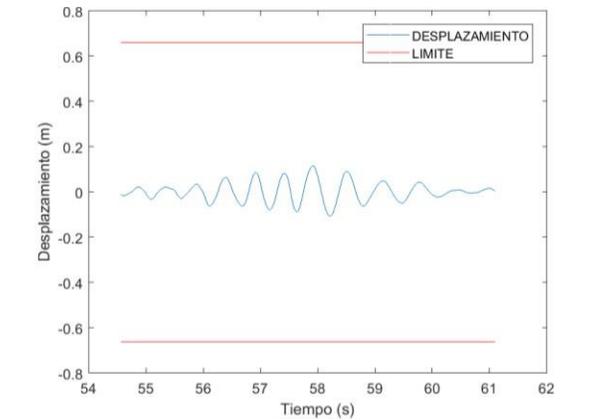


**Figura 68** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 10 - 475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 11, se presentan en la Figura 69 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 475 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de seguridad de vida. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 146.38 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 1670.59 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 11 fue registrado en la Escuela Primaria Zacatula, a 10 kilómetros de Lázaro Cárdenas, Michoacán. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 8.10 y, además, una magnitud de coda (mc) con un valor de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 03 de marzo de 1997.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura de acero, dicho nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. En la Figura 69 es fácil observar que los desplazamientos se encuentran dentro de los límites recomendados en el Diseño sísmico Basado en Desempeño. El cálculo del intervalo de estos límites se llevó a cabo de acuerdo a la recomendación de la Tabla 10, dicha recomendación es multiplicar un factor de 0.025 por la altura de 26.5 m teniendo como resultado un intervalo de -0.6625 a +0.6625 y si este intervalo lo comparamos con el desplazamiento máximo obtenido que fue de 0.09 m, se puede notar lo excedida que esta la estructura de acero con contravientos en cuanto a la variable de desplazamiento para este sismo en particular.



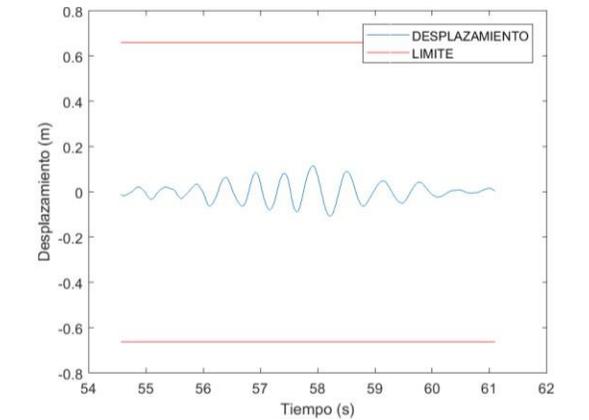
**Figura 69** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 11 - 475 años)

### 3.6.9. Desplazamientos para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso.

Los desplazamientos del marco resistente a momento del sismo 1 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso con un periodo de retorno de 2475 años, se pueden observar en la Figura 70. El sismo que se analizó para el resultado de estos desplazamientos, tuvo una duración de 143.19 segundos (s). En cuanto al tiempo del análisis estructural en el programa Sap2000 V14 para el sismo 1 del marco resistente a momento asociado a la variable de desplazamiento, tuvo una duración de 821.08 s. En dicho análisis se utilizó un factor de escala de 2.97, el cual se introdujo en el software comercial, con el fin de obtener mejores resultados y amplificar el sismo.

El sismo analizado, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, se registró en México, D.F., en una caseta ubicada en la central de abastos en la colonia San José Aculco con coordenadas 19.366 LAT. N y 99.086 LONG. W. La estación de registro se encuentra a una altitud de 10 msnm en un suelo tipo roca. El archivo del sismo se generó el día 26 de febrero de 1997. El archivo del sismo se generó el día 26 de febrero de 1997.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros); el análisis que se realizó es un análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo. Los resultados de estos desplazamientos se pueden visualizar en la siguiente gráfica, como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia claramente que se encuentran dentro de los límites especificados por el PBSB. De acuerdo a la tabla mostrada en la sección anterior, el límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.05 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325. El desplazamiento máximo que se obtuvo y que está dentro de los límites fue de 0.86 m.

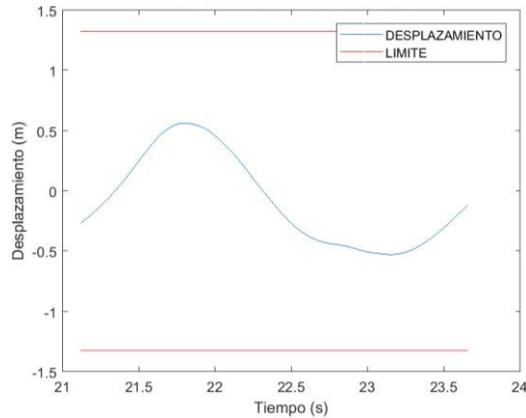


**Figura 70** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 2, se pueden observar en la Figura 71. De acuerdo a los datos proporcionados de la selección de sismos, este sismo está asociado con un periodo de retorno de 2475 años, y por consiguiente a un nivel de desempeño de prevención de colapso. El sismo tuvo una duración de 84.64 s como se puede apreciar en la gráfica. Para la obtención de estos resultados, se analizó el marco resistente a momento mediante un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y el tiempo en que se realizó dicho análisis fue de 1044.66 s.

De acuerdo a la base de datos que se utilizó del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo fue leído en la estación llamada Chilpancingo la cual se encuentra a 3 cuadras del zócalo en Chilpancingo, Guerrero. La estación se encuentra a una altura de 1360 msnm y en suelo tipo roca. Además, se tiene registro que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 06 de mayo de 1998.

En la estructura de acero el nodo superior derecho asumió un papel muy importante ya que en ese punto se estudiaron los desplazamientos que se presentan en el gráfico. Junto con los desplazamientos aparecen los límites expuestos por el PBSD. De acuerdo a este diseño, el límite para un periodo de retorno de 2475 años se calculó multiplicando un factor de 0.05 por la altura de 26.5 m que es donde se encuentra el nodo. El resultado de este producto fue un intervalo que oscila entre -1.325 y +1.325. Por lo tanto, los desplazamientos se encuentran dentro de este rango, ya que el desplazamiento máximo que se presentó fue de 0.56 m.

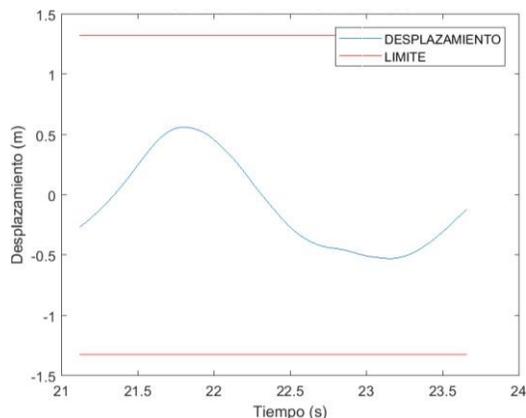


**Figura 71** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 2475 años)

En la Figura 72 se muestran los resultados para el marco resistente a momento asociado al sismo 3 y un nivel de desempeño de prevención de colapso con un periodo de retorno de 2475 años, de los desplazamientos. El sismo que se analizó para la variable anteriormente mencionada tuvo una duración de 84.64 segundos (s). Un aspecto importante en cuanto al análisis estructural, es el tiempo de duración del programa Sap2000 en analizar la estructura en estudio, dicho tiempo tuvo una duración de 308.81 s. Otro aspecto importante, es el factor de escala por el cual se deben multiplicar las aceleraciones del sismo en el programa de cómputo antes mencionado, para el caso particular de este sismo ese factor de escala fue de 1.9.

El sismo 3 para el marco resistente a momento y asociado al nivel de desempeño de prevención de colapso, se registró en Chilpancingo, Guerrero., en la estación ubicada a 3 cuadras del Zócalo con coordenadas 17.553 LAT. N y 99.500 LONG. W. La estación se encuentra a una altura de 1360 msnm y esta sobre un suelo tipo roca. Esto, de acuerdo a los datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM. El archivo del sismo se generó el día 06 de mayo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron (análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo) en el nodo superior de la estructura el cual se encuentra a una altura de 26.5 metros. Los resultados de estos desplazamientos de acuerdo a las especificaciones del PBSB están dentro del intervalo permitido. Lo anterior se puede visualizar en la gráfica de la Figura 72. El límite que se utilizó, se calculó mediante la multiplicación de un factor de 0.05 por la altura de 26.5 metros, lo cual dio como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 y de acuerdo a lo observado el desplazamiento máximo que se obtuvo es de 0.75 m.

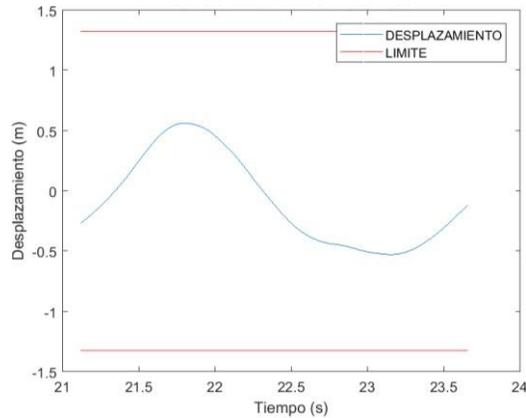


**Figura 72** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 2475 años)

El marco resistente a momento para el sismo 4 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, presenta los desplazamientos que se observan en la gráfica de la Figura 73. Para la obtención de este resultado se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. De acuerdo al programa de elementos finitos Sap2000 V14, este análisis se realizó en un tiempo de 5059.89 s para un sismo que tuvo una duración de 183.51 s.

El sismo antes mencionado se registró en la base de datos del Instituto de Ingeniería el día 26 de febrero de 1997. Dicho se registró se llevó a cabo en una estación ubicada en México, D.F. La estación se encuentra a una altitud de 2240 msnm y esta plantada sobre un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10.

Los desplazamientos se muestran en la siguiente gráfica como se mencionó anteriormente, en donde se aprecia que los desplazamientos no sobrepasan los límites recomendados por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.61 m, lo cual está por debajo del intervalo de -1.325 a +1.325. El intervalo se calculó mediante la ayuda de la Tabla 10, la cual especifica realizar un producto entre el factor de 0.05 por la altura que en este caso es el nodo superior de la estructura de acero.

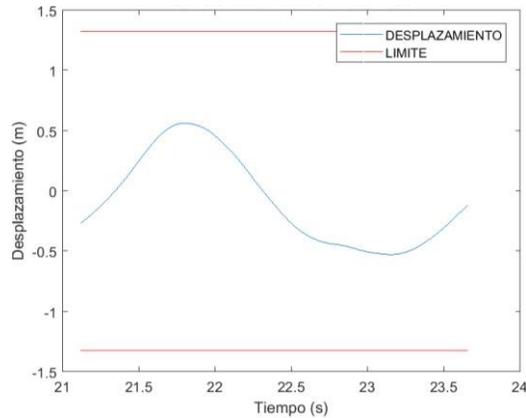


**Figura 73** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 2475 años)

La variable que se evaluó en esta sección son los desplazamientos en el marco resistente a momento para el sismo 5. Este sismo antes mencionado, está asociado a un periodo de retorno de 2475 años lo cual pertenece a un nivel de desempeño de prevención de colapso. El tiempo de duración de este sismo fue de 150.03 s como se puede apreciar en la gráfica de la Figura 74. Los resultados de dichos desplazamientos se calcularon mediante el programa de cómputo de elementos finitos más común en la región (sap2000). Dicho programa duro un tiempo de 354.81 s en analizar la estructura de acero para el sismo 5.

Los datos del sismo en estudio se consideran de gran importancia para saber en qué parte de la república mexicana se encuentra la estación que almacenó los datos. El sismo 5 se registró en la estación llamada Tláhuac, Bombas, la cual se encuentra ubicada en Tláhuac, México, D.F. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y sobre un suelo tipo arcilla, esto según lo reportado en la base de datos en Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este registro se almacenó en la base de datos el día 12 de marzo de 1998.

El análisis que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y una vez realizado el análisis se procedió a obtener los desplazamientos en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros), dichos desplazamientos son los que se pueden observar en la siguiente gráfica y se apreció que cumplen con los límites establecidos en el PBSB. El límite que se utilizó se estableció de acuerdo a la Tabla 10. El límite, se calculó multiplicando un factor de 0.05 por los 26.5 m ya que es donde se encuentra el nodo en estudio, dando, así como resultado un intervalo de -1.3205 a +1.325, lo cual está por arriba del desplazamiento máximo que fue de 0.60 m. aproximadamente.

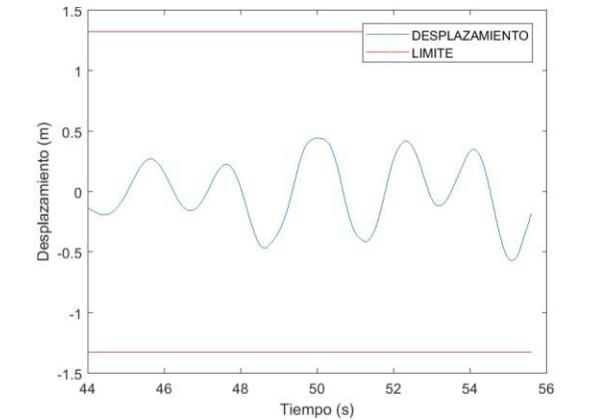


**Figura 74** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 2475 años)

Los desplazamientos relacionados al sismo 6 para el marco resistente a momento y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, se presentan en la Figura 75. Para la obtención de estos desplazamientos se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo, lo cual tardó un tiempo de 519.80 s, esto de acuerdo al programa Sap2000 V14. El sismo 6 tuvo una duración de 150.03 s como se puede observar en la gráfica.

El sismo 6, se registró en Tláhuac, México, D.F. en la estación de medición llamada Tláhuac Bombas. Dicha estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y se localiza en un suelo tipo arcilla. Los datos mencionados anteriormente se proporcionaron de acuerdo a la información que tiene almacenada la base de datos del Instituto de Ingeniería. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Observando la gráfica de la Figura 75, se apreció que los desplazamientos en el nodo superior de la estructura de acero durante un periodo de tiempo de 150.03 s no rebasaron los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se presentó en este caso fue de 0.57 m, un valor por debajo del intervalo que se permite para una estructura de acero relacionada a un nivel de desempeño de prevención de colapso (-1.325 a +1.325).

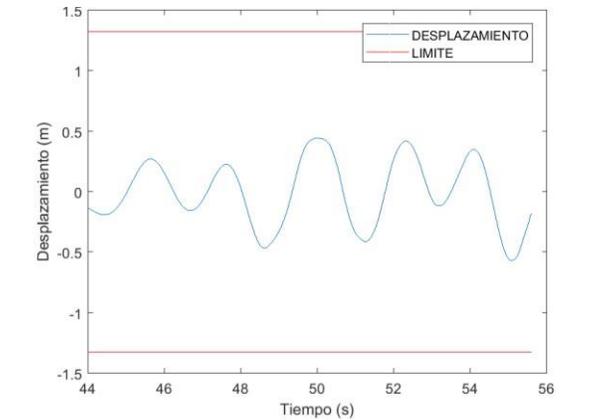


**Figura 75** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 2475 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 7 con un periodo de retorno de 2475 años y por obstante a un nivel de desempeño de prevención de colapso se presentan en la Figura 76 en forma de gráfica. En dicha gráfica se puede apreciar que el sismo 7, tuvo una duración de 150.03 s. Otro aspecto importante, es el tiempo en que el programa Sap2000 analizó la estructura asociada al sismo 7, este tiempo fue de 214.48 s. En cuanto al factor de escala que se introdujo al programa antes mencionado fue de 2.03 para amplificar el sismo.

De acuerdo al Instituto de Ingeniería de la UNAM, el sismo 7 se registró en la estación Tláhuac Deportivo ubicada a 5 m de avenida Tláhuac en México, D.F. con coordenadas 19.293 LAT. N y 99.035 LONG. W y se encuentra a una altitud de 2240 msnm. El suelo que considera esta estación es tipo arcilla. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos de los resultados mostrados en la gráfica se analizaron en el nodo superior de la estructura. El nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. El análisis para estos desplazamientos que se utilizó, es un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. Para dichos resultados se realizó una comparativa con los límites establecidos por el PBSB y se puede observar que los desplazamientos no se exceden de los límites. El límite que se utilizó se calculó multiplicando un factor de 0.05 por la altura de 26.5 metros, dando como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325. El desplazamiento máximo que se obtuvo en este análisis y que está fuera de los límites es de 0.70 m.

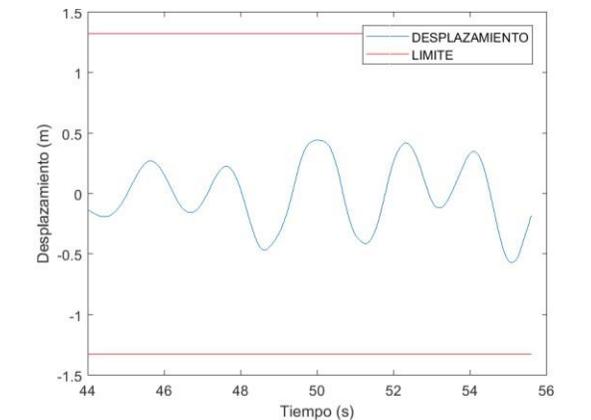


**Figura 76** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 2475 años)

Los desplazamientos para el marco resistente a momento del sismo 8 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, se presentan en forma gráfica en la Figura 77. Dichos desplazamientos se obtuvieron después de haber realizado un análisis dinámico no lineal. El análisis se realizó por medio del programa Sap2000 V14, el cual duro un tiempo aproximado de 172.01 s en analizar este sismo, dicho sismo tuvo una lectura de duración de 150.03 s de acuerdo al registro.

De acuerdo a los datos anexados en la base de datos del Instituto de Ingeniería este sismo se registró a 5 m de la avenida Tláhuac en México, D.F., por medio de una estación llamada Tláhuac Deportivo, la cual se encuentra a una altitud de 2240 msnm y en un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

De acuerdo a los resultados presentados en la gráfica de la Figura 77, el desplazamiento máximo se presentó en el intervalo del tiempo entre 50 y 54 s del sismo y tuvo un valor de 0.65 m. De acuerdo a los límites recomendados por el Diseño sísmico Basado en Desempeño, este desplazamiento máximo se encuentra dentro del intervalo recomendado. Dicho intervalo oscila entre -1.325 y +1.325 y es el resultado de multiplicar el factor 0.05 por la altura del nodo en estudio (26.5 m).

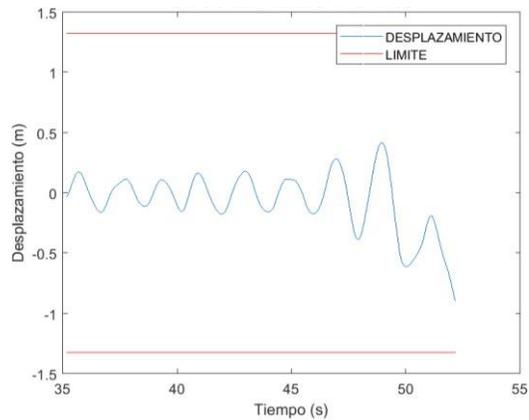


**Figura 77** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 2475 años)

Los desplazamientos del marco resistente a momento del sismo 9 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso con un periodo de retorno de 2475 años, se pueden observar en la Figura 78. El sismo que se analizó para el resultado de estos desplazamientos, tuvo una duración de 121.32 segundos (s). En cuanto al tiempo del análisis estructural en el programa Sap2000 V14 para el sismo 9 del marco resistente a momento asociado a la variable de desplazamiento, tuvo una duración de 506.03 s. En dicho análisis se utilizó un factor de escala de 3.97, el cual se introdujo en el software comercial, con el fin de obtener mejores resultados y amplificar el sismo.

De acuerdo a la base de datos que se utilizó del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo fue leído en la estación llamada Tláhuac Deportivo la cual se encuentra a 5 m de la avenida Tláhuac en México, D.F. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y en suelo tipo arcilla. Además, se tiene registro que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.30, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 7.60 y una magnitud de coda (mc) de 7.50. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron (análisis dinámico paso a paso en el dominio del tiempo) en el nodo superior de la estructura el cual se encuentra a una altura de 26.5 metros. Los resultados de estos desplazamientos de acuerdo a las especificaciones del PBSB están dentro del intervalo permitido. Lo anterior se puede visualizar en la gráfica de la Figura 78. El límite que se utilizó, se calculó mediante la multiplicación de un factor de 0.05 por la altura de 26.5 metros, lo cual dio como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 y de acuerdo a lo observado el desplazamiento máximo que se obtuvo es de 0.895 m.

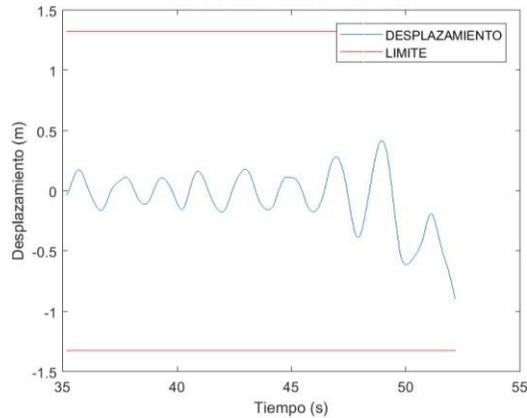


**Figura 78** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 2475 años)

El marco resistente a momento para el sismo 10 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, presenta los desplazamientos que se observan en la gráfica de la Figura 79. Para la obtención de este resultado se realizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo. De acuerdo al programa de elementos finitos Sap2000 V14, este análisis se realizó en un tiempo de 710.95 s para un sismo que tuvo una duración de 214.11 s.

Los datos del sismo en estudio se consideran de gran importancia para saber en qué parte de la república mexicana se encuentra la estación que almacenó los datos. El sismo 10 se registró en la estación llamada Texcoco, Sosa, la cual se encuentra ubicada en Texcoco, Estado de México. La estación se encuentra a una altura de 2240 msnm y sobre un suelo tipo arcilla, esto según lo reportado en la base de datos en Instituto de Ingeniería de la UNAM. Este registro se almacenó en la base de datos el día 12 de marzo de 1998.

Observando la gráfica de la Figura 79, se apreció que los desplazamientos en el nodo superior de la estructura de acero durante un periodo de tiempo de 214.11 s no rebasaron los límites especificados en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El desplazamiento máximo que se presentó en este caso fue de 0.63 m, un valor por debajo del intervalo que se permite para una estructura de acero relaciona a un nivel de desempeño de prevención de colapso (-1.325 a +1.325).

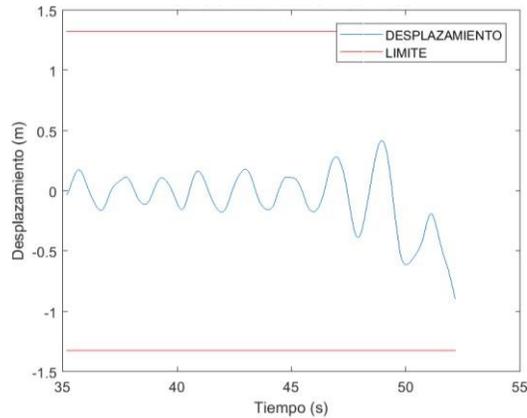


**Figura 79** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 2475 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco resistente a momento asociados al sismo 11 con un periodo de retorno de 2475 años y por obstante a un nivel de desempeño de prevención de colapso se presentan en la Figura 80 en forma de gráfica. En dicha gráfica se puede apreciar que el sismo 11, tuvo una duración de 214.11 s. Otro aspecto importante, es el tiempo en que el programa Sap2000 analizó la estructura asociada al sismo 11, este tiempo fue de 277.38 s. En cuanto al factor de escala que se introdujo al programa antes mencionado fue de 2.77 para amplificar el sismo.

De acuerdo a los datos anexados en la base de datos del Instituto de Ingeniería este sismo se registró a 5 m de la orilla del caracol en Texcoco, Estado de México., por medio de una estación llamada Texcoco Sosa, la cual se encuentra a una altitud de 2240 msnm y en un suelo tipo arcilla. Otro dato proporcionado por el Instituto son las magnitudes que registro el sismo, este sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.80, una magnitud de ondas de superficie (ms) con un valor de 8.10 y una magnitud de coda (mc) de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 12 de marzo de 1998.

El análisis que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo y una vez realizado el análisis se procedió a obtener los desplazamiento en el nodo superior de la estructura (nodo situado a una altura de 26.5 metros), dichos desplazamientos son los que se pueden observar en la siguiente gráfica y se apreció que cumplen con los límites establecidos en el PBSB. El límite que se utilizó se estableció de acuerdo a la Tabla 10. El límite, se calculó multiplicando un factor de 0.05 por los 26.5 m ya que es donde se encuentra el nodo en estudio, dando, así como resultado un intervalo de -1.3205 a +1.325, lo cual está por arriba del desplazamiento máximo que fue de 0.71 m. aproximadamente.

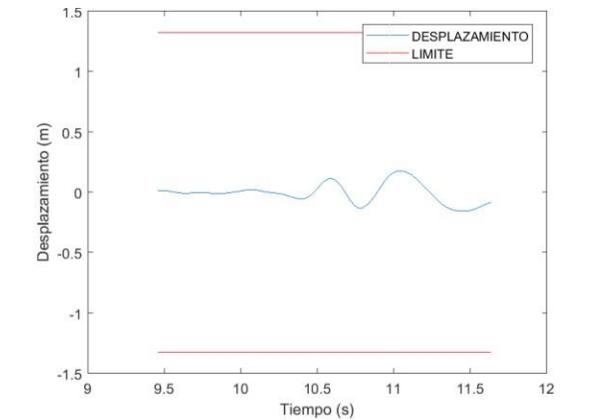


**Figura 80** Desplazamientos Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 2475 años)

Los resultados que aparecen en la gráfica de la Figura 81, pertenecen a los desplazamientos asociados al marco con contravientos para un nivel de desempeño de prevención de colapso para el sismo 1. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal por medio del software comercial Sap2000. En dicha gráfica se puede observar que el sismo transcurrió en un tiempo de 18.96 s de acuerdo a los datos obtenidos del registro. En cuanto al análisis se ejecutó en un tiempo de 151.19 s.

El sismo en estudio se registró en Guerrero y su lectura se llevó a cabo mediante una estación colocada en la Dirección de Policía y Tránsito. La estación se encuentra a una altitud de 20 msnm y en un suelo tipo aluvial. En cuanto a la magnitud de registro de este sismo se registró que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 5.50 y de acuerdo al Instituto de Ingeniería ocurrió el día 12 de marzo 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura de acero, dicho nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. En la Figura 81 es fácil observar que los desplazamientos se encuentran dentro de los límites recomendados en el Diseño sísmico Basado en Desempeño. El cálculo del intervalo de estos límites se llevó a cabo de acuerdo a la recomendación de la Tabla 10, dicha recomendación es multiplicar un factor de 0.05 por la altura de 26.5 m teniendo como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 y si este intervalo lo comparamos con el desplazamiento máximo obtenido que fue de 0.18 m, se puede notar lo excedida que esta la estructura de acero con contravientos en cuanto a la variable de desplazamiento para este sismo en particular.

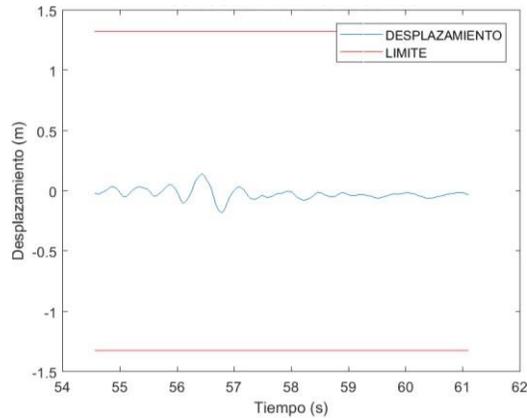


**Figura 81** Desplazamientos Maro con Contravientos (Sismo 1 - 2475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 2, se presentan en la Figura 82 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 2475 años y por consecuente a un nivel de desempeño de prevención de colapso. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 220 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 8167.99 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Acapulco, Guerrero en la estación ubicada en una escuela primaria en el Ejido la Zanja cerca del entronque con la autopista Puerto Márquez-México y como a 5 km del aeropuerto. La estación se encuentra a 10 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo depósito barra y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de 6.0 ( $M=6.0$ ). El archivo del sismo se generó el día 08 de abril de 2014.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 2475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 2475 años se utilice un factor de 0.05 multiplicado por la altura ( $H$ ). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.18 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

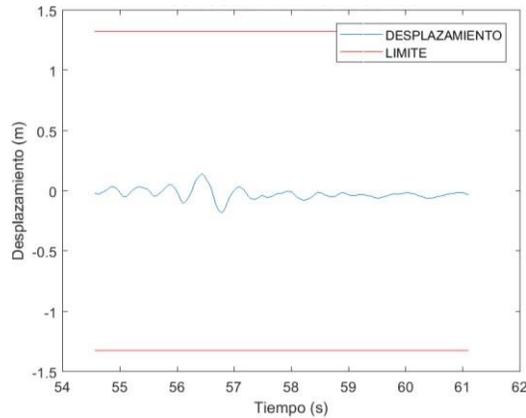


**Figura 82** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 2 - 2475 años)

El marco con contravientos asociado al sismo 3, presentó desplazamientos muy por debajo de los límites. Lo anterior se puede observar en la Figura 83 de manera gráfica. El sismo 3 tuvo una duración de 65.505 s de acuerdo al Instituto de Ingeniería. Para presentar estos resultados se utilizó un análisis dinámico no lineal, por motivo de modelar la estructura lo más real posible al momento de efectuarse un sismo. En el caso particular de esta estructura asociada al sismo 3, el análisis se ejecutó en un tiempo de 1370.98 s.

La información del sismo 3 se extrajo de la base de datos del Instituto de Ingeniería y como dato relevante se encontró el lugar en donde se realizó su lectura. El registro del sismo 3 se creó en Caleta de Campos, Michoacán en la Escuela Secundaria Técnico 68 de Pesca por medio de una estación llamada Caleta de Campos. La estación se encuentra a 10 msnm y en suelo tipo roca. Otro dato de suma importancia es la magnitud de onda corporal (mb) la cual fue de 6.50 y la magnitud de ondas de superficie (ms) la cual tuvo un valor de 6.90. El archivo del sismo se generó el día 6 de junio de 1997.

Los desplazamientos mostrados en la gráfica, se obtuvieron del nodo superior derecho de la estructura de acero ya que se consideró el nodo más susceptible ante la efectuación del sismo. En la gráfica se observan los intervalos que los desplazamientos no pueden exceder y para el cálculo de ese intervalo fue útil la Tabla 10. De acuerdo a esta tabla se utilizó un factor de 0.05 multiplicado por la altura de 26.5 m (altura de nodo en estudio) dando como resultado un intervalo entre -01.325 y +1.325. En cuanto al desplazamiento máximo, se observó que tuvo un valor de 0.13 m y en contraste con el intervalo sugerido este es un valor por debajo significativamente.

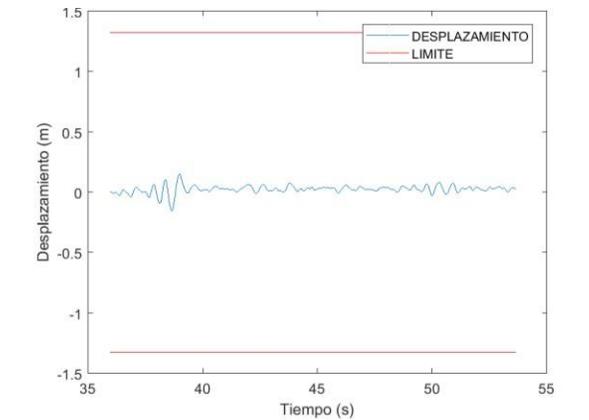


**Figura 83** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 3 - 2475 años)

Los resultados de los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 4, se visualizan en la Figura 84 en forma de gráfica. Este sismo está asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso y un periodo de retorno de 2475 años. El sismo tuvo una duración de 117 s, lo cual es fácil de observar en la gráfica. Además, el tiempo en que se analizó este sismo para el marco con contravientos fue un tiempo de 2653.86 s. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo.

El sismo 4, de acuerdo al Instituto de Ingeniería y a su base de datos con más de 20,000 registros, se registró en la estación llamada Las Negras, la cual se encuentra ubicada en Puerto Escondido, Oaxaca en una Escuela Primaria General Lázaro Cárdenas. La estación se encuentra situada a una altura de 10 msnm y un suelo tipo aluvial. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo tuvo una magnitud de la onda corporal (mb) de 6.50 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.50. El archivo del sismo se generó el día 04 de octubre de 1999.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura en estudio (altura de nodo de 26.5 m). Dichos desplazamientos se encuentran dentro de los límites especificados por el PBSO. Los límites que especifica este diseño para un periodo de retorno de 2475 años, es el producto entre un factor que en este caso es de 0.05 por la altura de 26.5 m que tiene el nodo y así, dando como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325. El desplazamiento máximo en este análisis fue de 0.15 m, un valor muy por debajo del límite permitido.

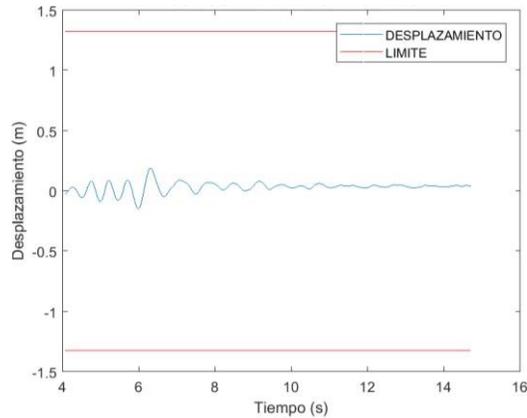


**Figura 84** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 4 - 2475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 5, se presentan en la Figura 85 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 2475 años y por consecuente a un nivel de desempeño de prevención de colapso. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 22.14 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 331.68 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en Lázaro Cárdenas, Michoacán en la estación ubicada en la planta aceración SICARTSA. La estación se encuentra a 5 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo arcilla y además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

El PBSO, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 2475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 2475 años se utilice un factor de 0.05 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.19 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

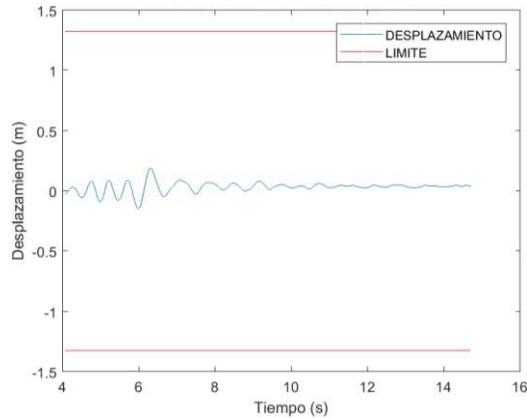


**Figura 85** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 5 - 2475 años)

Los desplazamientos asociados al marco con contravientos para el sismo 6, se presentan gráficamente por medio de la Figura 86. Este sismo se analizó para un periodo de retorno de 2475 años y un nivel de desempeño de prevención de colapso. Como se observa en la gráfica, el sismo 6 tuvo una duración de 22.14 s y en cuanto al análisis (análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo) se realizó en un tiempo de 141060.53 s.

De acuerdo al Instituto de Geofísica de la UNAM, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0, también, una magnitud de ondas de superficie (mc) de 6.5 y además, una magnitud de energía (me) con un valor de 7.0. La estación donde se llevó a cabo el registro posee el nombre de SICARTSTA y se encuentra en Lázaro Cárdenas, Michoacán. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura, el cual se encuentra a una altura de 26.5 m. Estos desplazamientos, se muestran en la gráfica junto con el intervalo de los límites especificados por el PBSD. El intervalo de los límites se calculó de acuerdo a la Tabla 10: multiplicación entre el factor que corresponde al periodo de retorno de 2475 años (0.05) y la altura del nodo en estudio (26.5 m). El intervalo oscila entre -1.325 y +1.325. De acuerdo a los resultados obtenidos el desplazamiento máximo fue de 0.19 m, un valor muy por debajo del intervalo antes mencionado.

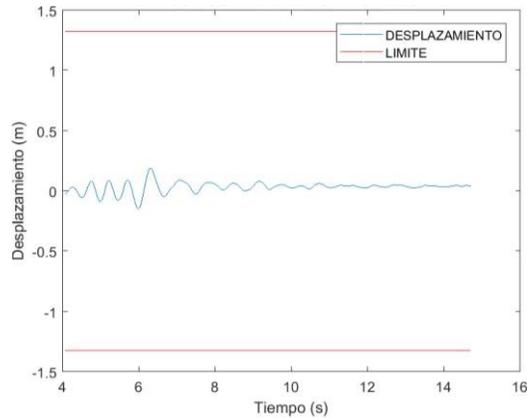


**Figura 86** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 6 - 2475 años)

El marco con contravientos para el sismo 7 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 87. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 33.84 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 460.44 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 7 fue registrado en la planta aceración SICARTSA en Lázaro Cárdenas, Michoacán. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 6.10 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.30. El archivo del sismo se generó el día 19 de marzo de 1998.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 2475 años se considera un factor de 0.05 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-1.325 a +1.325). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.13 m que se tuvo.

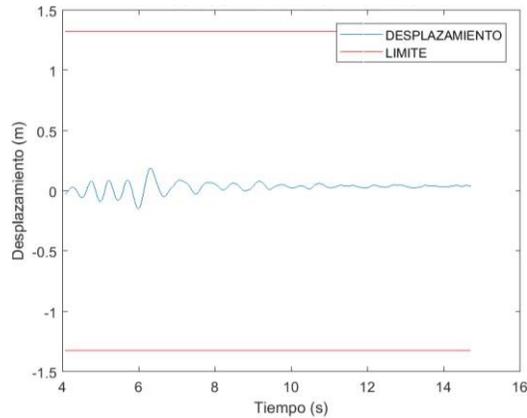


**Figura 87** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 7 - 2475 años)

El marco con contravientos para el sismo 8 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, presentó los desplazamientos que se muestran en la Figura 88. En cuanto a los datos relevantes del sismo, se encuentra el tiempo de duración, el cual mostró un tiempo de 22.02 s. Otro dato relevante, pero este en cuanto al análisis estructural, es el tiempo que llevó en realizar este análisis el programa Sap2000. Dicho tiempo fue de 324.82 s.

El Instituto de Ingeniería de la UNAM, tiene almacenado en su base de datos que el sismo 8 fue registrado en Planta baja del edificio del alto horno, a 1 km del mar, SICARTSA en Lázaro Cárdenas, Michoacán. Además, de acuerdo al Instituto de Geofísica de la misma Universidad, este sismo registró una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0. El archivo del sismo se generó el día 04 de marzo de 1998.

El estudio de los desplazamientos se llevó a cabo en el nodo superior de la estructura, ya que se consideró como el nodo con mayor susceptibilidad a presentar desplazamientos mayores. Este estudio se puede observar en forma de gráfica, en donde también se aprecian los límites especificados en el PBSD. Los límites se consideraron de acuerdo a la Tabla 10, en donde para un periodo de retorno de 2475 años se considera un factor de 0.05 multiplicado por la altura del nodo en estudio (26.5 m). El resultado de este producto proporcionó el intervalo que se utilizó (-1.325 a +1.325). Dicho intervalo resultó muy grande para el desplazamiento máximo de 0.23 m que se tuvo.

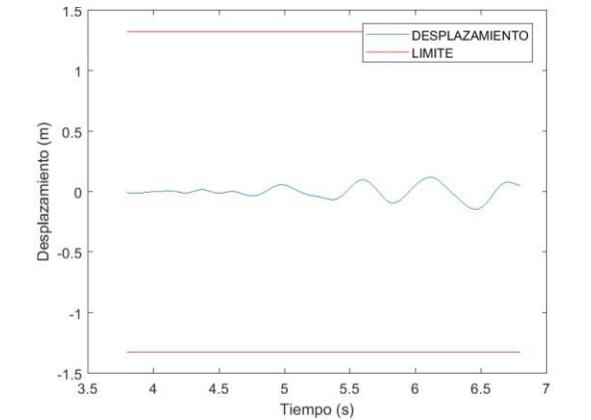


**Figura 88** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 8 - 2475 años)

Los resultados que aparecen en la gráfica de la Figura 89, pertenecen a los desplazamientos asociados al marco con contravientos para un nivel de desempeño de prevención de colapso. El análisis estructural que se utilizó fue un análisis dinámico no lineal por medio del software comercial Sap2000. En dicha gráfica se puede observar que el sismo transcurrió en un tiempo de 22.02 s de acuerdo a los datos obtenidos del registro. En cuanto al análisis se ejecutó en un tiempo de 299.36 s.

El sismo en estudio se registró en Lázaro Cárdenas, Michoacán y su lectura se llevó a cabo mediante una estación colocada en la Planta baja del edificio del alto horno a 1 km del mar, SICARTSA. La estación se encuentra a una altitud de 3 msnm y en un suelo tipo aluvial. En cuanto a la magnitud de registro de este sismo se registró que tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 7.0 y de acuerdo al Instituto de Ingeniería ocurrió el día 04 de marzo de 1998.

Los desplazamientos se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura de acero, dicho nodo se encuentra a una altura de 26.5 m. En la Figura 89 es fácil observar que los desplazamientos se encuentran dentro de los límites recomendados en el Diseño sísmico Basado en Desempeño. El cálculo del intervalo de estos límites se llevó a cabo de acuerdo a la recomendación de la Tabla 10, dicha recomendación es multiplicar un factor de 0.05 por la altura de 26.5 m teniendo como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 y si este intervalo lo comparamos con el desplazamiento máximo obtenido que fue de 0.14 m, se puede notar lo excedida que esta la estructura de acero con contravientos en cuanto a la variable de desplazamiento para este sismo en particular.

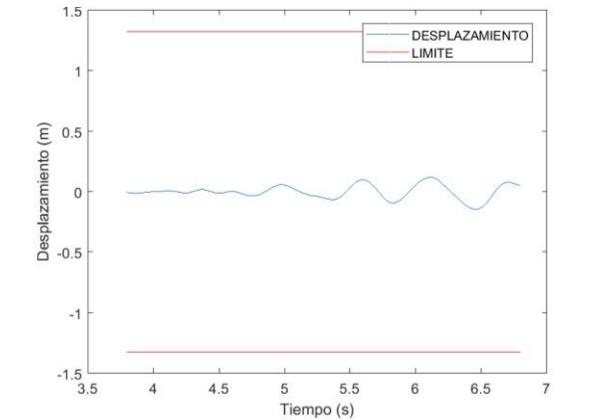


**Figura 89** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 9 - 2475 años)

Los desplazamientos del marco con contravientos para el sismo 10, se presentan en la Figura 90 de forma gráfica. Estos desplazamientos están asociados a un periodo de retorno de 2475 años y por consiguiente a un nivel de desempeño de prevención de colapso. En la figura antes mencionada se puede observar que este sismo tuvo una duración de 161 s. En cuestión al análisis, se utilizó un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo por medio del programa de elementos finitos Sap2000. El tiempo que el programa se llevó en realizar el análisis fue de 6542.82 s.

De acuerdo a la base de datos del Instituto de Ingeniería de la UNAM, este sismo se registró en ciudad de Miahuatlán, Oaxaca sobre la carretera a Pochutla. La estación se encuentra a 1699 msnm y se sitúa sobre un suelo tipo roca y, además, según el Instituto de Geofísica de la UNAM sismo tuvo una magnitud de onda corporal (mb) de 6.50 y una magnitud de ondas de superficie (ms) de 7.50. El archivo del sismo se generó el día 05 de octubre de 1999.

El PBSB, especifica los límites que no pueden exceder los desplazamientos para un periodo de retorno de 2475 años. Los límites se especifican en la Tabla 10, la cual propone que para un periodo de retorno de 2475 años se utilice un factor de 0.05 multiplicado por la altura (H). Por lo tanto, ese fue el factor que se utilizó, teniendo como resultado un intervalo de -1.325 a +1.325 tomando en cuenta que el nodo en estudio fue el nodo superior derecha y se encuentra a una altura de 26.5 m. El desplazamiento máximo que se tuvo fue de 0.13 m, el cual está muy por debajo de estos límites, lo cual se puede visualizar en la gráfica.

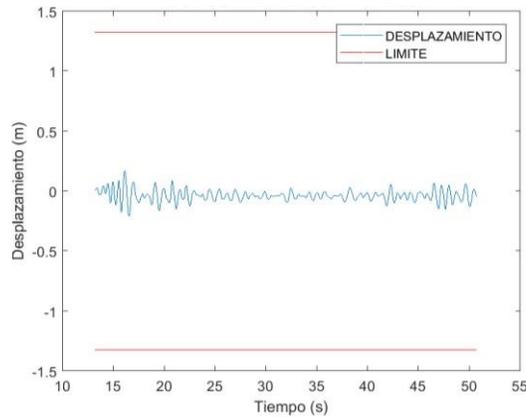


**Figura 90** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 10 - 2475 años)

El marco con contravientos asociado al sismo 11, presentó desplazamientos muy por debajo de los límites. Lo anterior se puede observar en la Figura 91 de manera gráfica. El sismo 11 tuvo una duración de 146.38 s de acuerdo al Instituto de Ingeniería. Para presentar estos resultados se utilizó un análisis dinámico no lineal, por motivo de modelar la estructura lo más real posible al momento de efectuarse un sismo. En el caso particular de esta estructura asociada al sismo 11, el análisis se ejecutó en un tiempo de 2234.62 s.

La información del sismo 11 se extrajo de la base de datos del Instituto de Ingeniería y como dato relevante se encontró el lugar en donde se realizó su lectura. El registro del sismo 11 se creó en Lázaro Cárdenas, Michoacán en la Escuela Primaria Zacatula por medio de una estación llamada Zacatula. La estación se encuentra a 40 msnm y en suelo tipo arcilla compacta. Otro dato de suma importancia es la magnitud de onda corporal (mb) la cual fue de 6.80 y la magnitud de ondas de superficie (ms) la cual tuvo un valor de 8.10. El archivo del sismo se generó el día 03 de marzo de 1997.

Los desplazamientos mostrados en la gráfica, se obtuvieron del nodo superior derecho de la estructura de acero ya que se consideró el nodo más susceptible ante la efectuación del sismo. En la gráfica se observan los intervalos que los desplazamientos no pueden exceder y para el cálculo de ese intervalo fue útil la Tabla 10. De acuerdo a esta tabla se utilizó un factor de 0.05 multiplicado por la altura de 26.5 m (altura de nodo en estudio) dando como resultado un intervalo entre -01.325 y +1.325. En cuanto al desplazamiento máximo, se observó que tuvo un valor de 0.21 m y en contraste con el intervalo sugerido este es un valor por debajo significativamente.



**Figura 91** Desplazamientos Marco con Contravientos (Sismo 11 - 2475 años)

### 3.6.10. Comparativa de Desplazamientos Máximos

En esta sección se presentarán los desplazamientos máximos para ambos sistemas estructurales por medio de dos tablas y una gráfica. El objetivo de presentar los desplazamientos máximos de esta manera, es visualizar los resultados presentados en la sección anterior de forma más clara y precisa. La información de la Tabla 11 corresponde a la edificación con el sistema estructural de marco de acero resistente a momento y el contenido de la Tabla 12 pertenece a los resultados de los desplazamientos máximos en el edificio con sistema de acero con contravientos en configuración tipo X. La variable desplazamiento, se estudió en el nodo superior de las estructuras como se comentó en apartados anteriores. Ambas tablas muestran los límites de desplazamientos permitidos de acuerdo al Diseño Sísmico Basado en Desempeño y, además, se muestra si estos límites son o no excedidos por los desplazamientos máximos para cada nivel de desempeño.

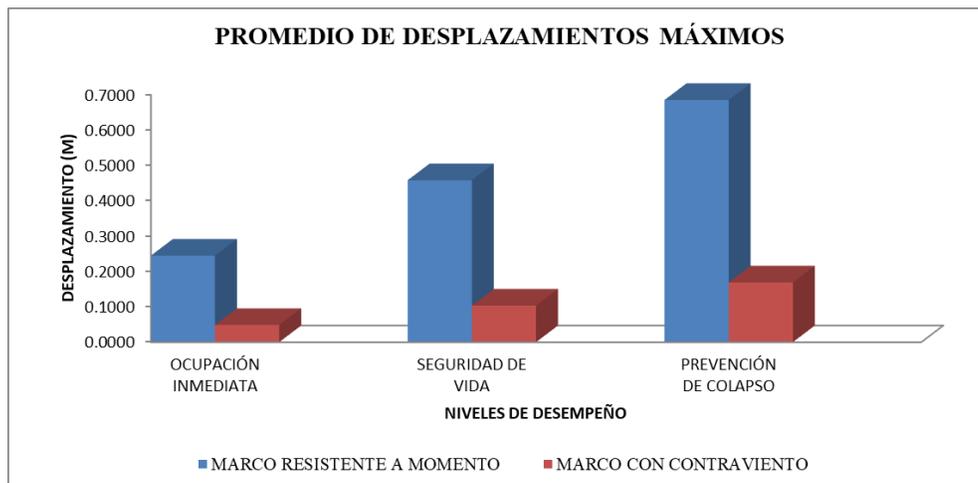
**Tabla 11** Desplazamientos máximos para Marco Resistente a Momento

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO											
Ocupación Inmediata				Seguridad de Vida				Prevención de Colapso			
Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite	Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite	Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite
Sismo 1	0.25406	0.1855	FUERA	Sismo 1	0.50543	0.6625	DENTRO	Sismo 1	0.86255	1.325	DENTRO
Sismo 2	0.24401	0.1855	FUERA	Sismo 2	0.46674	0.6625	DENTRO	Sismo 2	0.56355	1.325	DENTRO
Sismo 3	0.22491	0.1855	FUERA	Sismo 3	0.48538	0.6625	DENTRO	Sismo 3	0.75389	1.325	DENTRO
Sismo 4	0.22850	0.1855	FUERA	Sismo 4	0.41027	0.6625	DENTRO	Sismo 4	0.60685	1.325	DENTRO
Sismo 5	0.25688	0.1855	FUERA	Sismo 5	0.46491	0.6625	DENTRO	Sismo 5	0.60343	1.325	DENTRO
Sismo 6	0.26867	0.1855	FUERA	Sismo 6	0.41651	0.6625	DENTRO	Sismo 6	0.56728	1.325	DENTRO
Sismo 7	0.23889	0.1855	FUERA	Sismo 7	0.47512	0.6625	DENTRO	Sismo 7	0.70483	1.325	DENTRO
Sismo 8	0.23502	0.1855	FUERA	Sismo 8	0.51308	0.6625	DENTRO	Sismo 8	0.65044	1.325	DENTRO
Sismo 9	0.25731	0.1855	FUERA	Sismo 9	0.43201	0.6625	DENTRO	Sismo 9	0.89543	1.325	DENTRO
Sismo 10	0.23416	0.1855	FUERA	Sismo 10	0.42453	0.6625	DENTRO	Sismo 10	0.62946	1.325	DENTRO
Sismo 11	0.25099	0.1855	FUERA	Sismo 11	0.45045	0.6625	DENTRO	Sismo 11	0.70626	1.325	DENTRO
Promedio=	0.24485	0.1855	FUERA	Promedio=	0.45858	0.6625	DENTRO	Promedio=	0.68582	1.325	DENTRO

**Tabla 12** Desplazamiento máximos del Marco con Contravientos

DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS PARA MARCO CON CONTRAVIENTO											
Ocupación Inmediata				Seguridad de Vida				Prevención de Colapso			
Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite	Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite	Sismo	Desplazamiento Máximo Absoluto	Límite de Desplazamiento	Dentro o fuera del límite
Sismo 1	0.05298	0.1855	DENTRO	Sismo 1	0.10857	0.6625	DENTRO	Sismo 1	0.17740	1.325	DENTRO
Sismo 2	0.05020	0.1855	DENTRO	Sismo 2	0.11525	0.6625	DENTRO	Sismo 2	0.17783	1.325	DENTRO
Sismo 3	0.04903	0.1855	DENTRO	Sismo 3	0.11464	0.6625	DENTRO	Sismo 3	0.12992	1.325	DENTRO
Sismo 4	0.04596	0.1855	DENTRO	Sismo 4	0.09316	0.6625	DENTRO	Sismo 4	0.15287	1.325	DENTRO
Sismo 5	0.04839	0.1855	DENTRO	Sismo 5	0.11275	0.6625	DENTRO	Sismo 5	0.18983	1.325	DENTRO
Sismo 6	0.04691	0.1855	DENTRO	Sismo 6	0.09371	0.6625	DENTRO	Sismo 6	0.19196	1.325	DENTRO
Sismo 7	0.04735	0.1855	DENTRO	Sismo 7	0.09090	0.6625	DENTRO	Sismo 7	0.12513	1.325	DENTRO
Sismo 8	0.04695	0.1855	DENTRO	Sismo 8	0.11016	0.6625	DENTRO	Sismo 8	0.23060	1.325	DENTRO
Sismo 9	0.04720	0.1855	DENTRO	Sismo 9	0.09285	0.6625	DENTRO	Sismo 9	0.14369	1.325	DENTRO
Sismo 10	0.05252	0.1855	DENTRO	Sismo 10	0.11759	0.6625	DENTRO	Sismo 10	0.13310	1.325	DENTRO
Sismo 11	0.04624	0.1855	DENTRO	Sismo 11	0.08788	0.6625	DENTRO	Sismo 11	0.20598	1.325	DENTRO
Promedio=	0.04852	0.1855	DENTRO	Promedio=	0.10341	0.6625	DENTRO	Promedio=	0.16894	1.325	DENTRO

Para finalizar el contenido de este apartado, la Figura 92 muestra una gráfica que contiene el promedio de los desplazamientos máximos para cada nivel de desempeño propuesto por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. El contenido de esta gráfica muestra los resultados de ambos sistemas estructurales, esto, con el fin de poder observar el comportamiento en general de la variable desplazamiento en ambos sistemas ante la presencia de algún sismo. En definitiva, los resultados mostraron un comportamiento de acuerdo a lo esperado, donde el sistema de marcos de acero con contravientos tuvo una significativa reducción de desplazamientos. De acuerdo a la gráfica, los desplazamientos para el sistema estructural con contravientos se reducen más del doble en comparativa con los marcos resistentes a momento. Este resultado aporta mucho beneficio para el presente proyecto de intervención, debido que se tiene un resultado apegado a lo reportado en la literatura en proyectos similares.

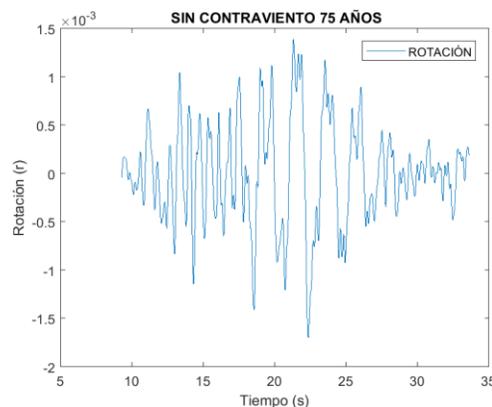


**Figura 92** Comparativa de Promedio de Desplazamientos Máximos

### 3.6.11. Rotaciones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata

En el presente apartado se describirán los resultados correspondientes a la variable rotación para diferentes sismos (66 sismos) los cuales fueron descritos previamente durante la descripción de resultados de la variable desplazamiento. Es por ello que, durante la discusión de los resultados correspondientes a cada gráfica de la variable rotación los sismos ya no serán descritos (tiempo de duración del sismo, tiempo de análisis dinámico no lineal y datos de localización del sismo), solamente serán mencionados. Asimismo, para la variable rotación, en la literatura no existen reportes acerca de un procedimiento o método para el cálculo de límites con base en dicha respuesta estructural, por lo tanto, para esta variable solamente se describirá su comportamiento durante el periodo de tiempo en que se presentó el sismo.

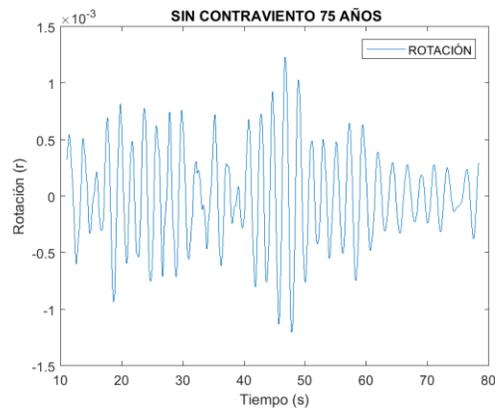
En la Figura 93, se muestra el comportamiento de la variable rotación durante el periodo efectivo del sismo. Las rotaciones en el marco de acero resistente a momento para el sismo 1, para un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. La elaboración de la gráfica se realizó mediante el programa de cómputo MATLAB. De acuerdo a la gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 20 y 25 s. La parte donde las rotaciones eran casi nulas se descartaron en esta gráfica con base en lo establecido por la teoría de intensidad de áreas, la cual se mencionó en apartados anteriores. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00170 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



**Figura 93** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años)

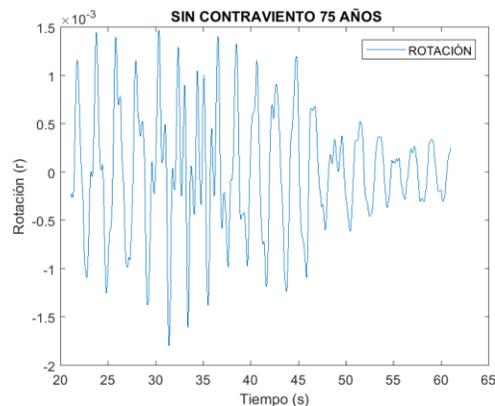
El comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento para el sismo 2 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se muestra en la Figura 94. Las rotaciones máximas se muestran durante el intervalo de tiempo entre 45 y 50 s. De

acuerdo a los resultados del análisis estructural, la rotación máxima que se presentó en la estructura de fue de 0.00123 radianes.



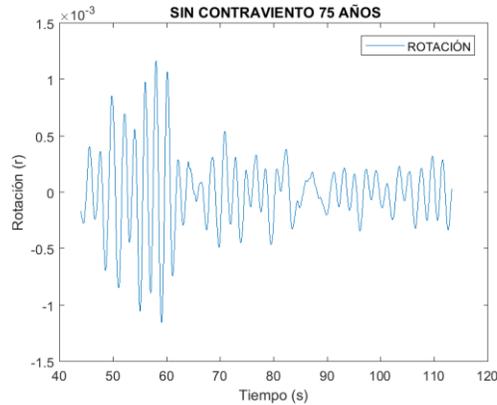
**Figura 94** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años)

El resultado de las rotaciones en el marco resistente a momento para el sismo 3, se muestra mediante una gráfica en la Figura 95. Dicho sismo se asoció a un periodo de retorno de 75 años. En la gráfica se puede observar que las rotaciones máximas se presentaron entre los 25 y 35 s. La rotación máxima que se presentó de acuerdo a lo observado fue de 0.00180 radianes.



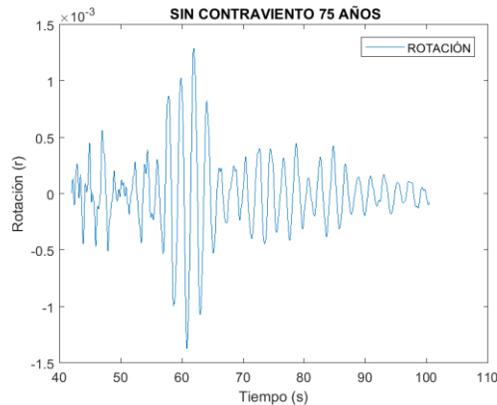
**Figura 95** Rotaciones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 75 años)

Las rotaciones para el marco resistente a momento durante el análisis del sismo 4 y asociado a un periodo de retorno de 75 años, se muestran en la Figura 96. Dichas rotaciones se presentaron con mayor intensidad en el periodo de tiempo entre 50 y 60 s. De acuerdo a los resultados la rotación máxima que se presentó fue de 0.00117 radianes y ocurrió cerca de los 60 s del sismo.



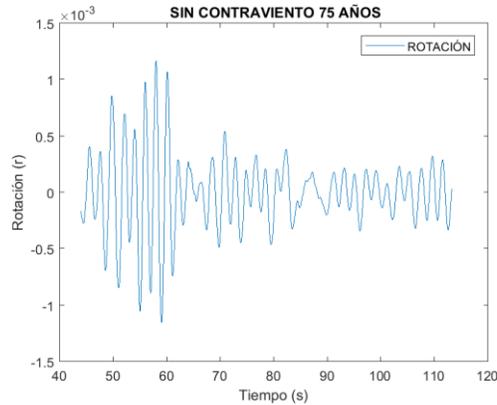
**Figura 96** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años)

En el marco resistente a momento se analizó la variable rotación para el sismo 5 ligado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata y se obtuvo como resultado el comportamiento que se muestra en la gráfica de la Figura 97. La rotación máxima que se presentó fue de 0.00137 radianes y ocurrió al redor de los 60 s del sismo.



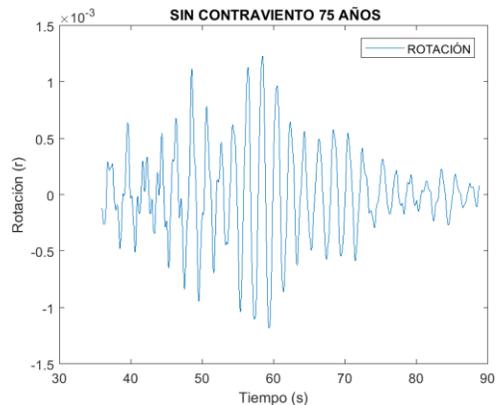
**Figura 97** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años)

En la Figura 98, se muestra el resultado que se obtuvo del análisis de la variable rotación en el marco resistente a momento. El análisis se realizó para el sismo 6 con asociación a un periodo de retorno de 75 años. Las rotaciones máximas se presentaron entre los 60 y 70 s; dentro de este periodo de tiempo se encuentra la rotación máxima que fue de 0.00151 radianes.



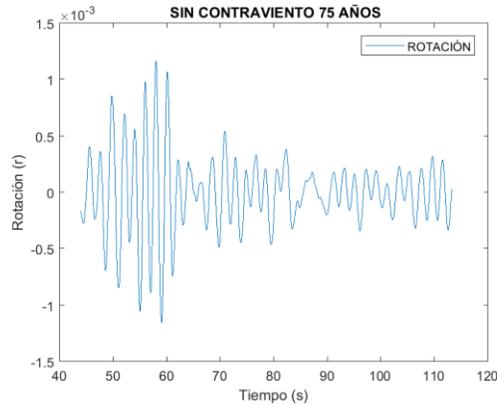
**Figura 98** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años)

El comportamiento de la variable rotación para el marco resistente a momento del sismo 7 y relacionado al periodo de retorno de 75 años, se observa en la Figura 99 mediante una gráfica, en donde se observó de acuerdo a los resultados una rotación máxima de 0.00123 radianes y se presentó alrededor de los 60 s del sismo.



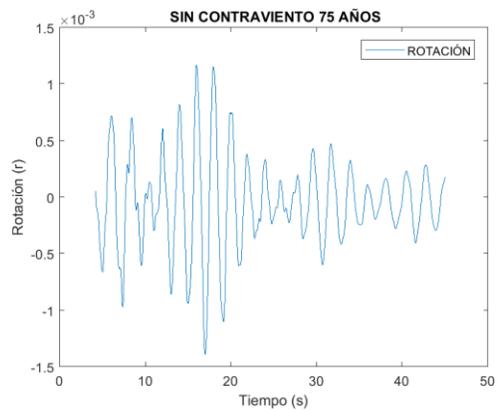
**Figura 99** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años)

La gráfica de la Figura 100 muestra el comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco de acero resistente a momento para un nivel de desempeño de ocupación inmediata del sismo 8. La rotación máxima se presentó cerca de los 60 s y fue de 0.00127 radianes.



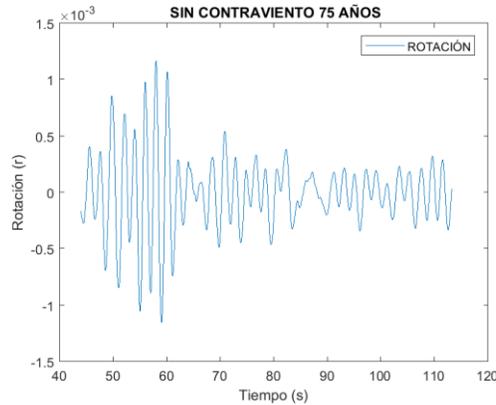
**Figura 100** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años)

El comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco resistente a momento para el sismo 9, el cual está ligado a un periodo de retorno de 75 años tuvo una rotación máxima de 0.00139 radianes. Dicho comportamiento se muestra en la Figura 101 por medio de una gráfica obtenida después de un análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo.



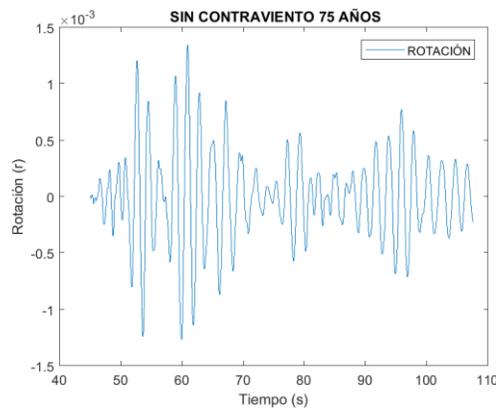
**Figura 101** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años)

El resultado del análisis de la variable rotación para el marco resistente a momento para el sismo 10 y asociado a un periodo de retorno de 75 años, se muestra en la Figura 102. El contenido de dicha figura contiene una gráfica con las rotaciones que se presentaron en el nodo superior de la estructura. La rotación máxima se presentó cerca de los 50 s con un valor de 0.00129 radianes.



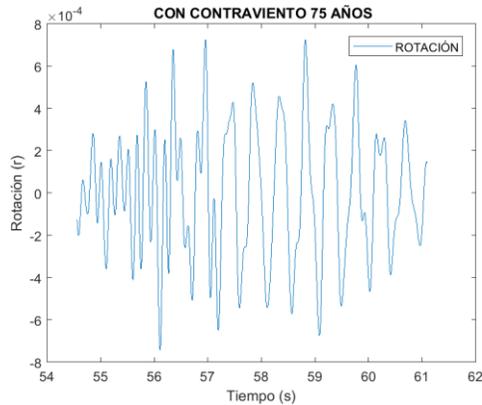
**Figura 102** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años)

El resultado del comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento del sismo 11, se presenta mediante una gráfica en la Figura 103. Las rotaciones máximas se presentaron cerca de los 60 s del sismo y la rotación mayor que se presentó fue de 0.00135 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal en el programa de cómputo SA2000 V14.



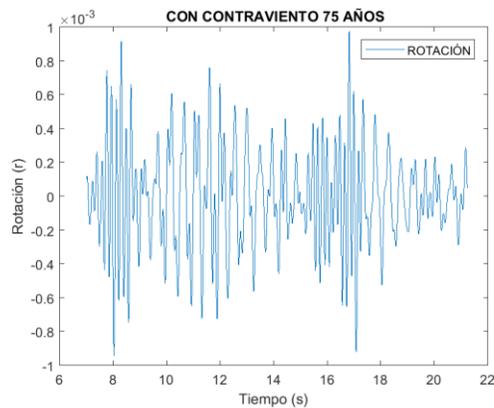
**Figura 103** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años)

En la Figura 104, se muestra el comportamiento de la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 1 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 55 y 60 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00074 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



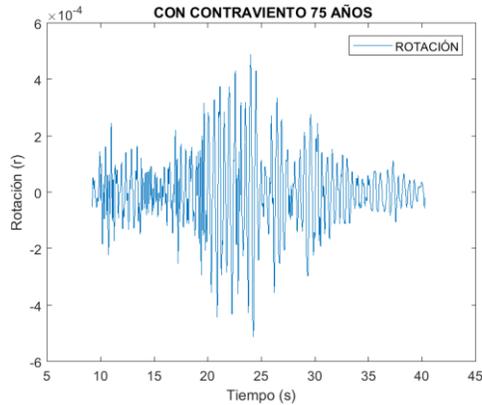
**Figura 104** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años)

El comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco con contravientos para el sismo 2 asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se observa de manera gráfica en la Figura 105. En el periodo de tiempo entre 16 y 18 s, se presentaron las mayores rotaciones en el nodo de estudio. El valor de rotación máxima de acuerdo al análisis dinámico no lineal fue de 0.00098 radianes.



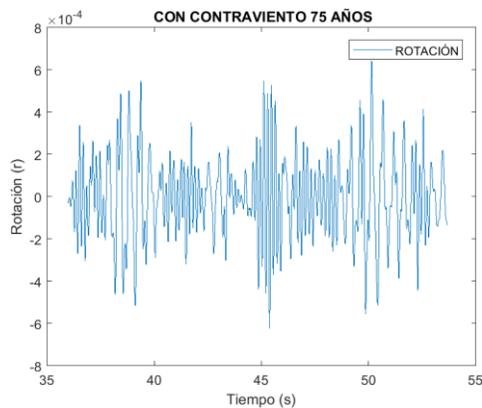
**Figura 105** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años)

La Figura 106, muestra de manera gráfica el comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco con contraviento en configuración tipo X. En dicha gráfica se puede observar que cerca del segundo 25, se pueden apreciar las rotaciones máximas. De acuerdo al análisis estructural, la rotación máxima fue de 0.00051 radianes.



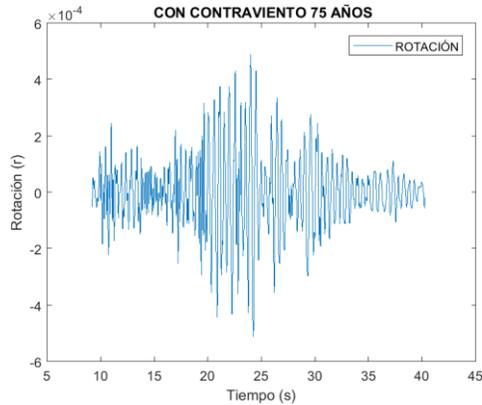
**Figura 106** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años)

El resultado del análisis estructural por medio del programa de cómputo SAP2000 del marco con contraviento en donde se evaluó la variable de rotación en el nodo superior derecho de la estructura para el sismo 4, se muestra por medio de una gráfica, la cual se observa en la Figura 107. La rotación máxima que presentó de acuerdo al análisis fue de 0.00065 radianes.



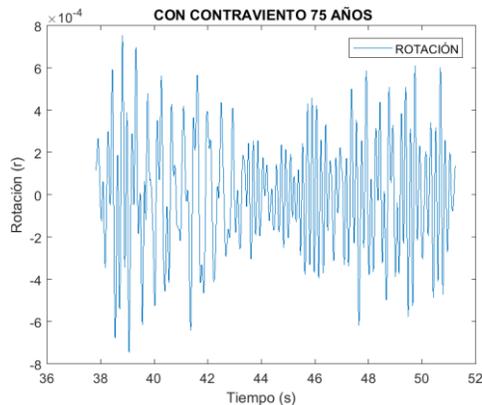
**Figura 107** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco con contravientos para el sismo 5, se visualizan de forma gráfica en la Figura 108; este comportamiento se extrajo después de un análisis dinámico no lineal. En la gráfica se observó que, en el tiempo de 65 s, se presentaron las mayores rotaciones. Es por ello que alrededor de ese tiempo fue donde se presentó la rotación máxima con un valor de 0.00051 radianes.



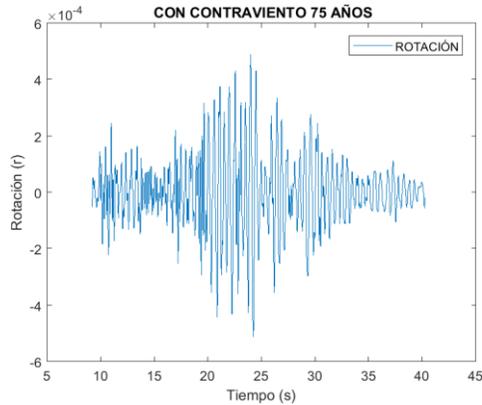
**Figura 108** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años)

En la Figura 109, se observa el comportamiento de la variable rotación para el marco con contraviento en configuración tipo X. La estructura de acero se analizó para el sismo 6 para un periodo de retorno de 75 años. En la gráfica se observa que la rotación máxima se presentó un poco antes de los 40 s, con un valor de 0.00076 radianes.



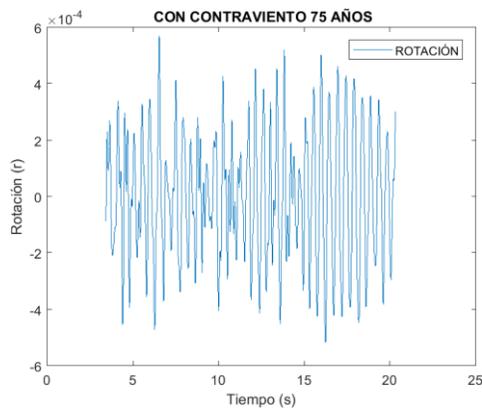
**Figura 109** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años)

En la Figura 110, se muestra el comportamiento de la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos para el sismo 7, para un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 6 y 8 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00064 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



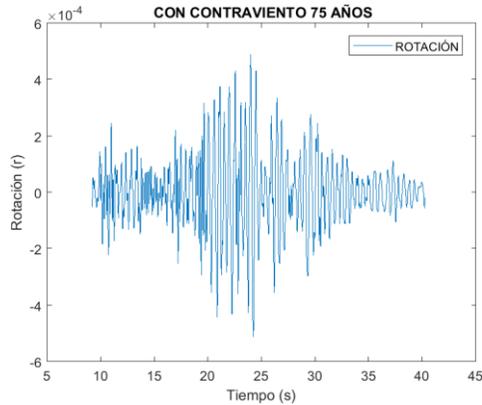
**Figura 110** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco con contravientos para el sismo 8 y para un periodo de retorno de 75 años, se visualiza de manera gráfica en la Figura 111. En la gráfica se observa que las rotaciones máximas se expresaron en los primeros segundos del sismo. De acuerdo al análisis estructural, la rotación máxima que se presentó fue de 0.00057 radianes.



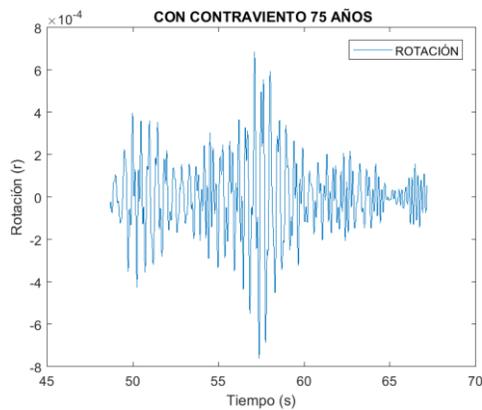
**Figura 111** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años)

El resultado del comportamiento de la variable rotación en el marco con contraviento con configuración tipo X del sismo 9, se presenta mediante una gráfica en la Figura 112. Las rotaciones máximas se presentaron cerca de los 8 s del sismo y la rotación mayor que se presentó fue de 0.00064 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal en el programa de cómputo SA2000 V14.



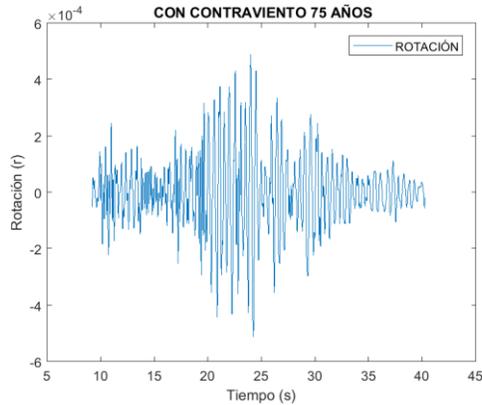
**Figura 112** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años)

El comportamiento de la variable rotación en el marco con contraviento para el sismo 10 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se muestra en la Figura 113. Las rotaciones máximas se muestran durante el intervalo de tiempo entre 55 y 60 s. De acuerdo a los resultados del análisis estructural, la rotación máxima que se presentó en la estructura de fue de 0.00076 radianes.



**Figura 113** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años)

En la Figura 114, se muestra el resultado que se obtuvo del análisis de la variable rotación en el marco de acero con contravientos. El análisis se realizó para el sismo 11 con asociación a un periodo de retorno de 75 años. Las rotaciones máximas se presentaron entre los 15 y 20 s; dentro de este periodo de tiempo se encuentra la rotación máxima que fue de 0.00052 radianes.

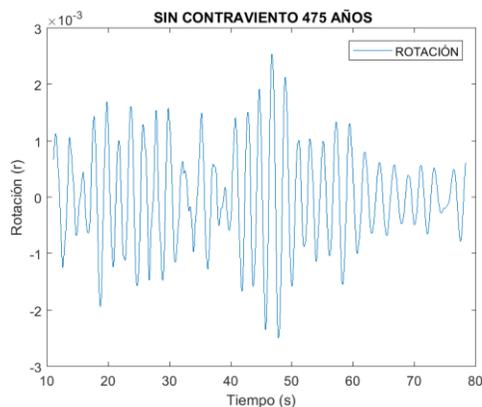


**Figura 114** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años)

### 3.6.12. Rotaciones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida

En la presente sección se mostrarán los resultados de las rotaciones para el sistema estructural de marcos de acero resistentes a momento y el sistema de marcos con contravientos. Los sismos que se analizaron en esta sección están asociados a un periodo de retorno de 475 años. Las gráficas se obtuvieron mediante el programa de cómputo MATLAB.

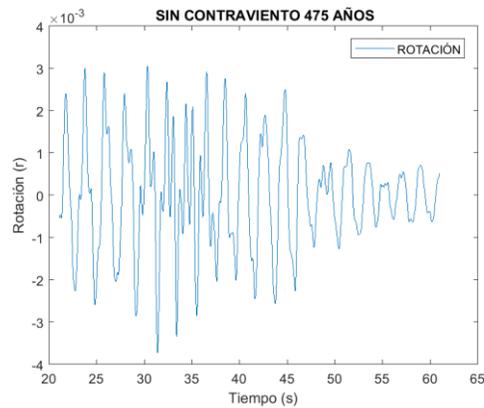
En la gráfica de la Figura 115, se presentan los resultados de las rotaciones del marco resistente a momento en el nodo superior derecho de la estructura. Los resultados de estas rotaciones están asociados al sismo 1 y un nivel de desempeño de seguridad de vida. Las rotaciones máximas se presentan entre los 45 y 50 s. En el periodo de tiempo antes mencionado se encontró la rotación máxima, la cual tuvo un valor de 0.00254 radianes.



**Figura 115** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años)

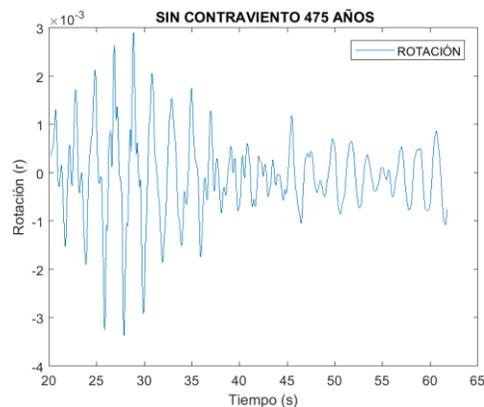
El comportamiento de las rotaciones del marco resistente a momento para el sismo 2 y para un periodo de retorno de 475 años, se observan en la Figura 116 por medio de una

gráfica. En dicha gráfica se observa que las rotaciones máximas se presentaron aproximadamente a los 30 s del sismo. La rotación máxima que presentó la estructura ante este sismo fue de 0.00373 radianes.



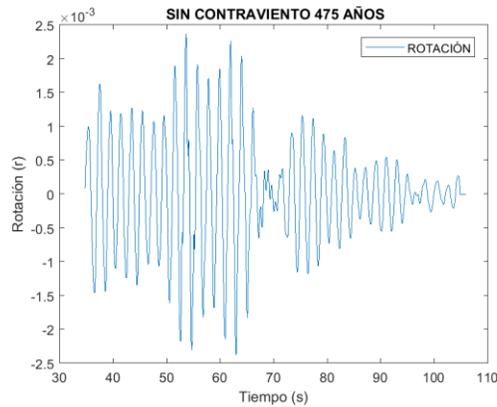
**Figura 116** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años)

La Figura 117, muestra la gráfica con los resultados de las rotaciones del marco de acero resistente a momento del sismo 3 para un nivel de desempeño de seguridad de vida. Las rotaciones se analizaron en el nodo superior de la estructura de acero y se presentó una rotación máxima de 0.00336 radianes.



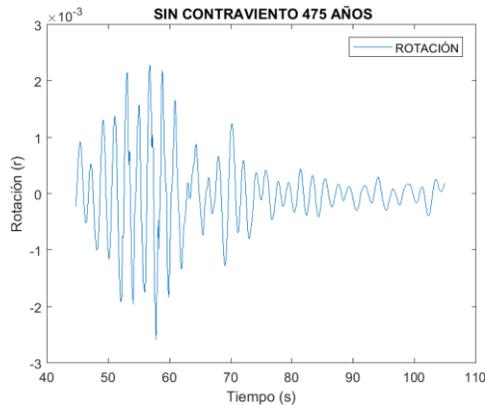
**Figura 117** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años)

El análisis dinámico no lineal del marco de acero resistente a momento para el sismo 4 y un periodo de retorno de 475 años presentó las rotaciones que se muestran en el Figura 118. Los resultados se presentan en forma de gráfica en donde se visualiza que las rotaciones máximas se presentaron un poco antes de los 65 s del sismo. La rotación máxima que se presentó fue de 0.00238 radianes.



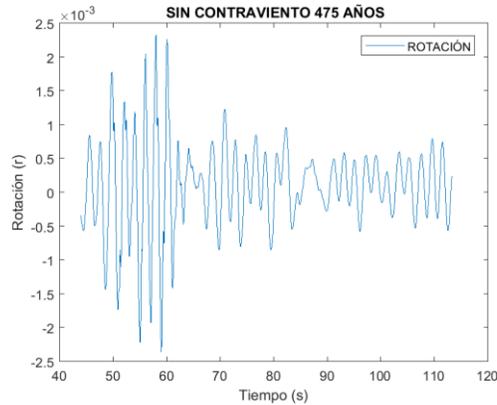
**Figura 118** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años)

El comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento para el sismo 5 y un periodo de retorno de 475 años mostró los resultados que se observan en la gráfica de la Figura 119. La rotación máxima se presentó cerca de los 60 s del sismo y tuvo un valor de 0.00258 radianes.



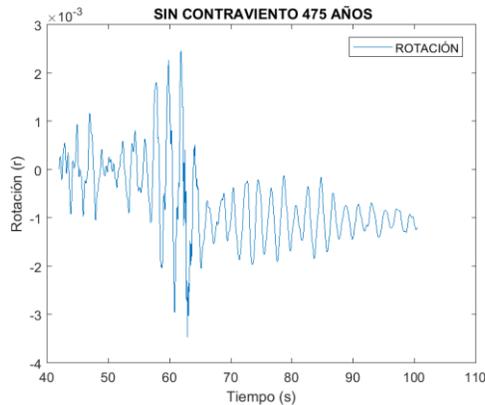
**Figura 119** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años)

En la Figura 120 se presentan los resultados de la variable rotación del marco resistente a momento para el sismo 6 y un nivel de desempeño de seguridad de vida. Las rotaciones máximas se presentaron en un intervalo de tiempo entre 55 y 60 segundos como se observa en la gráfica. Además, de acuerdo a los resultados la rotación máxima fue de 0.00236 radianes.



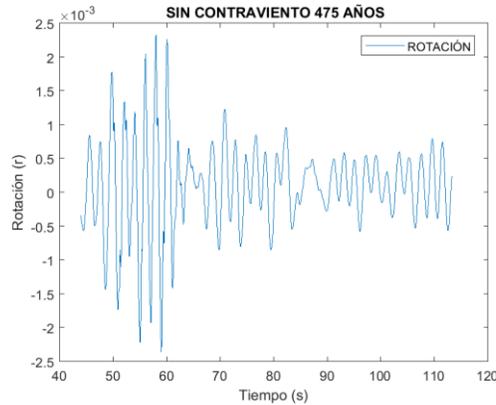
**Figura 120** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años)

Las rotaciones del marco resistente a momento para el sismo 7 respecto al nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan mediante la Figura 121. De acuerdo a los resultados, las rotaciones máximas se mostraron en el periodo de tiempo entre 60 y 65 s, durante este periodo la rotación máxima que se presentó fue de 0.00346 radianes.



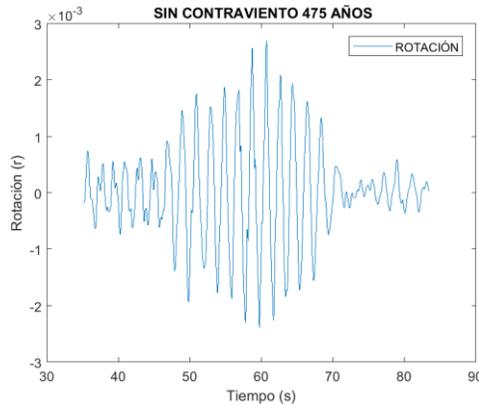
**Figura 121** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años)

En la gráfica que se muestra en la Figura 122, se manifiestan los resultados de las rotaciones en el nodo superior del marco resistente a momento para el sismo 8 con un periodo de retorno de 475 años. De acuerdo a estos resultados la rotación máxima se presentó un poco después de los 65 s del sismo y fue de 0.00368 radianes.



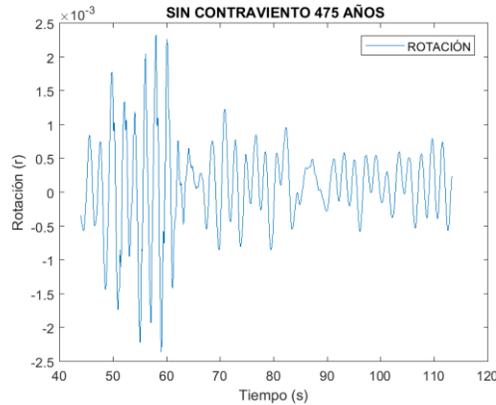
**Figura 122** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco resistente a momento se analizó en el nodo superior derecho de la estructura. El sismo que se analizó fue el 9 con un nivel de desempeño de seguridad de vida. De acuerdo al análisis, la rotación máxima que se visualizó fue de 0.00270 radianes. Los resultados se pueden observar de manera gráfica en la Figura 123.



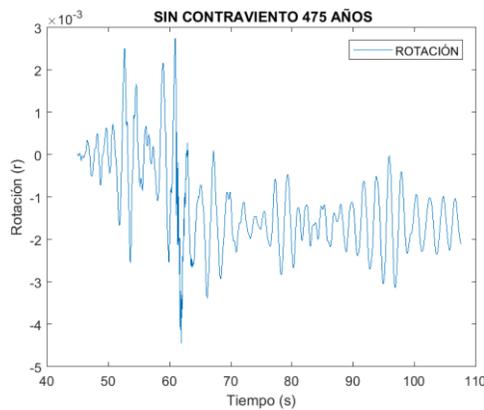
**Figura 123** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años)

El resultado del análisis de la variable rotación para el marco resistente a momento para el sismo 10 y asociado a un periodo de retorno de 475 años, se muestra en la Figura 124. El contenido de dicha figura contiene una gráfica con las rotaciones que se presentaron en el nodo superior de la estructura. La rotación máxima se presentó cerca de los 50 s con un valor de 0.00254 radianes.



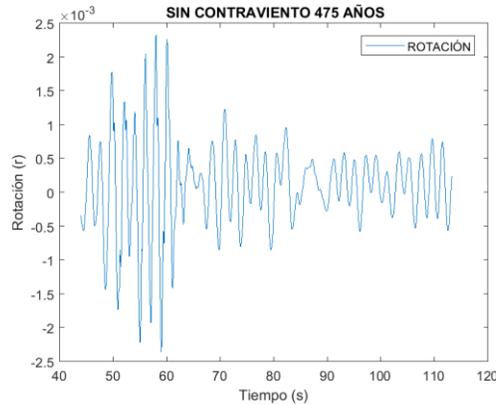
**Figura 124** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años)

El resultado del comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento del sismo 11, se presenta mediante una gráfica en la Figura 125. Las rotaciones máximas se presentaron cerca de los 60 s del sismo y la rotación mayor que se presentó fue de 0.00445 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal en el programa de cómputo SA2000 V14.



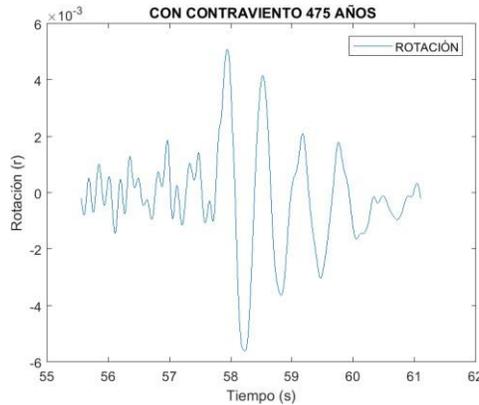
**Figura 125** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años)

En la Figura 126, se presenta el comportamiento que tuvo la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos para el sismo 1 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 11 y 11.5 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00835 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



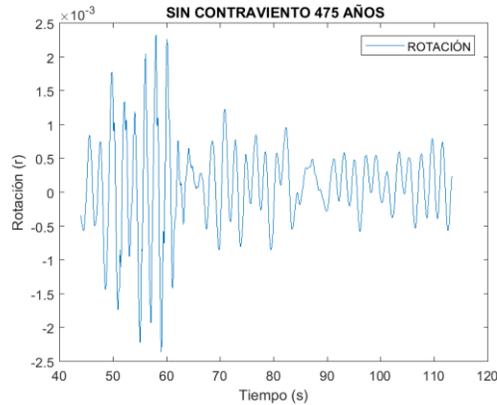
**Figura 126** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años)

El resultado del análisis estructural del marco con contraviento en donde se evaluó la variable de rotación en el nodo superior derecho de la estructura para el sismo 2, se muestra por medio de una gráfica, lo cual se observa en la Figura 127. La rotación máxima que presentó de acuerdo al análisis fue de 0.00561 radianes.



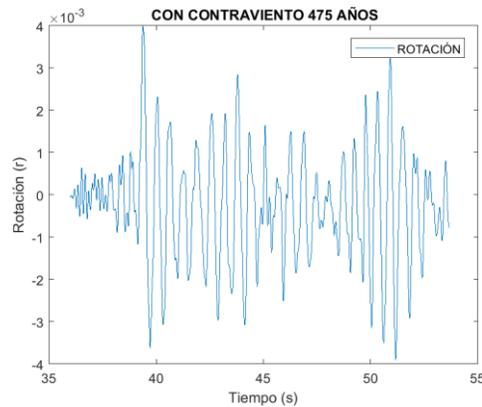
**Figura 127** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años)

La Figura 128 muestra el resultado que se obtuvo del análisis estructural de la variable rotación en el marco de acero con contravientos. El análisis se realizó para el sismo 3 con asociación a un periodo de retorno de 475 años. De acuerdo a los resultados, las rotaciones máximas se presentaron entre los 10 y 12 s; dentro de este periodo de tiempo se encuentra la rotación máxima que fue de 0.00567 radianes.



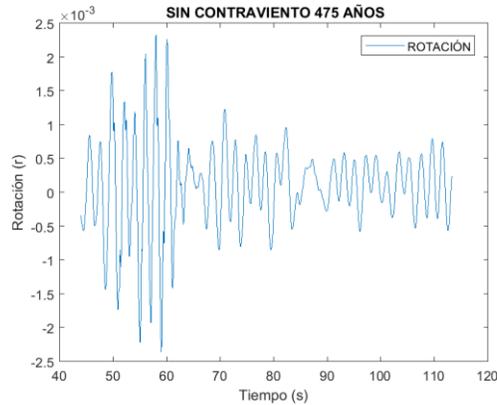
**Figura 128** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años)

El resultado del comportamiento de la variable rotación en el marco con contravientos para el sismo 4, se presenta mediante una gráfica en la Figura 129. Las rotaciones máximas se presentaron cerca de los 40 s del sismo y la rotación mayor que se presentó fue de 0.00400 radianes, esto de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal.



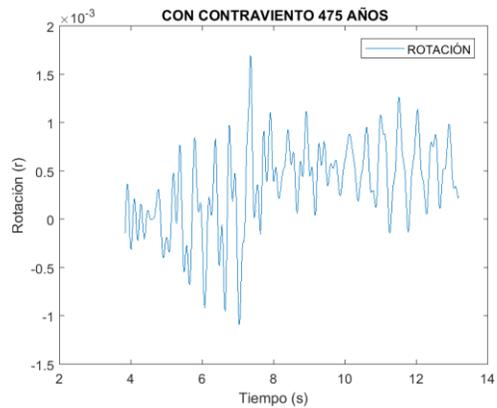
**Figura 129** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años)

En la Figura 130, se observa el comportamiento de la variable rotación para el marco con contraviento en configuración tipo X. La estructura de acero se analizó para el sismo 5 y para un periodo de retorno de 475 años (nivel de desempeño de seguridad de vida). En la gráfica se observa que la rotación máxima se presentó un poco antes de los 8 s, con un valor de 0.00910 radianes.



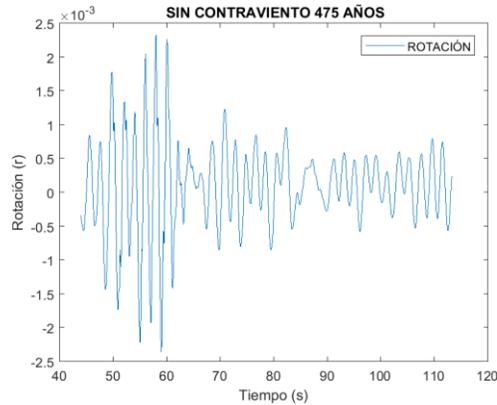
**Figura 130** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco de acero con contravientos para el sismo 6 y para un periodo de retorno de 475 años, se observa en la Figura 131 por medio de una gráfica. En dicha gráfica se observa que las rotaciones máximas se presentaron aproximadamente a los 7 s del sismo. La rotación máxima que presentó la estructura ante este sismo fue de 0.00170 radianes.



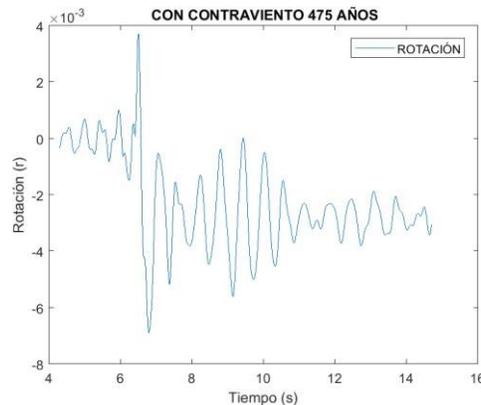
**Figura 131** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 475 años)

El análisis dinámico no lineal del marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 7 y un periodo de retorno de 475 años, presentó las rotaciones que se muestran en la Figura 132. Los resultados se presentan en forma de gráfica en donde se visualiza que las rotaciones máximas se presentaron un poco antes de los 13 s del sismo. La rotación máxima que se presentó fue de 0.00140 radianes.



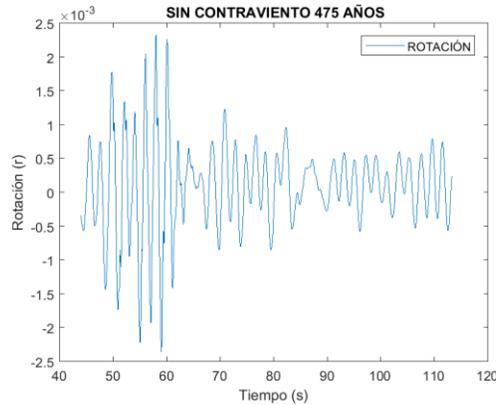
**Figura 132** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 475 años)

El resultado del comportamiento de la variable rotación en el marco con contravientos para el sismo 8, se presenta mediante una gráfica en la Figura 133. Las rotaciones máximas se presentaron cerca de los 6 s del sismo y la rotación mayor que se presentó fue de 0.00689 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos del análisis dinámico no lineal.



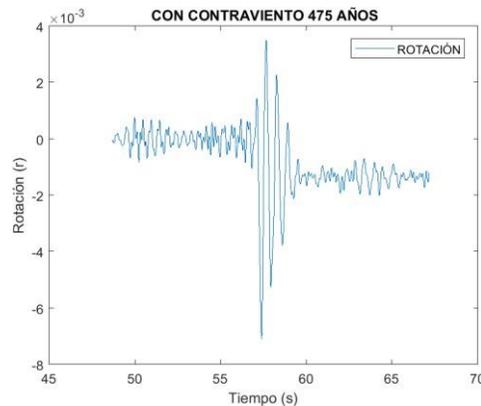
**Figura 133** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco con contravientos para el sismo 9, se visualizan de forma gráfica en la Figura 134; este comportamiento se extrajo después de un análisis dinámico no lineal. En la gráfica se observó que, en el tiempo de 7 s, se presentaron las mayores rotaciones. Es por ello que alrededor de ese tiempo fue donde se presentó la rotación máxima con un valor de 0.00154 radianes.



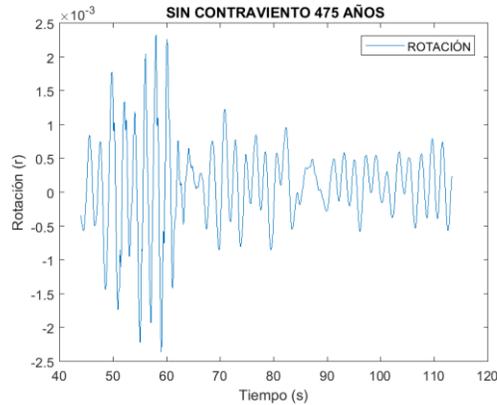
**Figura 134** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 475 años)

El resultado del análisis de la variable rotación para el marco con contravientos en configuración tipo X para el sismo 10 y asociado a un periodo de retorno de 475 años, se muestra en la Figura 135. El contenido de dicha figura contiene una gráfica con las rotaciones que se presentaron en el nodo superior de la estructura. La rotación máxima se presentó cerca de los 60 s con un valor de 0.00710 radianes.



**Figura 135** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 475 años)

En la Figura 136, se muestra el comportamiento de la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos para el sismo 11 y para un nivel de desempeño de seguridad de vida, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 15 y 25 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00119 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.

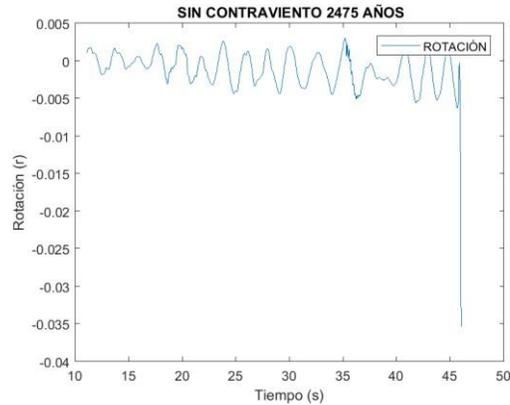


**Figura 136** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 475 años)

### 3.6.13. Rotaciones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso

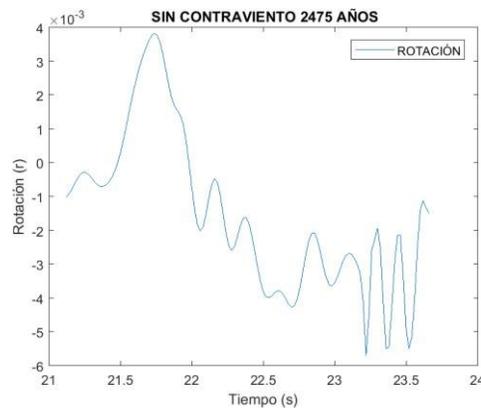
En el presente apartado se mostrarán por medio de gráficas los resultados de las rotaciones de ambos sistemas estructurales en estudio. El análisis de esta variable se realizó para diferentes sismos asociados a un nivel de desempeño de prevención de colapso (periodo de retorno de 2475 años).

En la Figura 137, se muestra el comportamiento de la variable rotación durante el periodo efectivo del sismo. Las rotaciones en el marco de acero resistente a momento para el sismo 1 y para un nivel de desempeño de prevención de colapso, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la gráfica, las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 45 y 47 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.03545 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal. En la gráfica se observa como al final la línea cae en picada, esto ocurrió debido a que la estructura se plastificó y a la vez se presentó una rotación de gran magnitud.



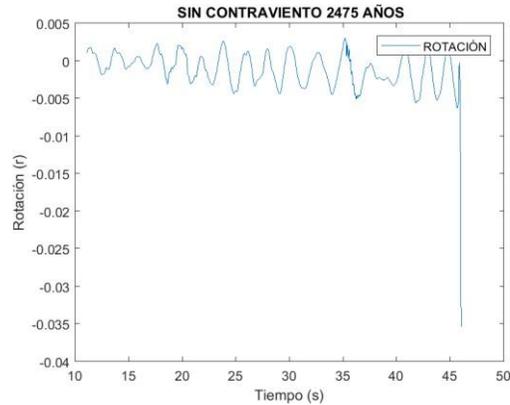
**Figura 137** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años)

En la gráfica de la Figura 138, se presentan los resultados de las rotaciones del marco resistente a momento en el nodo superior derecho de la estructura. Los resultados de estas rotaciones están asociados al sismo 2 y un nivel de desempeño de prevención de colapso. Las rotaciones máximas se presentan entre los 21.5 y 22 s. En el periodo de tiempo antes mencionado se encontró la rotación máxima, la cual tuvo un valor de 0.00570 radianes.



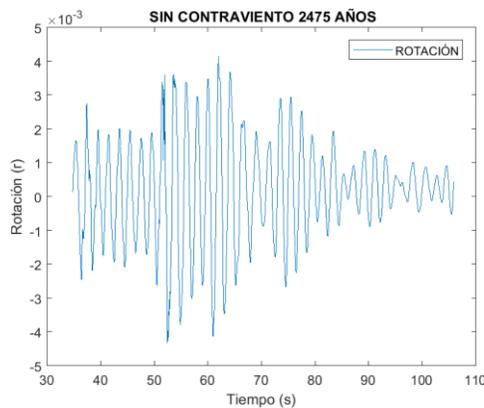
**Figura 138** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 2475 años)

El comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento para el sismo 3 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, se muestra en la Figura 139. Las rotaciones máximas se muestran durante el intervalo de tiempo entre 28 y 28.5 s. De acuerdo a los resultados del análisis estructural, la rotación máxima que se presentó en la estructura de fue de 0.18896 radianes. El motivo por el que se presentó un valor enorme en comparación a otros sismos fue porque el nodo en estudio en relación a esta variable se plastificó durante el análisis estructural.



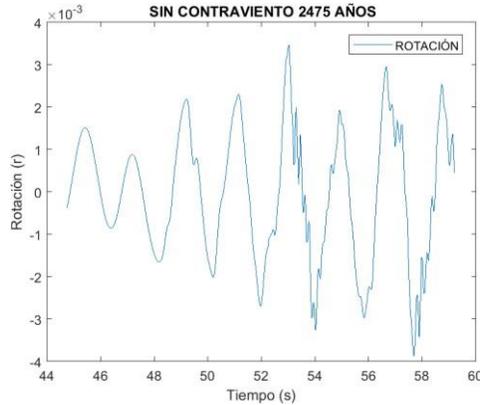
**Figura 139** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 2475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco resistente a momento para el sismo 4 y para un periodo de retorno de 2475 años, se observan en la Figura 140 por medio de una gráfica. En dicha gráfica se observa que las rotaciones máximas se presentaron aproximadamente entre los 50 y 60 s del sismo. La rotación máxima que presentó la estructura ante este sismo fue de 0.00433 radianes.



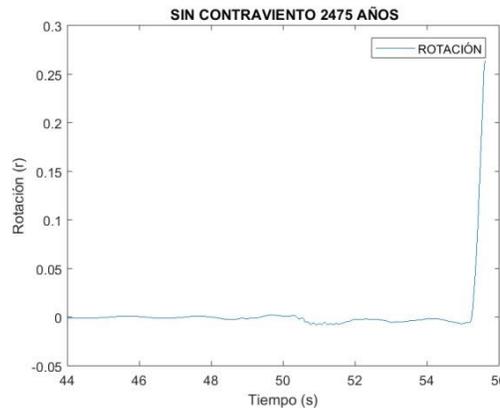
**Figura 140** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 2475 años)

El resultado de las rotaciones en el marco resistente a momento para el sismo 5, se muestra mediante una gráfica en la Figura 141. Dicho sismo se asoció a un periodo de retorno de 2475 años. En la gráfica se puede observar que las rotaciones máximas se presentaron entre los 56 y 58 s. La rotación máxima que se presentó de acuerdo a lo observado fue de 0.00388 radianes.



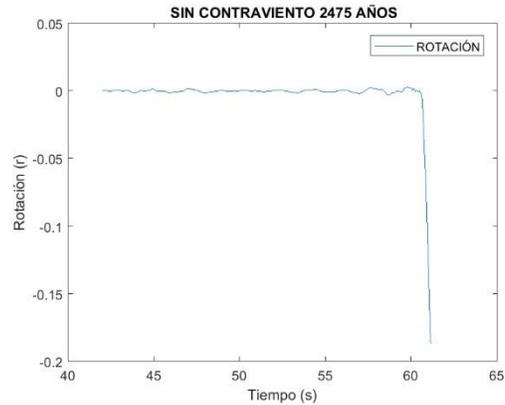
**Figura 141** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 2475 años)

En la Figura 142, se muestra la gráfica con los resultados de las rotaciones del marco de acero resistente a momento del sismo 6 para un nivel de desempeño de prevención de colapso. Las rotaciones se analizaron en el nodo superior de la estructura de acero y se presentó una rotación máxima de 0.26706 radianes. En la parte final de la gráfica se observa como la línea asciende de manera exponencial y esto ocurrió debido a que el nodo en estudio se plastificó durante el proceso de análisis.



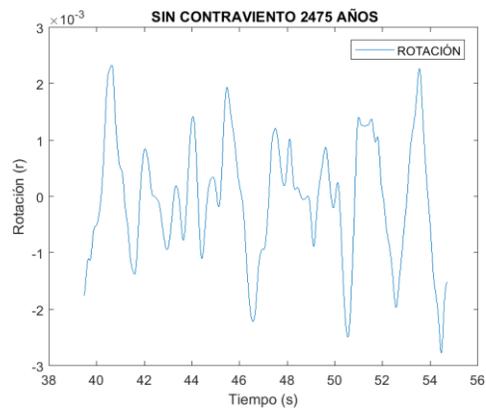
**Figura 142** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 2475 años)

El análisis dinámico no lineal del marco de acero resistente a momento para el sismo 7 y un periodo de retorno de 2475 años presentó las rotaciones que se muestran en el Figura 143. Los resultados se presentan en forma de gráfica en donde se visualiza que las rotaciones máximas se presentaron un poco antes de los 60 s del sismo. La rotación máxima que se presentó fue de 0.18706 radianes. En la parte final de la gráfica se puede visualizar como la línea de resultados decrece de una manera abrupta y es a causa de que el nodo en estudio se plastificó durante el análisis de la variable rotación.



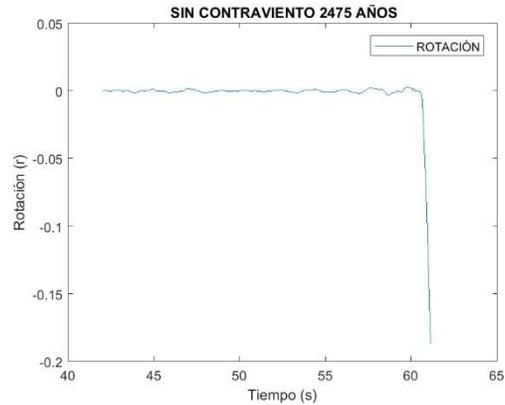
**Figura 143** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 2475 años)

Las rotaciones para el marco resistente a momento durante el análisis del sismo 8 y asociado a un periodo de retorno de 2475 años, se muestran en la Figura 144. Dichas rotaciones se presentaron con mayor intensidad en el periodo de tiempo entre 54 y 55.5 s. De acuerdo a los resultados la rotación máxima que se presentó fue de 0.002 radianes y ocurrió cerca de los 55 s del sismo.



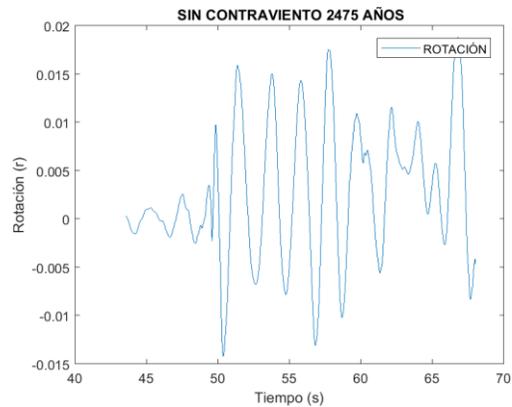
**Figura 144** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 2475 años)

El comportamiento de la variable rotación en el marco resistente a momento para el sismo 9 y un periodo de retorno de 2475 años, mostró los resultados que se observan en la gráfica de la Figura 145. La rotación máxima se presentó cerca de los 52 s del sismo y tuvo un valor de 0.07376 radianes. De acuerdo al análisis de resultados en el periodo de tiempo de 52 s, ocurrió una plastificación en el nodo superior derecho de la estructura y dicho fenómeno se puede apreciar por la caída tan pronunciada que se presenta en la parte final de la gráfica.



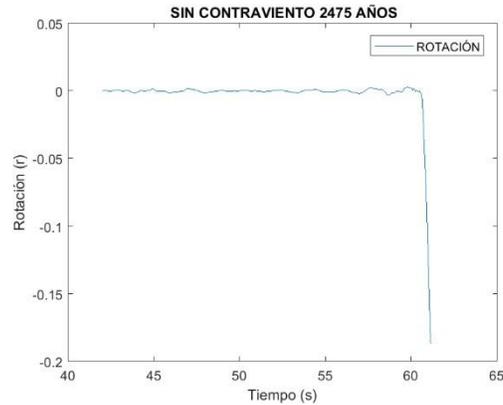
**Figura 145** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 2475 años)

En el marco resistente a momento se analizó la variable rotación para el sismo 10 ligado a un nivel de desempeño de prevención de colapso y se obtuvo como resultado el comportamiento que se muestra en la gráfica de la Figura 146. La rotación máxima que se presentó fue de 0.01884 radianes y ocurrió al redor de los 50 s del sismo.



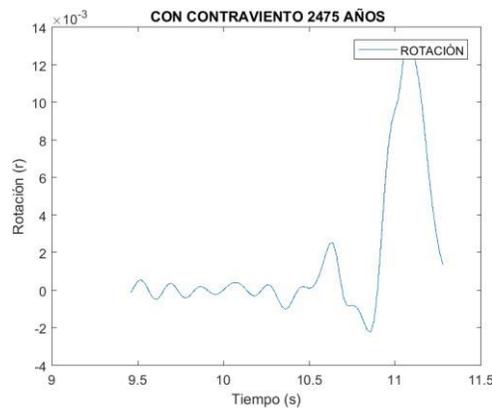
**Figura 146** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 2475 años)

En la Figura 147 se presentan los resultados de la variable rotación del marco resistente a momento para el sismo 11 y un nivel de desempeño de prevención de colapso. Las rotaciones máximas se presentaron en un intervalo de tiempo entre 50 y 55 s como se observa en la gráfica. Además, de acuerdo a los resultados la rotación máxima fue de 0.00802 radianes.



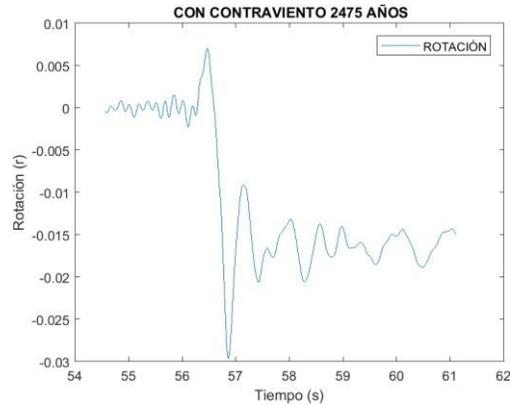
**Figura 147** Rotaciones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 2475 años)

En la Figura 148, se muestra el comportamiento de la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos para el sismo 1 con un nivel de desempeño de prevención de colapso, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 10.5 y 11.5 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.01330 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



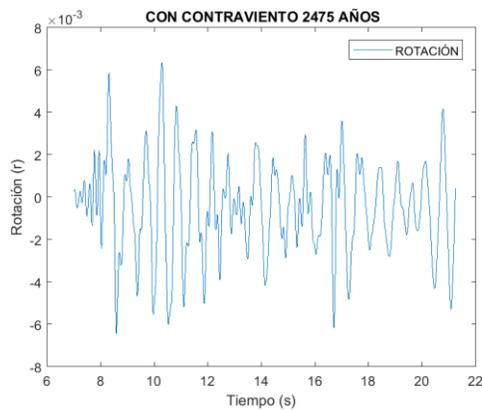
**Figura 148** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 2475 años)

La Figura 149, presenta las rotaciones en el marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 2 con un periodo de retorno de 2475 años, las cuales se analizaron para el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 56 y 57 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.02965 radianes, esto de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis estructural.



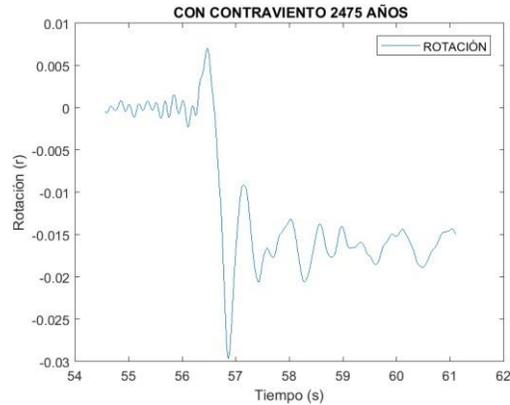
**Figura 149** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 2475 años)

El comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco con contravientos para el sismo 3 asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso, se observa de manera gráfica en la Figura 150. En el periodo de tiempo entre 8 y 12 s, se presentaron las mayores rotaciones en el nodo de estudio. El valor de rotación máxima de acuerdo al análisis dinámico no lineal fue de 0.00645 radianes.



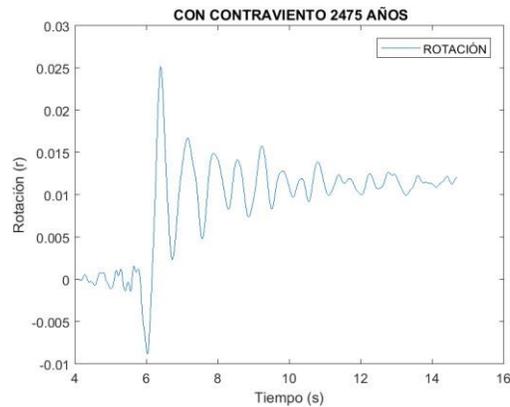
**Figura 150** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 2475 años)

El resultado del análisis estructural del marco con contraviento en donde se evaluó la variable de rotación en el nodo superior derecho de la estructura para el sismo 4, se muestra por medio de una gráfica, lo cual se observa en la Figura 151. La rotación máxima que presentó de acuerdo al análisis estructural fue de 0.01767 radianes.



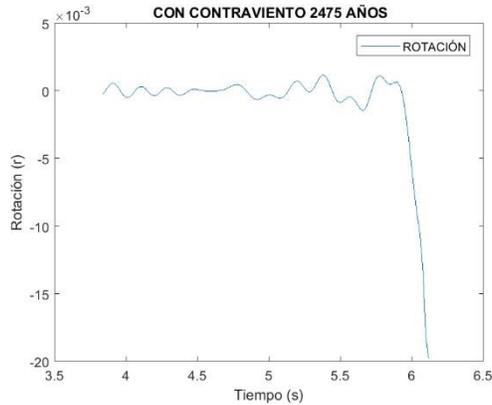
**Figura 151** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 2475 años)

La Figura 152, muestra de manera gráfica el comportamiento de las rotaciones en el nodo superior derecho del marco con contraviento en configuración tipo X. En dicha gráfica se puede observar que cerca del segundo 7, se pueden visualizar las rotaciones máximas. De acuerdo al análisis estructural, la rotación máxima fue de 0.02520 radianes.



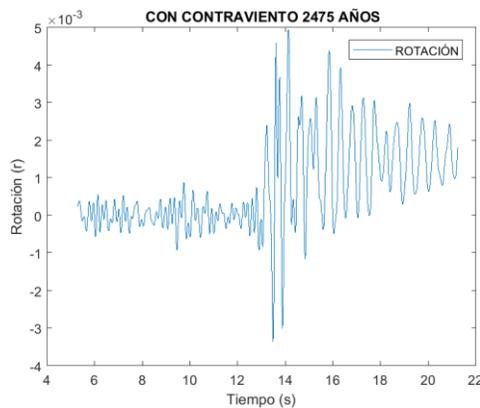
**Figura 152** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 2475 años)

La Figura 153, muestra el resultado que se obtuvo del análisis estructural de la variable rotación en el marco de acero con contravientos. El análisis se realizó para el sismo 6 con asociación a un periodo de retorno de 2475 años. De acuerdo a los resultados, las rotaciones máximas se presentaron después de los 6 s; dentro de este periodo de tiempo se encuentra la rotación máxima que fue de 0.01979 radianes. En la parte final de la gráfica, se puede apreciar que las rotaciones obtuvieron valores muy grandes, esto debido que se plastificó la estructura en ese periodo de tiempo.



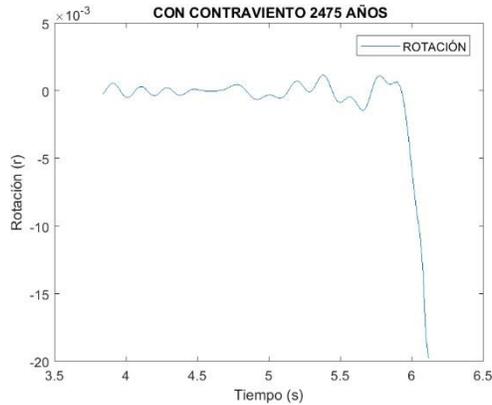
**Figura 153** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 2475 años)

El resultado del análisis estructural por medio del programa de cómputo SAP2000 del marco con contraviento en donde se evaluó la variable de rotación en el nodo superior derecho de la estructura para el sismo 7, se muestra por medio de una gráfica, la cual se observa en la Figura 154. La rotación máxima que presentó de acuerdo al análisis fue de 0.00494 radianes.



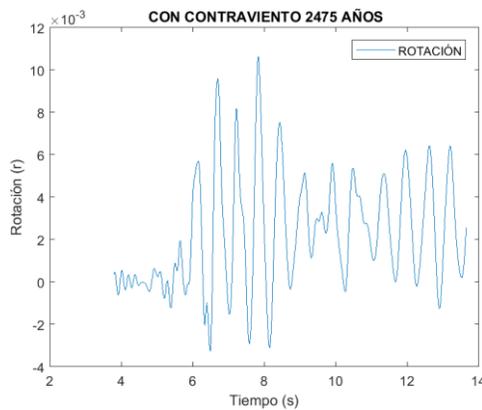
**Figura 154** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 2475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco de acero con contravientos para el sismo 8 y para un periodo de retorno de 2475 años, se observa en la Figura 155 por medio de una gráfica. En dicha gráfica se observa que las rotaciones máximas se presentaron aproximadamente a los 6.5 s del sismo. La rotación máxima que presentó la estructura ante este sismo fue de 0.01610 radianes.



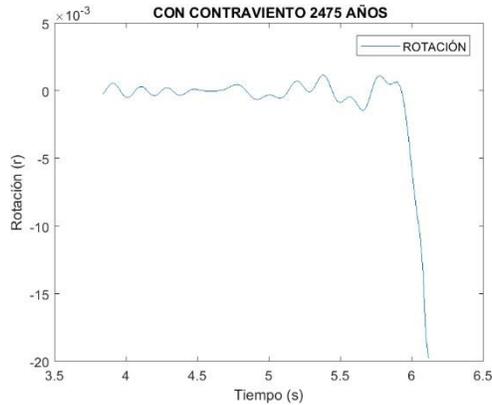
**Figura 155** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 2475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco con contravientos para el sismo 9, se visualizan de forma gráfica en la Figura 156; este comportamiento se extrajo después de un análisis dinámico no lineal. En la gráfica se observó que en el tiempo de 7.5 s, se presentaron las mayores rotaciones. Es por ello que alrededor de ese tiempo fue donde se presentó la rotación máxima con un valor de 0.01063 radianes.



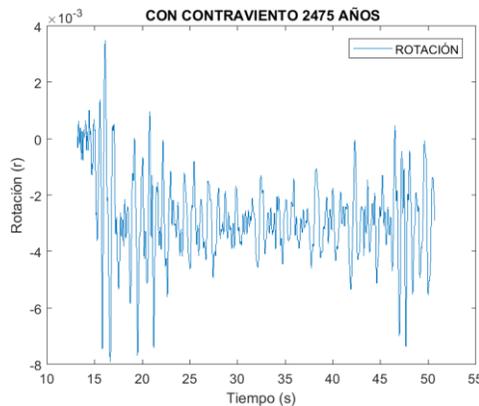
**Figura 156** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 2475 años)

En la Figura 157, se muestra el comportamiento de la variable rotación. Las rotaciones en el marco de acero con contravientos para el sismo 10, para un periodo de retorno de 2475 años, se analizaron en el nodo superior derecho de la estructura. De acuerdo a la siguiente gráfica las rotaciones máximas se presentaron en el intervalo de tiempo entre 50 y 55 s. La rotación máxima que se presentó en el nodo fue de 0.00957 radianes de acuerdo a los resultados obtenidos después del análisis dinámico no lineal.



**Figura 157** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 2475 años)

El comportamiento de las rotaciones del marco con contravientos con configuración tipo x para el sismo 11 y para un periodo de retorno de 2475 años, se visualiza de manera gráfica en la Figura 158. En la gráfica se observa que las rotaciones máximas se expresaron en los primeros 20 segundos del sismo. De acuerdo al análisis estructural, la rotación máxima que se presentó fue de 0.00790 radianes.



**Figura 158** Rotaciones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 2475 años)

### 3.6.14. Comparativa de Rotaciones Máximas

En el presente apartado se mostrarán por medio de tablas y una gráfica las rotaciones máximas para el marco de acero resistente a momento y el marco de acero con contraviento en configuración tipo X. El contenido de la Tabla 13 pertenece a las rotaciones máximas de la edificación con el sistema estructural de marco de acero resistente a momento y la

información de la Tabla 14 corresponde a los resultados en el edificio con sistema de acero con contravientos. La variable rotación, se estudió en el nodo superior derecho de las estructuras, debido a que este es uno de los puntos más vulnerables a los daños que ocasionan los sismos y por lo tanto, se obtienen resultados donde la variable en estudio puede presentar los valores más críticos de acuerdo al análisis estructural.

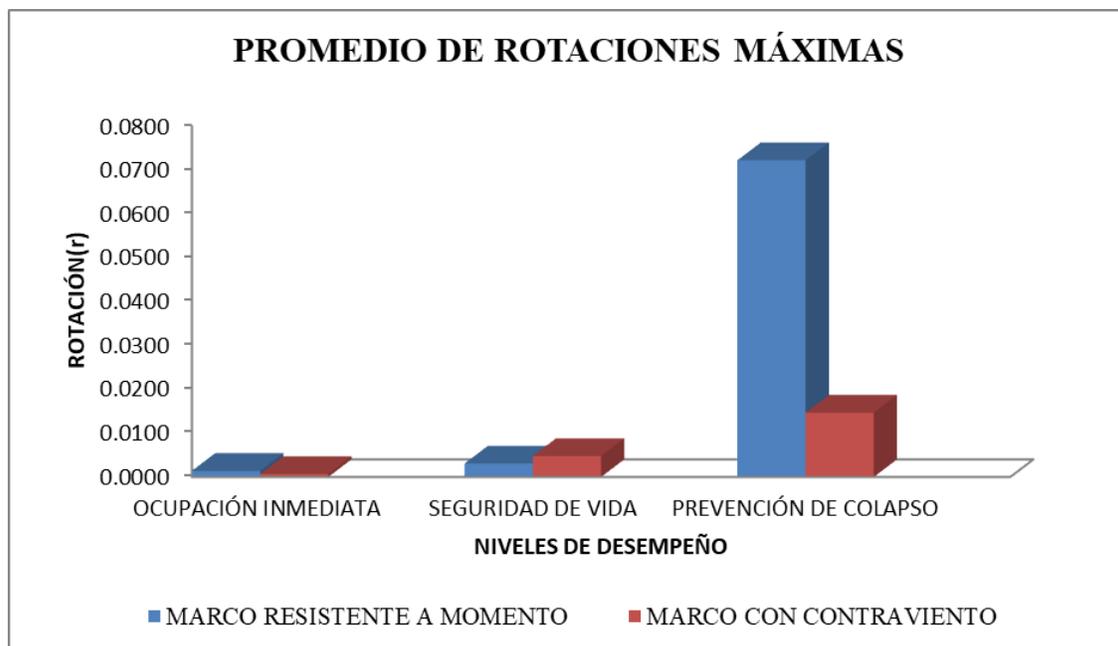
**Tabla 13** Rotaciones Máximas para el Marco Resistente a Momento

ROTACIÓN EN CONEXIÓN PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO					
Ocupación Inmediata		Seguridad de Vida		Prevención de Colapso	
Sismo	Rotación Máxima Absoluta	Sismo	Rotación Máxima Absoluta	Sismo	Rotación Máxima Absoluta
Sismo 1	0.00170	Sismo 1	0.00254	Sismo 1	0.03545
Sismo 2	0.00123	Sismo 2	0.00373	Sismo 2	0.00570
Sismo 3	0.00180	Sismo 3	0.00336	Sismo 3	0.18896
Sismo 4	0.00117	Sismo 4	0.00238	Sismo 4	0.00433
Sismo 5	0.00137	Sismo 5	0.00258	Sismo 5	0.00388
Sismo 6	0.00151	Sismo 6	0.00236	Sismo 6	0.26430
Sismo 7	0.00123	Sismo 7	0.00346	Sismo 7	0.18706
Sismo 8	0.00127	Sismo 8	0.00368	Sismo 8	0.00278
Sismo 9	0.00139	Sismo 9	0.00270	Sismo 9	0.07376
Sismo 10	0.00129	Sismo 10	0.00254	Sismo 10	0.01884
Sismo 11	0.00135	Sismo 11	0.00445	Sismo 11	0.00802
Promedio=	0.00139	Promedio=	0.00307	Promedio=	0.07210

**Tabla 14** Rotaciones Máximas del Marco con Contraviento

ROTACIÓN EN CONEXIÓN PARA MARCO CON CONTRAVIENTO					
Ocupación Inmediata		Seguridad de Vida		Prevención de Colapso	
Sismo	Rotación Máxima Absoluta	Sismo	Rotación Máxima Absoluta	Sismo	Rotación Máxima Absoluta
Sismo 1	0.00074	Sismo 1	0.00835	Sismo 1	0.01330
Sismo 2	0.00098	Sismo 2	0.00561	Sismo 2	0.02965
Sismo 3	0.00051	Sismo 3	0.00567	Sismo 3	0.00645
Sismo 4	0.00065	Sismo 4	0.00400	Sismo 4	0.01767
Sismo 5	0.00051	Sismo 5	0.00910	Sismo 5	0.02520
Sismo 6	0.00076	Sismo 6	0.00170	Sismo 6	0.01979
Sismo 7	0.00064	Sismo 7	0.00140	Sismo 7	0.00494
Sismo 8	0.00057	Sismo 8	0.00689	Sismo 8	0.01610
Sismo 9	0.00064	Sismo 9	0.00154	Sismo 9	0.01063
Sismo 10	0.00076	Sismo 10	0.00710	Sismo 10	0.00957
Sismo 11	0.00052	Sismo 11	0.00119	Sismo 11	0.00790
Promedio=	0.00066	Promedio=	0.00478	Promedio=	0.01465

Por último, la Figura 159 muestra el resultado de las rotaciones máximas para cada nivel de desempeño en ambos sismos estructurales sismo-resistentes. El objetivo de presentar en una misma gráfica los resultados de las dos tablas anteriores, es observar el comportamiento general de la variable rotación ante la actuación de algún sismo en ambos sistemas. Además, de manera general, se puede señalar que, de acuerdo a la gráfica, los dos primeros niveles de desempeño (ocupación inmediata y seguridad de vida) se presentó un comportamiento similar en ambos sistemas estructurales sismo-resistentes. Sin embargo, para el nivel de desempeño de prevención de colapso, el sistema de marcos de acero resistente a momento presentó rotaciones muy por encima del marco con contravientos. Los resultados, manifestaron un comportamiento apegado a lo esperado, lo cual contribuye a cumplir con los objetivos del proyecto.



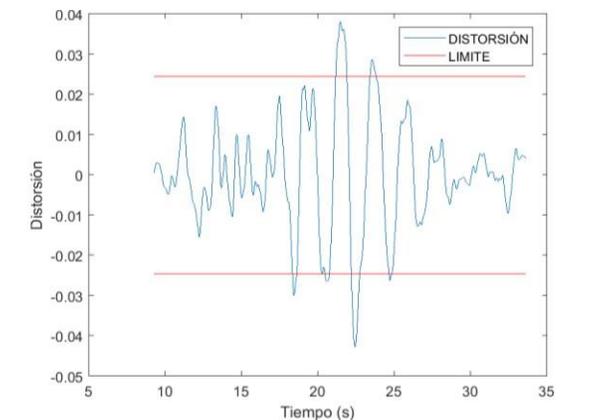
**Figura 159** Comparativa de Rotaciones Máximas

### 3.6.15. Distorsiones para Nivel de Desempeño de Ocupación Inmediata

En este apartado se describirán los resultados correspondientes a la variable distorsión para distintos sismos (66 sismos) los cuales fueron descritos previamente durante la descripción de resultados de la variable desplazamiento. Es por ello que, durante la discusión de los resultados correspondientes a cada gráfica de la variable distorsión los sismos ya no serán descritos, solamente serán mencionados. Adjunto a los resultados, las gráficas mostrarán los límites permisibles que encomienda el Diseño Sísmico Basado en Desempeño.

La variable distorsión se analizó para el entrepiso del medio de la estructura de acero, debido a que teóricamente es la zona que presenta mayor distorsión ante la afectación sísmica. Asimismo, para el cálculo de los límites se utilizó el contenido de la Tabla 10, la cual especifica factores relaciones a cada nivel de desempeño del Diseño Sísmico Basado en Desempeño y a su vez dichos factores se multiplican por la altura. En el caso particular de este proyecto de intervención la altura del entrepiso en estudio fue de 3.5 m.

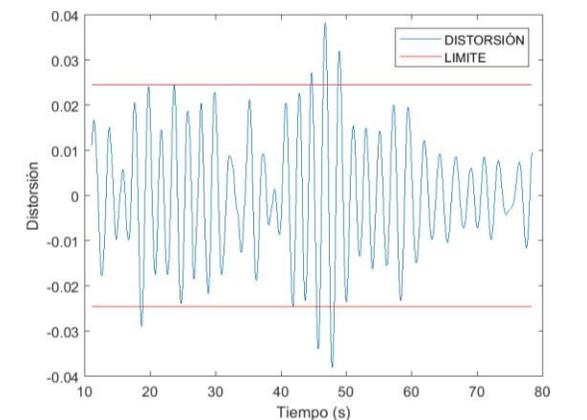
Los resultados de la variable distorsión para el marco resistente a momento donde se analizó el sismo 1 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata, son mostrados por medio de la Figura 160, la cual muestra el comportamiento de dicha variable. Además, aunado a los resultados se presentan los límites establecidos por el diseño que se mencionó en el párrafo anterior. Asimismo, para el cálculo de los límites se utilizó un factor de 0.007 multiplicado por la altura de 3.5 m que tiene el entrepiso dando como resultado un intervalo de -0.0245 a +0.0245. Finalmente, de acuerdo a la gráfica el comportamiento de la variable se encuentra fuera de los límites en el intervalo de tiempo entre 15 y 25 s. La distorsión máxima que se presentó en este análisis fue de 0.043.



**Figura 160** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 1 - 75 años)

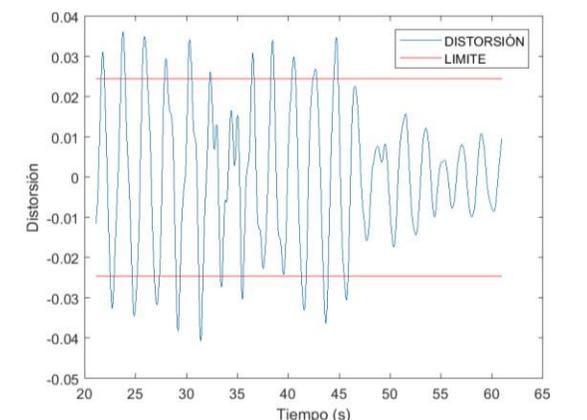
La variable distorsión para el marco resistente a momento en donde se analizó el sismo 2 para un periodo de retorno de 75 años, se presenta en la Figura 161. El análisis estructural

proporcionó un valor de 0.038 como distorsión máxima, la cual se sale de los límites establecidos para un nivel de desempeño de ocupación inmediata.



**Figura 161** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 2 - 75 años)

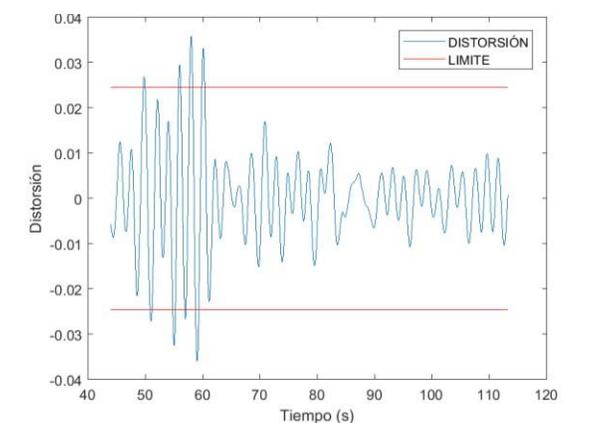
El comportamiento de la variable distorsión para el marco resistente a momento asociado al sismo 3 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata salió del intervalo de límites para un periodo de retorno de 75 años. Dicho comportamiento se puede observar en la Figura 162 en donde por un largo periodo de tiempo se excede de los límites. Asimismo, el análisis estructural proporcionó un valor de distorsión máxima de 0.041.



**Figura 162** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 75 años)

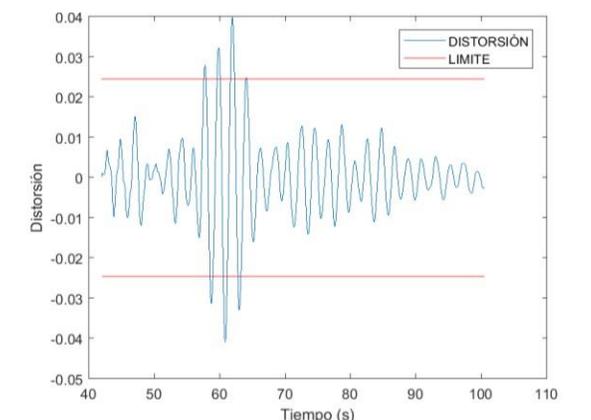
Los resultados para el marco resistente a momento en donde se analizó la variable distorsión para el sismo 4 con un periodo de retorno de 75 años, se presentan en la Figura 163. Las distorsiones con mayor intensidad se presentaron alrededor de los 60 s del sismo.

Además, de acuerdo al análisis estructural la distorsión máxima que se presentó para este caso fue de 0.036.



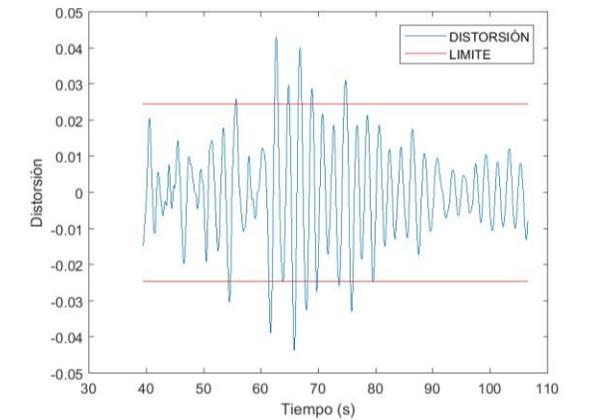
**Figura 163** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 4 - 75 años)

Las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 5 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata excedieron los límites establecido por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño como se muestra claramente en la gráfica de la Figura 164. De acuerdo al análisis estructural la distorsión máxima que se presentó fue de 0.041.



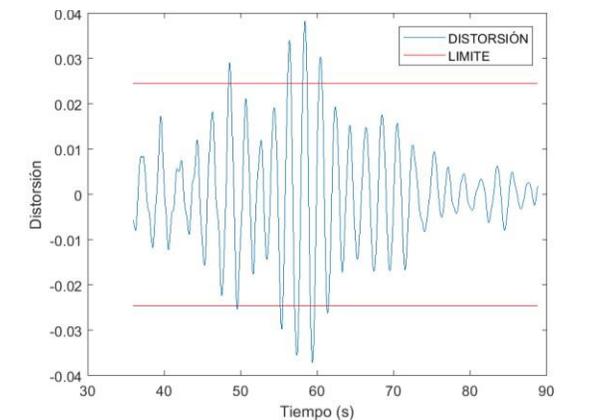
**Figura 164** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 5 - 75 años)

El marco resistente a momento para el sismo 6 con un periodo de retorno de 75 años mostró el comportamiento de la variable distorsión que se observa en la Figura 165. Las distorsiones se excedieron de los límites entre los 60 y 70 s durante la ocurrencia del sismo. La distorsión máxima que se presentó en este caso fue de 0.044.



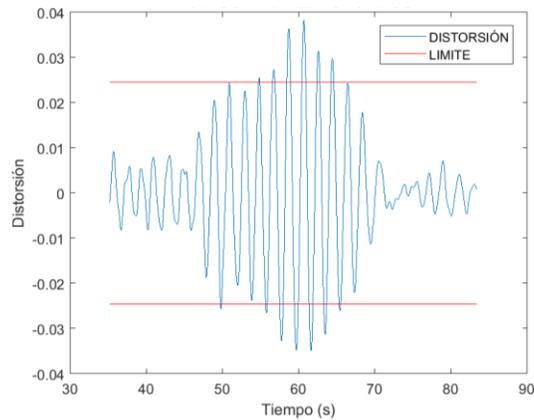
**Figura 165** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 6 - 75 años)

Los resultados para la variable distorsión del marco resistente a momento en donde se analizó el sismo 7 con un periodo de retorno de 75 años, se muestran en la gráfica de la Figura 166. La gráfica muestra que las distorsiones se exceden de los límites durante un periodo de tiempo de 5 s aproximadamente. En el caso particular de este análisis la distorsión máxima que se presentó fue de 0.038.



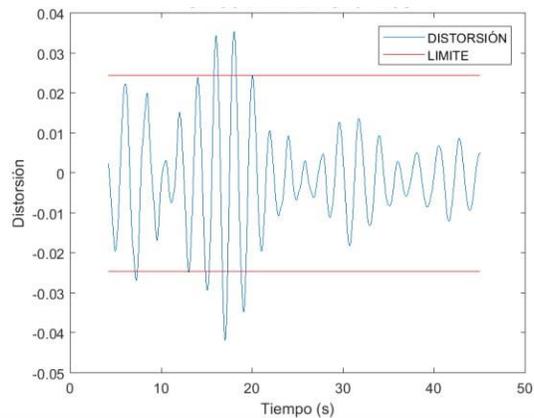
**Figura 166** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 7 - 75 años)

La variable distorsión que se analizó para el marco resistente a momento relacionado al sismo 8 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata presentó un comportamiento inadecuado como se observa en la Figura 167 en donde las distorsiones rebasan los límites establecidos para un periodo de retorno de 75 años. La distorsión máxima que se presentó para este caso fue de 0.038.



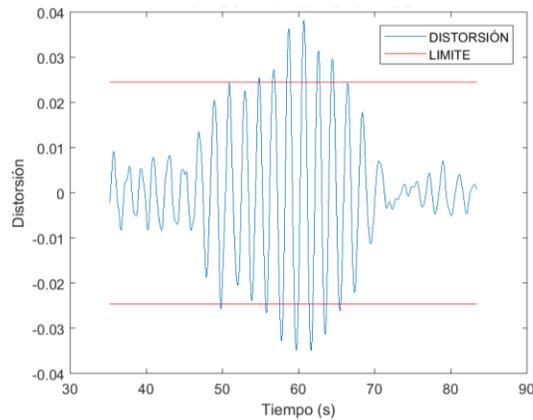
**Figura 167** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 8 - 75 años)

Las distorsiones para el marco resistente a momento con relación al sismo 9 con un periodo de retorno de 75 años son mostradas en la Figura 168 por medio de una gráfica. El comportamiento de esta variable para el caso particular de este análisis fue inadecuado ya que se excedió de los límites permisibles para el nivel de desempeño en estudio. La distorsión máxima que se presentó fue de 0.042.



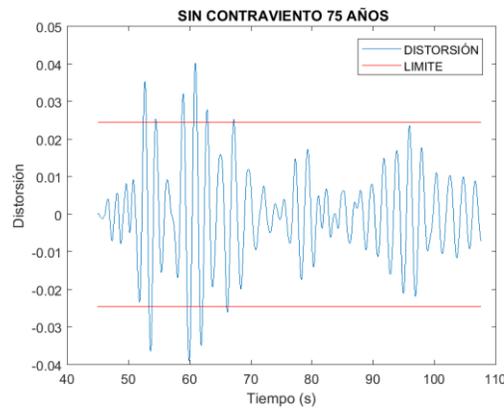
**Figura 168** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 9 - 75 años)

La Figura 169 muestra el comportamiento de la variable distorsión del marco resistente a momento para el sismo 10 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata. Asimismo, el comportamiento de esta variable fue inadecuado ya que se excedió de los límites que se permiten para un periodo de retorno de 75 años. La distorsión máxima que se presentó para este caso fue de 0.038.



**Figura 169** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 10 - 75 años)

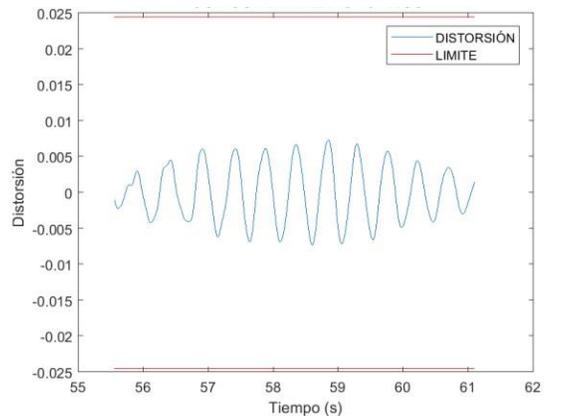
El comportamiento de la variable distorsión que se muestra en la Figura 170 exhibe que marco resistente a momento para el sismo 11 con un periodo de retorno de 75 años se encuentra fuera de los límites establecidos para el Diseño Sísmico enfocado en los daños provocados en la estructura durante la ocurrencia de un sismo. La distorsión máxima para este caso en particular fue de 0.040.



**Figura 170** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 11 - 75 años)

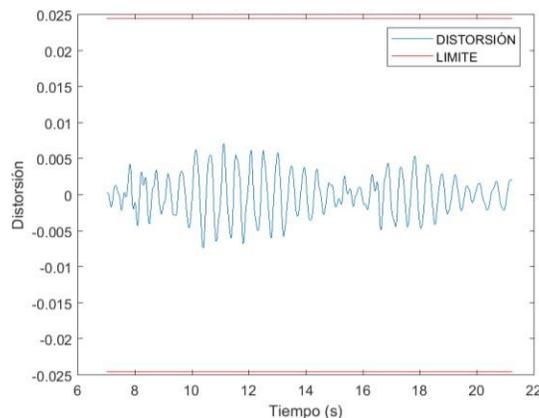
Los resultados de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 1 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata, se muestran en la gráfica de la Figura 171. La gráfica presenta un intervalo de límites de manera adjunta al comportamiento de las distorsiones. La obtención del intervalo de los límites, se calculó mediante el producto de un factor relacionado a un periodo de retorno de 75 años, el cual es de 0.007 por la altura de 3.5 m del entrepiso en estudio dando como resultado un intervalo de -0.0245 hasta +0.0245. El comportamiento de las distorsiones se encuentra dentro de los límites, lo cual representa un

comportamiento adecuado. Asimismo, el análisis estructural indicó que el valor de la distorsión máxima fue de 0.0073.



**Figura 171** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 75 años)

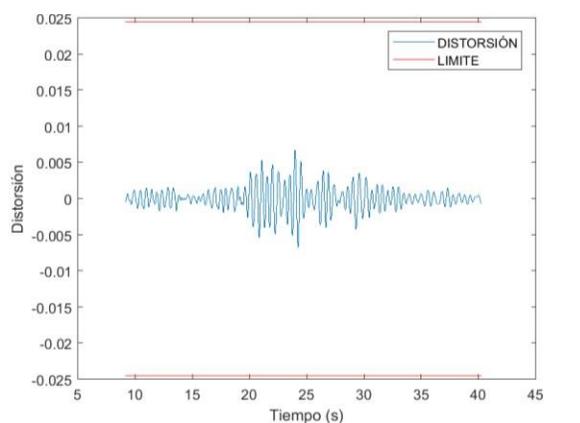
La grafica de la Figura 172 muestra el comportamiento la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 2 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata. De acuerdo a la representación gráfica de las distorsiones se cumple con los límites permisibles en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. Además, el análisis estructural indicó que la distorsión máxima para este caso fue de 0.0074.



**Figura 172** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 75 años)

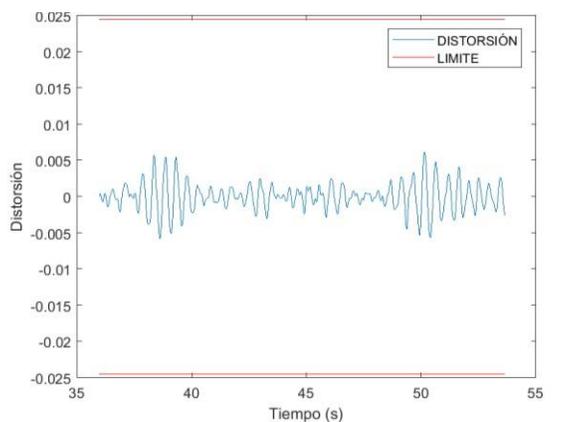
El comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 3 con un periodo de retorno de 75 años, se muestra mediante la gráfica de la Figura 173. La gráfica ejemplifica que las distorsiones obtenidas del análisis estructural se encuentran dentro

del intervalo de límites permisibles. Además, el análisis indicó que la distorsión máxima donde se simuló el sismo 3 fue de 0.0068.



**Figura 173** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 75 años)

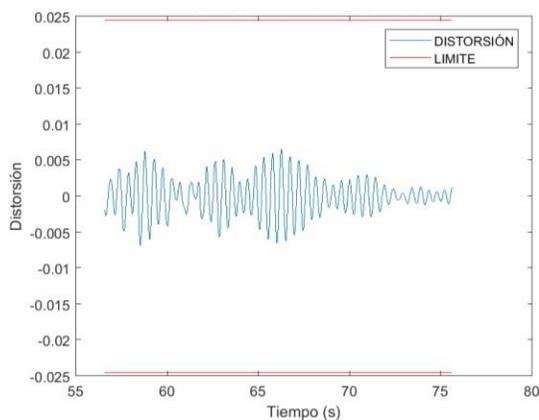
De acuerdo a la gráfica de la Figura 174, el comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 4 y un periodo de retorno de 75 años tuvo un impacto positivo ya que se encuentra dentro de los límites permisibles. La distorsión máxima de acuerdo al análisis estructural que se obtuvo fue de 0.0062, un valor muy por debajo de los límites.



**Figura 174** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 75 años)

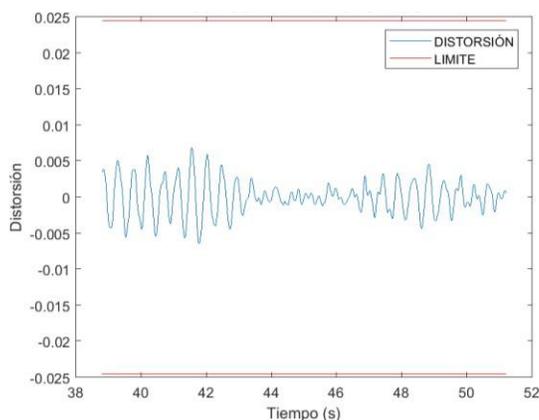
La Figura 175 muestra el comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 5 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata. El comportamiento de esta variable en estudio fue adecuado ya que se encuentra dentro de los

límites que se permiten para el periodo de retorno de 75 años. La distorsión máxima que se presentó fue de 0.0068.



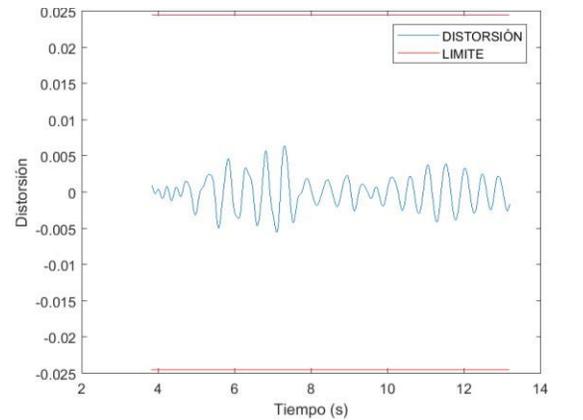
**Figura 175** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 75 años)

Las distorsiones que presentó el marco con contravientos para el sismo 6 con un periodo de retorno de 75 años, se observan en la gráfica de la Figura 176. De acuerdo al análisis estructural la distorsión máxima fue de 0.0069, la cual se encuentra dentro de los límites que se permiten para este nivel de desempeño.



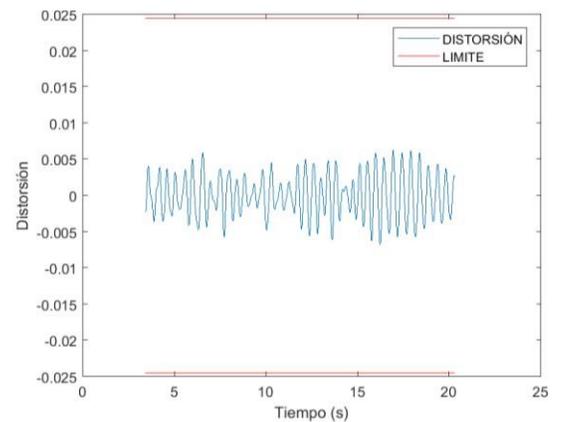
**Figura 176** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 75 años)

Los resultados de las distorsiones en el entrepiso intermedio del marco con contravientos para el sismo 7 con un periodo de retorno de 75 años, se muestran de manera gráfica en la Figura 177. Además, adjunto al comportamiento de la variable en estudio se encuentran los límites permisibles, lo cual se cumple ya que la distorsión máxima con un valor de 0.0064 no rebaso los límites antes mencionados.



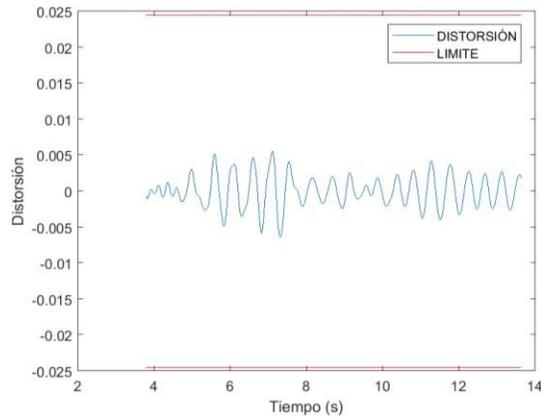
**Figura 177** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 75 años)

El análisis estructural del marco con contravientos para el sismo 8 con un nivel de desempeño de ocupación inmediata indicó que el comportamiento de la variable distorsión se encuentra dentro de los límites establecidos en este tipo de diseños, esto se puede observar mediante la Figura 178. La distorsión máxima que se presentó fue de 0.0068.



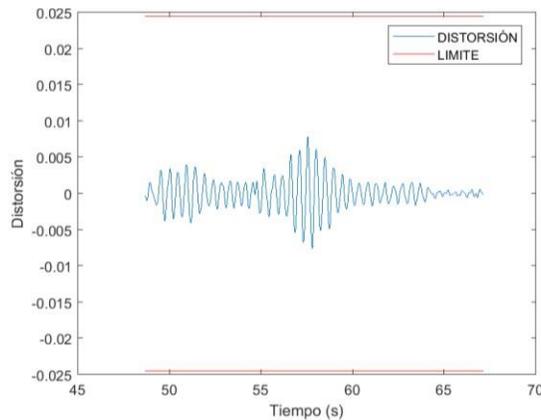
**Figura 178** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 75 años)

Los resultados de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 9 con un periodo de retorno de 75 años indicaron que las distorsiones se encuentran dentro de los límites que se muestran aunados al comportamiento de la variable dentro de la gráfica de la Figura 179. De acuerdo al análisis la distorsión máxima que se presentó en este caso en particular fue de 0.064.



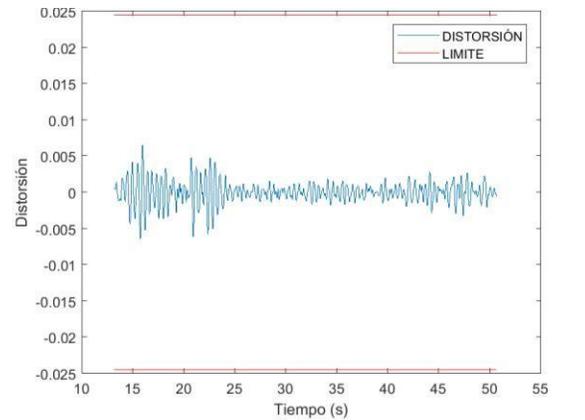
**Figura 179** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 75 años)

La Figura 180 muestra una gráfica de los resultados de la variable distorsión después del análisis estructural dinámico no lineal. Las distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles, lo cual genera un impacto positivo en el proyecto de intervención. La distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.0078, un valor muy por debajo de lo permitido.



**Figura 180** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 75 años)

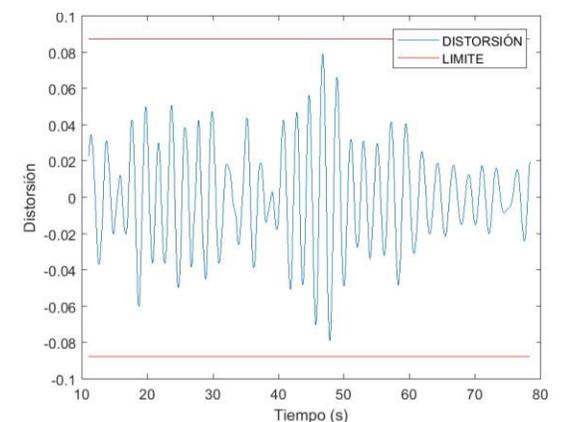
Para finalizar el presente apartado, se muestra el comportamiento del marco con contravientos para el sismo 11 y asociado a un nivel de desempeño de ocupación inmediata en donde dicho comportamiento es admisible ya que se encuentra dentro de los límites permitidos como se observa en la gráfica de la Figura 181. La distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.0066.



**Figura 181** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 75 años)

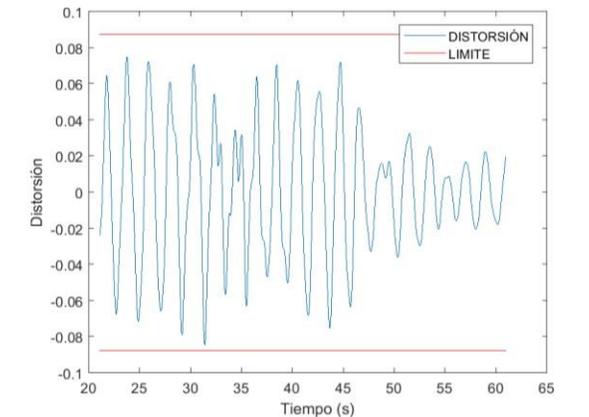
### 3.6.16. Distorsiones para Nivel de Desempeño Seguridad de Vida

Los resultados de la variable distorsión del marco resistente a momento para el sismo 1 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se muestran en la gráfica de la Figura 182. La gráfica modela el comportamiento de las distorsiones en el entrepiso intermedio de la estructura y se observa que el comportamiento de la variable se encuentra dentro de los límites permisibles que impone el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. Para el cálculo de estos límites se utilizó el factor recomendable para un periodo de retorno de 475 años, el cual es de 0.025 multiplicado por la altura del entrepiso que es de 3.5 m dando como resultado un intervalo de -0.0875 a +0.0875. Además, el análisis estructural indicó que la distorsión máxima fue de 0.079.



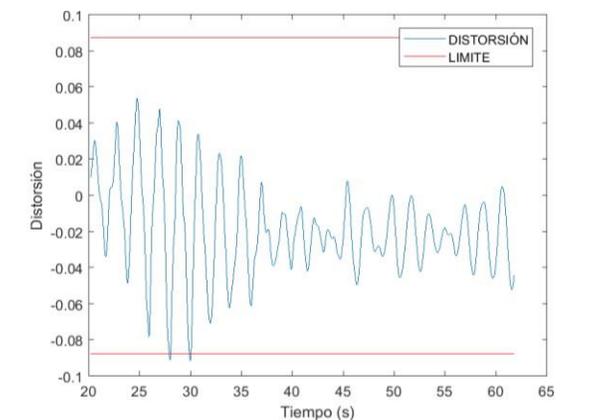
**Figura 182** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años)

La Figura 183 muestra los resultados de las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 2 con un periodo de retorno de 475 años. De acuerdo a la gráfica se observa que las distorsiones se encuentran dentro de los límites permitidos. La distorsión máxima que se obtuvo del análisis de este caso fue de 0.085, un valor por debajo de los límites.



**Figura 183** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años)

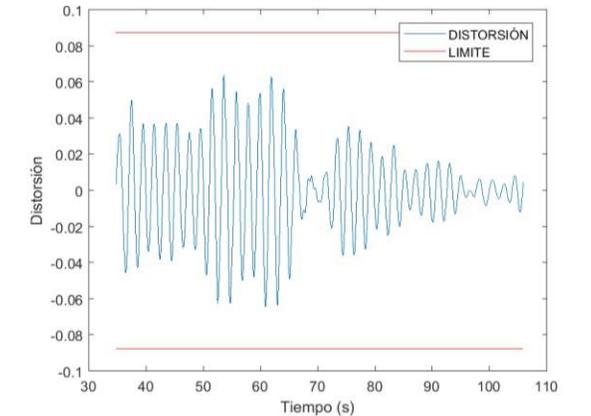
Las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 3 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se observan en la gráfica de la Figura 184. La gráfica muestra que entre los 25 y 30 s del sismo las distorsiones exceden los límites permisibles que recomienda el diseño. De ese modo, la distorsión máxima que presento este análisis fue de 0.091.



**Figura 184** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años)

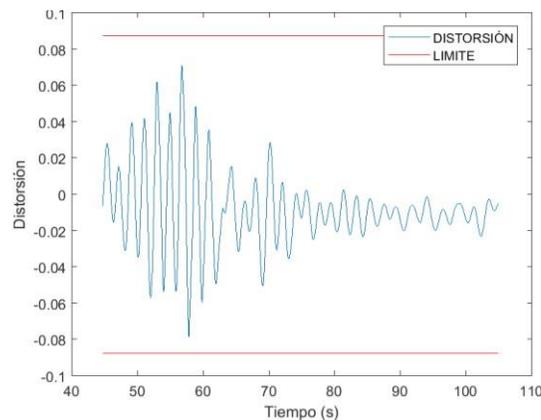
Los resultados de la variable distorsión del marco resistente a momento para el sismo 4 con un periodo de retorno de 475 años, se muestran por medio de una gráfica en la Figura

185. La gráfica demuestra que el comportamiento de las distorsiones se encuentra dentro de los límites permisibles, ya que la distorsión máxima que se presentó de acuerdo al análisis fue de 0.064.



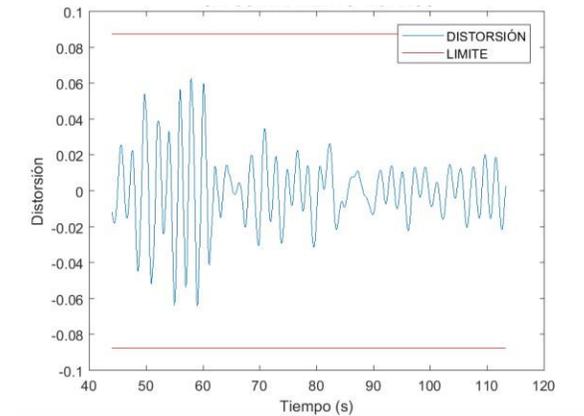
**Figura 185** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años)

Las distorsiones que presentó en marco resistente a momento para el sismo 5 con un periodo de retorno de 475 años, se muestran por medio de la Figura 186. Dichas distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles presentando así un valor de distorsión máxima de 0.078.



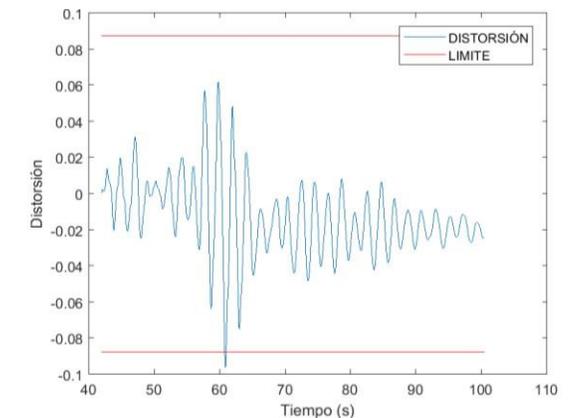
**Figura 186** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años)

Los resultados de las distorsiones en el entrepiso intermedio de la estructura del marco de acero resistente a momento, se muestran de manera gráfica por medio de la Figura 187. La gráfica muestra que el comportamiento de la variable distorsión no excede los límites permisibles recomendados por el diseño. La distorsión máxima que se presentó fue de 0.064.



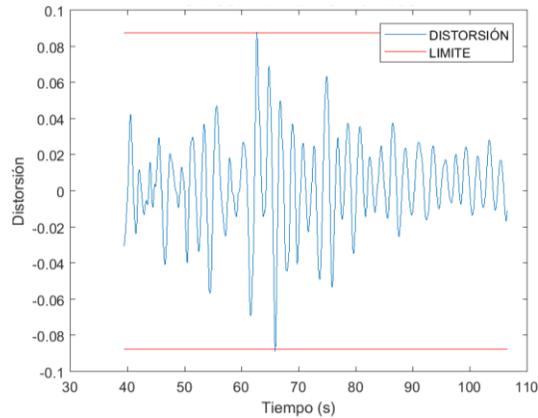
**Figura 187** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años)

El comportamiento de la variable distorsión del marco resistente a momento para el sismo 7 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se muestra por medio de la gráfica de la Figura 188. De acuerdo a la gráfica la distorsión máxima se presentó un poco después de los 60 s con un valor de 0.096, lo cual se excede de los límites establecidos para este diseño.



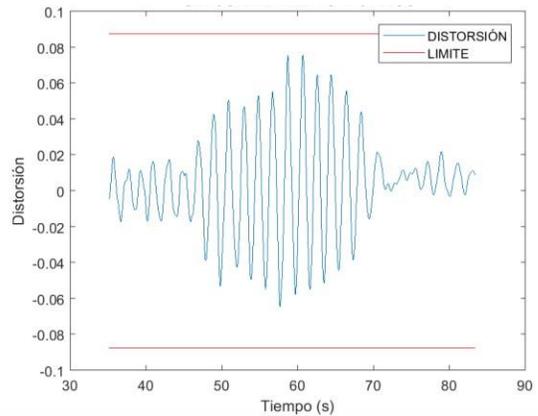
**Figura 188** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años)

La Figura 189 muestra los resultados de las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 8 con un periodo de retorno de 475 años. De acuerdo a la gráfica se observa que las distorsiones se encuentran fuera de los límites permitidos. La distorsión máxima que se obtuvo del análisis de este caso fue de 0.089, un valor por arriba de los límites.



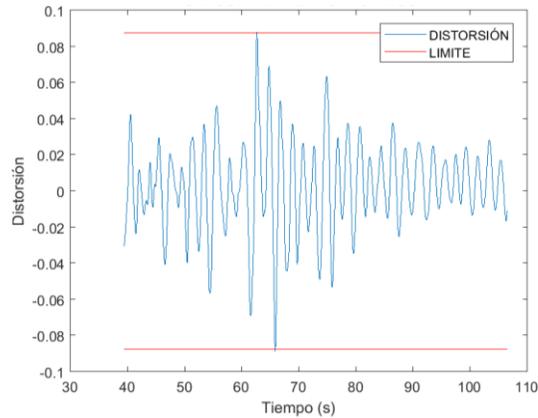
**Figura 189** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años)

Las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 9 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se observan en la gráfica de la Figura 190. La gráfica muestra que las distorsiones no exceden los límites permisibles que recomienda el diseño. De ese modo, la distorsión máxima que presentó este análisis fue de 0.076.



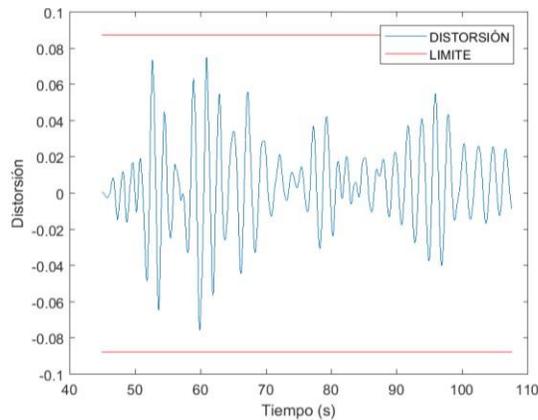
**Figura 190** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años)

Las distorsiones que presentó en marco resistente a momento para el sismo 10 con un periodo de retorno de 475 años, se muestran por medio de la Figura 191. Dichas distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles presentando así un valor de distorsión máxima de 0.072.



**Figura 191** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años)

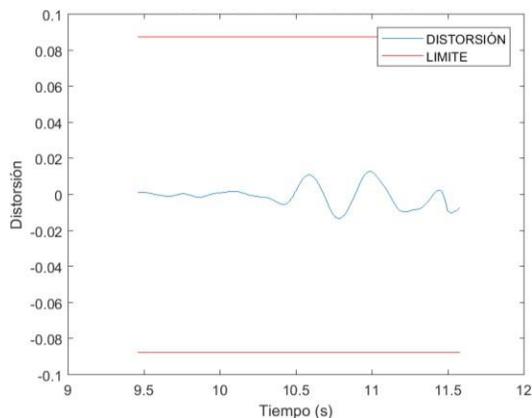
Las distorsiones para el marco de acero resistente a momento con relación al sismo 11 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se presentan en la gráfica de la Figura 192. De acuerdo al comportamiento que tuvo la variable no se excedió los límites permisibles recomendados por el diseño utilizado. Además, el análisis proporcionó un valor para la distorsión máxima de 0.076.



**Figura 192** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años)

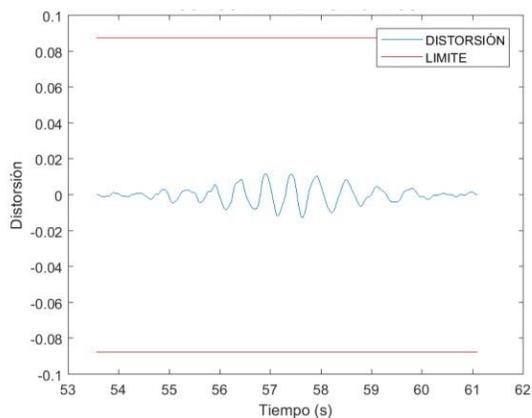
Los resultados de las distorsiones del marco con contravientos para el sismo 1 con un nivel de desempeño de seguridad de vida, se muestran en la Figura 193. La gráfica muestra un intervalo de límites de manera adjunta al comportamiento de la variable distorsión. La obtención del intervalo de los límites, se calculó mediante el producto de un factor relacionado a un periodo de retorno de 475 años, el cual es de 0.025 por la altura de 3.5 m del entrepiso intermedio de la estructura dando como resultado un intervalo entre -0.0875 y +0.0875. El comportamiento de las distorsiones se encuentra dentro de los límites, lo cual

representa un comportamiento apropiado. Además, el análisis estructural mostró que el valor de la distorsión máxima fue de 0.013.



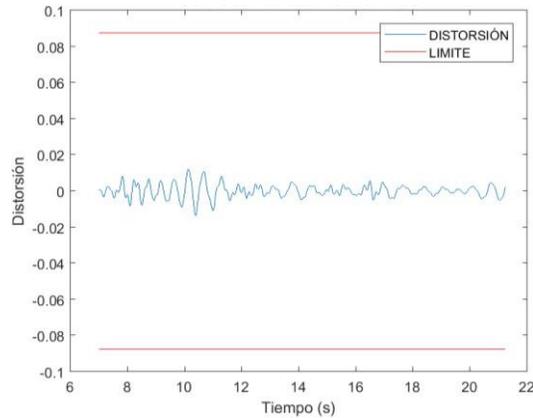
**Figura 193** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 475 años)

La Figura 194 muestra una gráfica con el comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 2 con un periodo de retorno de 475 años. En dicha gráfica se observa que las distorsiones que se obtuvieron del análisis están dentro de los límites permisibles. La distorsión máxima que obtuvo fue de 0.013.



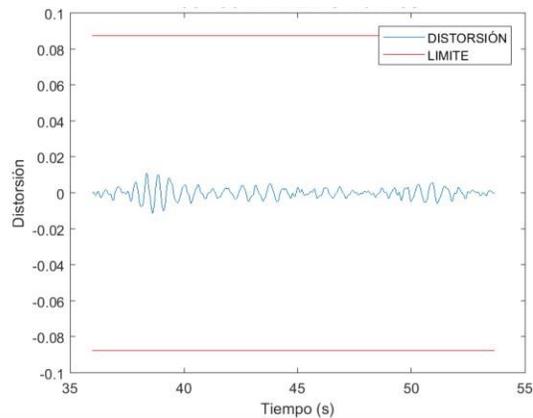
**Figura 194** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 475 años)

Las distorsiones que se obtuvieron del análisis estructural del marco de acero con contravientos para el sismo 3 y un nivel de desempeño de seguridad de vida, se muestran forma de gráfica a través de la Figura 195. El comportamiento de las distorsiones no excedió los límites como se visualiza en la gráfica. Asimismo, la distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.014.



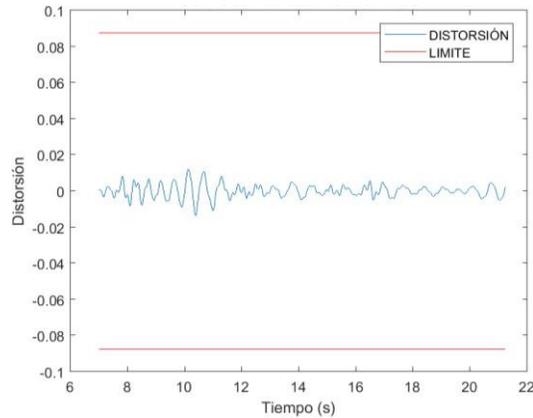
**Figura 195** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 475 años)

Los resultados de las distorsiones en la estructura de marcos de acero con contravientos para el sismo 4 con un periodo de retorno de 475 años, se observan en la Figura 196 por medio de una gráfica que además muestra los intervalos de límites permisibles de acuerdo al diseño. El comportamiento de las distorsiones no excedió los límites ya que la distorsión máxima que se presentó fue de 0.011.



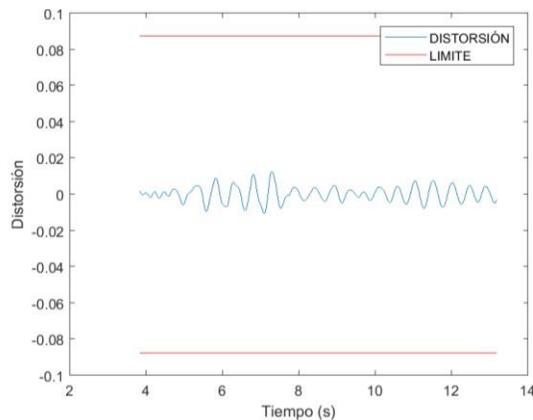
**Figura 196** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 475 años)

La Figura 197 presenta de manera gráfica el comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 5 con un nivel de desempeño de seguridad de vida. De manera adjunta en la gráfica aparecen los límites permisibles que se asocian al periodo de retorno de 475 años y se visualiza que dicho comportamiento no excede estos límites, lo cual es beneficioso para el proyecto. La distorsión máxima fue de 0.013 de acuerdo al análisis.



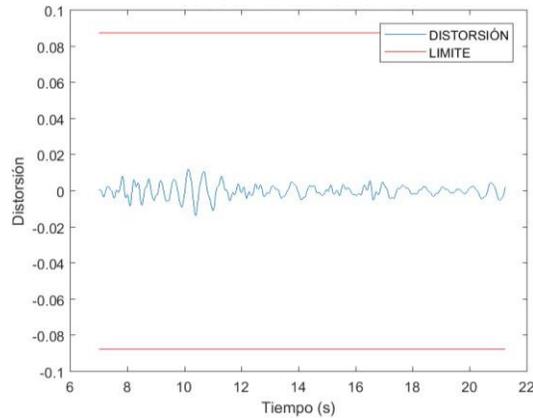
**Figura 197** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 475 años)

El comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos para el sismo 6 con un periodo de retorno de 475 años, se muestra en la gráfica de la Figura 198. Además del comportamiento que tuvo la variable se exponen los límites impuestos por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño, los cuales no fueron excedidos. La distorsión con mayor intensidad o máxima que se presentó fue de 0.013.



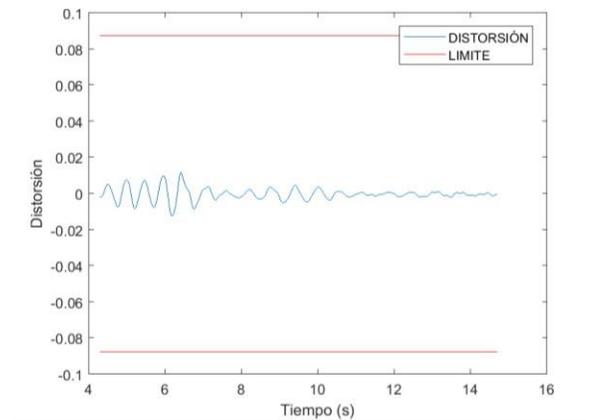
**Figura 198** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 475 años)

La Figura 199 muestra la gráfica con los resultados de las distorsiones en el entrepiso intermedio de la estructura del marco de acero con contravientos para el sismo 7 con un nivel de desempeño de seguridad de vida. La gráfica también presenta los límites permisibles, los cuales no se excedieron ya que la distorsión máxima que se tuvo fue de 0.012.



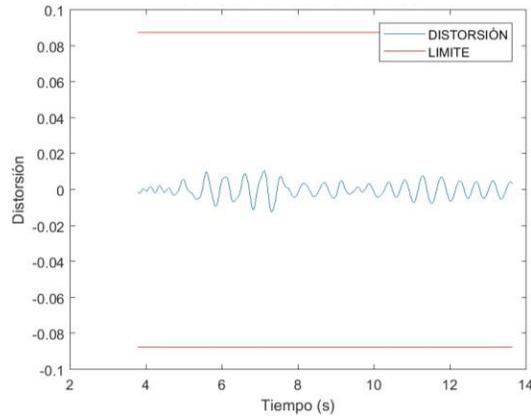
**Figura 199** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 475 años)

Las distorsiones que se obtuvieron del análisis estructural del marco de acero con contravientos para el sismo 8 y un nivel de desempeño de seguridad de vida, se muestran forma de gráfica a través de la Figura 200. El comportamiento de las distorsiones no excedió los límites como se visualiza en la gráfica. Asimismo, la distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.012.



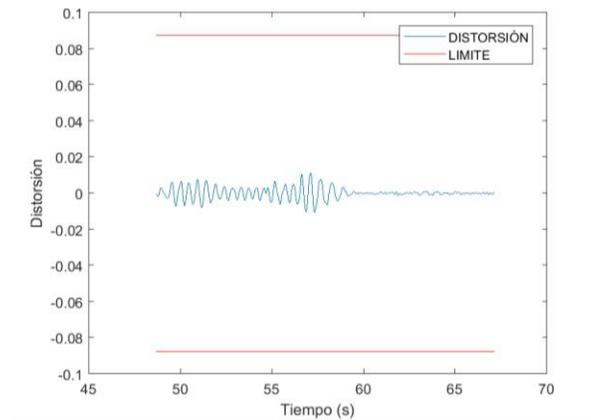
**Figura 200** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 475 años)

La Figura 201 presenta de manera gráfica el comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 9 con un nivel de desempeño de seguridad de vida. De manera adjunta en la gráfica aparecen los límites permisibles que se asocian al periodo de retorno de 475 años y se visualiza que dicho comportamiento no excede estos límites, lo cual es beneficioso para el proyecto. La distorsión máxima fue de 0.012 de acuerdo al análisis.



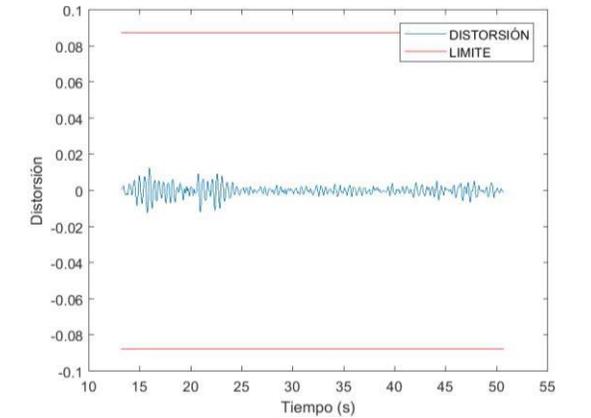
**Figura 201** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 475 años)

El comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos para el sismo 10 con un periodo de retorno de 475 años, se muestra en la gráfica de la Figura 202. Además del comportamiento que tuvo la variable se exponen los límites impuestos por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño, los cuales no fueron excedidos. La distorsión con mayor intensidad o máxima que se presentó fue de 0.011.



**Figura 202** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 475 años)

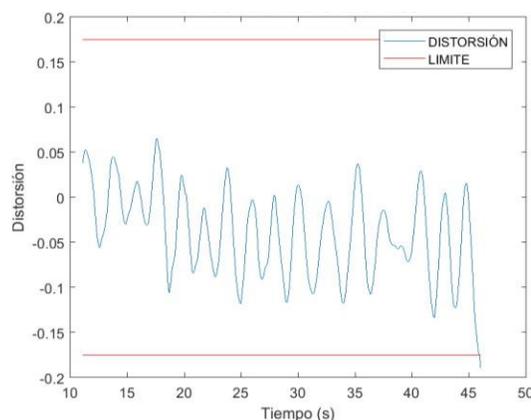
Por ultimo para finalizar este apartado, se muestra el comportamiento del marco con contravientos para el sismo 11 y asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida en donde dicho comportamiento es admisible ya que se encuentra dentro de los límites permitidos como se observa en la gráfica de la Figura 203. La distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.013.



**Figura 203** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 475 años)

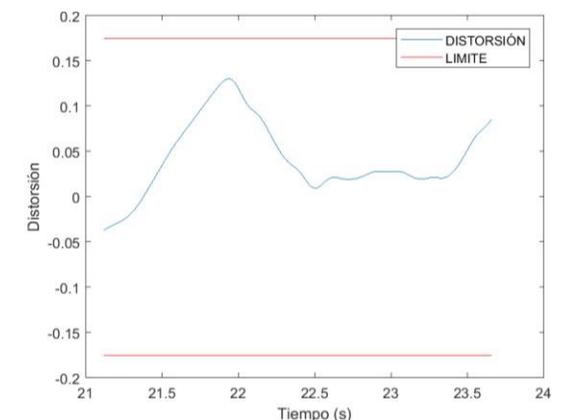
### 3.6.17. Distorsiones para Nivel de Desempeño de Prevención de Colapso

Los resultados de la variable distorsión para el marco resistente a momento donde se analizó el sismo 1 con un nivel de desempeño de prevención de colapso, son mostrados por medio de la Figura 204, la cual muestra el comportamiento de dicha variable. Además, aunado a los resultados se presentan los límites establecidos por el diseño que se mencionó en el párrafo anterior. Asimismo, para el cálculo de los límites se utilizó un factor de 0.05 multiplicado por la altura de 3.5 m que tiene el entrepiso dando como resultado un intervalo de -0.175 a +0.175. Finalmente, de acuerdo a la gráfica el comportamiento de la variable se encuentra fuera de los límites ya que la distorsión máxima que se presentó en este análisis fue de 0.19.



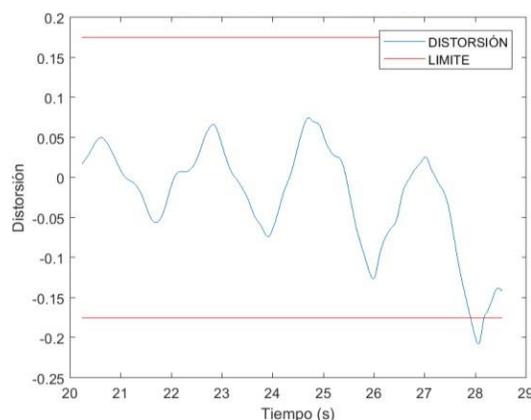
**Figura 204** Distorsiones Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2475 años)

La Figura 205 muestra los resultados de las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 2 con un periodo de retorno de 2475 años. De acuerdo a la gráfica se observa que las distorsiones se encuentran dentro de los límites permitidos. La distorsión máxima que se obtuvo del análisis de este caso fue de 0.13, un valor por debajo de los límites.



**Figura 205** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 2 - 2475 años)

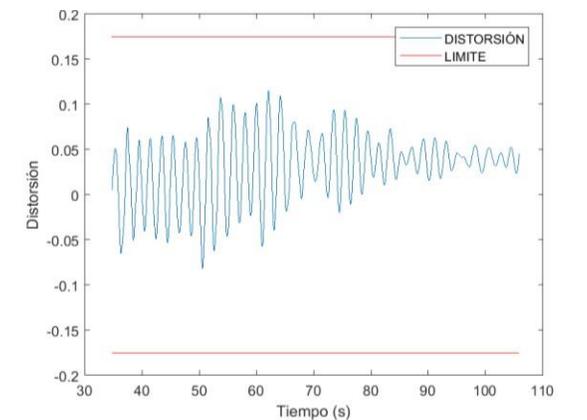
La variable distorsión para el marco resistente a momento en donde se analizó el sismo 3 para un periodo de retorno de 2475 años, se presenta en la Figura 206. El análisis estructural proporcionó un valor de 0.21 como distorsión máxima, la cual se sale de los límites establecidos para un nivel de desempeño de prevención de colapso.



**Figura 206** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 3 - 2475 años)

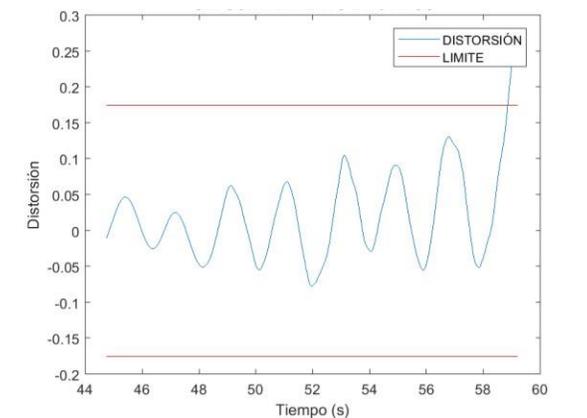
Las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 4 con un nivel de desempeño de prevención de colapso, se observan en la gráfica de la Figura 207. La gráfica muestra que entre los 50 y 60 s del sismo se presentan las distorsiones con mayor intensidad,

sin embargo, no se exceden los límites permisibles que recomienda el diseño. De ese modo, la distorsión máxima que presento este análisis fue de 0.12.



**Figura 207** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 4 - 2475 años)

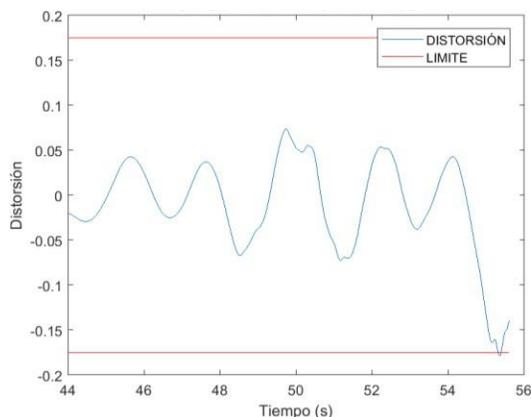
El comportamiento de la variable distorsión para el marco resistente a momento asociado al sismo 5 con un nivel de desempeño de prevención de colapso salió del intervalo de límites para un periodo de retorno de 2475 años. Dicho comportamiento se puede observar en la Figura 208 en donde al final del periodo de tiempo se excede de los límites. Asimismo, el análisis estructural proporcionó un valor de distorsión máxima de 0.25.



**Figura 208** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 5 - 2475 años)

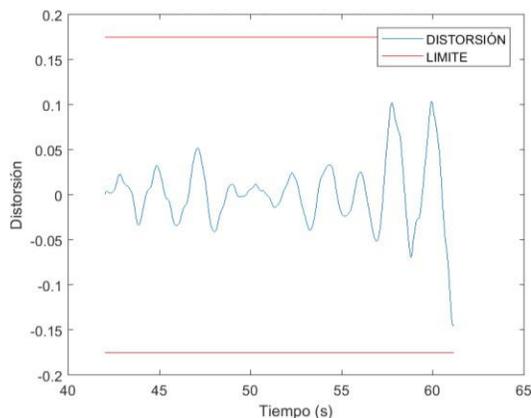
Los resultados de la variable distorsión del marco resistente a momento para el sismo 6 con un periodo de retorno de 2475 años, se muestran por medio de una gráfica en la Figura 209. La gráfica demuestra que el comportamiento de las distorsiones se encuentra fuera de

los límites permisibles, ya que la distorsión máxima que se presentó de acuerdo al análisis fue de 0.178.



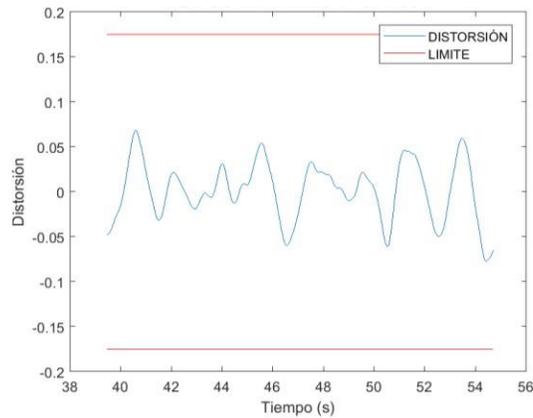
**Figura 209** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 6 - 2475 años)

Los resultados para el marco resistente a momento en donde se analizó la variable distorsión para el sismo 7 con un periodo de retorno de 2475 años, se presentan en la Figura 210. Las distorsiones con mayor intensidad se presentaron alrededor de los 60 s del sismo. Además, de acuerdo al análisis estructural la distorsión máxima que se presentó para este caso fue de 0.15.



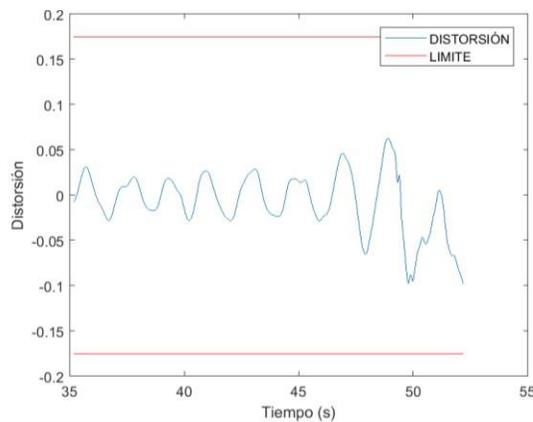
**Figura 210** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 7 - 2475 años)

Las distorsiones que presentó en marco resistente a momento para el sismo 8 con un periodo de retorno de 2475 años, se muestran por medio de la Figura 211. Dichas distorsiones se encuentran dentro de los límites permisibles presentando así un valor de distorsión máxima de 0.077.



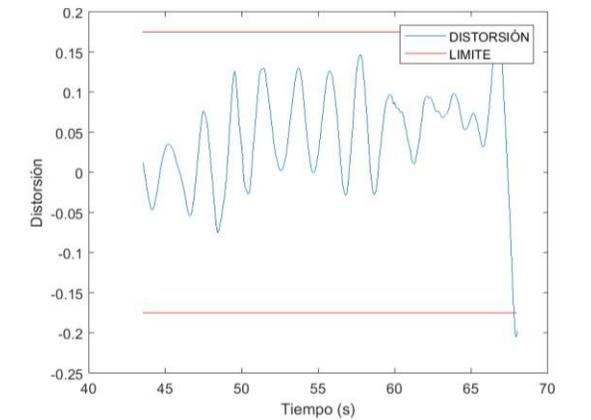
**Figura 211** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 8 - 2475 años)

Las distorsiones del marco resistente a momento para el sismo 9 con un nivel de desempeño de seguridad de vida no excedieron los límites establecido por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño como se muestra claramente en la gráfica de la Figura 212. De acuerdo al análisis estructural la distorsión máxima que se presentó fue de 0.098.



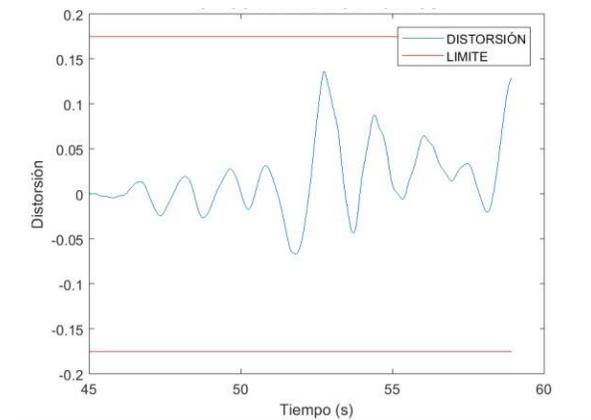
**Figura 212** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 9 - 2475 años)

Los resultados para la variable distorsión del marco resistente a momento en donde se analizó el sismo 10 con un periodo de retorno de 2475 años, se muestran en la gráfica de la Figura 213. La gráfica muestra que las distorsiones se exceden de los límites durante el periodo de tiempo de 67 s aproximadamente. En el caso particular de este análisis la distorsión máxima que se presentó fue de 0.20.



**Figura 213** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 10 - 2475 años)

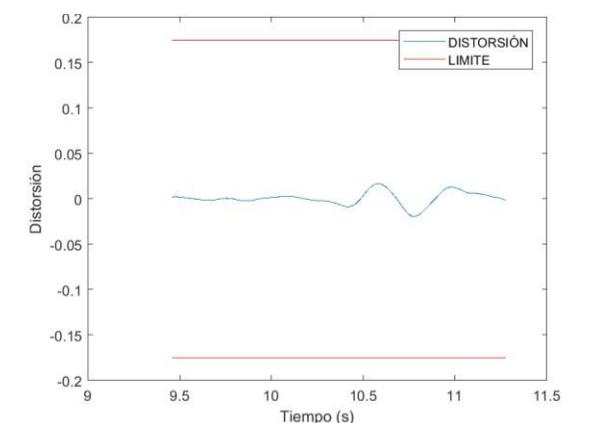
Las distorsiones para el marco de acero resistente a momento con relación al sismo 11 con un nivel de desempeño de prevención de colapso, se presentan en la gráfica de la Figura 214. De acuerdo al comportamiento que tuvo la variable no se excedió los límites permisibles recomendados por el diseño utilizado. Además, el análisis proporcionó un valor para la distorsión máxima de 0.14.



**Figura 214** Distorsiones Marco Resistente a momento (Sismo 11 - 2475 años)

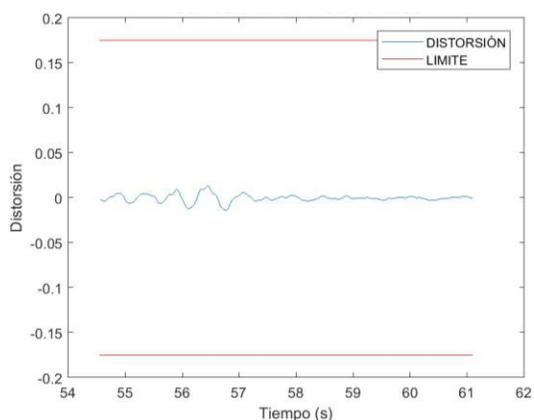
Los resultados de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 1 con un nivel de desempeño de prevención de colapso, se muestran en la gráfica de la Figura 215. La gráfica presenta un intervalo de límites de manera adjunta al comportamiento de las distorsiones. La obtención del intervalo de los límites, se calculó mediante el producto de un factor relacionado a un periodo de retorno de 2475 años, el cual es de 0.05 por la altura de 3.5 m del entrepiso en estudio dando como resultado un intervalo de -0.175 hasta +0.175. El comportamiento de las distorsiones se encuentra dentro de los límites, lo cual representa un

comportamiento adecuado. Asimismo, el análisis estructural indicó que el valor de la distorsión máxima fue de 0.020.



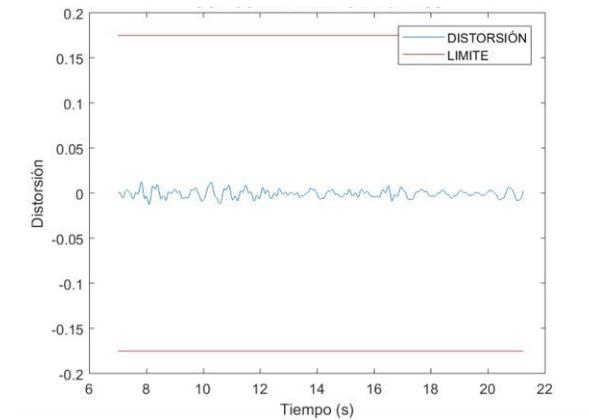
**Figura 215** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 1 - 2475 años)

La Figura 216 muestra una gráfica con el comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 2 con un periodo de retorno de 2475 años. En dicha gráfica se observa que las distorsiones que se obtuvieron del análisis están dentro de los límites permisibles. La distorsión máxima que obtuvo fue de 0.014.



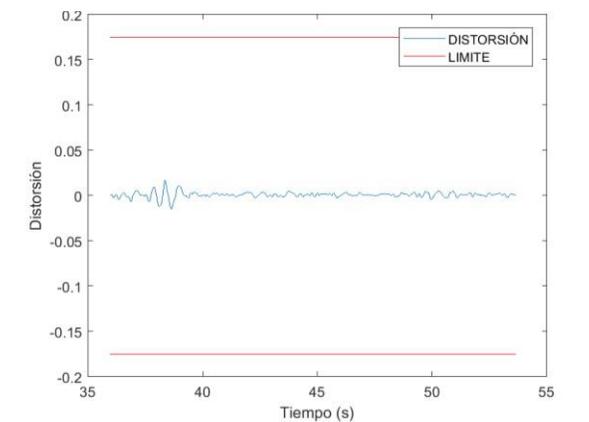
**Figura 216** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 2 - 2475 años)

La grafica de la Figura 217 muestra el comportamiento la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 3 con un nivel de desempeño de prevención de colapso. De acuerdo a la representación gráfica de las distorsiones se cumple con los límites permisibles en el Diseño Sísmico Basado en Desempeño. Además, el análisis estructural indicó que la distorsión máxima para este caso fue de 0.012.



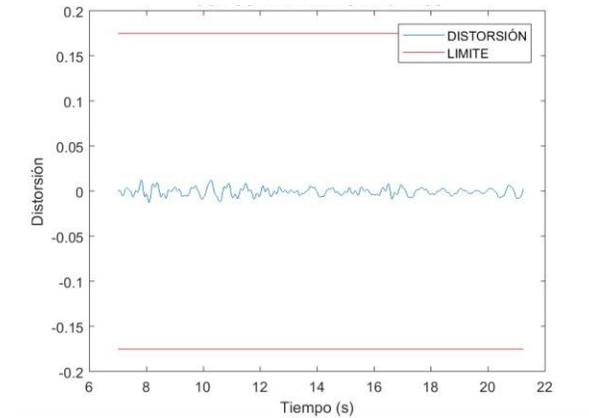
**Figura 217** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 3 - 2475 años)

Las distorsiones que se obtuvieron del análisis estructural del marco de acero con contravientos para el sismo 4 y un nivel de desempeño de prevención de colapso, se muestran forma de gráfica a través de la Figura 218. El comportamiento de las distorsiones no excedió los límites como se visualiza en la gráfica. Asimismo, la distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.017.



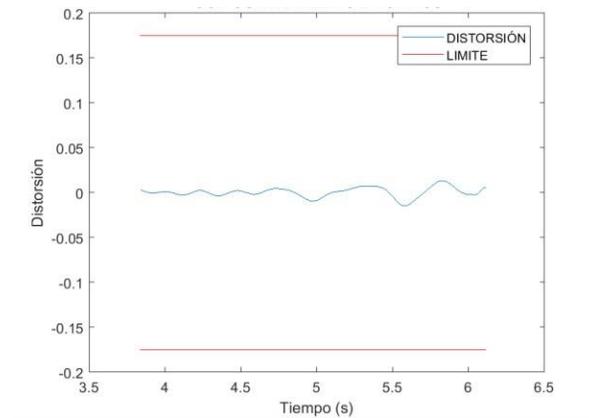
**Figura 218** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 4 - 2475 años)

El comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 5 con un periodo de retorno de 2475 años, se muestra mediante la gráfica de la Figura 219. La gráfica ejemplifica que las distorsiones obtenidas del análisis estructural se encuentran dentro del intervalo de límites permisibles. Además, el análisis indicó que la distorsión máxima donde se simuló el sismo 5 fue de 0.014.



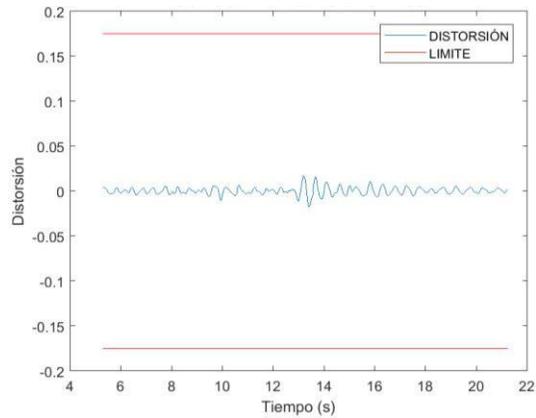
**Figura 219** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 5 - 2475 años)

Los resultados de las distorsiones en la estructura de marcos de acero con contravientos para el sismo 6 con un periodo de retorno de 2475 años, se observan en la Figura 220 por medio de una gráfica que además muestra los intervalos de límites permisibles de acuerdo al diseño. El comportamiento de las distorsiones no excedió los límites ya que la distorsión máxima que se presentó fue de 0.015.



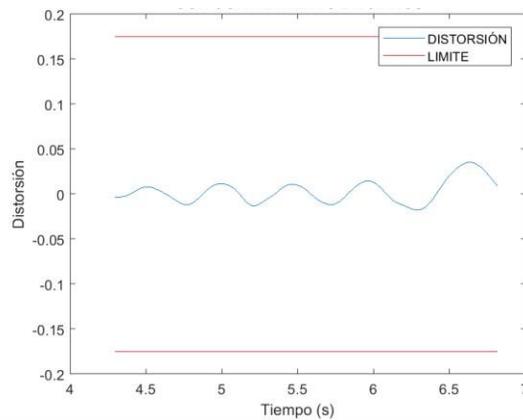
**Figura 220** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 6 - 2475 años)

La Figura 221 presenta de manera gráfica el comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 7 con un nivel de desempeño de prevención de colapso. De manera adjunta en la gráfica aparecen los límites permisibles que se asocian al periodo de retorno de 2475 años y se visualiza que dicho comportamiento no excede estos límites, lo cual es beneficioso para el proyecto. La distorsión máxima fue de 0.018 de acuerdo al análisis.



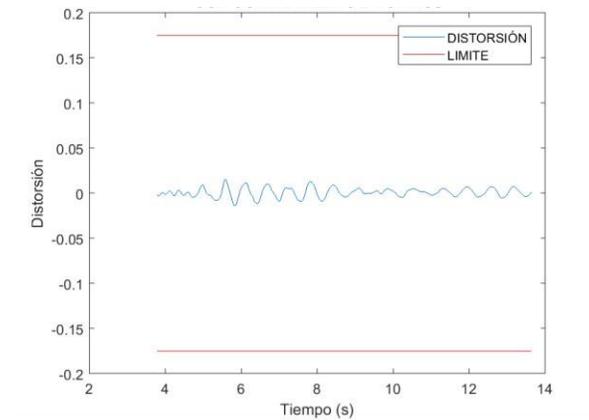
**Figura 221** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 7 - 2475 años)

La Figura 222 muestra el comportamiento de la variable distorsión del marco con contravientos para el sismo 8 con un nivel de desempeño de prevención de colapso. El comportamiento de esta variable en estudio fue adecuado ya que se encuentra dentro de los límites que se permiten para el periodo de retorno de 2475 años. La distorsión máxima que se presentó fue de 0.035.



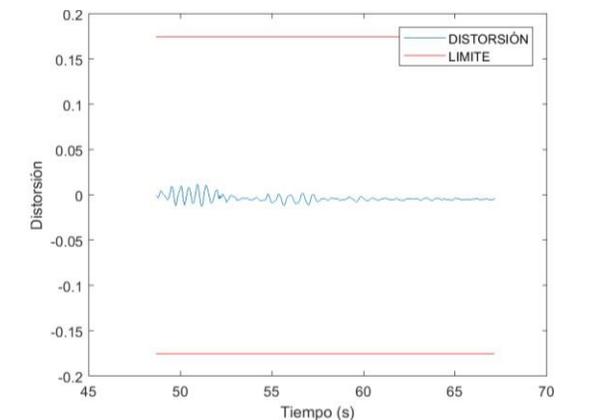
**Figura 222** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 8 - 2475 años)

El comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos para el sismo 9 con un periodo de retorno de 2475 años, se muestra en la gráfica de la Figura 223. Además del comportamiento que tuvo la variable se exponen los límites impuestos por el Diseño Sísmico Basado en Desempeño, los cuales no fueron excedidos. La distorsión con mayor intensidad o máxima que se presentó fue de 0.015.



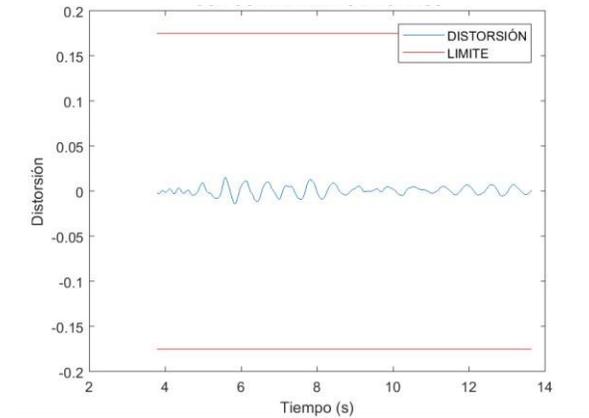
**Figura 223** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 9 - 2475 años)

La Figura 224 presenta de manera gráfica el comportamiento de la variable distorsión del marco de acero con contravientos en configuración tipo X para el sismo 10 con un nivel de desempeño de prevención de colapso. De manera adjunta en la gráfica aparecen los límites permisibles que se asocian al periodo de retorno de 2475 años y se visualiza que dicho comportamiento no excede estos límites, lo cual es beneficioso para el proyecto. La distorsión máxima fue de 0.012 de acuerdo al análisis.



**Figura 224** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 10 - 2475 años)

Para finalizar el presente apartado, se muestra el comportamiento del marco con contravientos para el sismo 11 y asociado a un nivel de desempeño de prevención de colapso en donde dicho comportamiento es admisible ya que se encuentra dentro de los límites permitidos como se observa en la gráfica de la Figura 225. La distorsión máxima que se obtuvo fue de 0.034.



**Figura 225** Distorsiones Marco con Contraviento (Sismo 11 - 2475 años)

### 3.6.18. Comparativa de distorsiones máximas

En el presente apartado se mostrarán los resultados de las distorsiones máximas para ambos sistemas estructurales sismo-resistentes, esto en forma de resumen por medio de dos tablas y una gráfica en donde se comparó el comportamiento de la variable distorsión para ambos sistemas. Los resultados para el marco de acero resistente a momento en donde se analizó para diferentes sismos y para los tres niveles de desempeño del Diseño Sísmico Basado en Desempeño se mostrarán en la Tabla 15. En el caso de los resultados para el marco con contravientos se presentarán a través de la Tabla 16. Asimismo, ambas tablas contienen los límites permisibles para cada nivel de desempeño y aunado a esto, se encontrará una columna que muestra si se cumple con los rangos que establecen dichos límites.

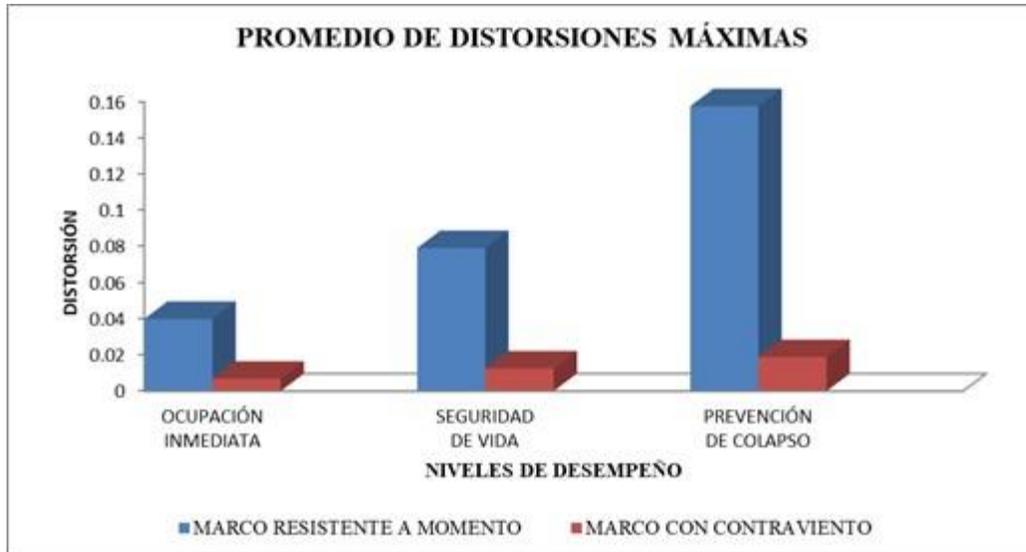
**Tabla 15** Distorsiones Máximas para el Marco Resistente a Momento

DISTORSIONES MÁXIMAS PARA MARCO CON CONTRAVIENTO											
Ocupación Inmediata				Seguridad de Vida				Prevención de Colapso			
Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite	Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite	Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite
Sismo 1	0.00732	0.0245	DENTRO	Sismo 1	0.01338	0.0875	DENTRO	Sismo 1	0.01951	0.175	DENTRO
Sismo 2	0.00736	0.0245	DENTRO	Sismo 2	0.01269	0.0875	DENTRO	Sismo 2	0.01417	0.175	DENTRO
Sismo 3	0.00679	0.0245	DENTRO	Sismo 3	0.01372	0.0875	DENTRO	Sismo 3	0.01249	0.175	DENTRO
Sismo 4	0.00615	0.0245	DENTRO	Sismo 4	0.01112	0.0875	DENTRO	Sismo 4	0.01651	0.175	DENTRO
Sismo 5	0.00684	0.0245	DENTRO	Sismo 5	0.01309	0.0875	DENTRO	Sismo 5	0.01436	0.175	DENTRO
Sismo 6	0.00686	0.0245	DENTRO	Sismo 6	0.01262	0.0875	DENTRO	Sismo 6	0.01485	0.175	DENTRO
Sismo 7	0.00644	0.0245	DENTRO	Sismo 7	0.01231	0.0875	DENTRO	Sismo 7	0.01760	0.175	DENTRO
Sismo 8	0.00681	0.0245	DENTRO	Sismo 8	0.01232	0.0875	DENTRO	Sismo 8	0.03557	0.175	DENTRO
Sismo 9	0.00642	0.0245	DENTRO	Sismo 9	0.01227	0.0875	DENTRO	Sismo 9	0.01519	0.175	DENTRO
Sismo 10	0.00782	0.0245	DENTRO	Sismo 10	0.01132	0.0875	DENTRO	Sismo 10	0.01218	0.175	DENTRO
Sismo 11	0.00657	0.0245	DENTRO	Sismo 11	0.01253	0.0875	DENTRO	Sismo 11	0.03446	0.175	DENTRO
Promedio=	0.00685	0.0245	DENTRO	Promedio=	0.01249	0.0875	DENTRO	Promedio=	0.01881	0.175	DENTRO

**Tabla 16** Distorsiones Máximas para el Marco con Contravientos

DISTORSIONES MÁXIMAS PARA MARCO RESISTENTE A MOMENTO											
Ocupación Inmediata				Seguridad de Vida				Prevención de Colapso			
Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite	Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite	Sismo	Distorsión Máxima Absoluta	Límite de distorsión	Dentro o fuera del límite
Sismo 1	0.04266	0.0245	FUERA	Sismo 1	0.07928	0.0875	DENTRO	Sismo 1	0.18991	0.175	FUERA
Sismo 2	0.03827	0.0245	FUERA	Sismo 2	0.08451	0.0875	DENTRO	Sismo 2	0.13039	0.175	DENTRO
Sismo 3	0.04072	0.0245	FUERA	Sismo 3	0.09140	0.0875	FUERA	Sismo 3	0.20743	0.175	FUERA
Sismo 4	0.03592	0.0245	FUERA	Sismo 4	0.06443	0.0875	DENTRO	Sismo 4	0.11541	0.175	DENTRO
Sismo 5	0.04081	0.0245	FUERA	Sismo 5	0.07837	0.0875	DENTRO	Sismo 5	0.25058	0.175	FUERA
Sismo 6	0.04365	0.0245	FUERA	Sismo 6	0.06416	0.0875	DENTRO	Sismo 6	0.17834	0.175	FUERA
Sismo 7	0.03833	0.0245	FUERA	Sismo 7	0.09638	0.0875	FUERA	Sismo 7	0.14511	0.175	DENTRO
Sismo 8	0.03831	0.0245	FUERA	Sismo 8	0.08867	0.0875	FUERA	Sismo 8	0.07724	0.175	DENTRO
Sismo 9	0.04185	0.0245	FUERA	Sismo 9	0.07572	0.0875	DENTRO	Sismo 9	0.09750	0.175	DENTRO
Sismo 10	0.03776	0.0245	FUERA	Sismo 10	0.07205	0.0875	DENTRO	Sismo 10	0.20476	0.175	FUERA
Sismo 11	0.04021	0.0245	FUERA	Sismo 11	0.07579	0.0875	DENTRO	Sismo 11	0.13643	0.175	DENTRO
Promedio=	0.03986	0.0245	FUERA	Promedio=	0.07916	0.0875	DENTRO	Promedio=	0.15755	0.175	DENTRO

Los resultados de las distorsiones en ambos sistemas estructurales se promediaron con el fin de realizar una gráfica donde se mostrará el comportamiento en general de cada sistema para cada nivel de desempeño. La gráfica de la Figura 226 muestra la comparativa de ambos sistemas sismo-resistentes, también, se observa con claridad que los marcos con contravientos presentaron una notable reducción de distorsiones. De acuerdo a los resultados que se obtuvieron, los marcos de acero con contravientos mejoran el comportamiento de la variable distorsión, debido a que este elemento estructural les brinda mayor rigidez a las edificaciones y a su vez una mayor seguridad a sus ocupantes al momento de ocurrir un sismo.

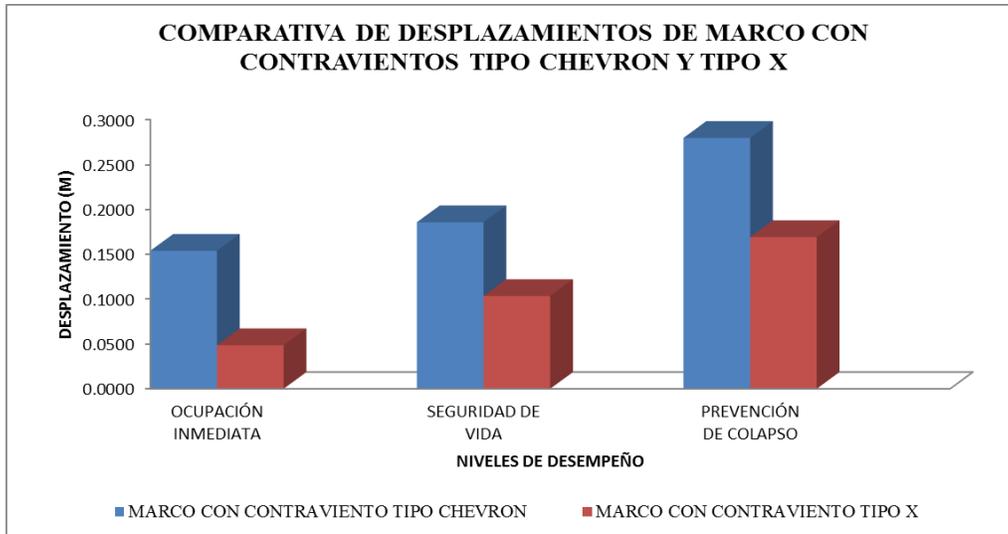


**Figura 226** Comparativa de Distorsiones Máximas

### 3.6.19. Comparativa del Desempeño Sísmico de Marcos con Contravientos en configuración tipo Chevrón y configuración tipo X.

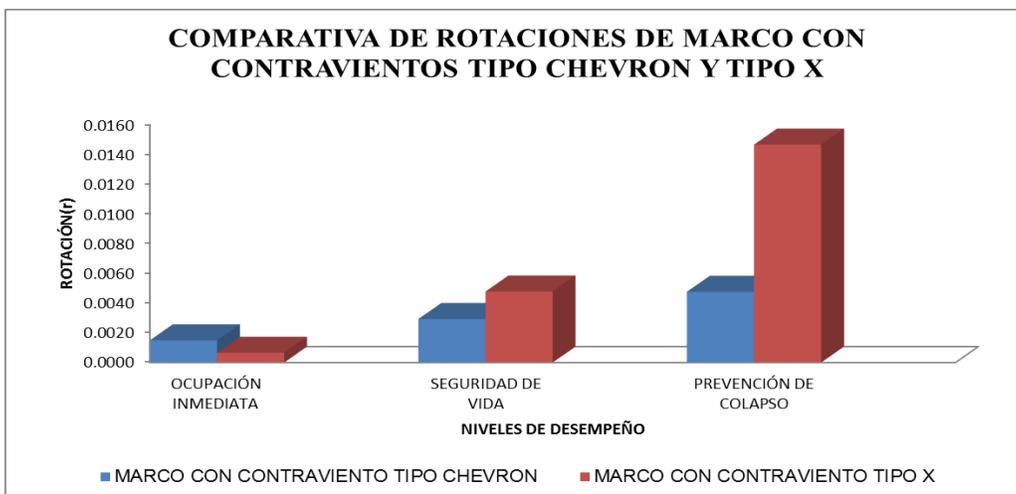
En el presente apartado se mostrará una comparación de los resultados del desempeño sísmico de la variable desplazamiento, rotación y distorsión del marco de acero con contravientos en configuración tipo X obtenidos en el desarrollo de este proyecto de intervención y los resultados obtenidos en otro proyecto de intervención del grupo de investigación del Doctor José Ramón Gaxiola Camacho, en dicho proyecto se estudiaron los contravientos en configuración tipo Chevrón y se compararon con los marcos de acero resistentes a momento. Dicha comparativa se puede llevar a cabo, ya que en ambos proyectos se tomaron las mismas características geométricas de las estructuras y se estudiaron las mismas variables. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en forma gráfica para las tres variables estudiadas.

En la Figura 227 se muestra la comparativa del desempeño sísmico para la variable desplazamiento. De acuerdo a lo observado en la gráfica, el marco con contravientos en configuración tipo X presentó desplazamientos menores que los marcos con contravientos tipo Chevrón, lo cual se traduce a un mejor comportamiento de las estructuras ante la excitación provocada por los sismos.



**Figura 227** Comparativa de desplazamientos de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X

En la Figura 228 se muestra la comparación del desempeño sísmico de la variable rotación para el marco con contravientos en configuración tipo X y marco con contravientos tipo Chevrón. Dicha comparativa demostró que los contravientos en configuración tipo Chevrón aportan mejor estabilidad a las estructuras en cuanto a las rotaciones en las conexiones, ya que las estructuras asociadas a el nivel de desempeño de ocupación inmediata presentaron resultados similares, sin embargo, para el nivel de desempeño de seguridad de vida y el de prevención de colapso presentaron una mejoría significativa las estructuras con contravientos tipo Chevrón.



**Figura 228** Comparativa de rotaciones de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X

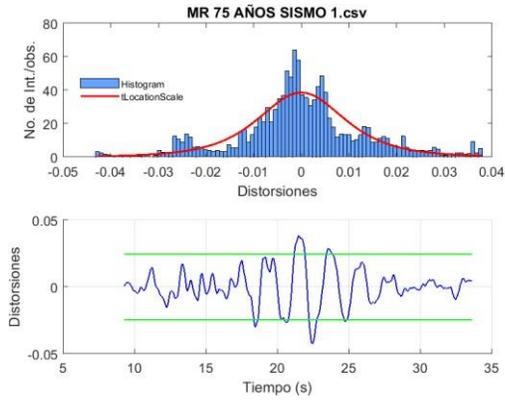
Por último, se presentan los resultados de la variable distorsión por medio de la Figura 229. Dicha Figura muestra el comportamiento de la variable distorsión de los marcos con contravientos tipo X y marcos con contravientos tipo Chevrón en donde se aprecia claramente que los contravientos en configuración tipo X presentaron una mejor respuesta ante la excitación de algún sismo. En términos de porcentaje, los contravientos tipo X reducen aproximadamente 50% las distorsiones de entrecapso en comparación con los marcos de acero con contravientos tipo Chevrón, lo cual es un aspecto favorable para el presente proyecto de intervención.



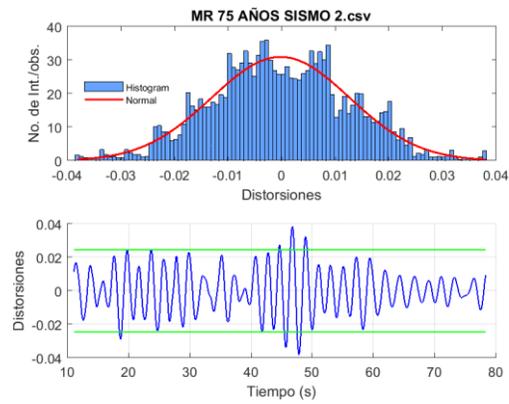
**Figura 229** Comparativa de distorsiones de marco con contravientos tipo Chevrón y tipo X

### 3.6.20. Confiabilidad Estructural de la variable Distorsión

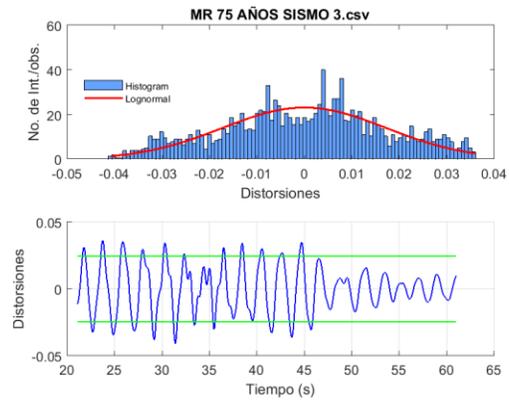
En esta sección se presentarán los resultados correspondientes a la confiabilidad estructural de la variable distorsión, la cual se evaluó por medio de conceptos probabilísticos. Este proceso consistió en la evaluación del comportamiento estocástico mediante el empleo de funciones de densidad de probabilidad (PDFs). Los resultados se mostrarán por medio de histogramas, los cuales se obtuvieron a través del programa de cómputo MATLAB. Los histogramas que se mostrarán corresponden únicamente a la distribución que se ajustó mejor para cada sismo y a su vez para cada nivel de desempeño, ya que de otra manera su visualización sería impráctica. Además, se mostrarán tablas que expondrán el valor de probabilidades de falla ( $p_f$ ) e índices de confiabilidad ( $\beta$ ) y de manera explícita se presentará el nombre de la distribución que se ajustó mejor de acuerdo a la prueba de bondad de ajuste Chi-Cuadrada ( $\chi^2$ ).



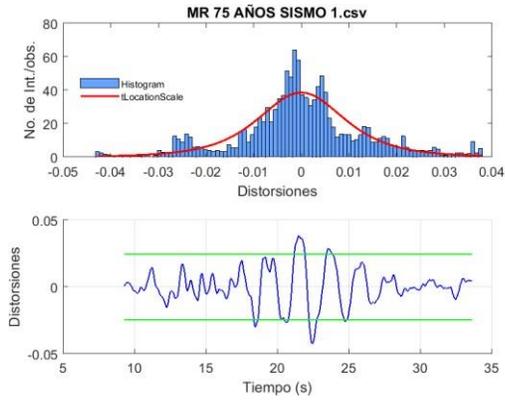
**Figura 230** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 75 años)



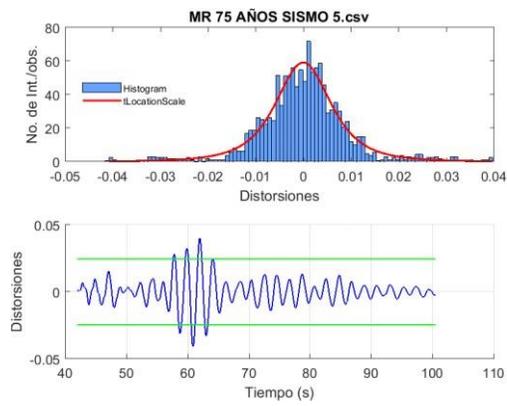
**Figura 231** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 75 años)



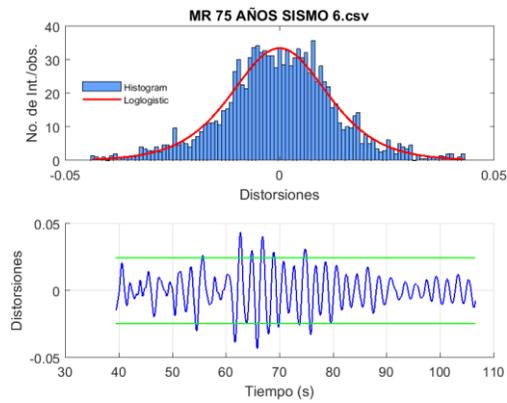
**Figura 232** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 75 años)



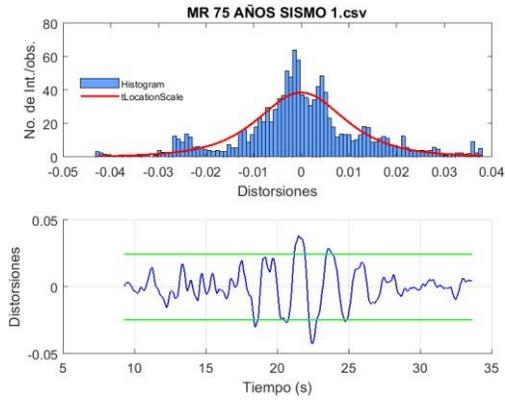
**Figura 233** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 75 años)



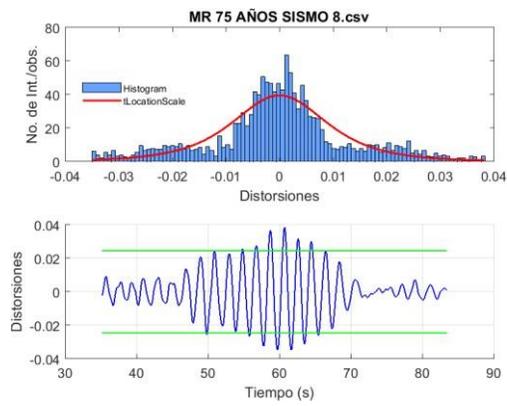
**Figura 234** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 75 años)



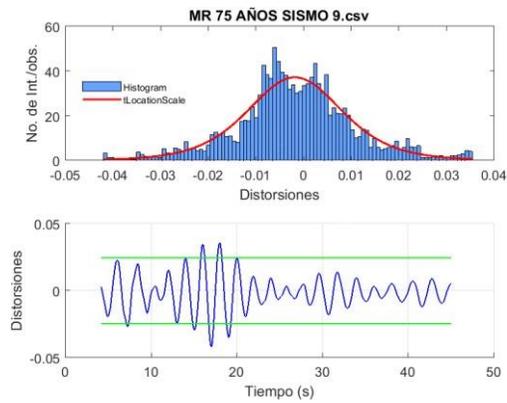
**Figura 235** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 75 años)



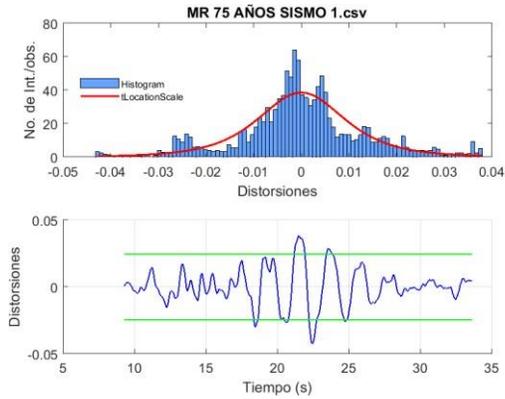
**Figura 236** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 75 años)



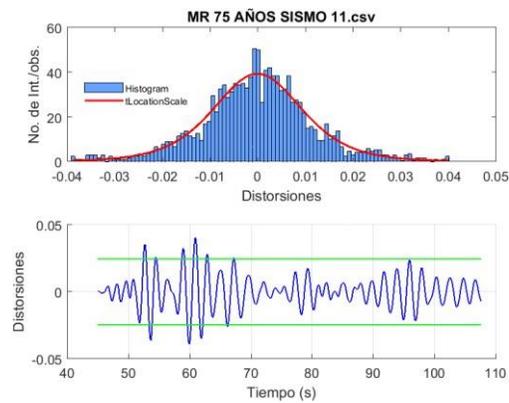
**Figura 237** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 75 años)



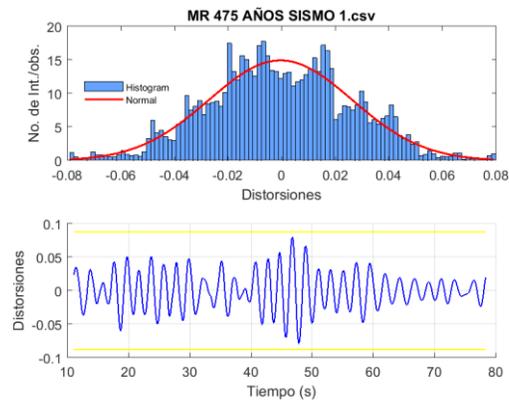
**Figura 238** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 75 años)



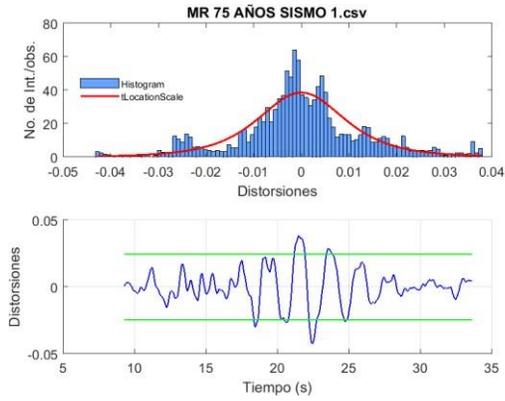
**Figura 239** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 75 años)



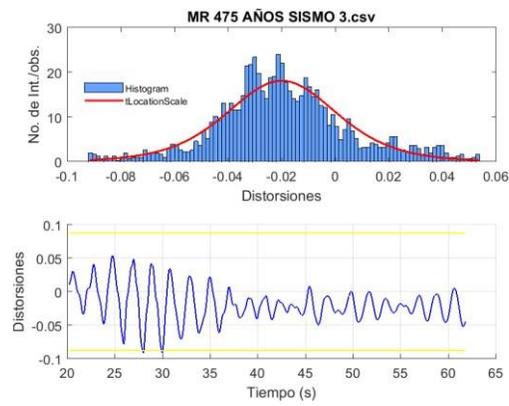
**Figura 240** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 75 años)



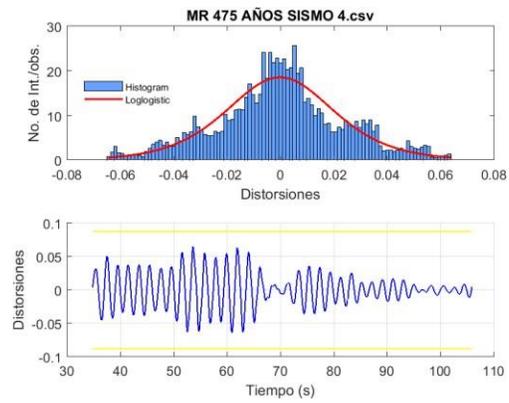
**Figura 241** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 475 años)



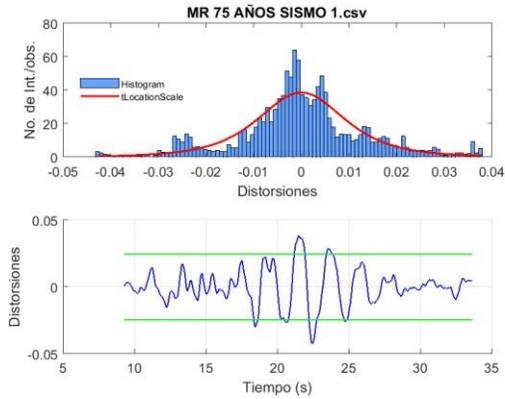
**Figura 242** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 475 años)



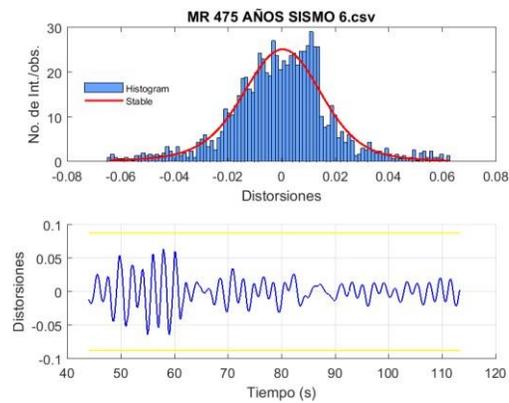
**Figura 243** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 - 475 años)



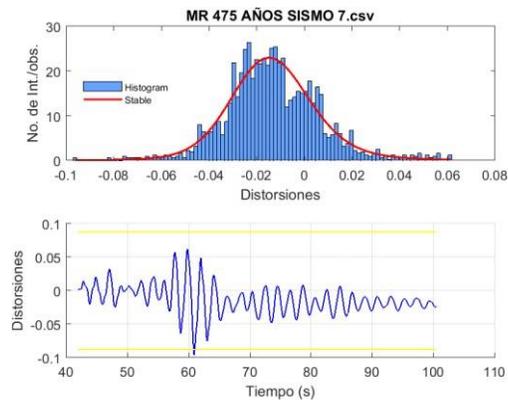
**Figura 244** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 - 475 años)



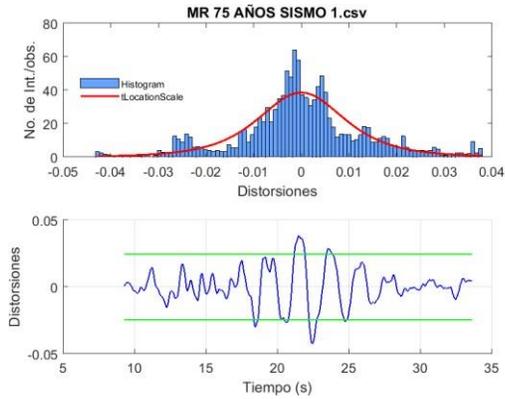
**Figura 245** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 - 475 años)



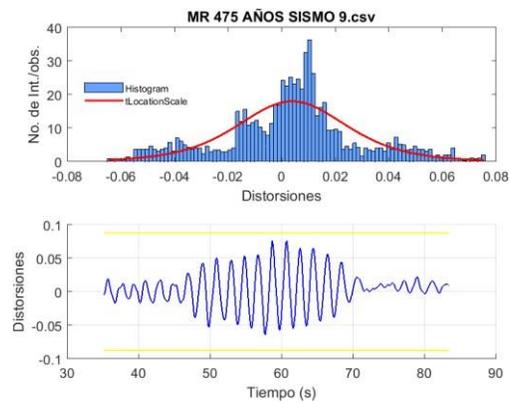
**Figura 246** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 - 475 años)



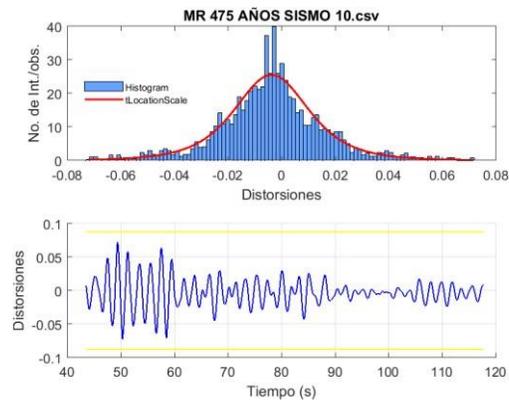
**Figura 247** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 - 475 años)



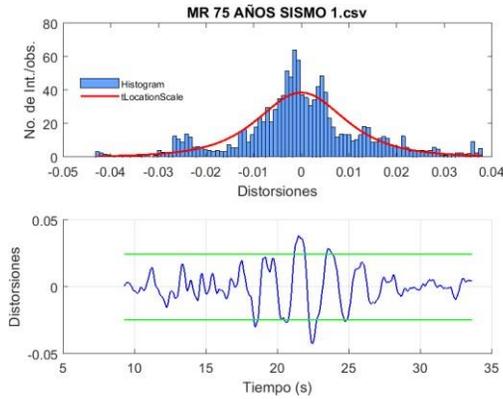
**Figura 248** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 - 475 años)



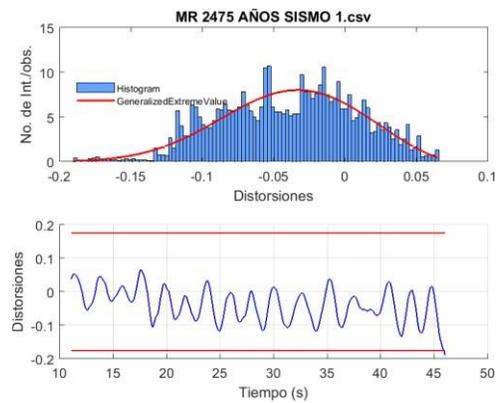
**Figura 249** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 - 475 años)



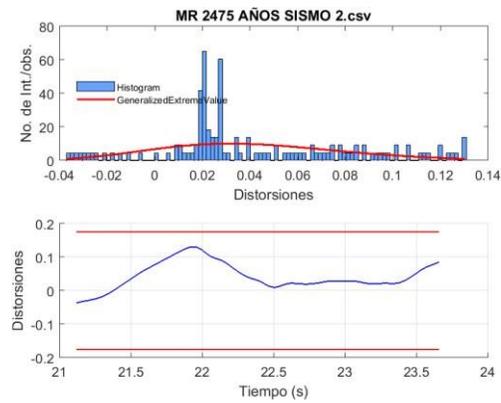
**Figura 250** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 - 475 años)



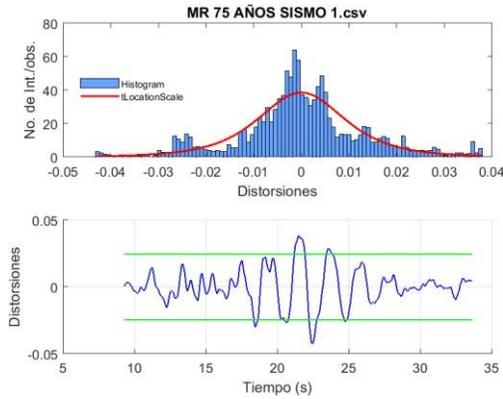
**Figura 251** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 - 475 años)



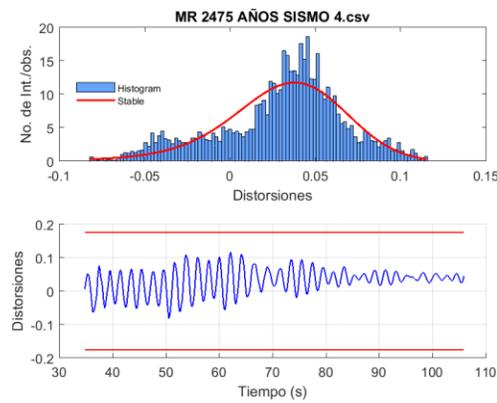
**Figura 252** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 1 - 2 475 años)



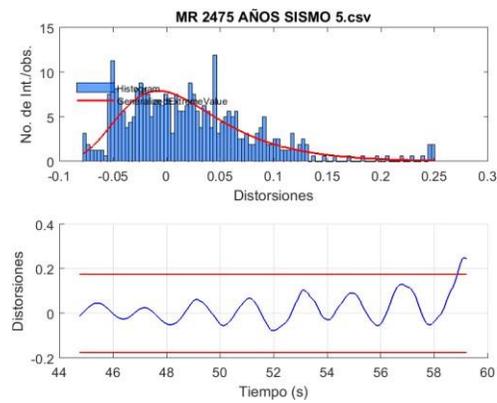
**Figura 253** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 2 - 2 475 años)



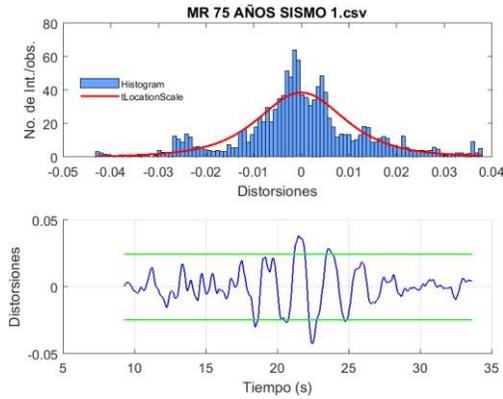
**Figura 254** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 3 -2 475 años)



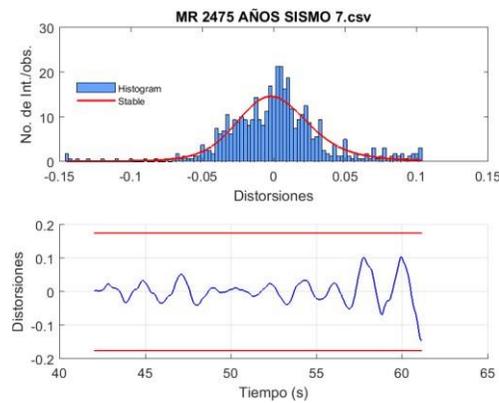
**Figura 255** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 4 -2 475 años)



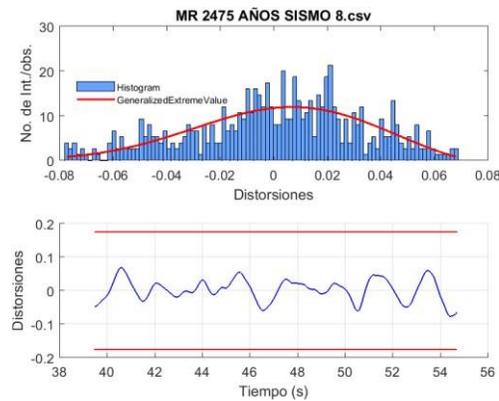
**Figura 256** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 5 -2 475 años)



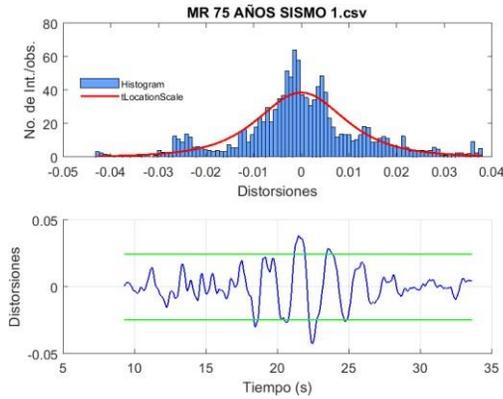
**Figura 257** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 6 -2 475 años)



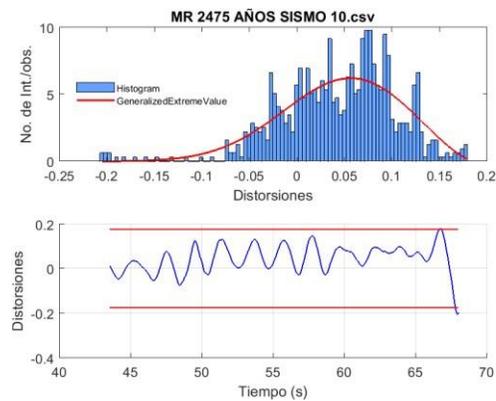
**Figura 258** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 7 -2 475 años)



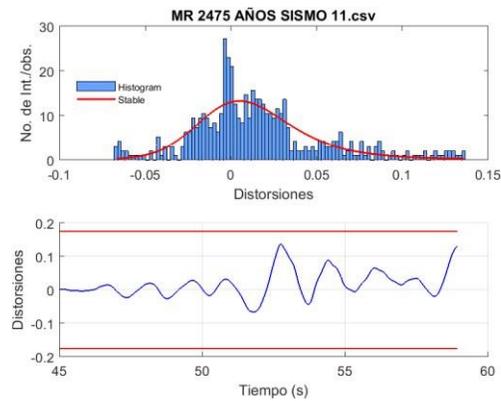
**Figura 259** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 8 -2 475 años)



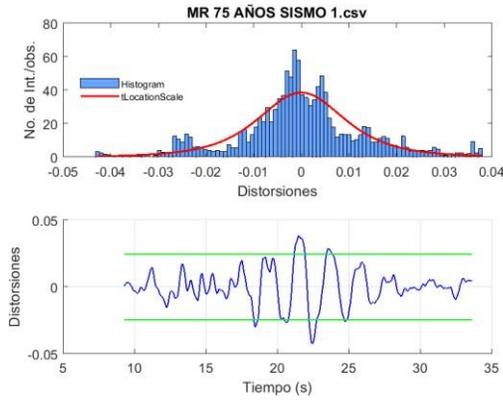
**Figura 260** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 9 -2 475 años)



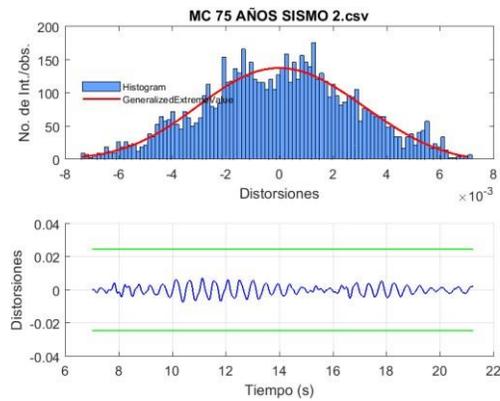
**Figura 261** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 10 -2 475 años)



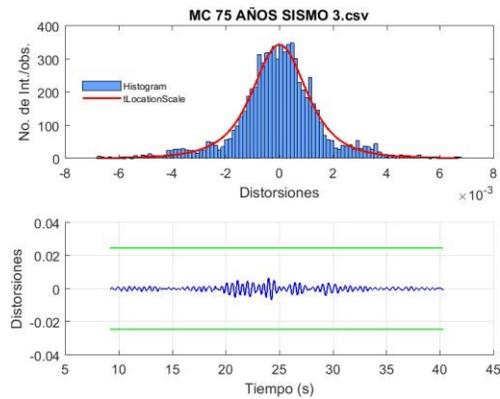
**Figura 262** Histograma del Marco Resistente a Momento (Sismo 11 -2 475 años)



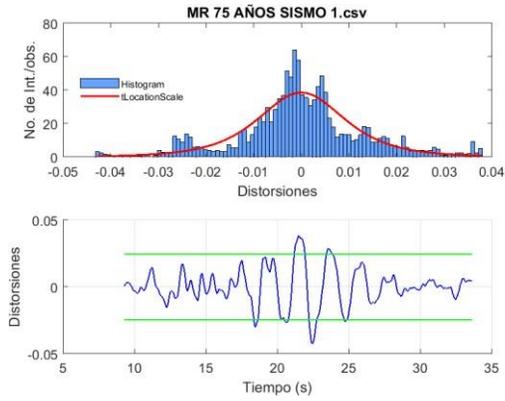
**Figura 263** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 75 años)



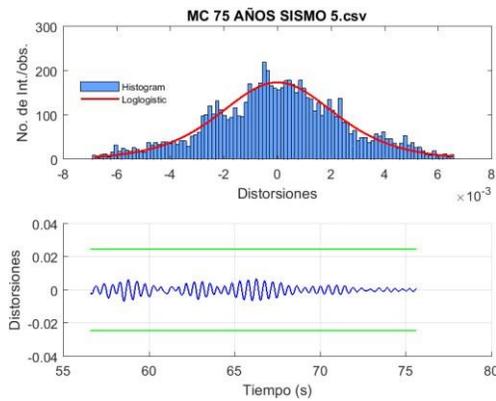
**Figura 264** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 75 años)



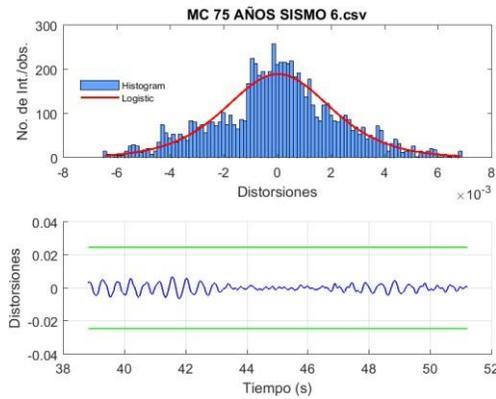
**Figura 265** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 75 años)



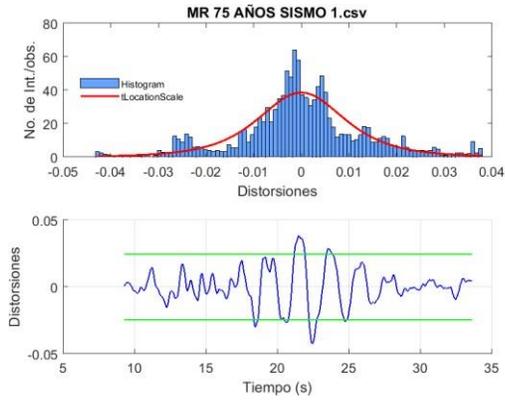
**Figura 266** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 75 años)



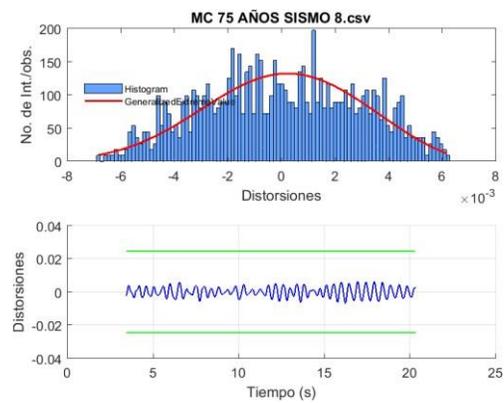
**Figura 267** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 75 años)



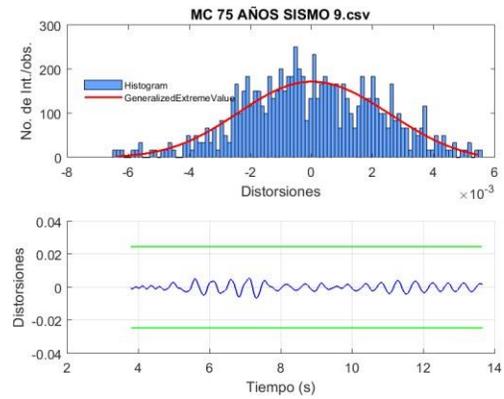
**Figura 268** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 75 años)



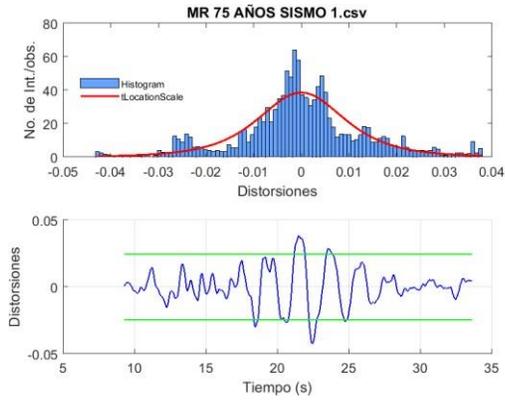
**Figura 269** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7- 75 años)



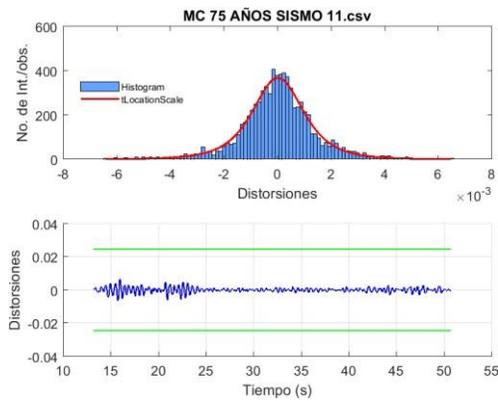
**Figura 270** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 75 años)



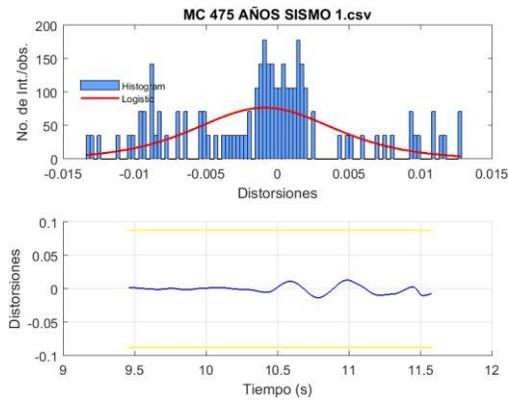
**Figura 271** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 75 años)



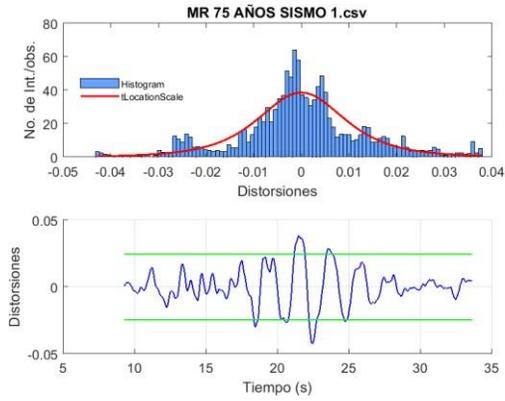
**Figura 272** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 75 años)



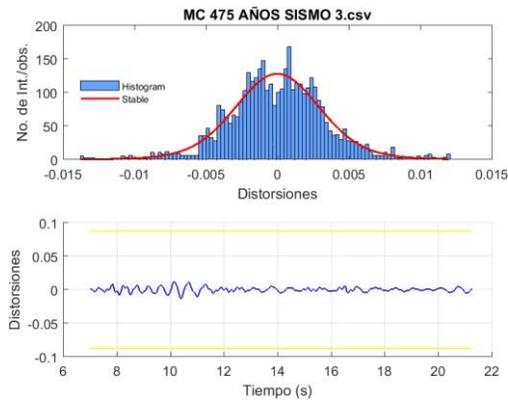
**Figura 273** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 75 años)



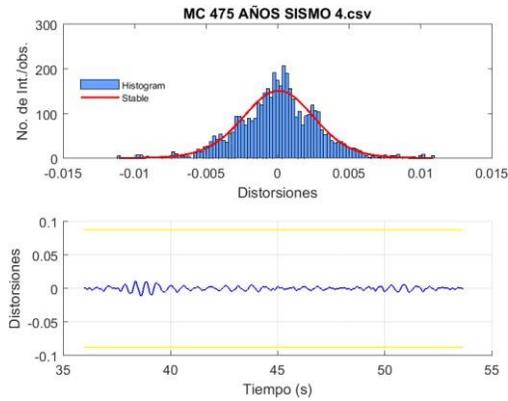
**Figura 274** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 475 años)



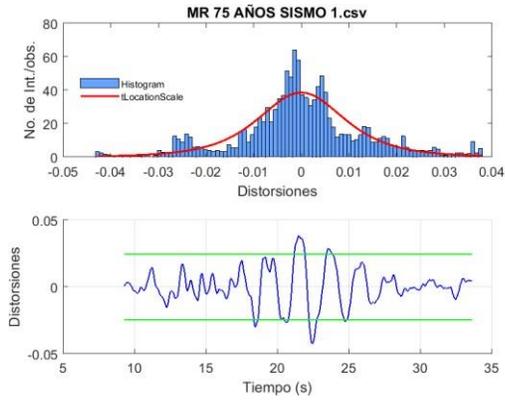
**Figura 275** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 475 años)



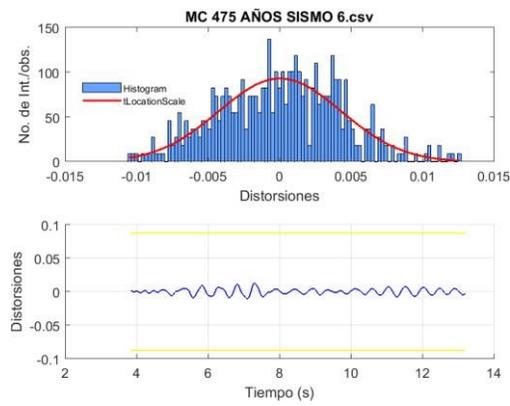
**Figura 276** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 475 años)



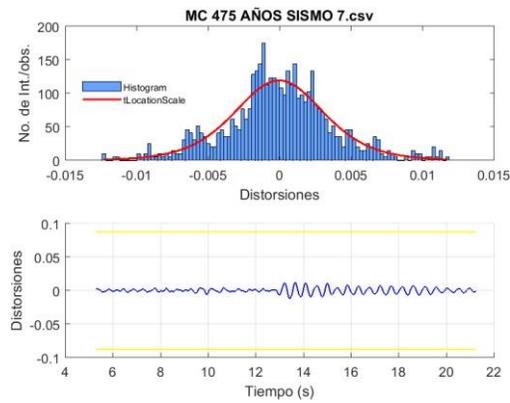
**Figura 277** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 475 años)



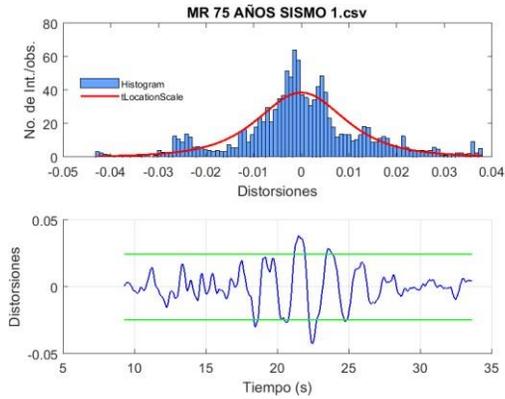
**Figura 278** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 475 años)



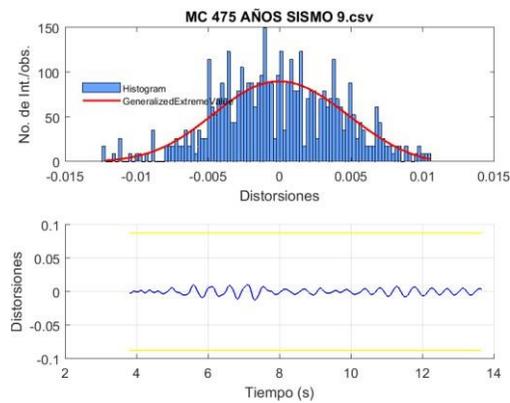
**Figura 279** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 475 años)



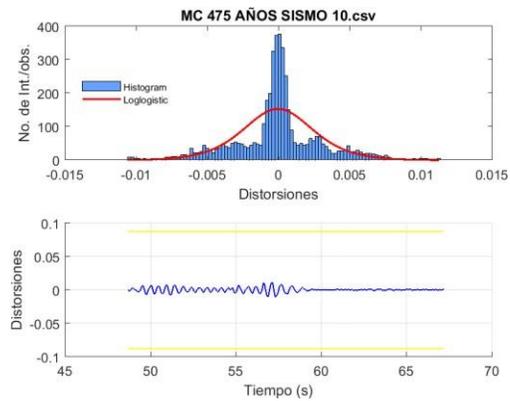
**Figura 280** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7 - 475 años)



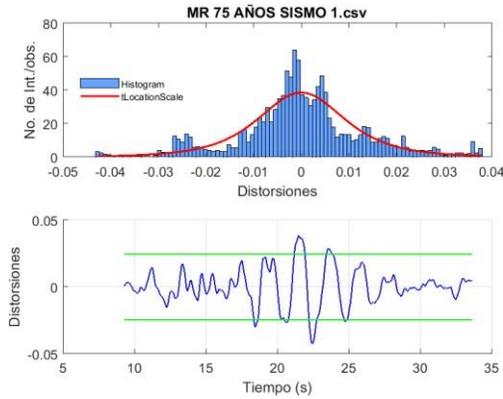
**Figura 281** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 475 años)



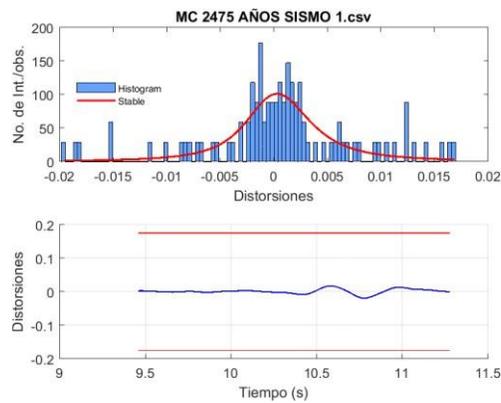
**Figura 282** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 475 años)



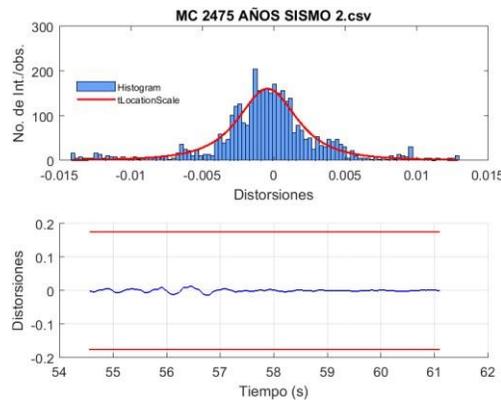
**Figura 283** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 475 años)



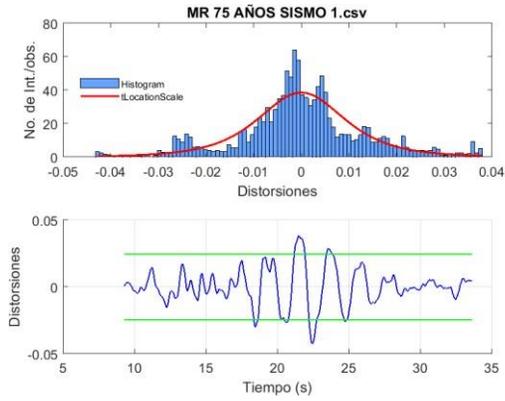
**Figura 284** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 475 años)



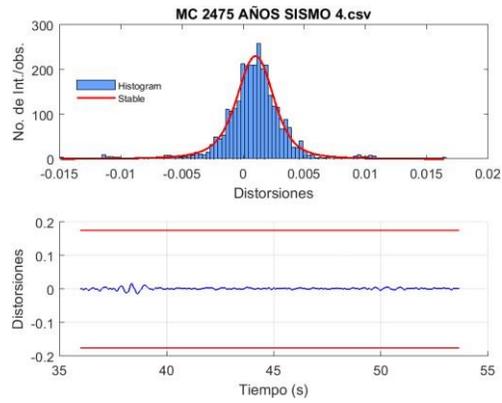
**Figura 285** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 1 - 2475 años)



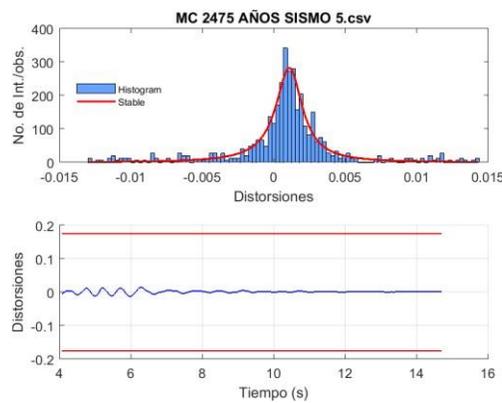
**Figura 286** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 2 - 2475 años)



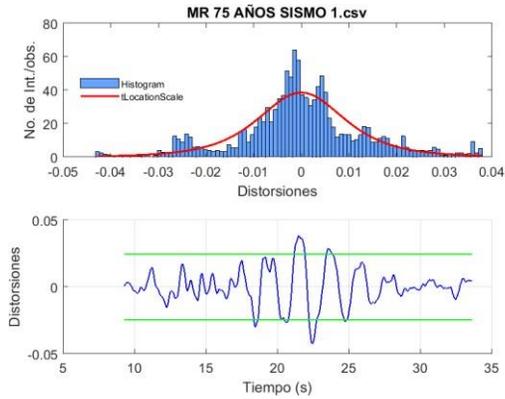
**Figura 287** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 3 - 2475 años)



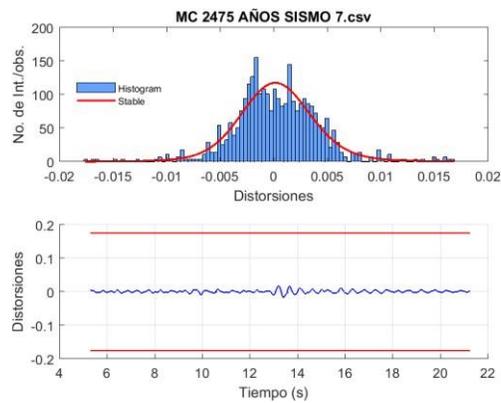
**Figura 288** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 4 - 2475 años)



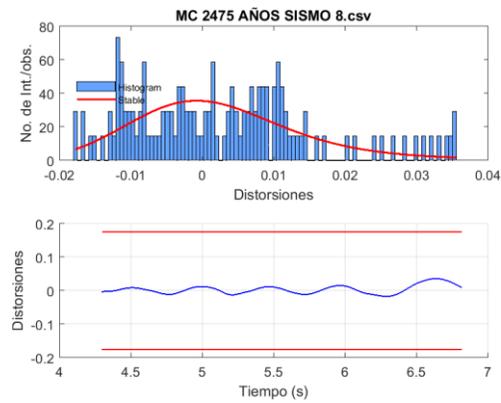
**Figura 289** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 5 - 2475 años)



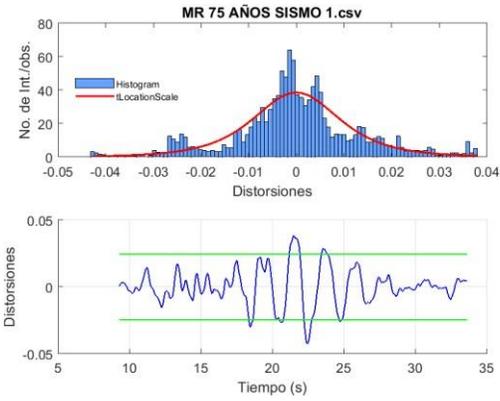
**Figura 290** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 6 - 2475 años)



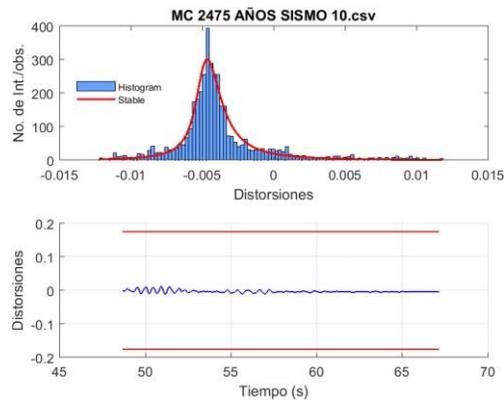
**Figura 291** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 7 - 2475 años)



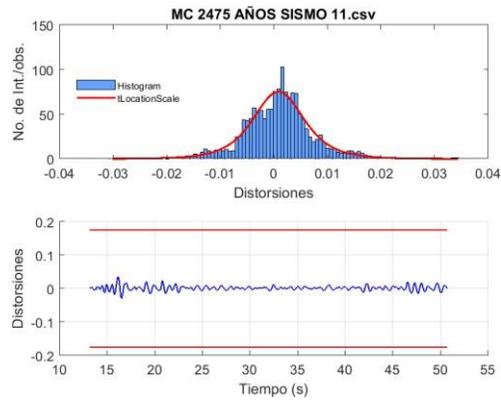
**Figura 292** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 8 - 2475 años)



**Figura 293** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 9 - 2475 años)



**Figura 294** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 10 - 2475 años)



**Figura 295** Histograma del Marco con Contravientos (Sismo 11 - 2475 años)

Para finalizar este apartado se mostrará la información detallada de las distribuciones que presentaron mejor ajuste para cada sismo y cada nivel de desempeño, asimismo se presenta su probabilidad de falla e índice de confiabilidad para cada caso.

La Tabla 17 muestra los resultados del marco resistente a momento para los 11 sismos analizados con un nivel de desempeño de ocupación inmediata. De acuerdo a la prueba de bondad, la distribución que mejor se ajustó a la mayor parte de estos sismos fue la distribución tLocationScale. En cuanto al índice de confiabilidad, el Reglamento ASCE 7-16 establece que el valor mínimo es 1.28, lo cual significa que la probabilidad de falla permitida debe ser menor o igual al 10%.

Los resultados de índice de confiabilidad de los 11 sismos para el marco resistente a momento con un nivel de desempeño de ocupación inmediata indican que los valores que se obtuvieron se encuentran en su mayoría por arriba del mínimo que establece el Reglamento ASCE 7-16 (valor de 1.28), lo cual significa que es un sistema estructural sismo-resistente eficiente ante sismos con un periodo de retorno corto. Sin embargo, el sismo 3 presentó un índice de confiabilidad por debajo de lo establecido en la reglamentación.

**Tabla 17** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Ocupación Inmediata)

<b>Marco Resistente a Momento</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Ocupación Inmediata</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<i>pf</i>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	tLocationScale	0.0769	1.2973
<b>2</b>	Normal	0.0575	1.5765
<b>3</b>	LogNormal	0.1551	1.0147
<b>4</b>	tLocationScale	0.0336	1.8504
<b>5</b>	tLocationScale	0.0341	1.7797
<b>6</b>	Loglogistic	0.0723	1.4153
<b>7</b>	tLocationScale	0.0522	1.5827
<b>8</b>	tLocationScale	0.0760	1.3139
<b>9</b>	tLocationScale	0.0597	1.4954
<b>10</b>	tLocationScale	0.0409	1.7088
<b>11</b>	tLocationScale	0.0518	1.5765

En cuanto a los resultados del marco resistente a momento asociado a un nivel de desempeño de seguridad de vida se mostrarán por medio de la Tabla 18. El índice de confiabilidad en este análisis se mantuvo por arriba del mínimo que establece la Reglamentación ASCE 7-16 con valores superiores al 1.28, la cual quiere decir que este

sistema se comporta de manera adecuada ante sismo con un periodo de retorno intermedio. En cuanto a los resultados de probabilidad de falla, los valores son más pequeños que para el análisis del marco resistente a momento con un periodo de retorno de 75 años, por lo tanto, entre menor sea la probabilidad de falla mayor es el índice de confiabilidad.

**Tabla 18** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Seguridad de Vida)

<b>Marco Resistente a Momento</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Seguridad de Vida</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<math>pf</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	Normal	0.0011	3.0745
<b>2</b>	Lognormal	0.0144	2.1858
<b>3</b>	tLocationScale	0.0100	2.5703
<b>4</b>	Loglogistic	0.0030	3.2614
<b>5</b>	tLocationScale	0.0188	2.7066
<b>6</b>	Stable	0.0111	2.9579
<b>7</b>	Stable	0.0095	3.4243
<b>8</b>	Logistic	0.0028	3.2514
<b>9</b>	tLocationScale	0.0086	2.8163
<b>10</b>	tLocationScale	0.0058	3.4193
<b>11</b>	Logistic	0.0022	3.3751

La Tabla 19 muestra los resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad para el marco resistente a momento de los 11 sismos asociados a un nivel de desempeño de prevención de colapso. De acuerdo a los resultados, la mayoría de los sismos analizados presentaron un buen comportamiento, ya que el índice de confiabilidad se conservó superior al 1.28. Lo que significa que la probabilidad de falla se mantuvo por debajo del 10%.

**Tabla 19** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco resistente a momento (Prevención de Colapso)

<b>Marco Resistente a Momento</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Prevención de Colapso</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<math>pf</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0035	2.1372
<b>2</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0015	3.2637
<b>3</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0277	1.3537
<b>4</b>	Stable	0.0049	2.2105
<b>5</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0240	2.5181
<b>6</b>	Stable	0.0228	1.5205
<b>7</b>	Stable	0.0109	3.7804
<b>8</b>	GeneralizedExtremeValue	1.8E-07	2.3352
<b>9</b>	Stable	0.0058	2.1097
<b>10</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0024	2.1244
<b>11</b>	Stable	0.0180	3.6652

Los resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad para el marco con contravientos para los 11 sismos relacionados a un nivel de desempeño de ocupación inmediata se muestran en la Tabla 20. El índice de confiabilidad para los 11 sismos se observó superior al valor mínimo que establece el Reglamento ASCE 7-16 (valor de 1.28). De acuerdo a lo descrito anteriormente, este sistema sismo-resistente presentó un comportamiento adecuado ante sismos con periodo de retorno de 75 años. Realizando una comparativa con los resultados del marco de acero resistente a momento para el mismo nivel de desempeño se observó un incremento de los valores del índice de confiabilidad al implementar en la estructura los contravientos en configuración tipo X. Por lo tanto, para el nivel de desempeño de ocupación inmediata es crucial la implementación de este elemento estructural en la edificación, ya que algunos valores de índice de confiabilidad para el marco resistente a momento apenas pasaron lo mínimo establecido y otro valor por debajo. Además, en la tabla se muestra que para el sismo 7 el índice de confiabilidad tiende a infinito con una probabilidad de falla de 0. Sin embargo, esto no significa que haya tenido un mejor índice de confiabilidad sino que las distribuciones no se ajustaron de manera precisa a los datos y por consecuente las distribuciones no representaron un comportamiento real de la variable distorsión en la estructura.

**Tabla 20** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Ocupación Inmediata)

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Ocupación Inmediata</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<math>pf</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	GeneralizedExtremeValue	2.0E-09	2.3012
<b>2</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0E+00	3.0065
<b>3</b>	tLocationScale	1.7E-04	12.0073
<b>4</b>	tLocationScale	1.8E-05	11.0280
<b>5</b>	Loglogistic	7.9E-08	9.2881
<b>6</b>	Logistic	1.7E-08	10.0645
<b>7</b>	Normal	0.0E+00	Inf
<b>8</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0E+00	2.6157
<b>9</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0E+00	2.9548
<b>10</b>	tLocationScale	1.3E-04	9.9299
<b>11</b>	tLocationScale	1.0E-04	13.1215

La Tabla 21 presenta los resultados de probabilidad de falla e índice de confiabilidad para el marco con contravientos para los 11 sismos relacionados a un nivel de desempeño de seguridad de vida. Los valores de índice de confiabilidad están muy por encima al valor mínimo que establece el Reglamento ASCE 7-16 de 1.28. Por lo tanto, la probabilidad de falla se pudiera considerar como nula. Al igual que el caso anterior, se presentan sismos donde el índice de confiabilidad es infinito, lo que quiere decir que las distribuciones no representaron un comportamiento real de la variable distorsión en el sistema sismo-resistente como en el caso del sismo 6 y 10.

**Tabla 21** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Seguridad de Vida)

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Seguridad de Vida</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<math>pf</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	Logistic	4.2E-12	14.5033
<b>2</b>	tLocationScale	1.5E-05	15.9795
<b>3</b>	Stable	3.0E-04	16.8376
<b>4</b>	Stable	2.3E-04	19.1001
<b>5</b>	tLocationScale	2.2E-03	13.0339
<b>6</b>	tLocationScale	0.0E+00	Inf
<b>7</b>	tLocationScale	9.3E-08	20.4223
<b>8</b>	tLocationScale	3.4E-04	18.4438
<b>9</b>	GeneralizedExtremeValue	0.0E+00	2.9728
<b>10</b>	LogLogistic	0.0E+00	Inf
<b>11</b>	tLocationScale	1.3E-05	24.6284

Finalmente, se mostrará mediante la Tabla 22 los resultados del marco de acero con contravientos para los 11 sismos asociados al nivel de desempeño de prevención de colapso. Los valores de índice de confiabilidad sobrepasaron el índice que indica como recomendable el Reglamento ASCE 7-16, ya que se presentaron valores de índice de confiabilidad hasta por encima de 30. Por lo tanto, la probabilidad de falla se podría considerar como inexistente. Además, dentro de los resultados el sismo 3 y 9 presentaron una confiabilidad infinita ya que ninguna de las distribuciones utilizadas en este proyecto de intervención de ajuste adecuadamente a los datos de la variable distorsión.

**Tabla 22** Probabilidad de falla e índice de confiabilidad del marco con contravientos (Prevención de Colapso)

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Prevención de Colapso</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Distribución</b>	<b>Probabilidad de falla (<math>p_f</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>
<b>1</b>	Stable	4.7E-03	14.9967
<b>2</b>	tLocationScale	9.7E-05	30.9209
<b>3</b>	Rician	0.0E+00	Inf
<b>4</b>	Stable	3.0E-04	33.8661
<b>5</b>	Stable	4.1E-03	20.2680
<b>6</b>	tLocationScale	2.4E-06	26.8254
<b>7</b>	Stable	1.3E-04	30.9356
<b>8</b>	Stable	1.6E-03	13.3838
<b>9</b>	Normal	0.0E+00	Inf
<b>10</b>	Stable	3.7E-03	31.2874
<b>11</b>	tLocationScale	6.8E-06	20.9188

### **3.6.21. Comparativa en términos de Confiabilidad Estructural de la Variable Distorsión de Marcos de Acero con Contravientos tipo X y Marcos de Acero con Contravientos tipo Chevrón**

En la presente sección se presentan los resultados de índice de confiabilidad en términos de la variable rotación para los marcos con contravientos en configuración tipo X, los cuales se estudiaron durante el desarrollo del presente proyecto, de manera adjunta se presentan los resultados para los marcos de acero con contravientos tipo Chevrón, los resultados para los contravientos tipo Chevrón se extrajeron de un proyecto similar, el cual se mencionó en secciones anteriores. La Tabla 23 muestra los resultados de índice de confiabilidad de ambos sistemas sismo-resistentes con sismos asociados a un nivel de desempeño de ocupación inmediata. En general ambos sistemas presentaron una confiabilidad aceptable, ya que los resultados obtenidos estuvieron por encima del límite que establece el Reglamento ASCE 7-16 con un valor de 1.28, sin embargo, los resultados de los marcos de acero con contravientos tipo X presentaron valores de índice de confiabilidad mayores.

**Tabla 23** Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de ocupación inmediata

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Ocupación Inmediata</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Contravientos tipo X</b>	<b>Contravientos tipo Chevrón</b>	<b>Mayor Índice</b>
	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	
<b>1</b>	2.3012	30.699	Tipo Chevrón
<b>2</b>	3.0065	inf	Tipo X
<b>3</b>	12.0073	2.9305	Tipo X
<b>4</b>	11.0280	105.002	Tipo Chevrón
<b>5</b>	9.2881	3.8883	Tipo X
<b>6</b>	10.0645	inf	Tipo X
<b>7</b>	Inf	22.831	Tipo Chevrón
<b>8</b>	2.6157	inf	Tipo X
<b>9</b>	2.9548	inf	Tipo X
<b>10</b>	9.9299	2.6971	Tipo X
<b>11</b>	13.1215	3.1128	Tipo X

La tabla 24 presenta los resultados de índice de confiabilidad de ambos sistemas sismo-resistentes con sismos asociados a un nivel de desempeño de seguridad de vida y en términos generales se obtuvieron resultados favorables para ambos casos, sin embargo, se muestra que los contravientos en configuración tipo X poseen valores mayores que los resultados de los marcos con contravientos tipo Chevrón. Además, en el caso de los marcos con contravientos tipo Chevrón, un resultado estuvo por debajo del límite establecido por el Reglamento ASCE 7-16.

**Tabla 24** Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de seguridad de vida

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Seguridad de Vida</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Contravientos tipo X</b>	<b>Contravientos tipo Chevrón</b>	<b>Mayor Índice</b>
	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	
<b>1</b>	14.5033	2.4935	Tipo X
<b>2</b>	15.9795	1.4509	Tipo X
<b>3</b>	16.8376	1.2398	Tipo X
<b>4</b>	19.1001	16.5401	Tipo X
<b>5</b>	13.0339	1.5538	Tipo X
<b>6</b>	Inf	2.3553	Tipo Chevrón
<b>7</b>	20.4223	3.3468	Tipo X
<b>8</b>	18.4438	1.7756	Tipo X
<b>9</b>	2.9728	1.6534	Tipo X
<b>10</b>	Inf	2.3739	Tipo Chevrón
<b>11</b>	24.6284	inf	Tipo X

La tabla 25 muestra los resultados de índice de confiabilidad de ambos sistemas con contravientos asociados a un nivel de desempeño de prevención de colapso. Los resultados de los marcos con contravientos tipo X fueron muy favorables en comparación a los resultados de los marcos con contravientos tipo Chevrón, ya que estos últimos presentaron algunos valores por debajo del límite establecido por el Reglamento ASCE 7-16.

**Tabla 25** Comparativa de Índice de Confiabilidad de marcos con contravientos con sismos asociados a un nivel de desempeño de prevención de colapso

<b>Marco con Contravientos</b>			
<b>Nivel de Desempeño: Prevención de Colapso</b>			
<b>Sismo</b>	<b>Contravientos tipo X</b>	<b>Contravientos tipo Chevrón</b>	
	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	<b>Índice de Confiabilidad (<math>\beta</math>)</b>	<b>Mayor Índice</b>
<b>1</b>	14.9967	2.0396	Tipo X
<b>2</b>	30.9209	1.7697	Tipo X
<b>3</b>	Inf	0.6695	Tipo Chevrón
<b>4</b>	33.8661	1.8001	Tipo X
<b>5</b>	20.2680	0.5921	Tipo X
<b>6</b>	26.8254	1.3168	Tipo X
<b>7</b>	30.9356	2.0396	Tipo X
<b>8</b>	13.3838	1.2226	Tipo X
<b>9</b>	Inf	0.8288	Tipo Chevrón
<b>10</b>	31.2874	1.5336	Tipo X
<b>11</b>	20.9188	0.8438	Tipo X

### **3.6.22. Comparación de Costos – Marcos de Acero Resistentes a Momento - Marcos de Acero con Contraviento tipo X**

En la presente sección se desplegará el presupuesto para el marco de acero resistente a momento a través de la Tabla 27, asimismo, se mostrará el presupuesto del marco de acero con contravientos en configuración tipo X por medio de la Tabla 28. Además, en esta misma sección se mostrará el análisis de precios unitarios que se realizó para la estructura metálica como se indica en la Tabla 26. El análisis de precios unitarios se desglosó en tres secciones (materiales, mano de obra y equipo), debido a que es de esta manera como empresas de la región lo realizan. En cuestión a los precios que se utilizaron, son precios similares que utiliza una empresa de la región (ML ESTRUCTURAS S.A. de C.V.), la cual se dedica al diseño y montaje de estructuras metálicas. La razón de elección de los precios similares que utiliza la empresa antes mencionada fue debido a que en sus instalaciones se realizó una estancia y se tuvo conocimiento de los precios que manejan los proveedores de la zona. Con base a lo anterior, el precio unitario por cada kg fue de \$41.54.

**Tabla 26** Precio Unitario de Estructura Metálica

Clave:	E-01	CONCEPTO:	ESTRUCTURA METÁLICA BASE DE PERFILES DE ACERO A36, 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 ESTRUCTURALES	0.010000	kg	\$ 70.00		\$ 0.70
MA-4	PERFILES ESTRUCTURALES POR KG.	1.05	kg	\$ 18.10		\$ 19.01
					SUMA	<b>\$ 20.42</b>

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	<b>\$ 9.20</b>

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	<b>\$ 4.23</b>

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
--------------------	-------	---------

<b>TOTAL PRECIO UNITARIO (P.U.)</b>	<b>\$ 41.54</b>	
-------------------------------------	-----------------	--

La Tabla 27 corresponde al presupuesto del marco de acero resistente a momento como se mencionó en el párrafo anterior, dicho presupuesto incluye los elementos estructurales que se observan en la tabla. Además, se incluyeron el costo de las conexiones en la presupuestación, las cuales teóricamente representan el 5% del peso total de la estructura metálica. Consecutivamente, se concretó que el costo total del montaje de este sistema sismo-resistente es de \$4'124,088.81.

**Tabla 27** Presupuesto del Marco Resistente a Momento

<b>COLUMNAS DE PLANTA BAJA (LOBBY)</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X99	99.00	147.33	5.5	2	1.62
COLUMNAS W14X132	132.00	196.44	5.5	4	4.32
				<b>suma=</b>	<b>5.94</b>

<b>TRABES DE PLANTA BAJA</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X73	73.00	108.64	8	5	4.35
				<b>suma=</b>	<b>4.35</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>10.29</b>

<b>COLUMNAS DE PLANTAS DE 2-3</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X90	90.00	133.93	3.5	2	0.94
COLUMNAS W14X120	120.00	178.58	3.5	4	2.50
				<b>suma=</b>	<b>3.44</b>

<b>TRABES DE PLANTAS 2-3</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X73	73.00	108.64	8	10	8.69
				<b>suma=</b>	<b>8.69</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>12.13</b>

<b>COLUMNAS DE PLANTAS 4-7</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X53	53.00	78.87	3.5	8	2.21
COLUMNAS W14X68	68.00	101.20	3.5	16	5.67
				<b>suma=</b>	<b>7.88</b>

<b>TRABES DE PLANTAS 4-7</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X68	68.00	101.20	8	20	16.19
				<b>suma=</b>	<b>16.19</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>24.07</b>

<b>VIGAS DE ENTREPISOS</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
VIGAS W14X30	30.00	44.64	8	120	42.86
				<b>suma=</b>	<b>42.86</b>

<b>VIGAS DE AZOTEA</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
VIGAS W14X22	22.00	32.74	8	20	5.24
				<b>suma=</b>	<b>5.24</b>
<b>PESO POR ENTREPISO=</b>					<b>48.10</b>

<b>PESO TOTAL DEL MARCO=</b>	<b>94.580</b>
<b>CONEXIONES=</b>	<b>4.729</b>
<b>P.U.=</b>	<b>\$ 41.54</b>
<b>MONTO=</b>	<b>\$ 4,125,088.81</b>

El presupuesto del marco de acero con contravientos muestra que el costo total de este sistema sismo-resistente es de \$5'064,392.85. En comparación al sistema de marcos resistentes a momento el costo se incrementó \$1'000,000 aproximadamente, ya que en este sistema se adhirió otro elemento estructural que fueron los contravientos en configuración tipo X.

**Tabla 28** Presupuesto del Marco con Contravientos

<b>COLUMNAS DE PLANTA BAJA (LOBBY)</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X82	82.00	122.03	5.5	2	1.34
COLUMNAS W14X90	90.00	133.93	5.5	4	2.95
				<b>suma=</b>	<b>4.29</b>

<b>TRABES DE PLANTA BAJA</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
				<b>suma=</b>	<b>4.05</b>

<b>CONTRAVIENTOS DE PLANTA BAJA</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
HSS10X10X5/8	76.03	113.15	9.7	4	4.39
				<b>suma=</b>	<b>4.39</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>12.73</b>

<b>COLUMNAS DE PLANTAS 2-3</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X68	68.00	101.20	3.5	4	1.42
COLUMNAS W14X82	82.00	122.03	3.5	8	3.42
				<b>suma=</b>	<b>4.83</b>

<b>TRABES DE PLATAS 2-3</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
TRABES W21X68	68.00	101.20	8	5	4.05
				<b>suma=</b>	<b>8.10</b>

<b>CONTRAVIENTOS</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
HSS 10X10X5/8	76.03	113.15	8.73	6	5.93
				<b>suma=</b>	<b>5.93</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>18.86</b>

<b>COLUMNAS DE PLANTAS 4-7</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
COLUMNAS W14X48	48.00	71.43	3.5	8	2.00
COLUMNAS W14X53	53.00	78.87	3.5	16	4.42
				<b>suma=</b>	<b>6.42</b>

<b>TRABES DE PLANTAS 4-7</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
TRABES W21X68	68.00	101.20	8	20	16.19
				<b>suma=</b>	<b>16.19</b>

<b>CONTRAVIENTOS DE PLANTAS 4-7</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
HSS 10X10X5/8	76.03	113.15	8.73	14	13.83
				<b>suma=</b>	<b>13.83</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>36.44</b>

<b>VIGAS DE ENTREPISOS</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
VIGAS W14X30	30.00	44.64	8	120	42.86
				<b>suma=</b>	<b>42.86</b>

<b>VIGAS DE AZOTEA</b>					
<b>Sección</b>	<b>lb/ft</b>	<b>Kg/m</b>	<b>longitud (m)</b>	<b>cantidad</b>	<b>peso total (T)</b>
VIGAS W14X22	22.00	32.74	8	20	5.24
				<b>suma=</b>	<b>5.24</b>
<b>PESO TOTAL=</b>					<b>48.10</b>

<b>PESO TOTAL DEL MARCO=</b>	<b>116.117</b>
<b>CONEXIONES=</b>	<b>5.806</b>
<b>P.U=</b>	<b>\$ 41.54</b>
<b>MONTO=</b>	<b>\$ 5,064,392.85</b>

Para finalizar esta sección es importante mencionar que el costo se incrementó un 20% aproximadamente para el marco de acero con contravientos, sin embargo, los resultados de las tres variables en estudio mejoraron el comportamiento de la estructura ante la excitación de cualesquier sismo. Por ejemplo, en el caso de los resultados del marco resistente a momento para sismos asociados a un nivel de desempeño de ocupación inmediata se observó que los desplazamientos y las distorsiones se encuentran fuera de los límites permisibles, lo cual es caso contrario de los resultados para el marco con contravientos. Por otro lado, es importante comparar en términos de costos la implementación de los con contravientos en configuración tipo X con otros tipos de configuraciones de contravientos, por ejemplo, la implementación de contravientos tipo Chevrón, los cuales son de los más utilizados junto con los de tipo X debido a su buen comportamiento sísmico. La implementación de los contravientos tipo Chevrón es una propuesta más económica en comparación a los contravientos tipo X, ya que el costo de implementar los contravientos tipo Chevrón es similar al costo del sistema estructural sismo-resistente a base de marcos de acero resistente a momentos. El presupuesto de la estructura con contravientos tipo Chevrón fue de \$4,267,965.71, dicho presupuesto se obtuvo de un proyecto similar. Por lo tanto, la implementación de los contravientos en configuración tipo X aumenta aproximadamente 20% el costo de la estructuración en comparación a los marcos con contravientos tipo Chevrón.

## **IV. CAPÍTULO 4 - ESTRATEGIAS DE IMPLEMENTACIÓN**

### **4.1. Plan de acción**

El plan de acción para la implementación de este proyecto de intervención se basa en los resultados obtenidos de la evaluación de las tres variables en estudio (desplazamientos, rotaciones y distorsiones). De acuerdo a los resultados obtenidos la incorporación de elementos estructurales como contravientos en configuración tipo X aumentan formidablemente la rigidez de la edificación lo que quiere decir que al incluir este tipo de elemento estructural se mejora el desempeño sísmico, ya que la estructura se comporta de manera más estable ante la excitación de algún sismo.

Los contravientos en configuración tipo X disminuyeron alrededor del 70% la respuesta de la estructura en el sentido de desplazamientos y distorsiones, esto en base a los resultados. Lo anterior se traduce a un mejor control de daños y un menor costo en reparaciones después de sucedido el sismo en elementos estructurales y no estructurales que conforman una edificación.

Por último, dentro de los resultados se decidió realizar una presupuestación para ambos sistemas estructurales, debido al buen desempeño que se observó en los resultados de la estructura con contravientos en configuración tipo X. Sin embargo, se consideró relevante observar si la implementación de este elemento estructural era viable económicamente o si el costo se elevaba de tal manera que no fuera redituable su implementación. Con base en el presupuesto de ambos sistemas sismo-resistentes el costo que implicaría la implantación de este elemento estructural sería un 20% más en comparación al marco resistente a momento. Por lo tanto, sería importante analizar otro tipo de contraviento para observar si presenta resultados similares a este tipo de configuración de contraviento y si muestra un menor costo que el implementar el tipo X.

### **4.2. Estrategias usadas para presentar y persuadir a los involucrados en el proyecto**

En el presente apartado se mostrarán las acciones que se efectuarán para presentar los beneficios que aporta la implementación de contravientos en configuración tipo X en estructuras como los son los marcos de acero. Las acciones consistirán en acudir a las personas e instituciones correspondientes que puedan difundir la información obtenida a partir de los resultados del proyecto de intervención. Primeramente se deberá difundir dentro de la Universidad Autónoma de Sinaloa con la cual se espera contar con el apoyo y así a través de esta institución tener una base sólida para persuadir a otras instituciones. Dentro de estas otras instituciones se encuentran los colegios de ingenieros civiles los cuales son los encargados en parte de las actualizaciones que se llevan a cabo en las reglamentaciones de construcción. El objetivo principal es presentar los resultados obtenidos a los colegios de

ingenieros civiles de la zona, ya que a través de ellos se pudieran incluir recomendaciones en los reglamentos de construcción locales para la implementación de contravientos en configuración tipo X. Con base en lo anterior, serán dos partes las beneficiadas, la primera parte será la sociedad en general, ya que los ingenieros estructurales encargados de realizar los diseños sismo-resistentes tendrán una alternativa más para la reducción de desplazamientos laterales que generan las acciones de los sismos, lo cual le da una seguridad más alta a los ocupantes y por otra parte, saldrán beneficiados los inversionistas de proyectos de construcción debido a que las edificaciones presentarán una reducción de daños en elementos estructurales y no estructurales después de presentarse cualesquier sismo.

Para cerrar este apartado es importante señalar que en primera instancia se acudirá a instituciones locales que permitan actualizar la reglamentación local para implementar este tipo de elementos estructurales, ya que el alcance del proyecto es lo que dictamina. Sin embargo, este proyecto aportará una base a investigaciones futuras para el desarrollo de nuevos proyectos (diferentes alturas de edificaciones, distintos tipos de configuración de contravientos y diferentes ciudades o estados para el análisis de las estructuras) y con ello se puede escalar a nivel nacional.

## V. CAPÍTULO 5 - ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO

### 5.1. Cronograma de actividades

El cronograma de actividades para llevar a cabo el plan de acción del proyecto de intervención se mostrará a través de la Tabla 29. El contenido del cronograma presentará las acciones a realizar y la planificación conforme a fechas para llevarlas a cabo.

**Tabla 29** Cronograma de Actividades del Plan de Acción.

 <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN</b> 					
CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES DEL PLAN DE ACCIÓN					
ACTIVIDADES	AÑO 2020-2021				
	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
Presentación de Proyecto de Intervención ante el Comité Evaluador de la Maestría en Ingeniería de la Construcción.					
Difusión del Proyecto de Intervención dentro de la Universidad Autónoma de Sinaloa.					
Publicación de Artículo Científico en Revista de Ingeniería Sísmica.					
Presentación de Proyecto de Intervención ante Colegios de Ingenieros Civiles Locales.					
Presentación de proyecto de intervención frente al Sector Empresarial.					
En caso de persuadir dentro de los Colegios de Ingnerios, iniciar con la actualización de la reglamentación local implementando recomendaciones de los contravientos en configuración tipo x.					
Iniciar con nuevos Proyectos de Intervención que den lugar a nuevos resultados.					

### 5.2. Recursos

Una vez presentado el cronograma de actividades para llevar a cabo el plan de acción, es necesario presentar por medio de que personas o instituciones se podrán desarrollar las actividades, al igual de identificar que medios serán útiles en cada etapa del proyecto. Por último, se presentará el costo estimado para casa etapa de actividades. Por medio de la Tabla 30, se muestra lo anteriormente mencionado.

**Tabla 30** Plan de Recursos.

 <b>UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE SINALOA</b> <b>FACULTAD DE INGENIERÍA</b> <b>MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE LA CONSTRUCCIÓN</b> 			
<b>PLAN DE RECURSOS</b>			
<b>ACTIVIDADES</b>	<b>Personal</b>	<b>Medios materiales</b>	<b>Presupuesto</b>
Presentación de Proyecto de Intervención ante el Comité Evaluador de la Maestría en Ingeniería de la Construcción.	1. Director de tesis. 2. Comité Evaluador. 3. Dirección de la Facultad de Ingeniería. (UAS) 4. Representante de Rectoría (UAS).	1. Documento del Proyecto de Intervención (Tesis).	<b>\$500.00</b>
Difusión del Proyecto de Intervención dentro de la Universidad Autónoma de Sinaloa.	1. Rectoría de la Universidad Autónoma de Sinaloa. 2. Departamento de difusión de la Universidad Autónoma de Sinaloa.	1. Radiofutura (RadioUas). 2. Periódico de la UAS. 3. Gaceta Informativa de la UAS. 4. Entrevistas por medio de televisión.	<b>\$1,000.00</b>
Publicación de Artículo Científico en Revista de Ingeniería Sísmica.	1. Grupo de trabajo del Director de Tesis.	1. Revista científica de Ingeniería Sísmica.	<b>\$2,000.00</b>
Presentación de Proyecto de Intervención ante Colegios de Ingenieros Civiles Locales.	1. Presidentes de los Colegios de Ingenieros Locales. 2. Ingenieros Civiles afiliados.	1. Presentación de resultados. 2. Documento digitalizado de la Tesis. 3. Documento impreso con los resultados y beneficios.	<b>\$5,000.00</b>
Presentación de proyecto de intervención frente al Sector Empresarial.	1. Empresas dedicadas al Diseño Estructural. 2. Empresas dedicadas al montaje de estructuras. 3. Desarrolladores Inmobiliarios.	1. Showroom de la aplicabilidad en edificaciones.	<b>\$10,000.00</b>
En caso de persuadir dentro de los Colegios de Ingenieros, iniciar con la actualización de la reglamentación local implementando recomendaciones de los contravientos en configuración tipo x.	1. Presidentes de los Colegios de Ingenieros Locales. 2. Ingenieros Estructurales. 3. Dependencias de Gobierno.	1. Investigaciones relacionadas al tema. 2. Reuniones semanales.	<b>\$30,000.00</b>
Iniciar con nuevos Proyectos de Intervención que den lugar a nuevos resultados.	1. Alumnos de posgrado interesados en el tema. 2. Investigadores relacionados al tema. 3. Colaboración con otras Universidades.	1. Trabajos de investigación (Tesis). 2. Publicación de artículos científicos.	<b>\$5,000.00</b>
		<b>TOTAL=</b>	<b>\$53,500.00</b>

## VI. CAPÍTULO 6 - CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

### 6.1. Conclusiones

Las conclusiones a las cuales se llega en esta investigación se justifican con base a los resultados obtenidos y las observaciones realizadas durante el proceso de desarrollo este estudio en donde se detectaron algunos aspectos importantes que se mencionarán a continuación:

1. El análisis dinámico no lineal paso a paso en el dominio del tiempo, mediante el software comercial Sap2000, fue un procedimiento adecuado para analizar las tres variables estudiadas (desplazamientos, rotaciones en las conexiones y distorsiones de entrepiso) en el presente proyecto de intervención, ya que se obtuvieron resultados similares al comportamiento real de las edificaciones frente a un sismo.
2. El marco de acero con contravientos presentó mejor desempeño sísmico que el marco de acero rígido con base en las tres variables que se estudiaron: (1) desplazamientos, (2) rotaciones en las conexiones y (3) distorsiones de entrepiso. Resaltando una reducción hasta un 70% en los desplazamientos laterales y distorsiones de entrepiso de las edificaciones; lo cual juega un papel fundamental en el proceso del diseño de estructuras.
3. Los contravientos en configuración tipo X aumentaron significativamente el índice de confiabilidad en la estructura de acero en las edificaciones frente a la variable distorsión, lo cual se traduce en una menor probabilidad de falla estructural frente a los efectos negativos ocasionados por los sismos.
4. La implementación de un sistema estructural sismo-resistente de marcos de acero con contravientos en configuración tipo X encareció aproximadamente un 20% el costo de la estructura en comparación con los marcos de acero resistentes a momento.

### 6.2. Recomendaciones

De acuerdo a los resultados de las tres variables estudiadas (desplazamiento, rotación y distorsión) el proyecto de intervención demostró, mediante análisis no lineales paso a paso en el dominio del tiempo, que el marco de acero con contravientos en configuración tipo X posee mejor desempeño sísmico que el marco de acero resistente a momento, sin embargo, la implementación del marco de acero con este tipo de contravientos encarece aproximadamente el 20% el costo de la estructura. Por lo tanto, es necesario realizar otros proyectos con distintas configuraciones de contravientos y observar si el desempeño sísmico

mejora y a la vez su costo disminuye. Asimismo, se presenta un listado de aspectos que se pudieran considerar en proyectos futuros, como lo son:

1. Modelar las estructuras de ambos sistemas sismo-resistentes en 3D.
2. Desarrollar el estudio para edificaciones con diferentes niveles, por ejemplo, edificios de 5, 10, 20 y 30 niveles de altura.
3. Tomar en cuenta el estudio de la ductilidad, ya que es un concepto muy importante dentro del análisis y diseño de edificaciones.
4. Realizar un análisis de costo/beneficio tomando en cuenta los conceptos de probabilidad de falla e índice de confiabilidad.
5. Realizar el estudio para diferentes ciudades de la República Mexicana empezando con las ciudades de mayor riesgo sísmico.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AISC (2011).** American Institute of Steel Construction. Fourteenth Edition. Part 13.
- Al-Shomrani, A. A., Shawky, A. I., Arif, O. H., y Aslam, M., (2016).** Log-logistic distribution for survival data analysis using mcmc. SpringerPlus, 5(1): 1774.
- Arellano, A. (2010).** Análisis comparativo de diferentes configuraciones de contraventeo en edificios de estructuras metálicas. Tesis de Licenciatura, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México. 85 p.
- ASCE/SEI 41-13 (2014).** “Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings”, American Society of Civil Engineers (ASCE), Reston, VA, USA.
- Birnbaum, Z. W., y Saunders, S. C., (1969).** A new family of life distributions. Journal of applied probability, 6(2): 319-327.
- Canavos, G. (1988).** Probabilidad y estadística. Aplicaciones y métodos. Editorial mcgraw-hill.
- CFE-MDOC, (2015).** Comisión Federal de Electricidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por Sismo.
- CFE-MDOC, (2008).** Comisión Federal de Electricidad. Manual de Diseño de Obras Civiles. Diseño por viento.
- Crisafulli, F. J. (2013).** Diseño sismorresistente de construcciones de acero . Las Condes, Santiago de Chile: Asociación Latinoamericana del Acero.
- Coles, S., Bawa, J., Trenner, L. y Dorazio, P., (2001).** An introduction to statistical modeling of extreme values, volumen 208. Springer.
- Earthquake Engineering Research Institute. (2019).** Obtenido de <http://www.eeri.org>
- FEMA-350 (2000).** “Recommended seismic design criteria for new Steel moment-frame buildings”, Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Gaxiola, J. R. (2018).** *Desarrollo e implementación de metodología alternativa para el cálculo de confiabilidad estructural de edificios sometidos a terremotos considerando niveles de desempeño.* Culiacán, Sinaloa: Universidad Autónoma de Sinaloa.
- Godínez, E.A. (2010).** Estudio del comportamiento de marcos dúctiles de concreto reforzado con contraventeo chevrón. Tesis de Doctorado en Ciencias, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, Universidad Autónoma Metropolitana, Azcapotzalco, Ciudad de México. 689 p.
- Gudbjartsson, H. y Patz, S., (1995).** The rician distribution of noisy mri data. Magnetic resonance in medicine, 34(6): 910-914.

- Gumbel, E. J., (2012).** Statistics of extremes. Courier Corporation.
- Karavasilis, T. L., Nikitas, B., & E., B. D. (2007).** Estimation of seismic drift and ductility demands in planar regular X-braced steel frames. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 2275-2279.
- Kissell, R. y Poserina, J. (2017).** Charper 4 - advanced math and startistics. En Kissel, R. y Poserina, J., editores, *Optimal Sports Math, Statistics, and Fantasy*, páginas 103-135. Academic Press.
- Kotz, S., y Nadarajah, S., (2000).** Extreme value distributions: theory and applications. World Scientific.
- Lacerte, M., & Tremblay, R. (2006).** Making use of brace overstrength to improve the seismic response of multistory split-X concentrically braced steel frames. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 1005-1021.
- Leimare, M., (2013).** *Strucutral Reliability*. John Wiley & Sons.
- MacRae, G. A., M.ASCE, Kimura, Y., & Roeder, C. (2004).** Effect of Column Stiffness on Braced Frame Seismic Behavior. *Journal of Structural Engineering*, 381-391.
- MacRae, G., Kimura, Y., & C, R. (2004).** Effect of column stiffness on braced frame seismic behavior. *Journal of Structural Engineering*, 381-391.
- Nikagami, M., (1960).** The m-distribution-a general formula of intensity distribution of rapid fading. *Statistical methods in ratio wave propagation*, pag. 3-36. Elsevier.
- Nowak, A. S. & Collins, K. R., (2012).** Relability of Structures. CRC Press.
- NTCS, (2004).** Normas Técnicas Complementarias para Diseño por Sismo.
- NTC-DCEA-CDMX, (2017).** Normas Técnicas para Diseño y Construcción de Estructuras Metalicas.
- Pliego, F. J. M. y Ruiz-Maya, L., (2004).** Estadística: Probabilidad. Thomson.
- Reglamento de Construcción de Culiacán, (2010).** Reglamento de Construcciones para el Municipio de Culiacán, Sinaloa.
- Tapia, E. (2015).** *Uso de contravientos de acero*. México: Gerdau Corsa.
- Tapia, E., (2011).** Demandas de rigidez lateral en marcos de acero contraventeados en suelo blando. *Ingeniería Sísmica*, 1-20.
- Tapia, E., & Tena, A. (2001).** *Comparación de los efectos observados en estructuras con marcos de acero durante los sismos de México (1985), Nothridge (1994) y Kobe (1995) y su impacto en las normas de diseño para estructuras metálicas del RCDF-2001*. Guadalajara, Jalisco, México: XIII Congreso Nacional de Ingenierías Sísmicas
- Tapia, E., & Tena, A. (2013).** Diseño Sísmico de Marcos de Acero Contraventeados. *Ingeniería Sísmica*, 43-68.

- Tapia, E., & Tena, A. (2013).** Diseño sísmico de marcos de acero contraventeados. Parte 1: Recomendaciones de diseño. *Ingeniería Sísmica* , 43-68.
- Tapia, E., & Tena, A. (2013).** Diseño sísmico de marcos de acero contraventeados. Parte 2: Evaluación de la metodología. *Ingeniería Sísmica* , 69-90.
- Tapia, E., Martínez, J., & Fernández, L. (2017).** Demandas sísmicas en edificios regulares de acero con cimentaciones flexibles. *Ingeniería Sísmica*, 1-17.
- Travasarou, T., Bray, J.D., & Abrahamson, N.A. (2003).** Empirical attenuation relationship for Areas Intensity. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 1133-1155.
- Tremblay, R., & Poncet, L. (2005).** Seismic performance of concentrically braced steel frames in multistory buildings with mass irregularity. *Journal of Structural Engineering* , 1363–1375.
- Tremblay, R., Bruneau, M., Nakashima, M., Prion, H. G., Filiatrault, A., & De Vall, R. (1996).** Seismic Design of Steel Buildings: Lessons from the 1995 Hyogo-ken Nanbu Earthquake. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 727-759.
- Voit, J., (2013).** The statistical mechanics of financial markets. Springer Science & Business Media.