



**Evaluación sísmica basada en resiliencia de una muestra de edificaciones de mediana altura de concreto armado, reforzadas después del sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016, como fundamento normativo**

Olmedo Cueva, José Paúl

Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Maestría de Investigación en Ingeniería Civil

Trabajo de titulación, previo a la obtención del título de Magíster en Ingeniería Civil  
con Mención en Estructuras

Ing. Haro Báez, Ana Gabriela Ph.D.

23 de junio del 2023

## Copyleaks

Reporte de similitud	
NOMBRE DEL TRABAJO <b>Tesis_Resiliencia_Paul_Olmedo 22-06-20 23_p.docx</b>	AUTOR <b>Paul Olmedo</b>
RECUENTO DE PALABRAS <b>20127 Words</b>	RECUENTO DE CARACTERES <b>108141 Characters</b>
RECUENTO DE PÁGINAS <b>159 Pages</b>	TAMAÑO DEL ARCHIVO <b>22.9MB</b>
FECHA DE ENTREGA <b>Jun 22, 2023 9:45 PM GMT-4</b>	FECHA DEL INFORME <b>Jun 22, 2023 9:49 PM GMT-4</b>
<p>● <b>9% de similitud general</b></p> <p>El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• 8% Base de datos de Internet</li> <li>• Base de datos de Crossref</li> <li>• 4% Base de datos de trabajos entregados</li> <li>• 3% Base de datos de publicaciones</li> <li>• Base de datos de contenido publicado de Crossref</li> </ul> <p>● <b>Excluir del Reporte de Similitud</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material bibliográfico</li> <li>• Material citado</li> <li>• Material citado</li> <li>• Coincidencia baja (menos de 11 palabras)</li> </ul>	
Firma:	
	
Haro Báez, Ana Gabriela C.C. 1713500302	
<a href="#">Resumen</a>	



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Certificación

Certifico que el trabajo de titulación, "**Evaluación sísmica basada en resiliencia de una muestra de edificaciones de mediana altura de concreto armado, reforzadas después del sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016, como fundamento normativo**" fue realizado por el señor **Olmedo Cueva, José Paúl**, el mismo que cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, además fue revisado y analizado en su totalidad, por la herramienta de prevención y/o verificación de similitud de contenidos; razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

**Sangolquí, 23 junio de 2023**



El nombre al cual pertenece es:  
**ANA GABRIELA HARO  
BÁEZ**

.....  
**Haro Báez, Ana Gabriela**

**Directora**

**C.C. 1713500302**



Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología

Centro de Posgrados

Responsabilidad de Autoría

Yo Olmedo Cueva, José Paúl, con cédula de ciudadanía nº1714108048, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "Evaluación sísmica basada en resiliencia de una muestra de edificaciones de mediana altura de concreto armado, reforzadas después del sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016 como fundamento normativo" es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos científicos, técnicos y metodológico establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Sangolquí, 23 de junio de 2023



Olmedo Cueva, José Paúl

C.C.: 1714108048



**Vicerrectorado de Investigación, Innovación y Transferencia de Tecnología**

**Centro de Posgrados**

**Autorización de Publicación**

Yo **Olmedo Cueva, José Paúl**, con cédula de ciudadanía nº1714108048, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación: **“Evaluación sísmica basada en resiliencia de una muestra de edificaciones de mediana altura de concreto armado, reforzadas después del sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016 como fundamento normativo”** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad.

Sangolquí, 23 de junio de 2023



Olmedo Cueva, José Paúl

**C.C.: 1714108048**

## Dedicatoria

A Dios,

En agradecimiento, por iluminar mi camino y otorgarme las bendiciones que me han permitido alcanzar esta nueva meta académica y profesional.

A mis padres,

José Vicente que fue mi guía y apoyo para ser ingeniero y amar esta profesión y Mariela Eugenia quien siempre me ha apoyado para que consiga mis metas.

A mi esposa Carito,

Por su apoyo incondicional, paciencia y actitud positiva, motivándome en todo momento a culminar con éxito mis metas y objetivos.

A mis hijos Benjamín Alexander, Amelia Saemi

Quienes son mi fuente de motivación e inspiración para superarme día a día, comprometiéndome a dar lo mejor de mí.

A mi hermano, Sergio,

Por su preocupación constante y por estar siempre junto a mis triunfos y vicisitudes.

José Paúl

## Agradecimientos

Agradezco a mi familia,

Que han sido mi motivación, en especial a mi esposa que siempre ha estado ahí para apoyarme para seguir adelante con mi titulación y seguir creciendo profesionalmente.

A mi directora,

La Dra. Ana Haro, que siempre estuvo motivándome para seguir con mi trabajo de investigación y estuvo presta a solventar cualquier duda y fue la guía principal para lograr culminar este trabajo de investigación.

A mis cuñados y suegra, que me brindaron su apoyo para poder elaborar el presente trabajo dedicándole tiempo a mis hijos.

A mis profesores de la maestría,

Por su guía y dedicación para transmitirnos su conocimiento y formarnos como unos buenos profesionales.

José Paúl

## Índice de Contenidos

Copyleaks .....	2
Copyleaks .....	2
Certificación .....	3
Responsabilidad de Autoría .....	4
Autorización de Publicación .....	5
Dedicatoria.....	6
Agradecimientos .....	7
Índice de Contenidos .....	8
Índice de Tablas.....	13
Índice de Figuras.....	15
Índice De Ecuaciones .....	20
Resumen.....	21
Abstract.....	22
Capítulo I: Generalidades.....	23
Introducción .....	23
Antecedentes .....	23
Planteamiento del Problema .....	27
Macro.....	27
Meso .....	27
Micro .....	28
Justificación .....	29
Alcance .....	31

Objetivos .....	31
Objetivo General .....	31
Objetivos Específicos .....	31
Hipótesis .....	32
Categorización de las variables de investigación .....	32
Contenido del Trabajo de Investigación .....	32
Capítulo II: Estado del arte en resiliencia sísmica .....	33
Alcance .....	33
Implementación del concepto de Resiliencia a nivel Mundial .....	33
Marco Legal .....	33
Experiencia Chilena .....	34
Experiencia de Japón.....	36
Experiencia en Estados Unidos.....	38
Oregon Seismic Safety Policy Advisory Commission (OSSPAC) - Plan de Resiliencia de Óregon.....	39
NIST. (2016). NIST Special Publication 1190: Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems, Volume II. National Institute of Standards and Technology, .....	42
National approach to seismic functional recovery for new construction (Helping et al., 2019).....	45
NIST, 2018. Research Needs to Support Immediate Occupancy Building Performance Objective Following Natural Hazards Events [NIST Special Publication 1224]. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (McCallister & McCabe, 2018). .....	45
National Institute of Building Sciences NIBS & Building Seismic Safety Council BSSC. (2020). Resilience-Based Design and the NEHRP Provisions. FEMA IDIQ Contract	

	10
HSFE60-15-D-0022. ....	50
Experiencia Mexicana .....	54
Proyecto Resiliencia Sísmica, Desarrollo de capacidades Nacionales para la Rehabilitación de Edificios. ....	54
Un enfoque integral para la evaluación de la resiliencia sísmica” (Alcaráz, 2017). ....	55
Experiencia en Ecuador .....	58
Proyecto para la Construcción de Ciudades Seguras y Resilientes contra Desastres Naturales (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2019). ....	58
Análisis de pérdidas y estimación de daños utilizando la herramienta PACT del FEMA P- 58, en una edificación ubicada en la ciudad de Quito.” (J. Aveiga, F. Carvajal, 2018). ....	61
Marco Conceptual .....	62
Deformación de las Estructuras .....	62
Ductilidad Global .....	62
Ductilidad Local .....	63
Desempeño Sísmico .....	63
Robustez: .....	63
Redundancia: .....	63
Diseño Sismorresistente .....	64
Resiliencia sísmica .....	64
Peligrosidad Sísmica (Peligro Sísmico) .....	65
Curvas de Fragilidad .....	65
Recuperación funcional .....	65
Objetivo de Recuperación funcional .....	66
Capítulo III: Análisis del nivel de resiliencia .....	66
Definición y Caracterización del área de estudio .....	66

Evaluación Sísmica basado en Resiliencia de las Estructuras Propuestas. ....	68
Información de la Muestra de la investigación, para la Evaluación y Análisis Estructural. .....	68
Edificio 1 .....	69
Edificio 2 .....	73
Edificio 3 .....	77
Parámetro .....	79
Edificio 4 .....	81
Metodología de evaluación de la Muestra de Estudio .....	86
Modelamiento de la Edificación.....	86
Modelos Constitutivos para la no linealidad de los materiales.....	86
Modelo de Menegotto-Pinto .....	86
Modelo de Mander et al.....	88
Discretización de los elementos estructurales.....	89
Plasticidad de elementos .....	90
Elementos infrmFB.....	91
Idealización y modelo de las Estructuras .....	92
Análisis estructural No Lineal .....	96
Análisis No Lineal Estático Push Over .....	96
Análisis No Lineal Dinámico (Time History Analysis).....	97
Capítulo IV: Resultados y análisis .....	100
Análisis No Lineal Estático Push Over .....	100
Deformaciones.....	100
Deformaciones Edificio 1.....	100

	12
Deformada Edificio 2.....	102
Deformada Edificio 3.....	104
Deformada Edificio 4.....	106
Curvas de Capacidad.....	107
Derivas Globales.....	115
Análisis No Lineal Dinámico (Time History Analysis).....	117
Deformada. ....	118
Desplazamientos Máximos en el Último Piso. ....	121
Cálculo de Derivas Globales Y Residuales. ....	129
Estimación de Daño .....	137
Elementos No Estructurales .....	137
Elementos Estructurales .....	139
Estimación de Daños de elementos Estructurales en función de las Derivas Residuales .....	139
Estimación de Daños de elementos Estructurales en función de la Deriva Globales....	141
Índice de resiliencia.....	145
Pesos de evaluación y calificación de las Edificaciones .....	148
Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y referencias .....	165
Conclusiones .....	165
Recomendaciones .....	168
Referencias.....	169
Apéndices .....	174

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> Rigidez de edificios representativos de la practica chilena .....	35
<b>Tabla 2</b> Requisitos de diseño prescriptivos hipotéticos para una gama de tiempos de recuperación funcional.....	53
<b>Tabla 3</b> Probabilidad de falla para daños moderados en la zona.....	55
<b>Tabla 4</b> Tabla para variable de decisión.....	61
<b>Tabla 5</b> Coordenadas UTM de las edificaciones en estudio (Google Earth, 2020) .....	66
<b>Tabla 6</b> Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos Edificio 1 .....	71
<b>Tabla 7</b> Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos Edificio 2 .....	75
<b>Tabla 8</b> Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos --(MIDUVI, 2016).....	79
<b>Tabla 9</b> Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos ..	83
<b>Tabla 10</b> Parámetros de configuración modelo acero Menegotto-Pinto.....	87
<b>Tabla 11</b> Parámetros modelo hormigón de Mander et.....	88
<b>Tabla 12</b> Objetivos de Desempeños utilizados para el Análisis No lineal Estático.....	96
<b>Tabla 13</b> Factores de escalamiento y registros de aceleraciones del PEER para suelo tipo .....	99
<b>Tabla 14</b> Factores de escalamiento y registros de aceleraciones del PEER para suelo tipo E. ....	99
<b>Tabla 15</b> Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 1 .....	116
<b>Tabla 16</b> Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 2 .....	116
<b>Tabla 17</b> Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 3 .....	117
<b>Tabla 18</b> Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 4.....	117
<b>Tabla 19</b> Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 1 .....	122
<b>Tabla 20</b> Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 2 .....	123
<b>Tabla 21</b> Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 3.....	125

<b>Tabla 22</b> <i>Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 4</i> .....	127
<b>Tabla 23</b> <i>Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 1</i> .....	129
<b>Tabla 24</b> <i>Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 2</i> .....	131
<b>Tabla 25</b> <i>Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 3</i> .....	133
<b>Tabla 26</b> <i>Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 4</i> .....	135
<b>Tabla 27</b> <i>Límites de deriva de piso para diferentes niveles de desempeño en edificios considerando elementos no estructurales</i> .....	137
<b>Tabla 28</b> <i>Estimación de Daño en elementos No Estructurales en función de Derivas Globales</i> .....	138
<b>Tabla 29</b> <i>Evaluación de Daño en elementos Estructurales en función de la Deriva Residual Daño (Propuesta DBD 2023)</i> .....	139
<b>Tabla 30</b> <i>Estados de Daño para Deriva Residual en % Ref. (FEMA P58, Hanson, 2018)</i>	140
<b>Tabla 31</b> <i>Evaluación de Daño de elementos Estructurales en función de la Deriva Residual para cada Edificio</i> .....	140
<b>Tabla 32</b> <i>Estimación de Daño Deriva Global ATC 145 Sentido “X”</i> .....	144
<b>Tabla 33</b> <i>Estimación de Daño Deriva Global ATC 145 Sentido “Y”</i> .....	144
<b>Tabla 34</b> <i>Evaluación de Daño/Deriva Global</i> .....	145
<b>Tabla 35</b> <i>Probabilidad de Colapso de cada Edificio en función de la Deriva Global</i> .....	146
<b>Tabla 36</b> <i>Tiempo Objetivo de Recuperación en días</i> .....	146
<b>Tabla 37</b> <i>Probabilidad de recuperación funcional en función del daño y tiempo objetivo</i> ..	148
<b>Tabla 38</b> <i>Resumen de evaluación para Índice de Resiliencia Sísmica</i> .....	162

## Índice de Figuras

<b>Figura 1</b> <i>Acelerogramas del terremoto del 16 de abril de 2016 ordenados con respecto a la distancia epicentral (“Informe Sísmico Especial N. 18 - 2016 - Instituto Geofísico - EPN,” 2016).</i> .....	24
<b>Figura 2.</b> <i>Registro de Movimiento Sísmico (Terremoto Pista, 2022)</i> .....	24
<b>Figura 3</b> <i>Esquema conceptual de su significado resiliencia (Gil-ureta et al., 2017)</i> .....	35
<b>Figura 4</b> <i>Tendencias del desarrollo de medidas sismorresistentes</i> .....	36
<b>Figura 5</b> <i>Proceso para lograr Estructuras Resilientes</i> .....	38
<b>Figura 6</b> <i>Línea de tiempo de 10.000 años de historia de Terremotos en la Zona de subducción (Yu, Kent, J. Wilson2, 2015).</i> .....	40
<b>Figura 7</b> <i>Triángulo de Resiliencia de Óregon</i> .....	41
<b>Figura 8</b> <i>Procedimiento para Comunidad Resilientes 1</i> .....	43
<b>Figura 9</b> <i>Procedimiento para Comunidad Resilientes 2</i> .....	44
<b>Figura 10</b> <i>Consideraciones de Diseño y construcciones</i> .....	47
<b>Figura 11</b> <i>Consideraciones Económica y Social.</i> .....	48
<b>Figura 12</b> <i>Consideraciones Adopción y Aceptación</i> .....	49
<b>Figura 13</b> <i>El campo de la resiliencia (según Meister Consultants Group, 2017)</i> .....	51
<b>Figura 14</b> <i>Portal web Resiliencia sísmica.</i> <i>(<a href="https://www.resilienciasismica.unam.mx/proyecto.html">https://www.resilienciasismica.unam.mx/proyecto.html</a>, 2023)</i> .....	54
<b>Figura 15</b> <i>Funciones Q(t) para evaluar el tiempo de recuperación en puentes, (Hazu-MH Technical Manual. 1999)</i> .....	56
<b>Figura 16</b> <i>Funcionalidad esperada en avenidas y ejes viales ante los eventos sísmicos considerados. (Alcaráz, 2017)</i> .....	57
<b>Figura 17</b> <i>Manual para la Regulación de Procesos Constructivos (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2019)</i> .....	59
<b>Figura 18</b> <i>Plan para la implementación de la regulación de procesos Constructivos con enfoque Sismorresistente (MIDUVI, 2019)</i> .....	60
<b>Figura 19</b> <i>Sistema de Calificación de las Edificaciones</i> .....	62
<b>Figura 20</b> <i>Edificio 1- Bahía de Caráquez, Prop (Google Earth, 2019).</i> .....	67

<b>Figura 21</b> Edificios 2, 3 y 4 en estudio, Portoviejo, Provincia de Manabí (Google Earth, 2021). .....	67
<b>Figura 22</b> Vista General de la muestra de estudio Edificio 1, 2, 3 y 4 en estudio, Provincia de Manabí 3 de ellos en la ciudad de Portoviejo y 1 en la ciudad de Bahía de Caráquez (Google Earth, 2021). .....	68
<b>Figura 23</b> Vista estado Actual Edificio 1 (MIDUVI, 2016) .....	69
<b>Figura 24</b> Vista en Planta Edificio 2 ( MIDUVI, 2016).....	70
<b>Figura 25</b> Vista en Elevación del Edificio 1 .....	70
<b>Figura 26</b> Derivas de Piso estado Actual y Propuesta de Reforzamiento (MIDUVI, 2016). 72	
<b>Figura 27</b> Derivas de Piso estado Actual y Propuesta de Reforzamiento (MIDUVI, 2016) .72	
<b>Figura 28</b> Vista estado Actual Edificio 2 (MIDUVI, 2016) .....	73
<b>Figura 29</b> Vista en Planta Edificio 2 (MIDUVI, 2016).....	74
<b>Figura 30</b> Vista en Elevación del Edificio 2 .....	74
<b>Figura 31</b> Derivas de Piso estado Actual Estático y Dinámico Sentido “X” (MIDUVI, 2016). .. .....	76
<b>Figura 32</b> Derivas de Piso estado Actual Estático y Dinámico Sentido “Y” (MIDUVI, 2016)76	
<b>Figura 33</b> Vista estado Actual Edificio 3 (MIDUVI, 2016) .....	77
<b>Figura 34</b> Vista en Planta Edificio 3 ( MIDUVI, 2016).....	78
<b>Figura 35</b> Vista en Elevación del Edificio 3 (MIDUVI, 2016).....	78
<b>Figura 36</b> Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido “X” (MIDUVI, 2016).... .....	80
<b>Figura 37</b> Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido “Y” (MIDUVI, 2016) ... .....	80
<b>Figura 38</b> Vista estado Actual Edificio 4 (MIDUVI, 2016) .....	81
<b>Figura 39</b> Vista en Planta Edificio 4 ( MIDUVI, 2016).....	82
<b>Figura 40</b> Vista en Elevación del Edificio 4 ( MIDUVI, 2016).....	83
<b>Figura 41</b> Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido “X” (MIDUVI, 2016).... .....	85
<b>Figura 42</b> Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido “X” (MIDUVI, 2016) 85	

<b>Figura 42</b> <i>Modelo Menegotto-Pinto</i> .....	87
<b>Figura 44</b> <i>Configuración modelo de Mander</i> .....	88
<b>Figura 45</b> <i>Discretización de una sección transversal de hormigón armado</i> .....	89
<b>Figura 46</b> <i>Elemento columna discretizado</i> .....	90
<b>Figura 47</b> <i>Elemento muro de corte discretizado</i> .....	90
<b>Figura 48</b> <i>Secciones de integración de Gauss – Lobatto</i> .....	91
<b>Figura 49</b> <i>Modelo 3d Edificio 1 Seismo Struc</i> .....	93
<b>Figura 50</b> <i>Modelo 3d Edificio 2 Seismo Struc</i> .....	94
<b>Figura 51</b> <i>Modelo 3d Edificio 3 Seismo Struc</i> .....	95
<b>Figura 52</b> <i>Modelo 3d Edificio 4 Seismo Struc</i> .....	95
<b>Figura 53</b> <i>Espectro de respuesta de los 11 sismos seleccionados Suelo tipo D</i> .....	97
<b>Figura 54</b> <i>Espectro de respuesta de los 11 sismos seleccionados Suelo tipo E</i> .....	98
<b>Figura 55</b> <i>Deformada sentido X Edificio 1</i> .....	101
<b>Figura 56</b> <i>Deformada sentido Y Edificio 1</i> .....	102
<b>Figura 57</b> <i>Deformada sentido “X” Edificio 2</i> .....	103
<b>Figura 58</b> <i>Deformada del Edificio 2 sentido “Y”</i> .....	104
<b>Figura 59</b> <i>Deformada sentido X Edificio 3</i> .....	105
<b>Figura 60</b> <i>Deformada sentido Y Edificio 3</i> .....	105
<b>Figura 61</b> <i>Deformada sentido “X” Edificio 4</i> .....	106
<b>Figura 62</b> <i>Deformada sentido Y Edificio 4</i> .....	107
<b>Figura 63</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “X” Edificio 1</i> .....	108
<b>Figura 64</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “Y” Edificio 1</i> .....	109
<b>Figura 65</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “X” Edificio 2</i> .....	110
<b>Figura 66</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “Y” Edificio 2</i> .....	111
<b>Figura 67</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “X” Edificio 3</i> .....	112
<b>Figura 68</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “Y” Edificio 3</i> .....	113
<b>Figura 69</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “X” Edificio 4</i> .....	114
<b>Figura 70</b> <i>Curva de Capacidad Push Over en la dirección “Y” Edificio 4</i> .....	115
<b>Figura 71</b> <i>Deformada y visualización de daños del Edificio 1</i> .....	118

<b>Figura 72</b> Deformada y visualización de daños del Edificio 2.....	119
<b>Figura 73</b> Deformada y visualización de daños del Edificio 3.....	120
<b>Figura 74</b> Deformada y visualización de daños del Edificio 4.....	121
<b>Figura 75</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 1.....	122
<b>Figura 76</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “Y” Edificio 1.....	123
<b>Figura 77</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 2.....	124
<b>Figura 78</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “Y” Edificio 2.....	124
<b>Figura 79</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 3.....	126
<b>Figura 80</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 3.....	126
<b>Figura 81</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 4.....	128
<b>Figura 82</b> Desplazamiento último piso, en la dirección “Y” Edificio 4.....	128
<b>Figura 83</b> Derivas Globales Edificio 1 .....	130
<b>Figura 84</b> Derivas Residuales Edificio 1.....	130
<b>Figura 85</b> Derivas Globales Edificio 2 .....	132
<b>Figura 86</b> Derivas Residuales Edificio 2.....	132
<b>Figura 87</b> Derivas Globales Edificio 3 .....	134
<b>Figura 88</b> Derivas Residuales Edificio 3.....	134
<b>Figura 89</b> Derivas Globales Edificio 4 .....	136
<b>Figura 90</b> Derivas Residuales Edificio 4.....	136
<b>Figura 91</b> Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 1 .....	141
<b>Figura 92</b> Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 2.....	142
<b>Figura 93</b> Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 3.....	143
<b>Figura 94</b> Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 4.....	143
<b>Figura 95</b> Probabilidad de funcionalidad según el daño y tiempo objetivo.....	147
<b>Figura 96</b> Peso1. Datos Estudios Geotécnicos .....	149
<b>Figura 97</b> Calificación y Tabla de ponderación peso 1.....	149
<b>Figura 98</b> Peso 2. Parámetros de Rigidez, Periodos de la Estructura para los 4 edificios	150
<b>Figura 99</b> Calificación y Tabla de ponderación peso 2. para los 4 edificios.....	151
<b>Figura 100</b> Peso 3, 4, 5 y 6 Calculo de Desplazamientos y Derivas en el último piso para los	

4 edificios	152
<b>Figura 101</b> Calificación pesos 2, 3, 4, 5 y 6 para los 4 edificios	153
<b>Figura 102</b> Peso 7, Estimación de Daño para elementos no estructurales de los 4 Edificios.	154
<b>Figura 103</b> Calificación peso 7, para los 4 edificios	155
<b>Figura 104</b> Pesos 8, 9 Estimación de Daño para los 4 Edificios	156
<b>Figura 105</b> Calificación Pesos 8, 9 Estimación de Daño para los 4 Edificios	157
<b>Figura 106</b> Curvas de Fragilidad para Estimación de Daño en función de la Deriva para los 4 edificios	158
<b>Figura 107</b> Peso 10 Estimación de Daño para los 4 Edificios, 3	159
<b>Figura 108</b> Evaluación final y calificación peso 10	160
<b>Figura 109</b> Peso 11, Parámetros de Resiliencia y Evaluación con las ponderaciones para los 4 edificios	160
<b>Figura 110</b> Peso 12 Definición del tiempo objetivo de recuperación para las 4 edificaciones.	161
<b>Figura 111</b> Peso 12 Calificación del daño de los pesos 6,7,8,9 y 10 de los 4 edificaciones.	161
<b>Figura 112</b> Peso 12 Calificación y Tabla de ponderación para las 4 edificaciones.	162
<b>Figura 113</b> Calificación Final de los Edificios	164

**Índice De Ecuaciones**

Ecuación (1) .....	52
<i>Ecuación (2)</i> .....	57

## Resumen

La presente investigación se enfoca en proponer una metodología de evaluación sísmica basada en resiliencia, considerando los tiempos de recuperación funcional, que debe tener una estructura de uso público o que pueda necesitar una operación inmediata posterior a un evento sísmico, el muestra de la presente edificación son 4 edificios de hormigón armado de mediana altura que fueron afectado por el sismo del pasado 16 de abril del 2016, con epicentro en Muisne-Ecuador, que posteriormente uno de ellos tuvo un reacondicionamiento sísmico y el resto no lo que servirá como parámetro de comparación. Para el efecto, se realizó un control de daños de los elementos estructurales y no estructurales que pueden resultar afectado posterior a un evento de esta naturaleza. Adicionalmente se definió un índice de resiliencia para cada una de las edificaciones, con una tabla de evaluación didáctica e interactiva, con sus respectivos pesos de evaluación para una posterior calificación de estrellas de 0 a 5, que permitirá identificar que tan resiliente es la edificación.

Finalmente, esta metodología servirá como fundamento normativo nacional e internacional motivando a realizar más estudios sobre el diseño y evaluación sísmica basada en resiliencia, y juntamente con el estado se puede lograr que las políticas públicas incentiven a los usuarios a construir edificaciones y ciudades resilientes ante las amenazas sísmicas latentes, de la misma manera fortalecer a la ingeniería estructural del país y al código modelo de la región.

*Palabras clave:* resiliencia sísmica; evaluación sísmica; tiempo de recuperación funcional, índice de resiliencia.

## Abstract

This investigation presents a seismic evaluation method based on resilience, with a focus on the functional recovery times of structures for public use or requiring immediate operation following a seismic event. The case study involves one reinforced concrete building of middle height that was affected by the earthquake on April 16, 2016, with epicenter in Muisne-Ecuador. There is a building that underwent seismic reconditioning and other three do not.

The method includes a comprehensive assessment of potential damage to both structural and non-structural elements that may be affected by a seismic event. Additionally, a resilience index was developed using a tabulated evaluation with assigned weights for different criteria. The resulting index provides a star rating reflecting the building's level of resilience. The proposed method aims to serve as a regional regulatory foundation, promoting communities that reduce their response and recovery time in the face of earthquakes.

Finally, this methodology will serve as a national and international normative foundation, motivating more studies on resilience-based seismic design and evaluation, and together with the state, it can be achieved that public policies encourage users to build resilient buildings and cities before the latent seismic threats, in the same way strengthen the structural engineering of the country and the model code of the region.

*Keywords:* seismic resilience, seismic evaluation, functional recovery time, resilience index.

## Capítulo I: Generalidades

### Introducción

### Antecedentes

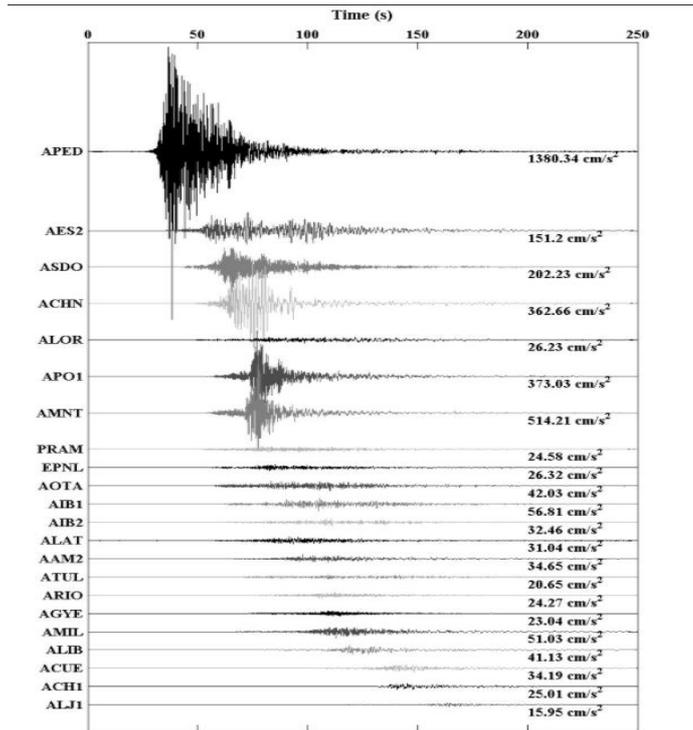
El Ecuador al encontrarse en el Cinturón de fuego del Pacífico es muy sensible a los constantes movimientos sísmicos de variadas magnitudes debido a la convergencia de placas tectónicas, aparte de estar atravesado por la mega falla geológica denominada Guayaquil-Caracas (Acosta, A , 2016).

Los movimientos sísmicos son eventos usualmente repetidos y las probabilidades de que se presente un nuevo evento telúrico en la zona de subducción del Pacífico son relativamente altas, lo cual es una amenaza latente a todos los países que se encuentran en esta zona, por lo que Ecuador es un país de muy alta peligrosidad sísmica.

El pasado 16 de abril de 2016, a las 18:58 horas aproximadamente, se produjo un movimiento sísmico con una magnitud de 7.8 grados en la escala de Richter cuyo hipocentro estuvo localizado frente a las costas ecuatorianas, a 29 Km de la ciudad de Muisne, provincia de Esmeraldas, a una profundidad de 19 Km, y sus efectos fueron sentidos en todo el país. Según los registros del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional en la estación de Pedernales (APED) se registró un valor pico de aceleración (PGA) de 13.803 m/s<sup>2</sup> (1.407 g)(IGF-EPN, 2016). Como se observa en la Figura 1.

**Figura 1.**

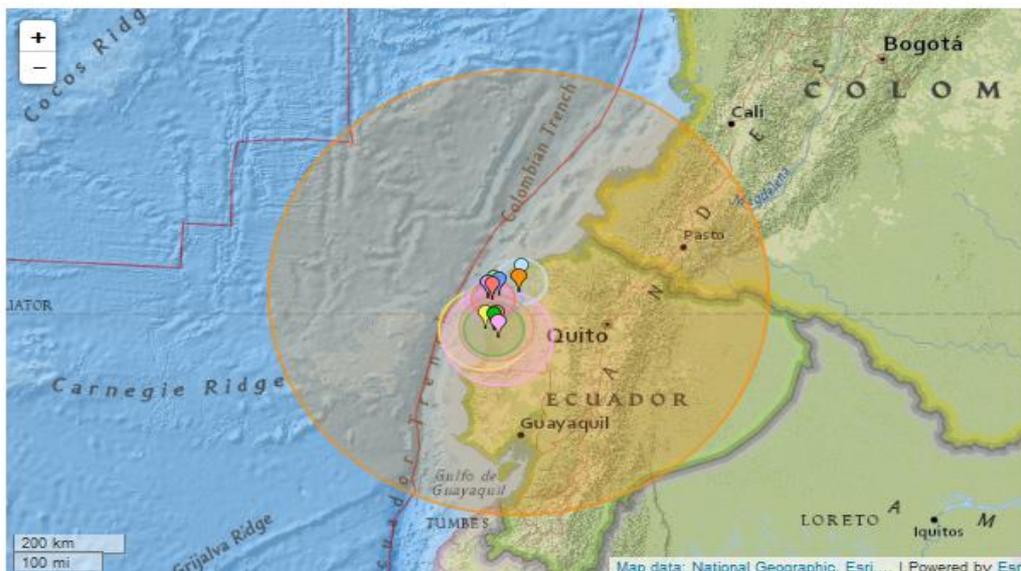
Acelerogramas del terremoto del 16 de abril de 2016 ordenados con respecto a la distancia epicentral (“Informe Sísmico Especial N. 18 - 2016 - Instituto Geofísico - EPN,” 2016).



En la Figura 2 se observa la propagación de onda del sismo y los lugares en los que se percibió el movimiento telúrico.

**Figura 2.**

Registro de Movimiento Sísmico (Terremoto Pista, 2022)



Nota: <https://earthquaketrack.com/quakes/2016-04-16-23-58-37-utc-7-8-19>.

Cabe recalcar que no se tenían precedentes para estos valores de aceleración en el país debido que el mapa de peligro sísmico del Ecuador vigente está dividido en 6 zonas de aceleración en roca que define el factor Z, utilizado para la construcción del espectro de respuesta elástico de acuerdo (*NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*, 2015). En mencionado mapa, en la zona de subducción VI indica aceleraciones mayores a 0.5 g.

Los valores registrados de Peak Ground acceleration PGA, en la estación de Pedernales casi triplicaron el límite inferior de la zona VI, por esta razón motivaron a una revisión de la amenaza sísmica y la definición de un nuevo mapa de peligro sísmico, para la mejora del diseño Sismorresistente, como también la implementación de nuevas metodologías de diseño y evaluación estructural.

El Ecuador actualmente se encuentra en proceso de actualización los nueve capítulos del eje de Seguridad Estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción. Parte de los trabajos, se han enfocado en mejorar el diseño Sismorresistente de edificaciones con el aumento de la rigurosidad de los parámetros y requisitos mínimos de seguridad estructural, sobre todo en el diseño basado en desplazamiento y desempeño sísmico.

En el mencionado proceso de actualización no se ha considerado el diseño y evaluación basada en resiliencia, por tal motivo existe la necesidad de la implementación de esta metodología, considerando que Ecuador es un país con una alta vulnerabilidad sísmica, y de esta manera se podrá dar un paso más para estar a la vanguardia de la Ingeniería Estructural y el diseño sismorresistente.

La falta de políticas públicas para cumplir la normativa de seguridad estructural a nivel masivo y la escasa producción científica nacional asociada a este concepto, son falencias que se deben atender para que Ecuador llegue a poseer comunidades resilientes

a eventos sísmicos.

Ecuador no es un caso aislado, ya que se evidencia que inclusive, países desarrollados como Japón y Estados Unidos, todavía no pueden implementar el concepto de resiliencia sísmica en un 100%, y así poder catalogar sus ciudades como resilientes. Sin embargo, es necesario reconocer su avance, que se convierte en un referente para lograr el objetivo de reducir tiempos de recuperación ante eventos sísmicos.

El Ecuador tiene la necesidad de implementar este concepto, y un pilar fundamental es la institucionalización de la normativa de seguridad estructural para la asignación de recursos, motivando a la investigación en la academia, con la participación del sector público y privado.

Por este motivo en el presente estudio se plantea una metodología como fundamento normativo para la Evaluación Sísmica Basada en Resiliencia con el referente de varias experiencias y estudios desarrollados en diferentes partes del mundo, incluido Ecuador.

Para el efecto la muestra de estudio son 4 edificios de mediana altura de concreto armado, uno de ellos fue reforzado después del sismo de Ecuador del 16 de abril de 2016, se recopiló los datos utilizados para la evaluación estructural como; estudios geotécnicos, vibración ambiental, ensayos no destructivos, destructivos y resultados de análisis estructurales como parámetros de comparación y análisis de la propuesta planteada de reforzamiento en el caso del Edificio 1.

Posteriormente se realizó un Análisis No lineal Estático (Push Over), junto con un Análisis No lineal Dinámico (Time History Analysis) para cada edificio de la muestra. Como resultado de los análisis se obtuvieron los desplazamientos máximos en el último piso, para el cálculo de derivas globales y derivas residuales, parámetro necesario para estimar el daño en elementos estructurales y no estructurales, como su desempeño sísmico.

Finalmente, en función del daño evaluado, determinar el tiempo de recuperación funcional a través de un tiempo objetivo proporcional al daño presentado en la muestra de estudio.

Planteando una tabla con pesos de evaluación de valores ponderados correspondientes al proceso antes descrito, se determina un índice de resiliencia.

A través del índice calculado, se realiza una calificación de la estructura para determinar qué tan resiliente es la edificación a un evento sísmico, de esta manera se categoriza entre 0 a 5 estrellas, donde las edificaciones pueden ser No resilientes, Medianamente Resilientes y Resilientes según corresponda el caso.

## **Planteamiento del Problema**

### **Macro**

El Cinturón de Fuego del Pacífico es el que alberga las zonas de subducción más importantes del mundo, por la misma razón es donde se han producido los movimientos sísmicos de mayor magnitud registrados en la historia, causados por la colisión de la placa del Pacífico con las placas continentales. A la vez el Cinturón de Fuego del Pacífico contiene alrededor del 75% de los volcanes, supervolcanes más activos del mundo (Rosenberg, 2023), que afecta a todos los países costaneros por lo que ha motivado a expertos a desarrollar tecnologías y metodologías sismorresistentes, como es el diseño y evaluación de edificaciones basados en la resiliencia sísmica, en términos generales se quiere dar un paso más allá, de la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño incluyendo la variable de tiempo de recuperación funcional de las edificaciones posterior a un evento sísmico, en función de la estimación de daños y con ello disminuir los costos de reparación.

### **Meso**

El Ecuador al ser un país ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, por el cual atraviesa la Cordillera de los Andes, y al estar en la gran falla Guayaquil-Caracas es

afectado por sismos de subducción (interplaca e intraplaca) y también por sismo corticales, por lo que es considerado como un país de muy alta peligrosidad sísmica.

De la misma manera existen zonas de silencio sísmico con una alta probabilidad que ocurran eventos de gran magnitud, similar al ocurrido en Esmeraldas en el año de 1906 de magnitud de 8.8 que causó muchos daños e inclusive fue sentido con gran intensidad en los países vecinos ubicándose dentro de los 10 sismos de mayor magnitud en la escala de Richter de la historia a nivel mundial hasta el 2010. A este evento lo acompañó un tsunami que ocasionó la pérdida de aproximadamente de 1500 vidas por el terremoto y el Tsunami que llegó 2 horas después (Instituto Geofísico, 2012).

Con este precedente, la alta actividad sísmica a lo largo de la historia en nuestro país ha permitido que los códigos sismorresistentes y las metodologías de diseño implementadas vayan evolucionando posterior a un evento sísmico. En el 2016 no fue la excepción, posterior al evento del 16<sup>a</sup>, se vio la necesidad de la actualización de los capítulos del Eje de Seguridad Estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción publicados en el 2015 y adoptar metodologías que estén a la vanguardia de la tecnología de ingeniería sísmica mundial, como es el diseño sísmico basado en resiliencia.

## **Micro**

Posterior al sismo del 16 abril de 2016, se evidenció la alta vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de nuestro país especialmente las localizadas en la provincia de Manabí, siendo uno de los sitios a nivel nacional más afectados, dejando secuelas hasta la actualidad.

Para el presente trabajo se utilizará una muestra de cuatro estructuras de hormigón armado de mediana altura, una de ellas con una rehabilitación sísmica, con la información disponible se realizan análisis estructurales especialmente no lineales estáticos como

dinámicos, para determinar el daño y desempeño de la mismas, posteriormente se determinaran los tiempos de recuperación funcional, a través de una metodología con pesos de evaluación con su debida ponderación para definir cuán resilientes son las edificaciones de la muestra de estudio, posteriormente calificarlas de 0 a 5 estrellas siendo 0 estrellas, No Resiliente y 5 estrellas, Resiliente.

### **Justificación**

La constante evolución de la tecnología en la Ingeniería Civil ha implementado varios conceptos innovadores referente a la Ingeniería Sísmica, que ha permitido desarrollar nuevas metodologías de diseño para obtener estructuras sismorresistentes, con la capacidad de recuperar en el menor tiempo su funcionamiento después de eventos sísmicos, lo que es un parámetro crucial del cual dependerá la vida o la muerte de los usuarios y el acceso a medios de auxilio ante una catástrofe, por esta razón es que aparece el concepto de Resiliencia aplicada al diseño sísmico.

En Ecuador la informalidad de la construcción evidenció la vulnerabilidad en la mayoría de las edificaciones que resultaron gravemente afectadas en el pasado sismo del 16 A, e inclusive las edificaciones que contaban con permisos de construcción y un diseño estructural, sufrieron serios daños o colapsaron como el caso de hospitales, que son estructuras esenciales y deben tener una operación continua, sin embargo, quedaron en estado de ruina y tuvieron que ser derrocados, además se tuvo que lamentar cientos de fatalidades. Estas pérdidas tanto económicas, como de vidas humanas crean la necesidad de elaborar e implementar una metodología de Evaluación y Diseño Sísmico Basado en Resiliencia.

Para el efecto, se realizará el presente estudio e implementar una metodología de Evaluación Sísmica basada en Resiliencia, con una muestra de 4 edificaciones de uso especial, en la que sus estructuras son de hormigón armado siendo la tipología de

construcción más común en el Ecuador, según (INEN,2018), para conocer el tiempo de recuperación ante una amenaza sísmica.

La implementación de esta metodología para la evaluación sísmica basada en resiliencia será una herramienta práctica para los diseñadores y evaluadores estructurales en la toma de decisiones antes y después de un evento sísmico, como apoyo a los entes rectores de Riesgos Emergencias y seguridad de la ciudadanía, Además, permitirá estar a la vanguardia tecnológica mundial de la ingeniería Civil y Estructural.

Esta metodología como fundamento Normativo incentivará a los Diseñadores y Evaluadores Estructurales a utilizarla para la toma efectiva de decisiones para reducción de tiempos de recuperación funcional y costos de reparación. De la misma manera esta metodología se puede plantear en futuras actualizaciones de los Capítulos del Eje de Seguridad Estructural de la Norma Ecuatoriana de la Construcción, como un subcapítulo específico para Evaluación de Estructuras Basado en Resiliencia.

Como fundamento normativo y con el apoyo de varios actores tanto públicos y privados se debe proponer una institucionalización de la normativa Sismorresistente, lo que permitirá incluir esta metodología, y más estudios sobre el Diseño y Evaluación Sísmica basada en Resiliencia. En conjunto con el estado se puede lograr que las políticas públicas incentiven a los usuarios a construir edificaciones y ciudades Resilientes ante las amenazas sísmicas latentes, de la misma manera fortalecer a la Ingeniería Estructural del país y al código modelo de la región. Siguiendo el ejemplo de varios países en el mundo.

Es importante concientizar a la sociedad sobre la necesidad de tener edificaciones resilientes, es decir, que puedan entrar en funcionamiento inmediato o a corto plazo después de un evento sísmico, minimizando los costos de reparación, reactivando la economía del sector afectado al poder continuar con sus actividades y sobre todo precautelando la vida de los usuarios, lo que implicaría que el uso creciente de esta metodología contribuirá a tener comunidades y ciudades resilientes.

**Alcance**

El presente proyecto permitirá emitir metodología para aplicar la Evaluación Sísmica Basada en Resiliencia para una muestra de estructuras de hormigón armado, mejorando de esta manera las capacidades de las ciudades para preparación y respuesta ante amenazas sísmicas, utilizando la misma para un fundamento normativo.

**Objetivos****Objetivo General**

Plantear una metodología de evaluación sísmica basada en Resiliencia, en una muestra de cuatro edificaciones de mediana altura de concreto armado afectadas durante el sismo de Ecuador 2016, como fundamento normativo para el país y el código modelo de la región.

**Objetivos Específicos**

Utilizar la información de 4 edificaciones de concreto armado de mediana altura y de alta concurrencia ubicadas en la provincia de Manabí, afectas tras el Sismo del 16 de abril de 2016.

Realizar el análisis y evaluación estructural de la muestra de estudio para determinar su desempeño sísmico y realizar un control de daños.

Determinar su tiempo de recuperación funcional de la muestra de estudio en relación con un tiempo objetivo.

Plantear una tabla de evaluación con sus pesos correspondiente para determina a través de ponderaciones que tan resiliente es la estructura a un evento sísmico, obteniendo un Índice de Resiliencia (IR).

Definir cuán resilientes son las edificaciones en función del índice de Resiliencia, con su respectiva calificación de 0 a 5 estrellas siendo 0 estrellas, No Resiliente y 5 estrellas,

Resiliente.

## **Hipótesis**

¿La evaluación sísmica basada en resiliencia a través de una muestra de edificaciones de mediana altura de concreto armado, permitirá mejorar la respuesta estructural de sistemas con la misma tipología en diferentes ciudades del país, de tal manera que se encuentren preparadas para reanudar actividades en tiempos cortos después de un terremoto?

## **Categorización de las variables de investigación**

Las variables que se van a utilizar en el presente trabajo son los siguientes:

Variable Independiente:

- Amenaza Sísmica del Ecuador ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico

Variable Dependiente:

- Edificaciones de mediana altura de Hormigón Armado
- Respuesta estructural
- Tiempo de Recuperación funcional
- Resiliencia Sísmica.

## **Contenido del Trabajo de Investigación**

Capítulo I: Generalidades

Capítulo II: Estado del Arte en Resiliencia sísmica

Capítulo III: Análisis del Nivel de Resiliencia

Capítulo IV: Resultados y Discusiones

Capítulo V: Conclusiones, Recomendaciones y Referencias Bibliográficas

## **Capítulo II: Estado del arte en resiliencia sísmica**

### **Alcance**

El alcance de este capítulo es sustentar y recopilar toda la información necesaria referente a la Resiliencia Sísmica y las diferentes metodologías utilizadas a nivel mundial que permitirá definir los conceptos fundamentales y su aplicación a esta metodología.

También se indica los beneficios de la evaluación sísmica basado en resiliencia y sobre todo la necesidad que todas las estructuras diseñadas sean seguras y sean capaces de recuperarse ante un evento sísmico reduciendo los daños y el tiempo que se demora la estructura a ser funcional.

De la misma manera se indicará como está correlacionado a la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño y las herramientas de esta metodología nos puedan servir para lo que se planteará en este trabajo de investigación.

### **Implementación del concepto de Resiliencia a nivel Mundial**

En esta sección se definirán los conceptos de resiliencia sísmica utilizando las experiencias de varios autores de diferentes países en el mundo.

Adicionalmente, se analizan los requisitos mínimos utilizados para el diseño y construcción, sobre todo la operabilidad de las estructuras y las ciudades Post evento.

### **Marco Legal**

En el presente trabajo se utilizará como marco de referencia la siguiente normativa que va relacionada con la Ingeniería Sísmica Basada en Desempeño y Resiliencia Sísmica, la cual se ha venido manejando en varios países de esta manera y como se van correlacionando, las cuales se muestra a continuación:

National Earthquake Resilience Research Implementation and Outreach (2011).

ASCE 41-17: American Society of Civil Engineers (2017).

ASCE 7-16: American Society of Civil Engineers (2016).

FEMAP-58, F. E. (2012). Seismic Performance Assessment of Buildings. Washington DC: Federal Emergency Management Agency.

Consejo de Resiliencia de los Estados Unidos (USRC)

NEHRP - National Earthquake Hazards Reduction Program (2019)

NEC- Norma Ecuatoriana de la Construcción capítulos de Seguridad Estructural (2015).

ATC 145, 2-Resilient Repair Guide Source Report: Case Study Annex (2021)

### **Experiencia Chilena**

De la experiencia del caso chileno se destacan dos trabajos. Por un lado, en (Gil-Ureta et al., 2017) toma en particular la experiencia que dejó el terremoto de Maule de 2010, que afectó a la zona centro y sur del país, para realizar recomendaciones más generales para la región. Principalmente plantea 3 puntos importantes que se debe considerar para obtener estructuras resilientes:

1.- Obtener datos fidedignos y de acceso público para la toma adecuada de decisiones no solo en la emergencia, si no a mediano plazo.

2.- Aprender del daño y de lo que falla, como lo es también aprender de lo que sí funciona correctamente. Por ejemplo, el comportamiento de las estructuras con sistemas de protección sísmica, que no solo impidieron el daño, sino que aseguraron continuidad de funcionamiento.

3.- La implementación del concepto de resiliencia no solo a nivel de edificaciones si no a nivel Político-Institucional para obtener infraestructuras Resilientes.

Chile que es el país que registra el mayor evento sísmico de la historia mundial ha venido trabajando algunos años con el concepto de resiliencia sísmica de las estructuras. Ellos plantean un esquema conceptual como se muestra en la Figura 3.

**Figura 3.**

Esquema conceptual de su significado resiliencia (Gil-Ureta et al., 2017)



Por otro lado, en (Lagos et al., 2021) utilizan la relación  $H_0/T_{cr}$  donde  $H_0$  es la altura de la edificación y  $T_{cr}$  es el primer periodo natural traslacional de la edificación en la dirección de análisis que se lo puede interpretar como el índice la rigidez y desempeño de los edificios a carga horizontal, según la **Tabla 1**:

**Tabla 1.**

Rigidez de edificios representativos de la practica chilena

Fuera de Rango	Flexible	Normal	Rígido	Fuera de Rango
$H_0=T_{cr}/11$	$H_0/T_{cr}:11-21$	$H_0/T_{cr}: 21-43$	$H_0/T_{cr}: 43-80$	$H_0=T_{cr}.80$

Nota: Adaptado de (Lagos et al., 2021).

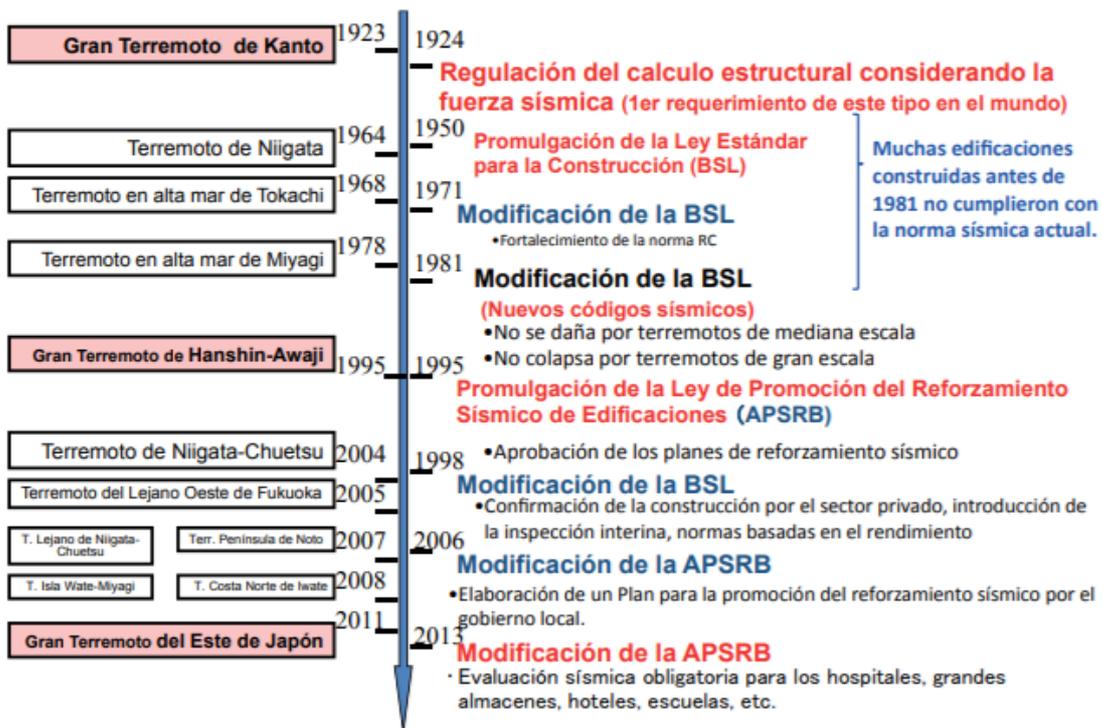
En este artículo señalan que el desafío de los ingenieros estructurales en Chile es que las estructuras al menos una vez debe resistir el sismo de diseño en su vida útil y su

**Experiencia de Japón**

En el caso de Japón, ellos han aprendido de las experiencias de eventos anteriores y manejan el concepto de resiliencia sísmica a nivel de Políticas Públicas e incentivos, para que las estructuras esenciales existentes diseñadas con códigos anteriores realicen una evaluación estructural y reforzamiento para mejorar su desempeño sísmico. Estas disposiciones son obligatorias para hospitales y servicios de emergencia. Para el efecto han establecido una línea de tiempo en la cual indican los avances y acciones para mejorar el desempeño sísmico desde 1923 hasta la fecha detallado en la Figura 4.

**Figura 4.**

*Tendencias del desarrollo de medidas Sismorresistentes*



Nota: Obtenido de(INTERNACIONAL INSTITUTE OF SEISMOLOGY AND

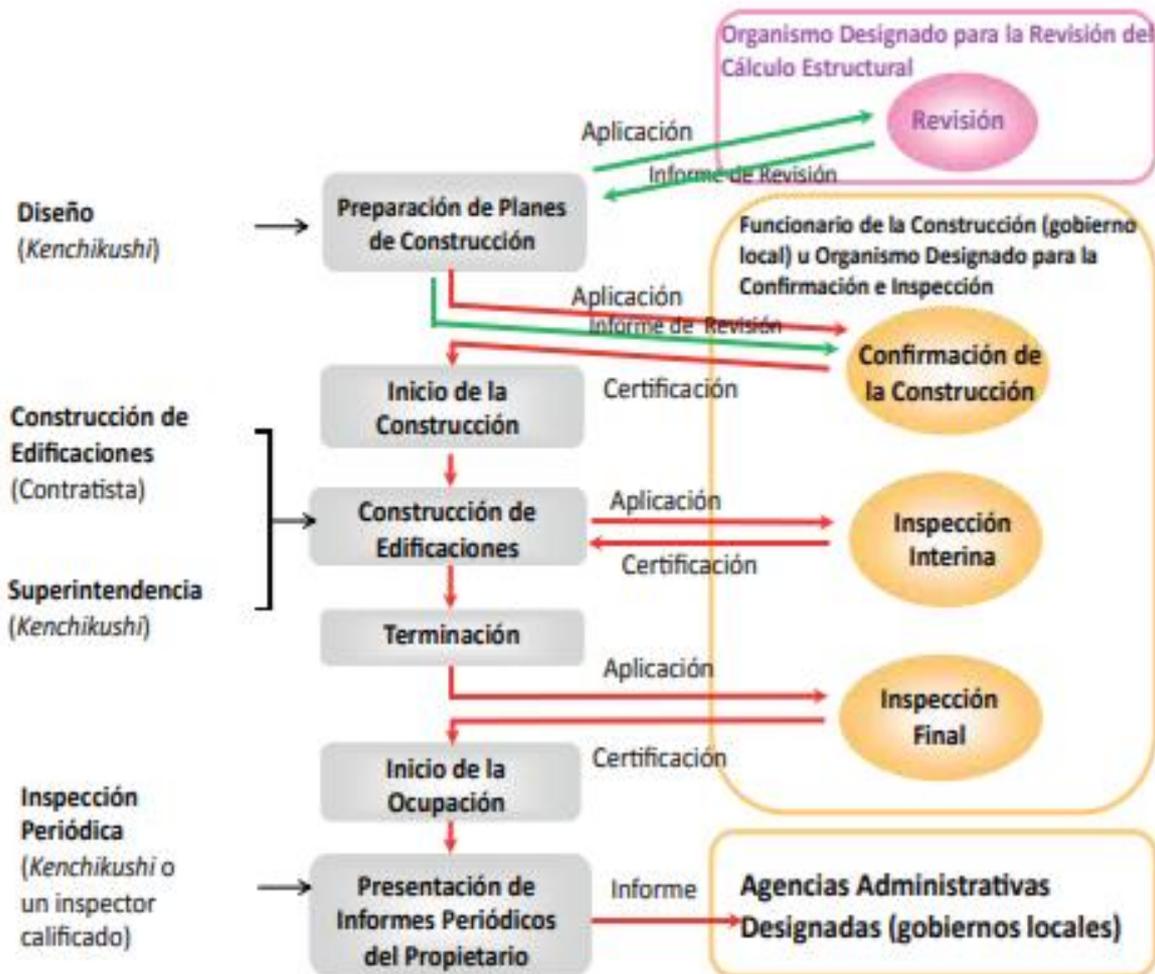
EARTHQUAKE ENGINEERING BUILDING RESEARCH INSTITUTE- JAPON, 2021).

Además, para las estructuras nuevas realizan un control antes, durante y después de la construcción, verificando el cumplimiento de la normativa. Para ello tienen organismos específicos, que acompañan desde el diseño estructural hasta obtener el permiso de habitabilidad. También a más de incentivar a nivel local la resiliencia, lo realizan a nivel internacional con agencias, instituciones y organismos encargados, brindando apoyo a países subdesarrollados con programas y proyectos para transmitir su tecnología y experiencias para lograr comunidades resilientes (INTERNACIONAL INSTITUTE OF SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING BUILDING RESEARCH INSTITUTE- JAPON, 2021).

En la Figura 5 se muestra el proceso para construir edificaciones resilientes planteadas en Japón.

**Figura 5.**

Proceso para lograr Estructuras Resilientes



Nota: (INTERNACIONAL INSTITUTE OF SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING BUILDING RESEARCH INSTITUTE- JAPON, 2021).

### Experiencia en Estados Unidos

Al ser un país basto que está limitado por dos Océanos el Atlántico y el Pacífico, posee distintas zonas sísmicas desde muy baja sismicidad hasta muy alta sismicidad teniendo en su territorio la famosa falla de San Andrés, al igual se han producido sismos famosos como el de Alaska, Norwich y muchos más que a dado lugar a varios códigos necesarios para la seguridad estructural, plantear el concepto de Resiliencia y de esta manera salvaguardar la vida de los habitantes.

A continuación, se describe las experiencias que han aportado a la Resiliencia Sísmicas en este país.

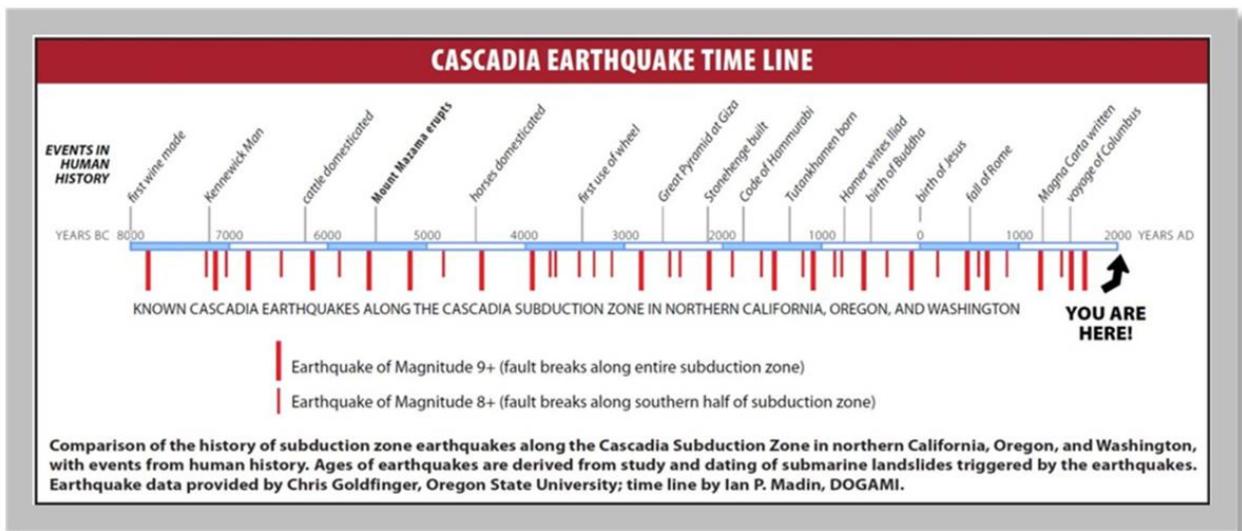
### **Oregon Seismic Safety Policy Advisory Commission (OSSPAC) - Plan de Resiliencia de Óregon.**

En 2015 en Oregón se realizó un Plan de resiliencia sísmica en el que revela brechas significativas entre el desempeño esperado de los sectores de infraestructura, basado en sus condiciones actuales y los niveles de desempeño deseables tomando en cuenta las necesidades de la comunidad y la recuperación económica.

Con base en los hallazgos del Plan de Resiliencia de Óregon, el Oregon Seismic Safety Policy Advisory Commission (OSSPAC) describe los pasos que se pueden tomar durante los próximos 50 años para acercar al estado a un desempeño resiliente describiendo una línea de tiempo de 10.000 años de historia de Terremotos en la zona de subducción conocida como Cascadia a través, de un programa sistemático de evaluaciones de vulnerabilidad, inversiones de capital en infraestructura pública, nuevos incentivos para involucrar al sector privado, incluyendo cambios de política que reflejan la comprensión actual de la amenaza en la zona de subducción de Cascadia, lugar donde se espera el próximo mega terremoto, como se detalla en la Figura 6..

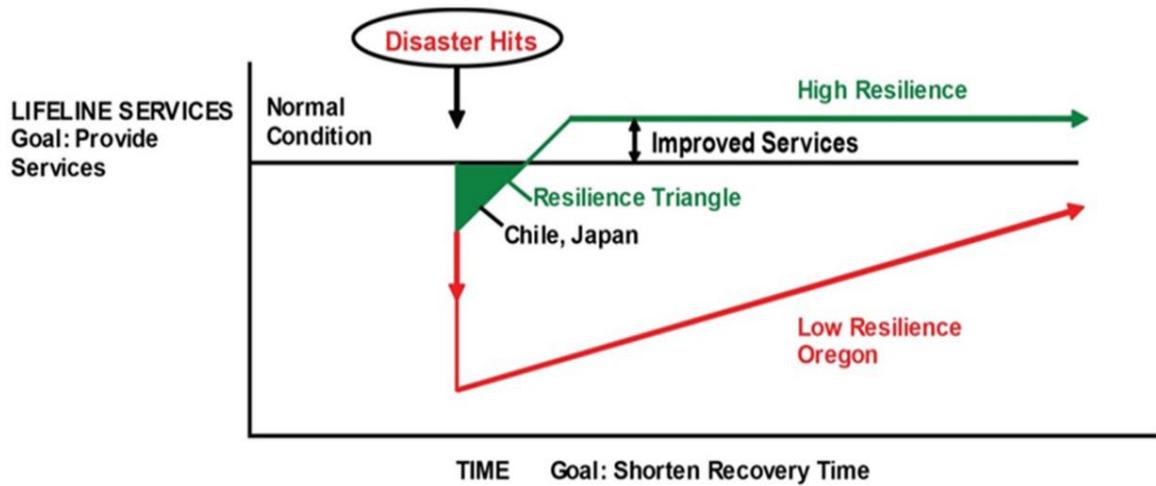
**Figura 6.**

Línea de tiempo de 10.000 años de historia de Terremotos en la Zona de subducción (Yu, Kent, J. Wilson<sup>2</sup>, 2015).



Además, en este plan se plantea el triángulo de resiliencia de Oregon en comparación con otras ciudades con alto peligro sísmico, como Chile y Japón, y muestra que Oregon es la que tiene una baja resiliencia a los terremotos.

Con base en los hallazgos del Plan de Resiliencia de Oregon, el Oregon Seismic Safety Policy Advisory Commission (OSSPAC) describe los pasos que se pueden tomar durante los próximos 50 años para acercar al estado a un desempeño resiliente describiendo una línea de tiempo de 10000 años de historia de Terremotos en la zona de subducción a través, de un programa sistemático de evaluaciones de vulnerabilidad, inversiones de capital en infraestructura pública, nuevos incentivos para involucrar al sector privado, incluyendo cambios de política que reflejan la comprensión actual de la amenaza de Cascadia, explicado en la Figura 7-

**Figura 7.***Triángulo de Resiliencia de Óregon*

Sin embargo, dado el rango de edad y condición de los edificios en una comunidad, a menudo hay situaciones en las que el entorno construido no funciona bien durante eventos de amenazas naturales. Para abordar esta brecha entre el rendimiento actual y el deseado de los edificios, el Congreso encargó al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) que identificará las necesidades de investigación y las actividades de implementación que ayudarían a mejorar el desempeño del edificio en caso de una amenaza natural (Mcallister & McCabe, 2018).

En Estados Unidos se ha tenido un precedente de Resiliencia Sísmica, Terminology on Disaster Risk Reducction (UNISDR, 2009), National Disaster Recovery Framework (FEMA,2011), Nacional Earthquake Resilience, (NRC, 2011), Comunity Resilience Planning Guide for Buildinfs and Infrastructure Systems. en lo que se maneja el concepto de Comunidad Segura y Resiliente. Y se reflejó en este plan para disminuir esta brecha.

**NIST. (2016). NIST Special Publication 1190: Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems, Volume II. National Institute of Standards and Technology,**

En el 2016 publicó la una Guía de Planificación de Resiliencia Comunitaria para Edificios y Sistemas de Infraestructura, en el mencionado documento indica el Objetivo Nacional de los Estados Unidos, de preparación para los desastres indicado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), en el que prevé una nación segura y resiliente con las capacidades requeridas en toda la comunidad para prevenir, proteger, mitigar, responder y recuperarse de las amenazas y peligros que plantean el mayor riesgo. Esta guía respalda ese objetivo al abordar el desempeño de los edificios y los sistemas de infraestructura para garantizar la salud y la vitalidad del tejido social y económico de la comunidad

Dentro de estas opiniones tratan qué el objetivo nacional de los Estados Unidos es la preparación indicada por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) prevé una nación segura y resiliente con las capacidades requeridas en toda la comunidad para prevenir, proteger, mitigar, responder y recuperarse de las amenazas y peligros que plantean el mayor riesgo.

Esta guía respalda ese objetivo al abordar el desempeño de los edificios y los sistemas de infraestructura para garantizar la salud y la vitalidad del tejido social y económico de la comunidad.

Ofrece un proceso de planificación de seis pasos para los gobiernos locales, que son los convocantes lógicos, para reunir a las partes interesadas e incorporar la resiliencia en su planificación a corto y largo plazo. Esto permitirá a las comunidades mejorar su resiliencia con el tiempo de una manera rentable y coherente con sus objetivos de desarrollo. Como se detalla en la Figura 8 y la Figura 9., (NIST, 2016).

Figura 8.

Procedimiento para Comunidad Resilientes 1



Nota: (NIST, 2016).

**Figura 9.**

*Procedimiento para Comunidad Resilientes 2*



Nota: (NIST, 2016).

**National approach to seismic functional recovery for new construction** (Helping et al., 2019).

Este organismo publicó un artículo que realiza un enfoque nacional para la recuperación funcional sísmica para nuevas construcciones y recuperación de construcciones, y facilitar la colaboración y el intercambio de ideas coordinando mejor los esfuerzos, indica que los artículos que aparecieron recientemente en los principales periódicos y otros medios de comunicación han puesto en duda el desempeño de edificios diseñados con los códigos y estándares sísmicos actuales de EE. UU.

La crítica básica sostiene que los códigos y los estándares están escritos para permitir que las personas evacuen de manera segura en un terremoto moderadamente grande; sin embargo, no aseguran que los edificios sean completamente funcionales después del evento.

Los objetivos principales de esta publicación fueron, facilitar la comunicación entre organizaciones y representantes de las agencias locales, estatales y federales para comprender mejor el trabajo de cada uno en la recuperación sísmica funcional para nuevas construcciones, y para facilitar la colaboración y el intercambio de ideas para coordinar mejor los esfuerzos y Agilizar el progreso hacia el logro de soluciones de recuperación funcional

El diseño sísmico para recuperar la funcionalidad se debe realizar a nivel de ley u ordenanza para que se pueda implementar a nivel nacional y salvaguardar vidas y bienes materiales. (Helping et al., 2019).

**NIST, 2018. Research Needs to Support Immediate Occupancy Building Performance Objective Following Natural Hazards Events [NIST Special Publication 1224]. U.S. Department of Commerce, National Institute of Standards and Technology (Mcallister & McCabe, 2018).**

Dentro de este documento se enfoca en el desempeño de un edificio y su funcionalidad después de un evento de peligro natural dependen de múltiples factores,

incluido el diseño original y la condición actual y la capacidad del edificio para resistir los riesgos que plantean los peligros, que prácticamente es lo que se tiene como objetivo en este trabajo de investigación. Además, la funcionalidad del edificio también depende del estado de la infraestructura de apoyo y de la disponibilidad de los servicios públicos suministrados al edificio.

En el documento también indica que la recuperación rápida o el funcionamiento ininterrumpido de los edificios pueden minimizar las interrupciones en la comunidad, disminuir los costos asociados con la reparación, reconstrucción y disminuir las cargas económicas generales sobre las comunidades y las personas afectadas por los peligros naturales.

Sin embargo, dado el rango de edad y condición de los edificios en una comunidad, a menudo hay situaciones en las que el entorno construido no funciona bien durante eventos de amenazas naturales. Para abordar esta brecha entre el rendimiento actual y el deseado de los edificios, el Congreso encargó al Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) que identificará las necesidades de investigación y las actividades de implementación que ayudarían a mejorar el rendimiento del edificio en caso de una amenaza natural.

Este mandato ampliaría el requisito del desempeño de ocupación inmediata más allá de los edificios críticos, como hospitales, a otros edificios que son importantes para los residentes, las empresas y la comunidad en general.

Con este documento indica que se ha marcado una pauta para que se tomen las acciones en Estados Unidos de Norte América. Si se toma una decisión para avanzar en los objetivos de desempeño de ocupación inmediata, estos temas deben abordarse simultáneamente a través de esfuerzos cooperativos entre investigadores, ingenieros, funcionarios de estándares y códigos, y partes interesadas de la comunidad para alcanzar el siguiente nivel. Es lo que se debe propender en la Actualización de la Normativa en nuestro país y sobre todo con una nueva metodología del diseño sísmico basado en resiliencia. Como se muestra a continuación en la

Figura 10, Figura 11 y Figura 12 establece las consideraciones para que una estructura sea resiliente.

### Figura 10.

#### Consideraciones de Diseño y construcciones

#### Appendix E: Research Needs Summary Tables

Table 3. Research Needs from Chapter 3, Building Design Considerations

Subtopic	Basic or Applied Research	Implementation Activity	Outcome
<b>Functionality Levels</b>	Functionality classification	Develop analytical tools to predict building functionality for practicing engineers	New functionality levels that support the design of buildings for the IO performance objective incorporated into building codes and standards
	Recovery data Factors that influence functionality and recovery time		
<b>Damage Levels</b>	Acceptable damage levels Degradation due to aging and environmental effects	Develop analytical tools to predict damage levels for practicing engineers	Design requirements for implementing IO performance objectives incorporated into building codes/standards
	Damage prediction models Field reconnaissance and laboratory data		
<b>Design Practice</b>	Hazard levels and considering multiple hazards in design New design philosophies for immediate occupancy	Design requirements and performance evaluation criteria for immediate occupancy Develop analytical models to conduct building performance evaluations	New tools for use by engineers to design IO buildings based on codes and standards that address IO performance objectives
	Benchmarks for the performance of code-compliant buildings Data on the performance of existing buildings		
<b>Building Materials and Technologies</b>	Lower-cost materials Performance of new materials	Adopt new materials and technologies	Improved state of practice for construction of IO buildings
	Materials for modular, standardized construction and repair Smart buildings Damage-tolerant, rapidly-repairable building systems		

Figura 11

Consideraciones Económica y Social.

**Table 5: Research Needs from Chapter 5, Economic and Social Considerations**

Subtopic	Basic or Applied Research	Implementation Activity	Outcome
<b>Economic Feasibility</b>	Initial and long-term costs	Develop cost estimating tools	Guidance, tools, and tracking mechanisms that support evaluating the economic feasibility of IO buildings
	Direct and indirect benefits	Develop cost benefit tools	
	Financial mechanisms	Develop guidance on financial instruments	
		Track implementation efforts	
<b>Economic Effects</b>	Economic stability and reduced losses	Provide guidance on business recovery	Improved understanding of economic issues; guidance and tools to evaluate the positive and negative economic effects of IO buildings
	Drivers of population change	Measure and track externalities	
	Environmental impacts		
	Synergies between household and business recovery	Provide guidance on the relationship of IO to other goals	
	Considerations of impacts on willingness-to-pay	Provide relative costs of implementation mechanisms	
<b>Social Feasibility</b>	Benefits of IO buildings		Guidance, tools, and tracking mechanisms that support decision-making related to the social feasibility of IO buildings
	Tools for understanding hazard risk	Develop localized assessment of risk	
	Stakeholder research for decision-making		
		Track consequences of IO buildings	
<b>Social Effects</b>	Measurement of value of buildings		Improved understanding of social issues; guidance and tools to evaluate positive and negative social impacts of IO buildings that support decision-making
	Key social institutions	Provide guidance and tools to support decision-making	
	Impacts to vulnerable populations		

Figura 12.

## Consideraciones Adopción y Aceptación

Table 6: Research Needs from Chapter 6, Adoption and Acceptance Considerations

Subtopic	Basic or Applied Research Item	Implementation Activity	Outcome
<b>Adoption Mechanisms</b>	Assessment of the risks of hazards not adequately addressed in building codes and standards	Develop strategies to support adoption and acceptance of IO performance objectives	Improved resilience of buildings across the nation due to multiple processes and approaches that help communities and stakeholders tailor adoption of IO performance objectives to their unique hazard risks, constraints, and needs.
	Development of hazard maps that enable risk-relevant IO performance objectives		
	Identification and assessment of current IO practice		
	Investigation of applications where communities desire mandatory IO performance objectives		
	Investigation of market mechanisms that support voluntary adoption of IO performance objectives	Identify effective funding mechanisms to inventory	
	Investigation of public policy measures associated with voluntary adoption of IO performance objectives	Identify legal barriers to IO implementation	
<b>Education, Training, and Outreach</b>	Development of an accreditation or licensure program to certify technical professionals in IO design expertise	Establish professional development programs for continuing education	Adequate knowledge, skills, and ability to design, build, maintain, and evaluate IO buildings will be widely available amongst the appropriate professionals, technicians, and trade workers.
	Identification of a set of workforce competencies required to design and sustain IO performance objectives	Incorporate Performance Based Design (PBD) methods in engineering and architectural curricula	
		Recommend expanded undergraduate and graduate curricula to include inter-disciplinary concepts	

**National Institute of Building Sciences NIBS & Building Seismic Safety Council BSSC. (2020). Resilience-Based Design and the NEHRP Provisions. FEMA IDIQ Contract HSFE60-15-D-0022.**

En 2020 el Consejo de Seguridad Sísmica de Edificios del Instituto Nacional de Ciencias de la Construcción publicó un artículo científico en el que realiza una recopilación de las otras provisiones e indica que la política federal ahora exige aumentar la resiliencia ante terremotos a escala comunitaria e identifica los códigos y normas de construcción como herramientas para hacerlo.

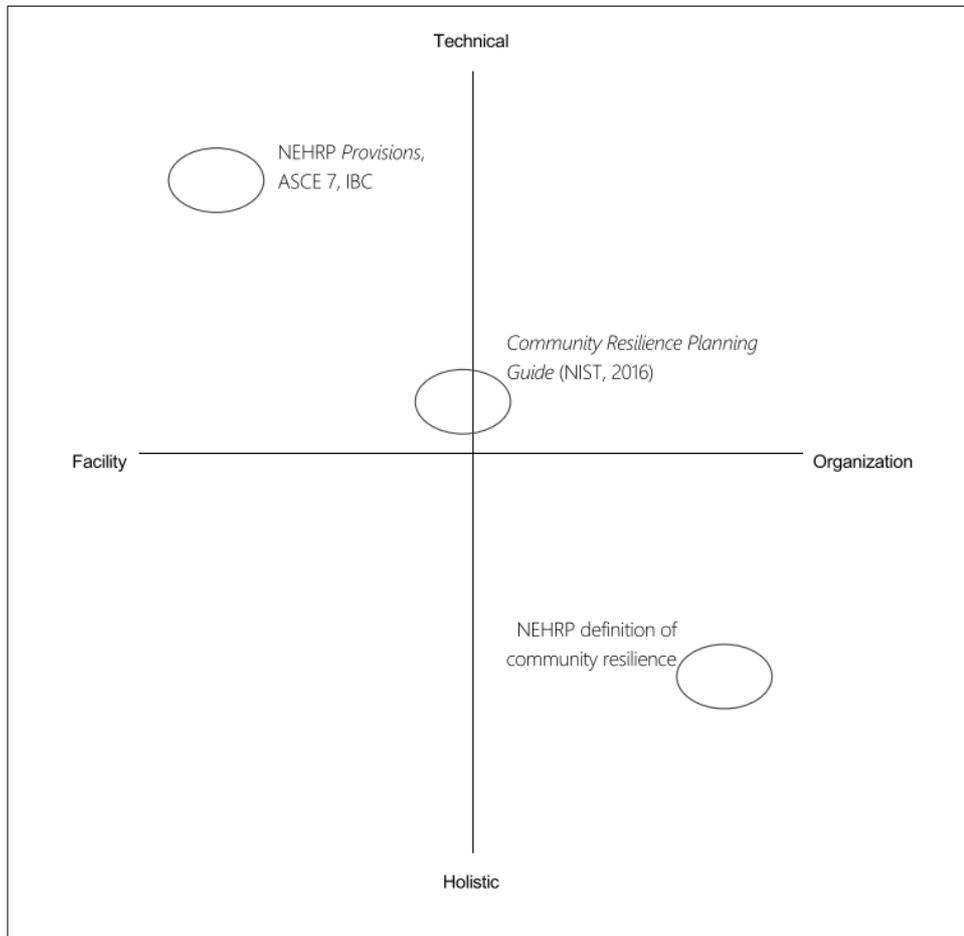
También indica en el artículo que la resiliencia sísmica se basa en la recuperación oportuna del entorno construido y plantean un campo de resiliencia con cuatro puntos orientados a la Técnica, Holística, Factibilidad y la Organización, con el cumplimiento de las disposiciones de normativa y construir una comunidad resiliente.

La Figura 13 se explica lo referente al campo de resiliencia antes mencionado e indica cómo el NIST CRPG podría proporcionar un puente entre el pensamiento holístico sobre la resiliencia comunitaria y el diseño técnico de edificios individuales para apoyar los objetivos de resiliencia.

El CRPG divide el entorno construido en “clusters” o refugios de edificios basados en su uso y ocupación, no en sus sistemas estructurales o materiales, y contempla metas de recuperación para grupos enteros, no para instalaciones individuales.

**Figura 13.**

*El campo de la resiliencia (según Meister Consultants Group, 2017)*



En teoría, el criterio para el diseño de recuperación funcional debería seguir los principios básicos de ingeniería basada en el desempeño. Para las condiciones actuales basadas en seguridad, los criterios para un nuevo edificio asignado a la Categoría de riesgo II deben garantizar que la probabilidad de un colapso sea inferior al 10 por ciento, dado el  $MCE_R$  (Sismo Máximo Considerado para Riesgo Objetivo) específico del sitio:  $P(\text{Colapso}) < 10\%$ , dado  $MCE_R$ .

Además, indica dentro de la capacidad y la demanda de una edificación, plantear los tiempos de recuperación, los cuales debería ser sencillo establecer el objetivo de recuperación funcional. La probabilidad de no lograr la recuperación funcional indica que debe ser pequeña, proponen que sea menos del Y% que es un 10%, dada la demanda adecuada con la recuperación funcional definida en términos de un tiempo objetivo, esto se

establecería como en la ecuación  $P(TFR > TT_{target}) < Y\%$  , dado DFR (1).

$$P(TFR > TT_{target}) < Y\% , \text{ dado DFR (1)}$$

DFR es el movimiento del suelo considerado apropiado para la recuperación funcional sea el  $MCR_R$  o el sismo de diseño.

Dentro de las provisiones del NEHRP hay conceptos importantes del Diseño Sísmico Basado en Resiliencia que se debe tomar en cuenta para un objetivo de resiliencia, para una organización, una combinación de un tiempo de recuperación deseado o aceptable con un presunto nivel de peligro. A continuación, se detalla las recomendaciones para tener una estructura resiliente:

- El emparejamiento de un nivel de resiliencia con una amenaza se toma prestado del diseño sísmico basado en el desempeño.
- El diseño basado en la resiliencia es cualquier proceso o método de diseño destinado a satisfacer un objetivo específico de resiliencia.
- El énfasis está en tener los elementos de un objetivo definido, no en la metodología incluso la disciplina (arquitectura, ingeniería, planificación financiera, etc.).

De la misma manera plantea una tabla de tiempos de recuperación objetivo que interviene varios factores como se muestra en la Tabla 2 y que se debe plantear para tener una edificación resiliente. (National Institute of Building Sciences NIBS & Building Seismic Safety Council BSSC, 2020).

**Tabla 2.**

*Requisitos de diseño prescriptivos hipotéticos para una gama de tiempos de recuperación funcional.*

Requisito de diseño de recuperación funcional	Tiempo de recuperación funcional objetivo, Tobjetivo			
	1 hora	1 día	1 Semana	1 mes
<b>Estructural</b>				
Límites en la selección del sistema lateral	Requerido	Requerido	Requerido	-
Límites de deriva	Requerido	Requerido	Requerido	-
Factor en la fuerza requerida	Requerido	Requerido	-	-
etc.	...	...	...	...
<b>No estructural</b>				
Mayor alcance de arriostamiento	Requerido	Requerido	Requerido	-
Factores de confiabilidad en la resistencia del	Requerido	Requerido	-	-
Certificación de rigidez	Requerido	Requerido	-	-
etc.	...	...	...	...
<b>Contenidos críticos para la recuperación</b>				
A determinar por grupos de usuarios	Requerido	Requerido	...	...
etc.				
<b>Servicio de utilidad</b>				
Respaldo de electricidad	Requerido	Requerido	Requerido	-
Respaldo de agua potable	Requerido	Requerido	Requerido	Requerido
Alternativa de aguas residuales	Requerido	-	-	-
Telecomunicaciones	Requerido	-	-	-
etc.	...	...	...	...
<b>Planificación de reocupación y recuperación</b>				
Servicios de reparación en	Discutible	Requerido	Requerido	-
Protocolo de evaluación de seguridad	Discutible	Requerido	-	-
Plan de negocios continuo	Requerido	Requerido	-	-
Solicitud de permiso predefinida	Discuti	Requerido	Requerido	-
etc.	...	...	...	...

## Experiencia Mexicana

### Proyecto Resiliencia Sísmica, Desarrollo de capacidades Nacionales para la Rehabilitación de Edificios.

En México se ha introducido ya el concepto de Resiliencia sísmica en la que existe un proyecto impulsando políticas públicas para obtener comunidades resilientes a eventos sísmicos, en la que la Universidad Nacional Autónoma de México UNAM, lidera llevando varios programas para desarrollar planes y programas para mejorar el desempeño sísmicos de los edificios y la rehabilitación estructural, para tener edificaciones seguras reduciendo afectaciones socioeconómicas. Para el efecto ha creado un portal web para que interactuar indica que la recuperación rápida o el funcionamiento ininterrumpido de los edificios pueden minimizar las interrupciones en la comunidad, disminuir los costos asociados con la reparación, reconstrucción y reducir las cargas económicas generales sobre las comunidades y las personas afectadas por los peligros naturales (Universidad Nacional autónoma de México-UNAM, 2022). En la

Figura 14 se observa el portal web que indica los Antecedentes, Objetivos y otros.

#### Figura 14.

Portal web Resiliencia sísmica. (<https://www.resilienciasismica.unam.mx/proyecto.html>, 2023).



**Resiliencia Sísmica**  
 Dirección de Capacidades Nacionales  
 para el Mejoramiento de Edificios

Inicio **Acerca del proyecto** Participantes Investigación Publicaciones Evaluación Noticias y eventos Información Relacionada TIV-INFE 2021

**PROYECTO**

**Antecedentes**

Los sismos de septiembre de 2017 evidenciaron la necesidad urgente de desarrollar e implantar políticas públicas de gran alcance, geográfico, temporal y sectorial, para prevenir y mitigar el riesgo, así como para aumentar la resiliencia de nuestras comunidades ante sismos. Para ello, se deben desarrollar planes y programas fundados en conocimiento de punta del fenómeno, del desempeño de los edificios y su posible rehabilitación, de las percepciones y expectativas de la población, así como del efecto que tienen el género, la edad y la situación socioeconómica en la definición del riesgo.

**Objetivo**

Desarrollar capacidades (humanas, normativas, metodológicas, organizativas, sociales, de difusión y divulgación, entre otras) que sirvan como insumos y herramientas para las políticas referidas, aplicables en las regiones del país sujetas a peligro sísmico moderado, alto y muy alto (en donde viven 90 millones de personas).

**Beneficio esperado**

Reducir, de manera sensible, los efectos de los sismos (expresados en términos de muertos y heridos, pérdidas materiales y económicas, e interrupción de actividades) una vez que se implanten y se aprovechen los productos desarrollados.

**Participantes directos**

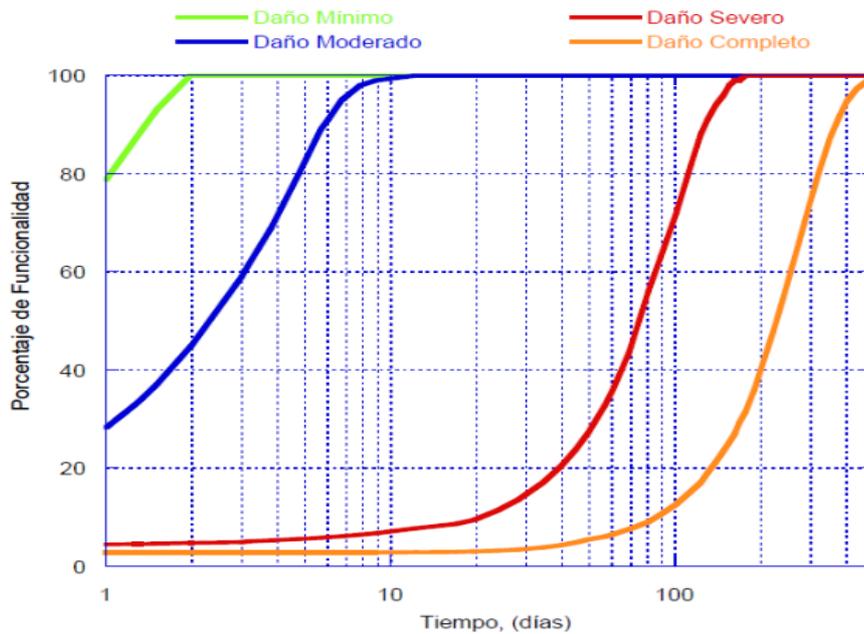


Posteriormente se obtiene la función de recuperación de funcionalidad ( $Q(t)$ ), como se indica en la

Figura 15. En función del daño presentado.

**Figura 15.**

Funciones  $Q(t)$  para evaluar el tiempo de recuperación en puentes, (Hanus-MH Technical Manual. 1999)



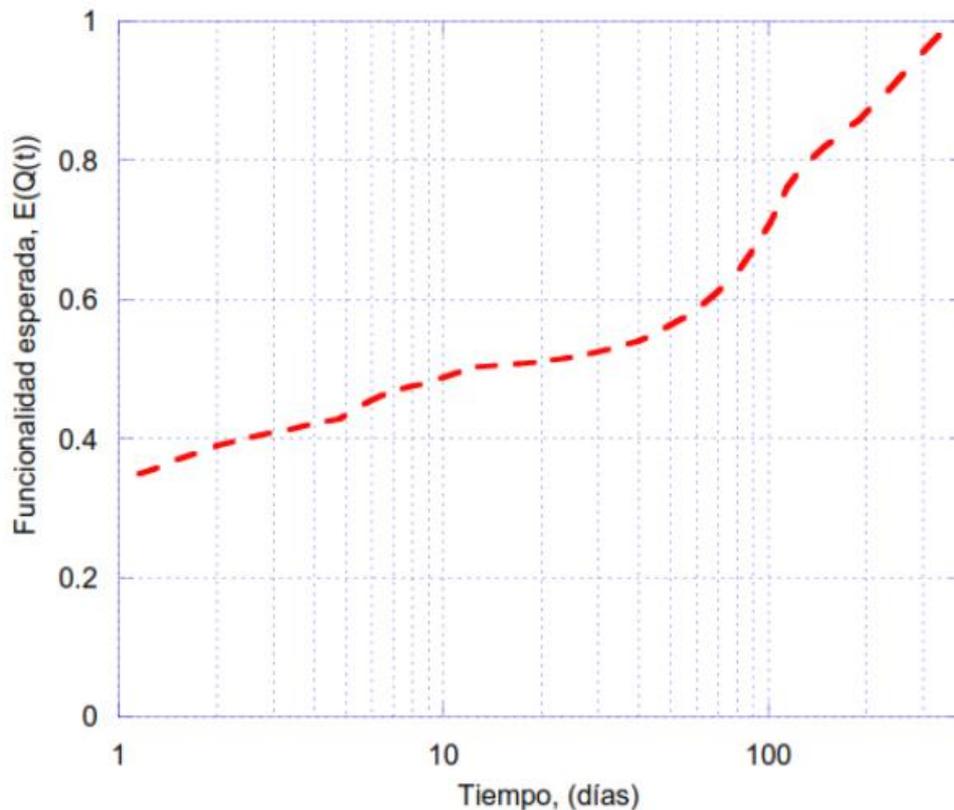
En función del tiempo de recuperación y el nivel de daño, se determina la funcionalidad Esperada en este caso se muestra la curva para puentes, como que se puede visualizar en la

**Figura 16.**

**Figura 16.**

Funcionalidad esperada en avenidas y ejes viales ante los eventos sísmicos considerados.

(Alcaráz, 2017)



Con la Estimación de daño y el tiempo de funcionalidad esperado, se detalla la parte neurálgica de este trabajo de investigación en la que define una ecuación para un índice para medir la Resiliencia mediante la implementación de la ecuación  $R=$

$$\int_{t_0}^{t_0+t_h} Q(t) dt \bar{Q} \quad th \quad (2) \text{ para la infraestructura del}$$

estudio.

$$R = \frac{\int_{t_0}^{t_0+t_h} Q(t) dt \bar{Q}}{t_h} \quad (2)$$

Con esta última herramienta se define la resiliencia sísmica. Se evidenció que se llevó a cabo la metodología propuesta evaluando distintos aspectos: pérdida de conectividad en la red de transporte, daños estructurales en hospitales y en inmuebles

importantes, afectaciones en túneles, puentes, pasos a desnivel, puntos de alta demanda y en sistemas de transporte (metro, tren ligero y Metrobús) (Alcaráz, 2017).

## **Experiencia en Ecuador**

### **Proyecto para la Construcción de Ciudades Seguras y Resilientes contra Desastres Naturales** (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2019)

Posterior al terremoto de magnitud 7.8 del 16 de abril de 2016, el Gobierno de Ecuador a través del Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda en conjunto con el Servicio Nacional de Gestión de Riesgos y Emergencias, realiza una solicitud de cooperación técnica al gobierno de Japón y propone el “Proyecto para la Construcción de Ciudades Seguras y Resilientes contra Desastres Naturales”.

Con fecha 11 de abril de 2017 se suscribe el Registro de Discusiones del Proyecto con la Agencia de Cooperación Internacional del Japón (JICA) en donde se establecen los objetivos, resultados esperados y actividades a desarrollarse.

Como resultado de los objetivos de este proyecto en 2019 se publicó de un Manual de Procesos Constructivos con enfoque Sismorresistente mostrado en la **Figura 17**.

**Sin** embargo, no se ha tenido la masificación del uso del manual a nivel de los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales debido a la falta de recurso económico y técnicos.

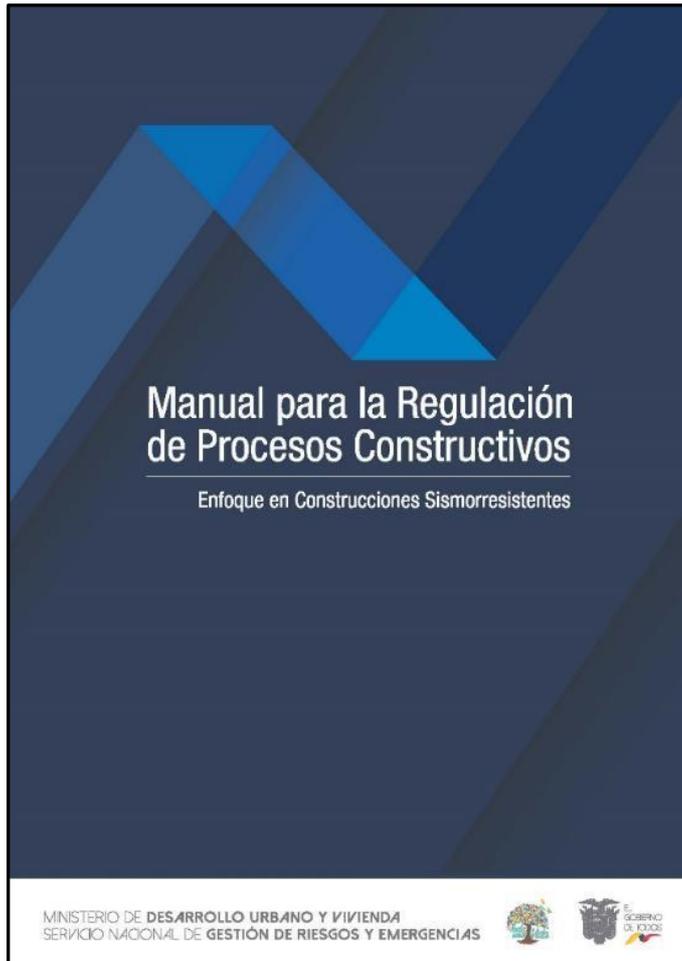
#### Figura 17

Actualmente se sigue desarrollando a nivel de nacional la sociabilización de la importancia de la construcción Sismorresistente y el cumplimiento de la Normativa vigente y sobre todo llevar a nivel de ordenanza para el estricto control antes durante y después de la construcción, e Implementar los conceptos de Ciudades Resilientes.

Sin embargo, no se ha tenido la masificación del uso del manual a nivel de los gobiernos autónomos descentralizados metropolitanos y municipales debido a la falta de recurso económico y técnicos.

**Figura 17**

*Manual para la Regulación de Procesos Constructivos (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2019)*



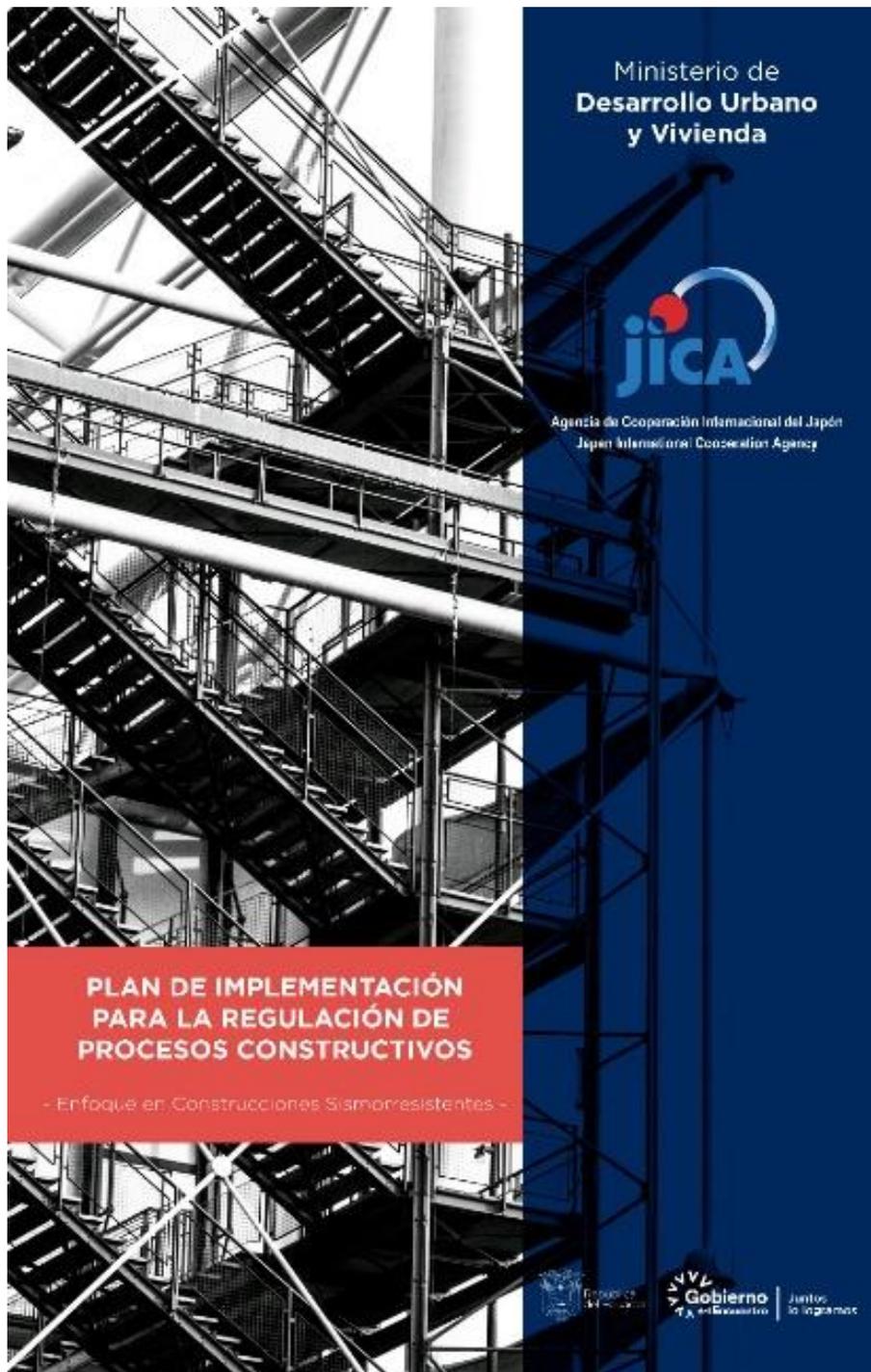
En el mencionado manual si bien es un aporte para regularizar las construcciones y reducir la informalidad, además de presentar ejemplos de ordenanza y obtención de permisos de construcción en base al diseño Sismorresistente basado en conjunto con la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC-15), no cuenta con una metodología específica del Diseño Sísmico Basado en Resiliencia en las edificaciones, sin embargo la adopción y uso de esta metodología de regularización, la aplicación es punto débil, por esta razón que posteriormente que realizó un plan de implementación para la regularización de los procesos constructivos con enfoque Sismorresistente el que fue publicado en el 2021, (Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, 2021) y seguir aportando para tener comunidades resilientes

A continuación, en la

Figura 18. Se puede observar el mencionado plan.

**Figura 18.**

*Plan para la implementación de la regulación de procesos Constructivos con enfoque Sismorresistente (MIDUVI, 2019).*



**Análisis de pérdidas y estimación de daños utilizando la herramienta PACT del FEMA P-58, en una edificación ubicada en la ciudad de Quito.” (J. Aveiga, F. Carvajal, 2018).**

En este proyecto de investigación realizaron una evaluación estructural de una edificación de hormigón armado de 6 pisos, en el mismo se determinaron variables de decisión como: costos de reparación, tiempo de rehabilitación, fatalidades – heridos y carteles de seguridad; mediante un análisis dinámico lineal modal espectral se calcularán las demandas sísmicas, además de un análisis PUSHOVER para obtener la curva de capacidad de la estructura, valores que servirán para el ingreso de datos en el software PACT del FEMA P-58.

Finalmente lograr una certificación según el Consejo de Resiliencia de los Estados Unidos (USRC) en función de los resultados obtenidos.

A continuación, se muestra las variables de decisiones obtenidas del análisis estructural y el PACT en la Tabla 4.

**Tabla 4.**

Tabla para variable de decisión

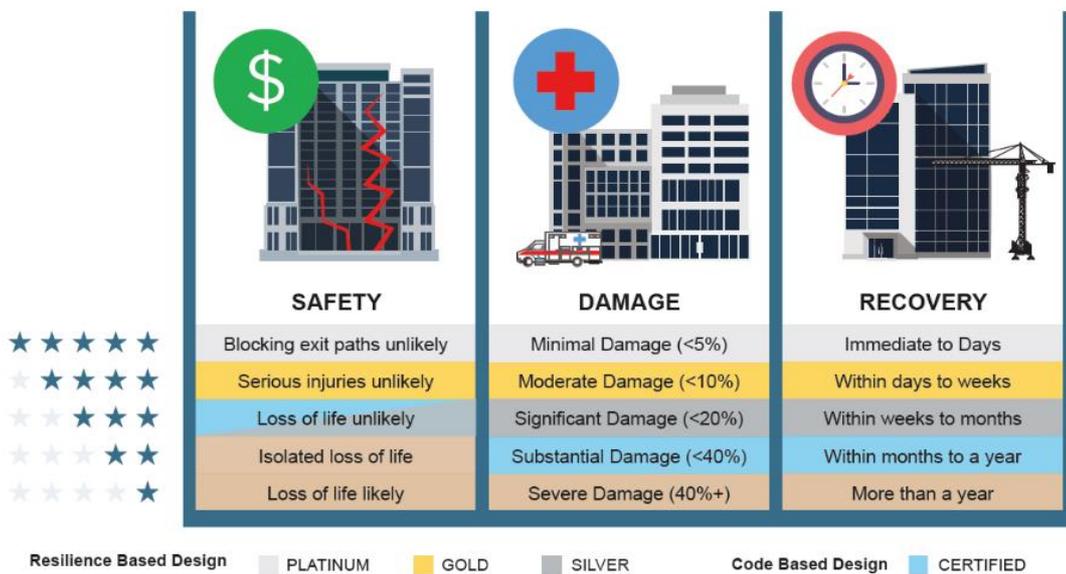
<b>TABLA DE RESUMEN PARA VARIABLES DE DECISIÓN</b>				
<b>1</b>	<b>COSTO DE REPARACIÓN O REPOSICIÓN</b>			
Niveles de Amenaza	<b>COSTOS DE REPARACIÓN</b>		<b>% DEL COSTO TOTAL DE REPOSICION</b>	
	MODELO R=6	MODELO R=8	MODELO R=6	MODELO R=8
SISMO RARO	214980.48	351616.192	13.71%	22.42%
<b>2</b>	<b>TIEMPO DE REPARACIÓN O REPOSICIÓN (DÍAS)</b>			
Niveles de Amenaza	MODELO R=6		MODELO R=8	
SISMO RARO	211		286	
<b>3</b>	<b>FATALIDADES Y HERIDOS</b>			
Niveles de Amenaza	MODELO R=6	MODELO R=8	MODELO R=6	MODELO R=8
SISMO RARO	0	0	5	7

Con estos valores se procede a la Calificación de cuan resiliente es las edificaciones en análisis. En la Figura 19 se muestra los parámetros de calificación según USRC.

**Figura 19.**

*Sistema de Calificación de las Edificaciones*

**USRC Building Rating System: Usefulness of Performance Metrics**



**Marco Conceptual**

**Deformación de las Estructuras**

Todo elemento estructural sometido a la acción de cargas se deforma. En la mayoría de los casos las deformaciones son imperceptibles, y deben ser medidas con el auxilio de instrumentos. Podemos definir la deformación de un elemento estructural como una alteración del estado físico debido a una fuerza mecánica externa, a una variación de temperatura, a un crecimiento de apoyos, etc.

**Ductilidad Global**

Capacidad de la estructura para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas.

### **Ductilidad Local**

Capacidad de una sección transversal o de un elemento estructural, para deformarse más allá del rango elástico, sin pérdida sustancial de su resistencia y rigidez, ante cargas laterales estáticas o cíclicas o ante la ocurrencia de una acción sísmica(*NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismorresistente, 2015*).

### **Desempeño Sísmico**

El desempeño se cuantifica en términos de la cantidad de daño sufrido por un edificio afectado por un movimiento sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento sísmico.

El documento Visión 2000 (Priestley, 2000) define claramente los objetivos de comportamiento sísmico, para lo cual relaciona los niveles de comportamiento con los niveles esperados de movimientos sísmicos. En el documento se definen cuatro niveles de comportamiento (totalmente operacional, operacional, seguridad de vida y cercano al colapso) y cuatro niveles de amenaza sísmica.(Carillo, 2008).

### **Robustez:**

Es la fuerza, o la capacidad de los elementos, sistemas, y otras unidades de análisis para soportar un determinado nivel de esfuerzos sin sufrir degradación o pérdida de funcionalidad. (OMS, 2004).

### **Redundancia:**

Es el grado en el que los elementos, sistemas u otras unidades de análisis que

existen en el sistema son sustituibles 3) Estrategia: se puede conceptualizar como la habilidad de asignar materiales monetarios, físicos, tecnológicos y de información así como recursos humanos para cumplir con las prioridades establecidas ante un evento desfavorable 4) Rapidez: es la capacidad que tiene el sistema para cumplir con las prioridades y alcanzar los objetivos de manera oportuna a fin de minimizar las pérdidas y evitar futuras interrupciones en el buen funcionamiento del sistema. (OMS, 2004).

### **Diseño Sismorresistente**

El diseño sismorresistente de estructuras posee un nivel de complejidad superior al que caracteriza el diseño para cargas estáticas de gravedad, debido a los factores que se deben tener en cuenta en él. Entre estos se encuentran los siguientes:

- a) La naturaleza azarosa de las características del sismo.
- b) La incertidumbre sobre la respuesta de la estructura, por la heterogeneidad de la calidad de los materiales, la interacción con los elementos no estructurales, la variación de las cargas de servicio, las variaciones presentadas en la construcción, etc.
- c) Los mecanismos de falla y disipación de energía que impliquen el menor riesgo para la vida humana y sus propiedades.
- d) El costo social asociado a la falla de edificios, especialmente en el caso en que sean esenciales para la atención de un desastre(OMS, 2004).

### **Resiliencia sísmica**

La resiliencia sísmica sería la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad potencialmente expuesta a una amenaza sísmica para adaptarse, resistir y cambiar para alcanzar y mantener un nivel aceptable de funcionamiento, así como aprender de los desastres pasados para una protección futura y mejorar la reducción del riesgo sísmico.

Es por ello por lo que se debe pensar en una verdadera reducción de las pérdidas y la ingeniería sísmica basada en desempeño puede contribuir a ello para mejorar su

resistencia sísmica y aprovechar la máxima capacidad inelástica de los materiales (UNISDR, 2004).

Un concepto más actualizado ya incluye la capacidad de un sistema, comunidad o sociedad expuesta a los peligros para resistir, absorber, adaptarse y recuperarse de los efectos de un peligro de manera oportuna y eficiente, incluso a través de la preservación y restauración de sus estructuras básicas esenciales y funciones (UNISDR, 2009)

La capacidad de prepararse y adaptarse a las condiciones cambiantes y de resistir y recuperarse rápidamente de las interrupciones(NIST, 2016).

### **Peligrosidad Sísmica (Peligro Sísmico)**

Probabilidad de excedencia, dentro de un período específico de tiempo y dentro de una región determinada, de movimientos del suelo cuyos parámetros aceleración, velocidad, desplazamiento, magnitud o intensidad son cuantificados.(NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, 2015).

### **Curvas de Fragilidad**

La curva de fragilidad es la probabilidad condicional de estar en el estado de daño dado el escenario del evento con IM igual a  $s$ , este elemento de la ecuación se tiene después de haber realizado la evaluación de la probabilidad de falla para cada estado de daño (Alcaráz, 2017).

### **Recuperación funcional**

La recuperación funcional es un estado de desempeño posterior a un terremoto en el que un edificio se mantiene, o se restaura, para soportar de forma segura y adecuada los requisitos básicos previstos. edificio se mantiene, o se restaura, para soportar de forma segura y adecuada las funciones básicas asociadas al uso u ocupación anterior al terremoto. (FEMA P2082, 2021) .

## Objetivo de Recuperación funcional

Un objetivo de recuperación funcional es la recuperación funcional conseguida en un plazo aceptable tras un sismo determinado, pudiendo diferir el tiempo aceptable para diferentes usos y ocupaciones del edificio. (FEMA P2082, 2021).

## Capítulo III: Análisis del nivel de resiliencia

### Definición y Caracterización del área de estudio

El presente trabajo de investigación se utilizó una muestra de 4 edificaciones ubicadas en la Provincia de Manabí – Ecuador.

Se ha tomado en consideración a la provincia de Manabí, específicamente las ciudades de Bahía de Caráquez y Portoviejo ya que fueron sitios con afectaciones importantes debido al sismo del 16 de abril del 2016.

Muchas de las estructuras existentes en las mencionadas ciudades colapsaron o presentaron daños que no permitían su uso posterior al evento sísmico. A continuación, se muestra las Coordenadas UTM, WGS 84 de las edificaciones de estudio obtenido de Google Earth, en la Tabla 5.

#### **Tabla 5.**

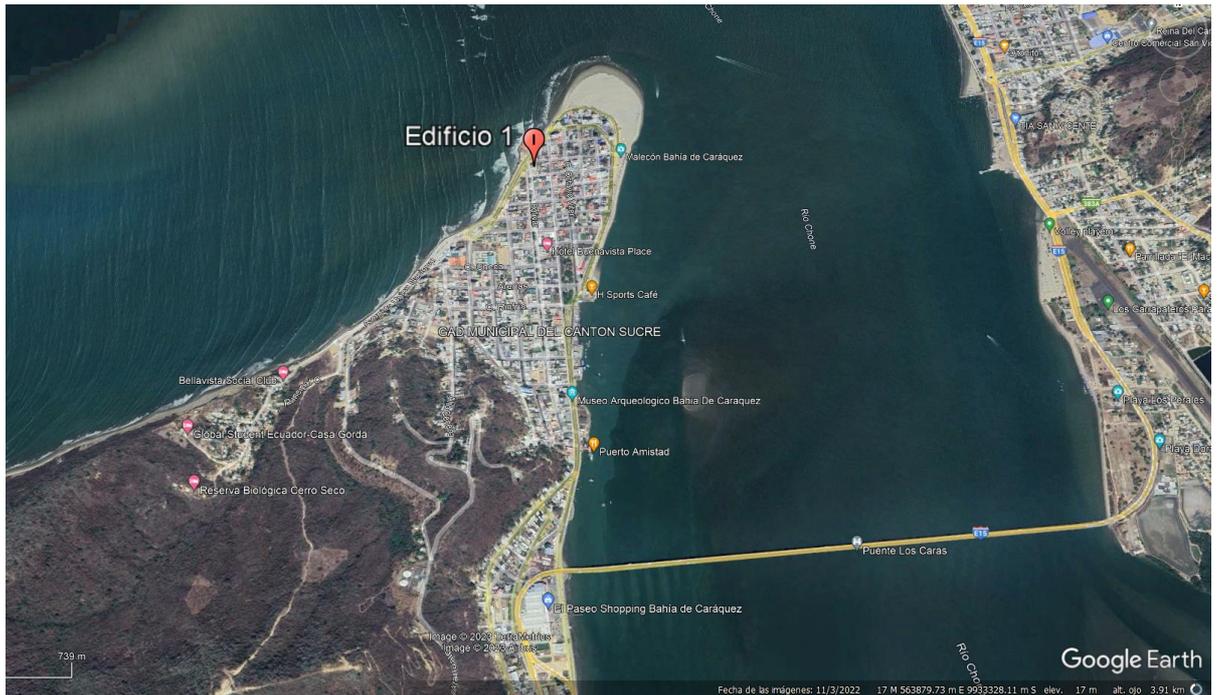
*Coordenadas UTM de las edificaciones en estudio (Google Earth, 2020)*

Punto	Coordenadas (UTM)		Edificio / Ciudad
	Sur	Este	
1	9934049.10 m S	564038.16 m E	Edificio 1 /Bahía de Caráquez
2	9883177.00 m S	561062.00 m E	Edificio 2 / Portoviejo
3	9883020.00 m S	560980.00 m E	Edificio 3 / Portoviejo
4	9882874.00 m S	558591.00 m E	Edificio 4 / Portoviejo

En las Figura 20 y Figura 21 se muestra las imágenes satelitales en las que se marcó con un hito la ubicación de las edificaciones en estudio, de las cuales se obtuvieron sus respectivas coordenadas.

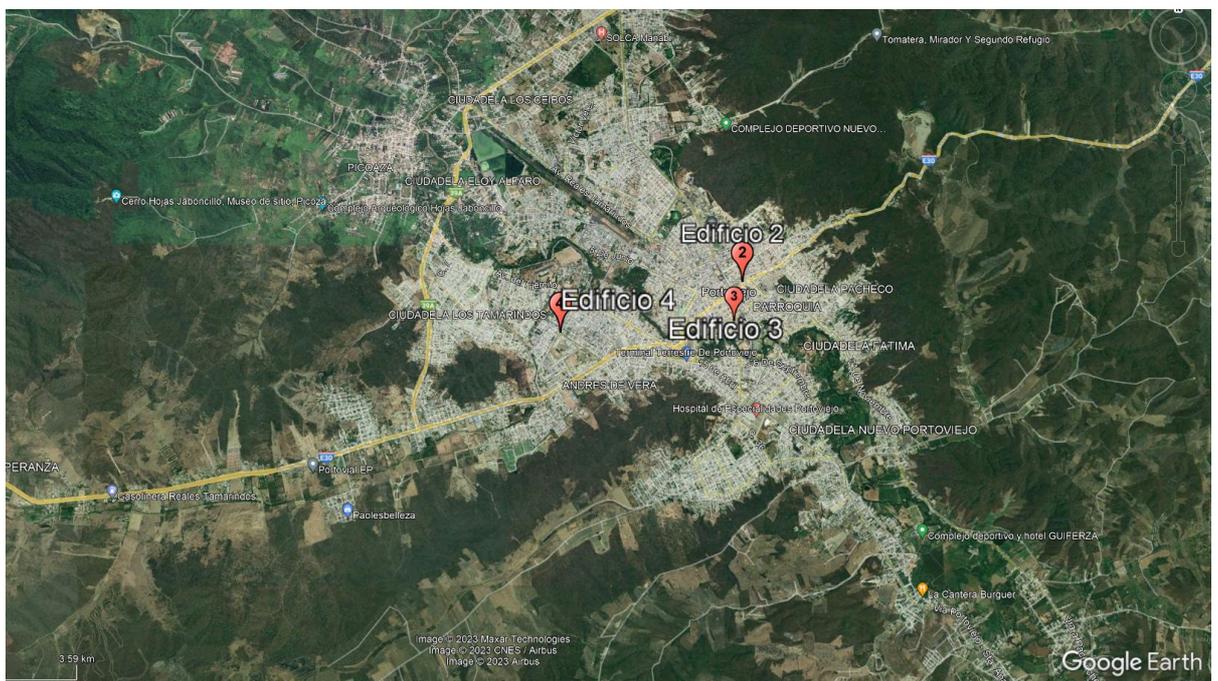
**Figura 20**

Edificio 1- Bahía de Caráquez, (Google Earth, 2019).



**Figura 21**

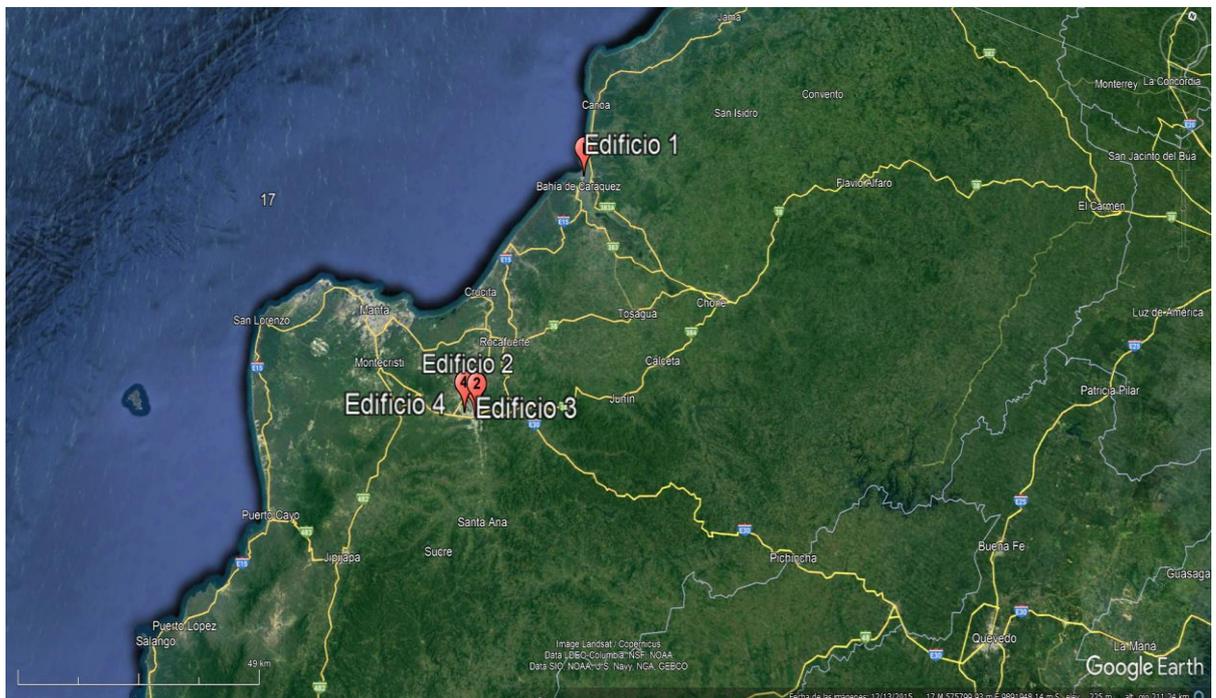
Edificios 2, 3 y 4 en estudio, Portoviejo, Provincia de Manabí (Google Earth, 2021).



En la Figura 22 se muestra la ubicación general de la provincia de Manabí y la ubicación de las cuatro edificaciones.

### Figura 22

Vista General de la muestra de estudio Edificio 1, 2, 3 y 4 en estudio, Provincia de Manabí 3 de ellos en la ciudad de Portoviejo y 1 en la ciudad de Bahía de Caráquez (Google Earth, 2021).



### Evaluación Sísmica basado en Resiliencia de las Estructuras Propuestas.

Para realizar una propuesta de evaluación sísmica basada en resiliencia, este estudio consideró principalmente los tiempos de recuperación que debe tener una estructura de uso público o que necesite una operación inmediata posterior a un evento sísmico.

Para lo que, adicionalmente, se incluyó el control de los daños en elementos estructurales como no estructurales que pueden presentarse posterior a un evento sísmico.

### Información de la Muestra de la investigación, para la Evaluación y Análisis Estructural.

A continuación, se describe la información disponible de las cuatro edificaciones para la muestra de estudio:

## Edificio 1

El Edificio 1 está ubicado en la ciudad de Bahía de Caráquez provincia de Manabí de la República del Ecuador. La edificación está compuesta de pórticos de hormigón armado con vigas banda, repartidos en una planta baja y 7 plantas altas, en su segunda planta alta tiene una piscina que afecta la estabilidad estructural. Como se indica en la Figura 23.

### Figura 23.

Vista estado Actual Edificio 1 (MIDUVI, 2016)



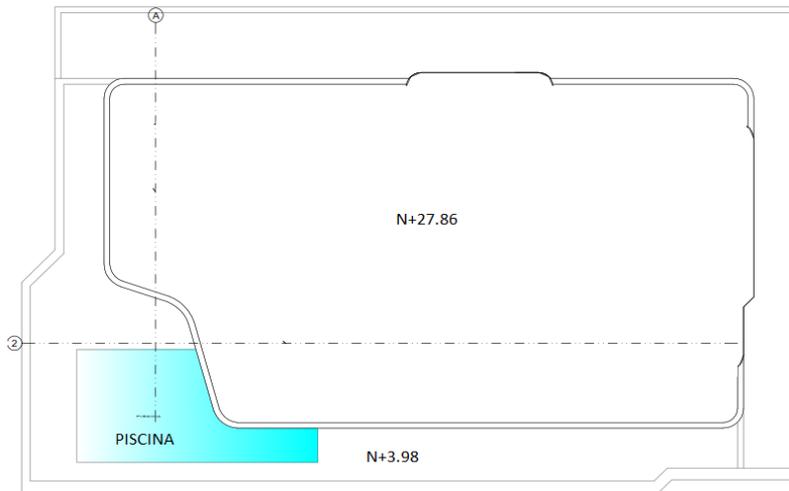
A continuación, en la

**Figura 24** y **Figura 25** se muestra los esquemas en planta como en elevación

correspondiente al Edificio 1, como resultado del relevamiento estructural.

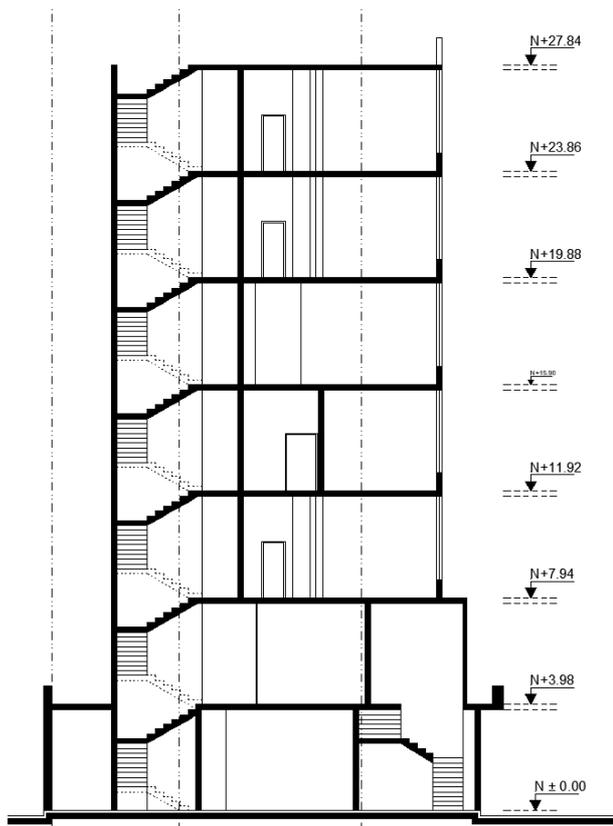
**Figura 24**

*Vista en Planta Edificio 2 (MIDUVI, 2016)*



**Figura 25**

*Vista en Elevación del Edificio 1*



A continuación, en la **Tabla 6** se muestra el resumen de los datos recopilados de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENSA, 2016) referente a los ensayos destructivos y no destructivos para el Edificio 1.

**Tabla 6.**

*Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos Edificio 1*

Parámetro	Resultado	Observaciones
Inspección Visual	Daño severo aparente solo en elementos no-estructurales	Nivel de daño importante en mampostería
Suelo	Tipo D, $T \sim 0.523s$ , $q_a \sim 44 \text{ t/m}^2$	Arenas limosas
Período estructura	$T_{\text{trans}}=0.95[s]$ , $T_{\text{long}}=0.89 [s]$ , $T_{\text{tor}}=0.73 [s]$	Segundo modo torsional

Nota: Tabla obtenida de (MIDUVI, 2016)

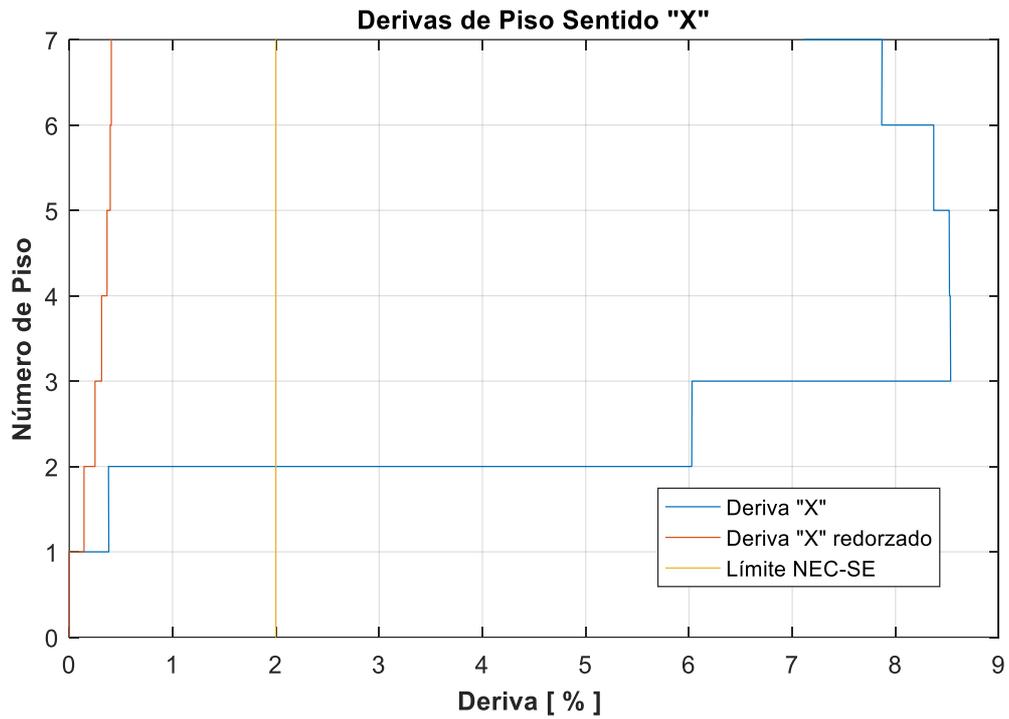
De la evaluación Estructural de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENSA, 2017) obtuvieron los siguientes resultados por métodos lineales estáticos.

En la Figura 26 y Figura 27 se observa que las derivas de piso en el sentido “X” como en el sentido “Y”, de la edificación antes del reforzamiento, en la que se observa que superan considerablemente el límite permitido por la normativa vigente en Ecuador, por esta razón se evidenciaron los daños en la edificación descritos en (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENSA, 2016).

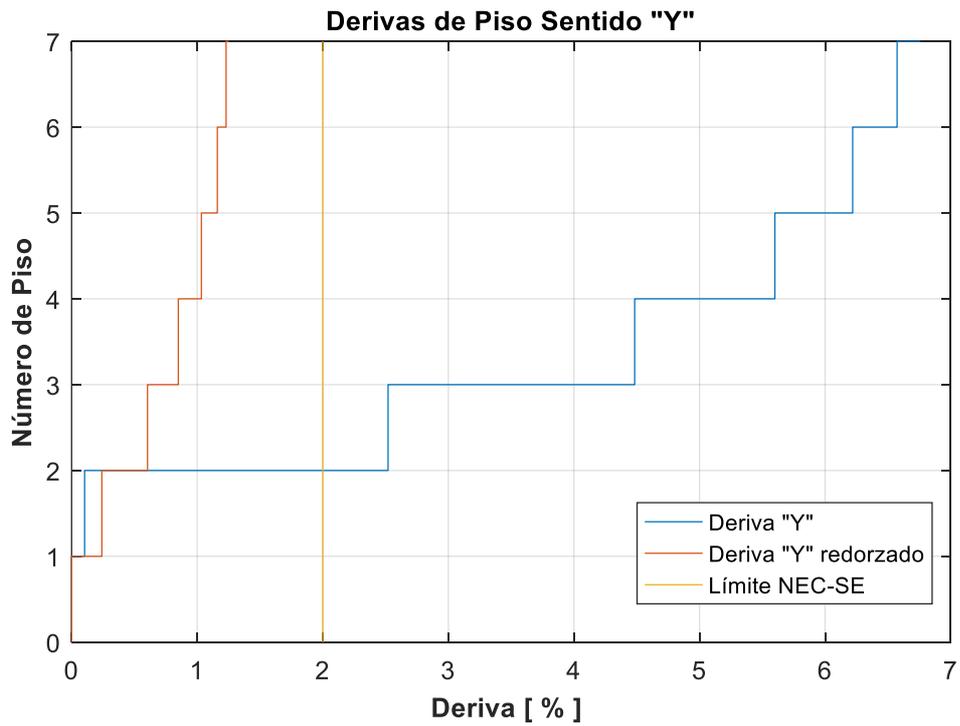
También se identifica las derivas de piso posterior al reforzamiento estructural, claramente se visualiza el aumento de rigidez de la edificación donde se observa que disminuye los desplazamiento y derivas de piso.

**Figura 26.**

*Derivas de Piso estado Actual y Propuesta de Reforzamiento (MIDUVI, 2016).*

**Figura 27.**

*Derivas de Piso estado Actual y Propuesta de Reforzamiento (MIDUVI, 2016)*



## Edificio 2

El Edificio 2 está ubicado en la ciudad de Portoviejo provincia de Manabí de la República del Ecuador. La edificación está compuesta de pórticos de hormigón armado con vigas banda, repartidos en un subsuelo, una planta baja y 10 plantas altas incluido un mezanine y las cubiertas. Como se indica en la Figura 28.

### **Figura 28.**

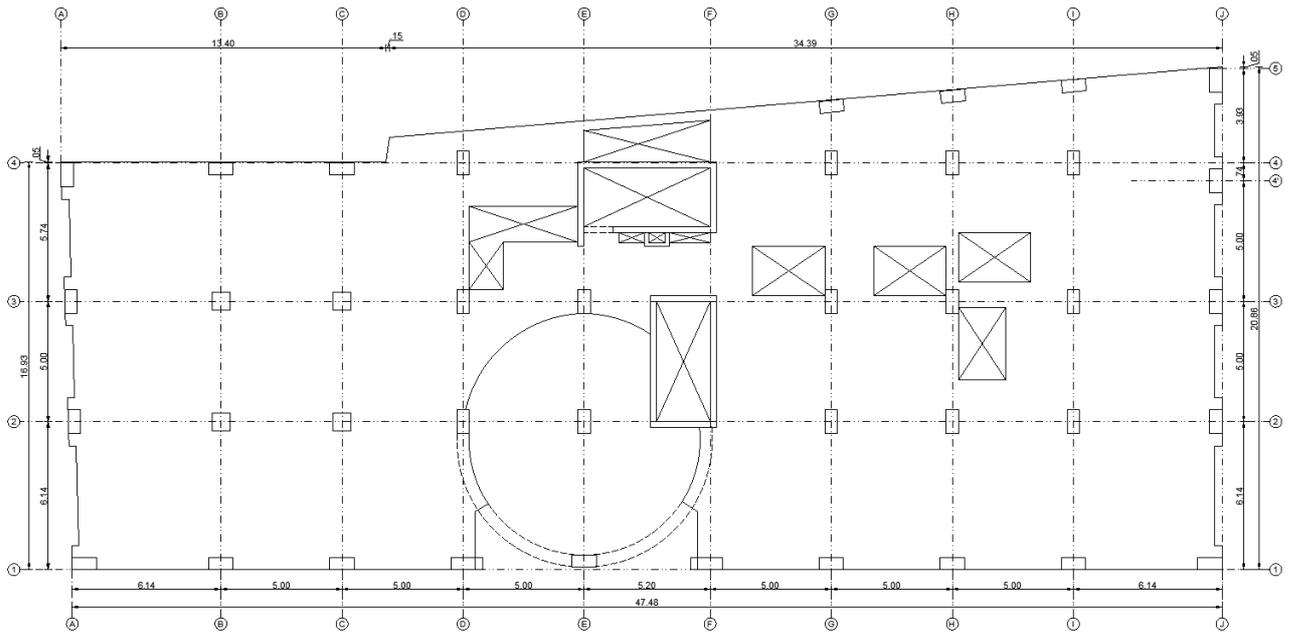
*Vista estado Actual Edificio 2 (MIDUVI, 2016)*



A continuación, en la Figura 29 y **Figura 30** se muestra los esquemas en planta como en elevación correspondiente al Edificio 2, como resultado del relevamiento estructural.

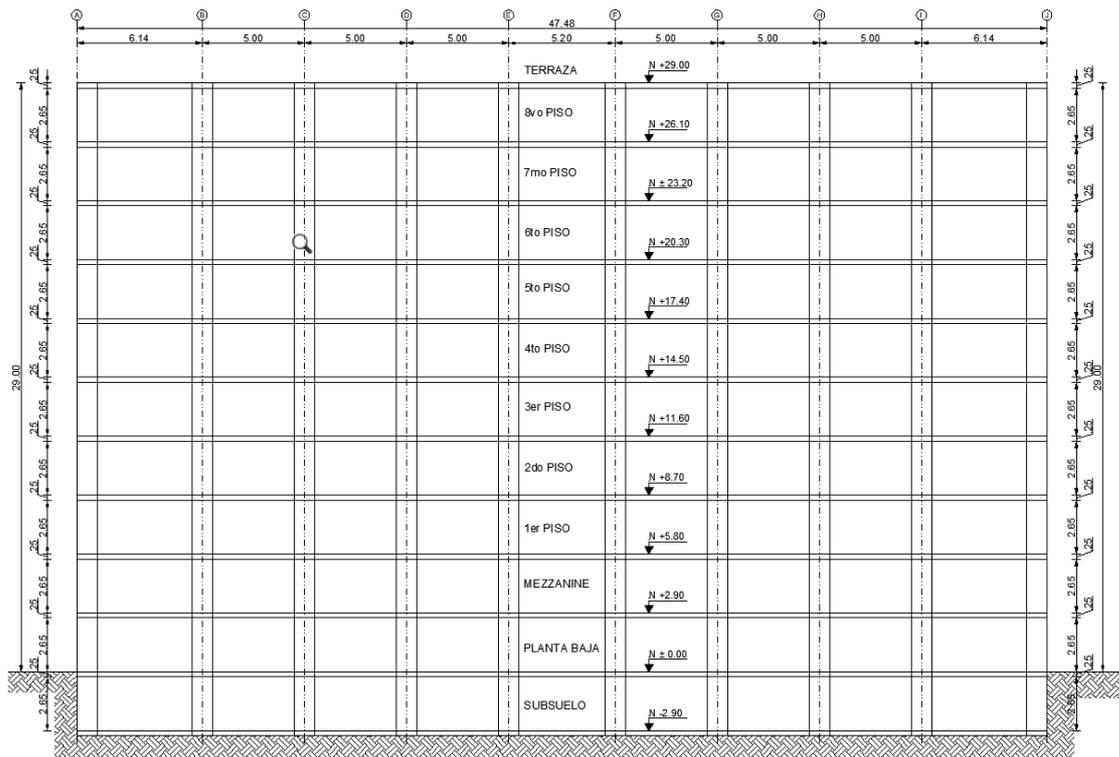
**Figura 29.**

*Vista en Planta Edificio 2 (MIDUVI, 2016)*



**Figura 30**

*Vista en Elevación del Edificio 2*



A continuación, en la Tabla 7, se muestra el resumen de los datos recopilados de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) referente a los ensayos destructivos y no destructivos del Edificio 2.

**Tabla 7.**

*Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos Edificio 2*

Parámetro	Resultado	Observaciones
Inspección Visual	Daño aparente en elementos no-estructurales y fisuras de corte en algunas vigas perimetrales	Fisuras a 45°, sugieren un fallo por cortante en las vigas perimetrales. Estas vigas no se encuentran unidas a las columnas
f'c	26 MPa	Promedio de los valores medios de núcleos y esclerómetros. Cercano a 1.3f'c, con f'cdiseño= 21 MPa.
Suelo	Tipo E, T~0.90s, Fa=0.85, Fd=1.50, Fs=2.00	Limos de alta plasticidad. El período del suelo no se encuentra cercano al de la estructura. La cimentación del edificio es profunda con 380 pilotes hincados
Período estructura	T <sub>long</sub> =1.33, T <sub>trans</sub> =1.41	Dos primeros modos traslacionales
Aplome	El edificio no sufrió inclinación aparente	No existen deformaciones permanentes aparentes

Nota: Datos obtenidos MIDUVI, 2016.

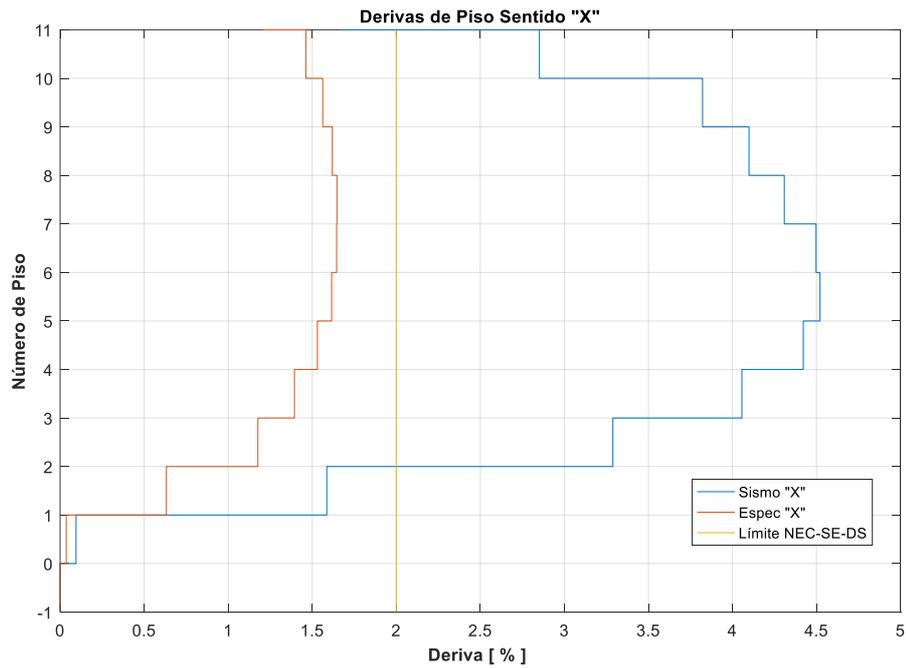
De la evaluación Estructural del (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) obtuvieron los siguientes resultados por métodos lineales estáticos y dinámicos.

En la Figura 31 y Figura 32 se observa que las derivas de piso inelásticas en el sentido "X" como en el sentido "Y", de la edificación, tanto para el caso estático y dinámico, en la que indica que la edificación superan considerablemente en el caso estático en el sentido "X", y en el sentido "Y", tanto el caso estático como dinámico supera el límite permitido por la normativa vigente en Ecuador, por esta razón se evidenciaron los daños en

la edificación descritos en (NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente, 2015).

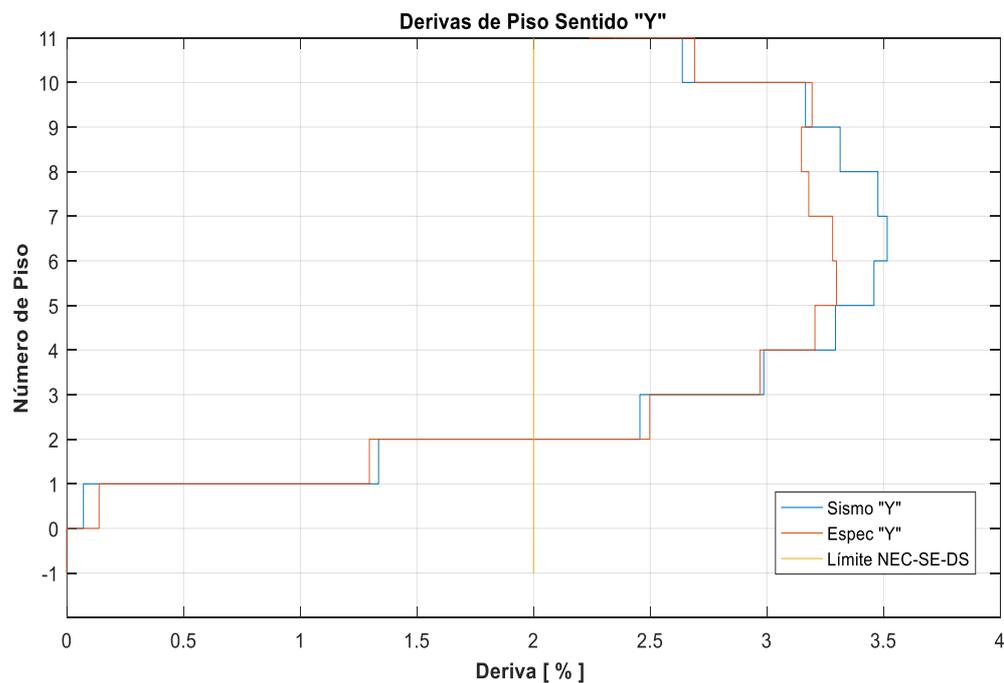
**Figura 31.**

*Derivas de Piso estado Actual Estático y Dinámico Sentido "X" (MIDUVI, 2016).*



**Figura 32.**

*Derivas de Piso estado Actual Estático y Dinámico Sentido "Y" (MIDUVI, 2016)*



### Edificio 3

El Edificio 3 está ubicado en la ciudad de Portoviejo provincia de Manabí de la República del Ecuador. La edificación está compuesta de pórticos de hormigón armado con vigas banda, repartidos en una planta baja y 6 plantas altas, este edificio tiene su particularidad, que tiene columnas esbeltas en su fachada frontal. Como se indica en la **Figura 33**.

#### **Figura 33.**

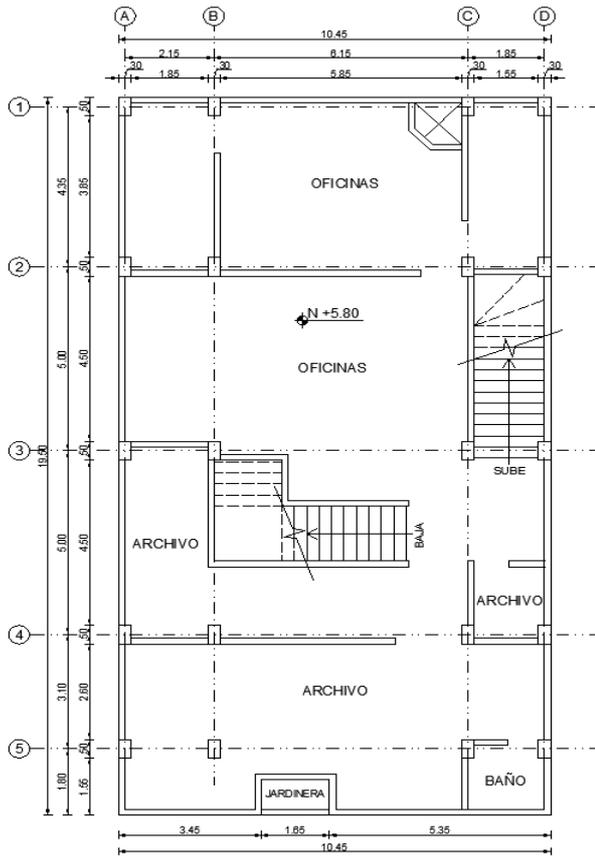
*Vista estado Actual Edificio 3 (MIDUVI, 2016)*



A continuación, en la **Figura 34 y** Figura 35 se muestra los esquemas en planta como en elevación correspondiente al Edificio 3, como resultado del relevamiento estructural.

**Figura 34.**

*Vista en Planta Edificio 3 (MIDUVI, 2016)*



**Figura 35.**

*Vista en Elevación del Edificio 3 (MIDUVI, 2016)*



A continuación, se muestra el resumen de los datos recopilados del (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) referente a los ensayos destructivos y no destructivos para el edificio 3 en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

*Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos ---- (MIDUVI, 2016).*

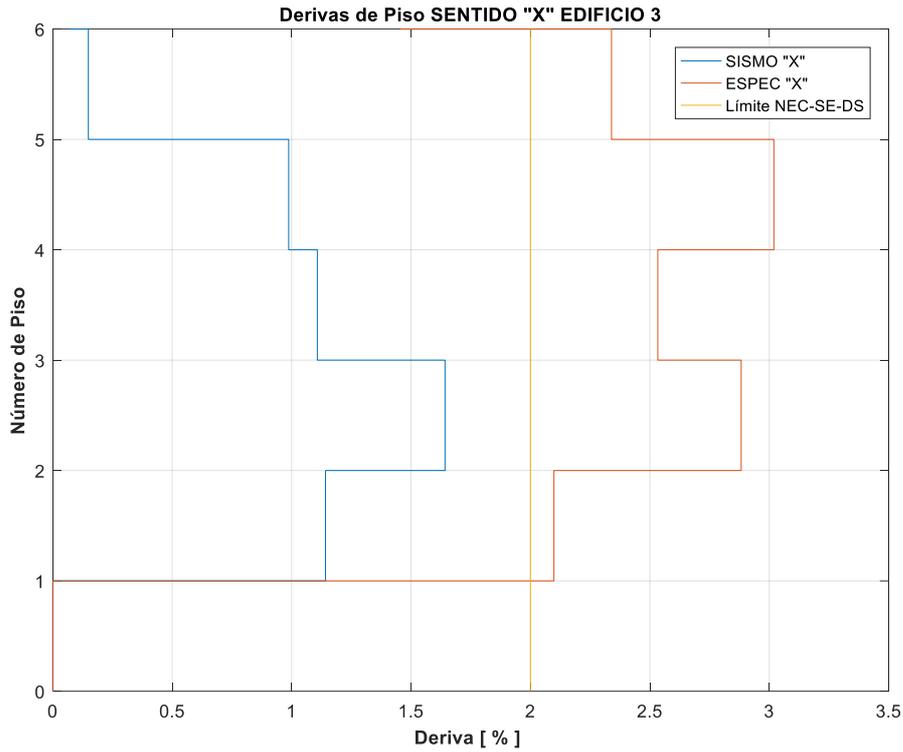
Parámetro	Resultado	Observaciones
Inspección Visual	Daño aparente solo en elementos no-estructurales	-
f'c	19.5 MPa	Promedio de los valores medios de núcleos y esclerómetros.
Suelo	Tipo E, T~0.75s, Fa=0.85, Fd=1.50, Fs=2.00	Limos de alta plasticidad.
Período estructura	T <sub>long</sub> =0.47, T <sub>trans</sub> =0.91	Dos primeros modos traslacionales.
plome	El edificio no sufrió inclinación aparente	-

De la evaluación Estructural de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) obtuvieron los siguientes resultados por métodos lineales estáticos.

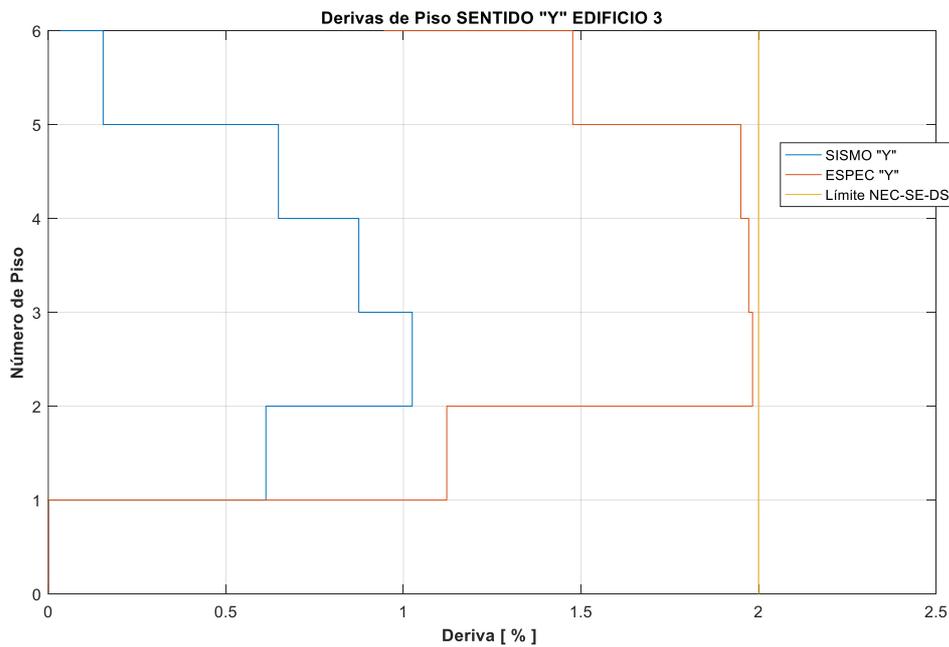
En la Figura 36 y Figura 37 se observa que las derivas de piso en el sentido "X" como en el sentido "Y", tanto para el caso estático como el dinámico, en la que la edificación superan el límite permitido en el sentido "X" para el caso dinámico utilizando el espectro de respuesta definido por la normativa vigente en Ecuador (*NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*, 2015) en el otro sentido están dentro del límite, por esta razón se evidenciaron los daños en la edificación descritos en (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) aparentemente solo en elementos no estructurales, pero se debe comprobar el desempeño del edificio.

**Figura 36.**

Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido "X" (MIDUVI, 2016).

**Figura 37.**

Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido "Y" (MIDUVI, 2016)



## Edificio 4

El Edificio 4 está ubicado en la ciudad de Portoviejo, en la provincia de Manabí de la República del Ecuador. La edificación está compuesta de pórticos de hormigón armado con vigas banda, repartidos en una planta baja y 4 plantas altas, en la planta de cubierta existe una estructura liviana que no interactúa con la estructura, que afecta la estabilidad estructural. Como se indica en la Figura 38.

### Figura 38.

*Vista estado Actual Edificio 4 (MIDUVI, 2016)*



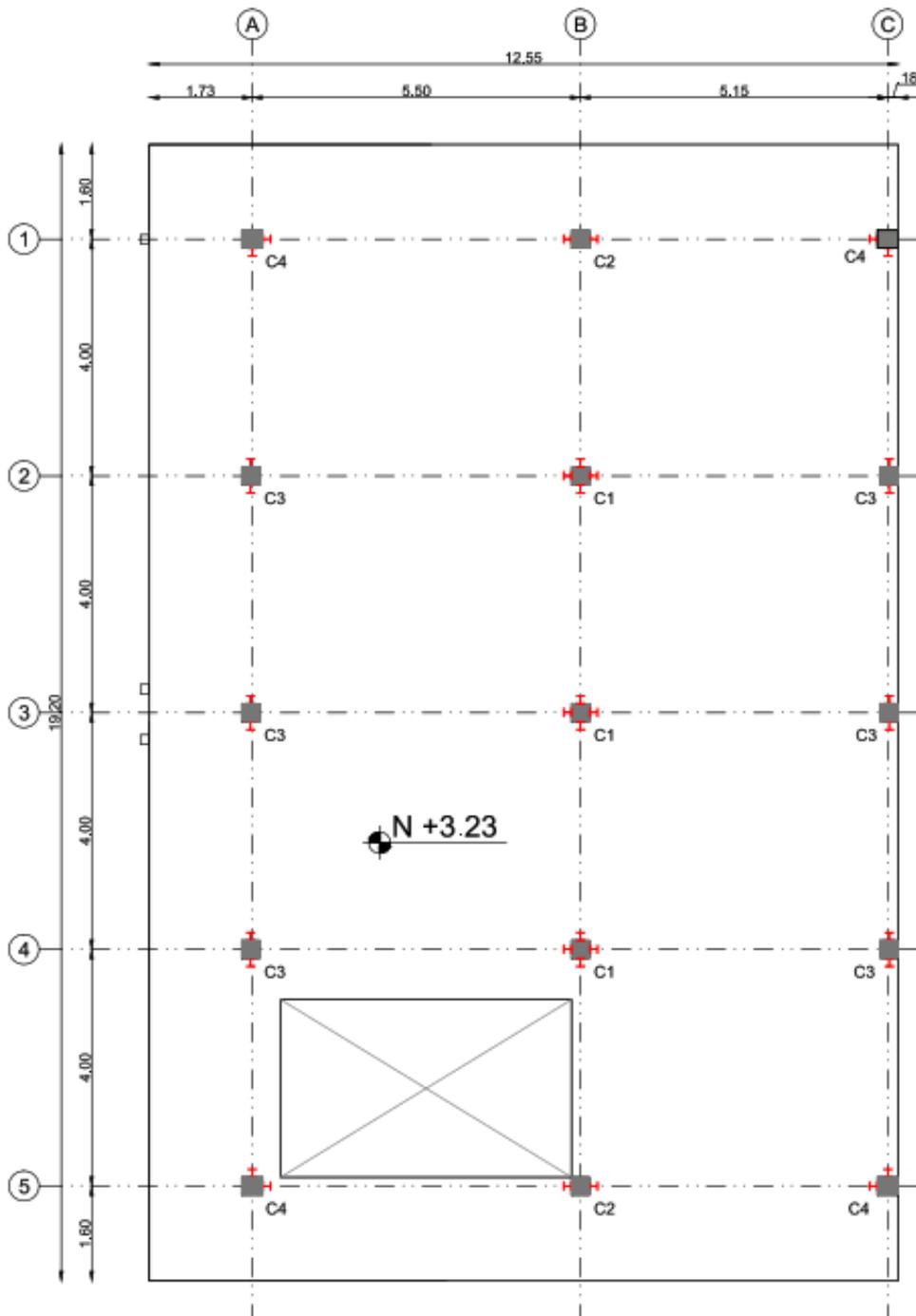
En la

Figura 39 y

**Figura 40** se muestra los esquemas en planta como en elevación correspondiente al Edificio 4, como resultado del relevamiento estructural. Las afectaciones en fachadas es lo que refleja la inspección visual.

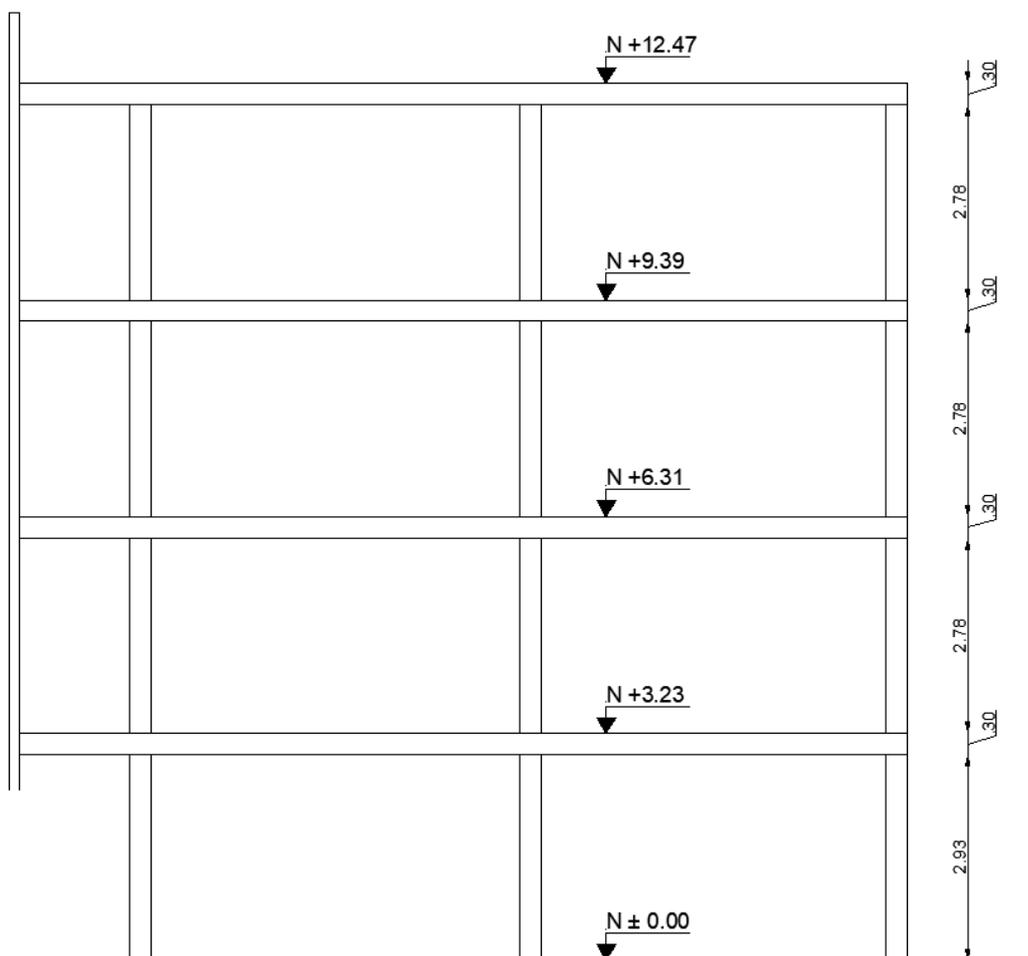
**Figura 39.**

*Vista en Planta Edificio 4 (MIDUVI, 2016)*



**Figura 40.**

*Vista en Elevación del Edificio 4 (MIDUVI, 2016)*



A continuación, se muestra el resumen de los datos recopilados de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016) referente a los ensayos destructivos y no destructivos para el edificio 4 en la Tabla 9.

**Tabla 9.**

*Resumen de prospección: Estado Actual, Ensayos No destructivos y destructivos*

Parámetro	Resultado	Observaciones
Inspección Visual	Daños en elementos estructurales y no estructurales	Severos daños en columnas, gradas y mampostería
f'c	14 MPa	Promedio de los valores medios de núcleos y esclerómetros. <b>Hormigón de muy mala calidad.</b>

Suelo	Tipo E, $T=0.83s$ , $F_a=0.85$ , $F_d=1.50$ , $F_s=2.00$	Limos arcillosos de alta plasticidad. El período del suelo es muy cercano al de la estructura.
Período estructura	$T_{long}=0.51(s)$ , $T_{trans}=0.79(s)$	Dos primeros modos traslacionales
Aplome	El edificio no sufrió inclinación aparente	No existen deformaciones permanentes aparentes

---

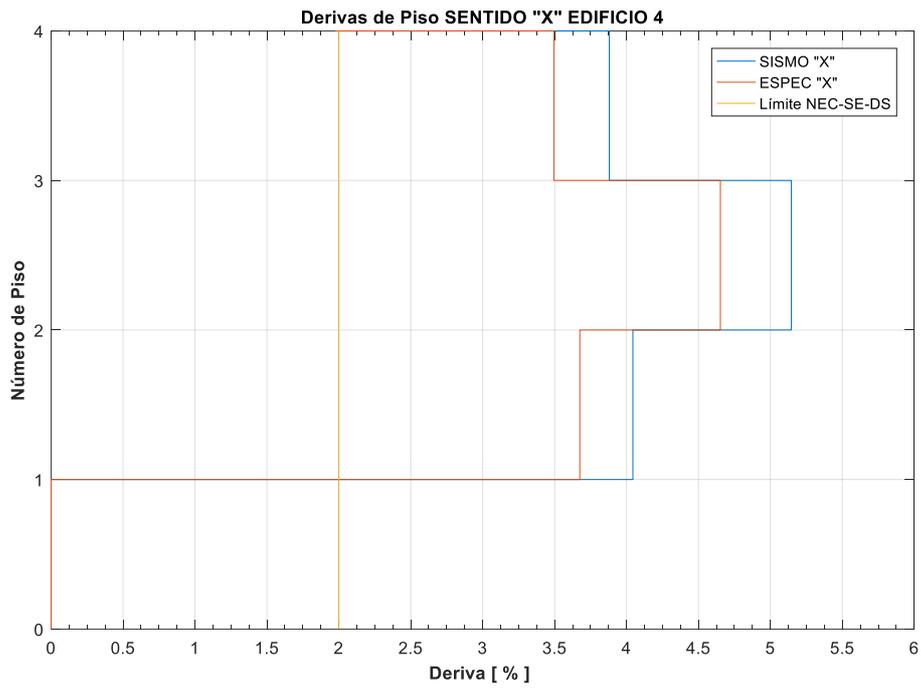
De la evaluación Estructural de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENSA, 2016) obtuvieron los siguientes resultados por métodos lineales estáticos.

En la

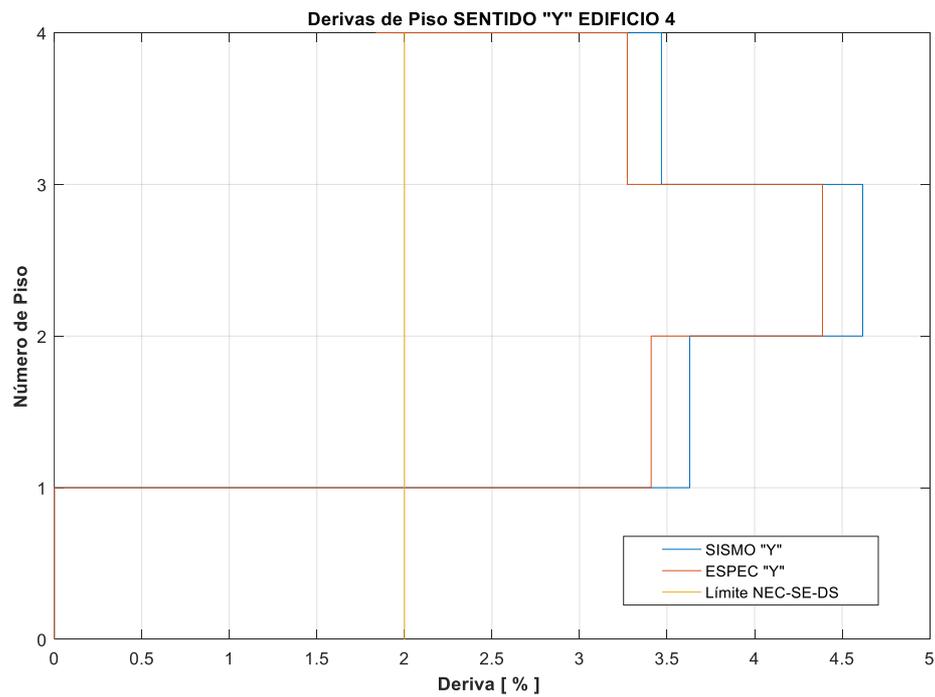
**Figura 41** y **Figura 42** se observa que las derivas de piso en el sentido “X” como en el sentido “Y”, de la edificación para los casos estático como dinámico, en la que se observa que superan considerablemente el límite permitido por la normativa vigente en Ecuador (*NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*, 2015), por esta razón se evidenciaron los daños en la edificación descritos en (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENSA, 2016). Para el caso de esta edificación las derivas son superiores al 5 por ciento lo que compromete considerablemente su estabilidad estructural y su probabilidad de colapso puede ser elevada.

**Figura 41.**

Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido "X" (MIDUVI, 2016).

**Figura 42.**

Derivas de Piso estado Actual dinámico y Estático Sentido "Y" (MIDUVI, 2016)



## **Metodología de evaluación de la Muestra de Estudio**

### **Modelamiento de la Edificación**

Para realizar la simulación de las edificaciones lo más cercano a la realidad con la información y los datos recopilados de (MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA, 2016), se utilizó el programa Seismo Struct versión 2021, el cual es un programa basado en elementos finitos que simula el comportamiento no lineal de los materiales y los elementos de la estructura en análisis. Para el caso de investigación será sometidos a cargas estáticas y dinámicas.

### **Modelos Constitutivos para la no linealidad de los materiales.**

Los modelos Constitutivos utilizado en el modelar la no linealidad de los materiales se utilizaron los siguientes:

#### **Modelo de Menegotto-Pinto**

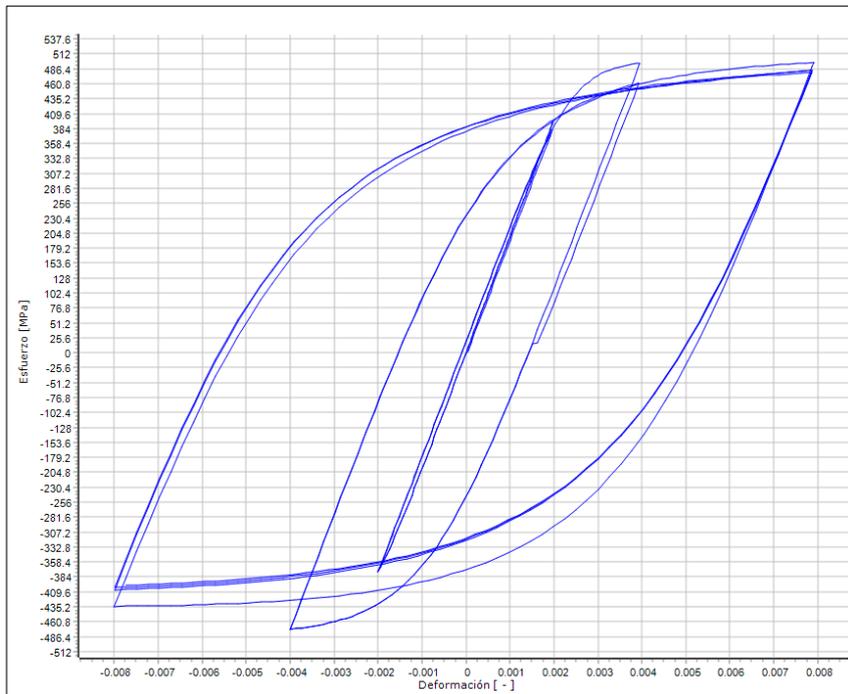
Este es un modelo de acero uniaxial inicialmente programado por Yassin en 1994 basado en una relación tensión-deformación simple pero eficiente propuesta por Menegotto y Pinto en 1973, junto con las reglas de endurecimiento isotrópico propuestas por Filippou et al. 10 años después.

Su empleo debe limitarse al modelado de estructuras de hormigón armado, particularmente aquellas sujetas a historias de carga complejas, donde pueden ocurrir inversiones de carga significativas.

Como discutieron Prota et al. en 2009, con la calibración correcta, este modelo, desarrollado inicialmente con barras de refuerzo nervadas, también se puede emplear para el modelado de armaduras lisas, que a menudo se encuentran en estructuras existentes (Seismosoft, 2002).

Figura 43.

Modelo Menegotto-Pinto.



Nota: Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021)..

Tabla 10.

Parámetros de configuración modelo acero Menegotto-Pinto.

Propiedades del material	Valores típicos	Valores por defecto
Módulo de elasticidad – Es	2.00E+08 - 2.10E+08 (kPa)	2.00E+08 (kPa)
Esfuerzo de fluencia – fy	230000 - 650000 (kPa)	500000 (kPa)
Parámetro de endurecimiento por deformación – $\mu$	0.005 - 0.015 (-)	0.005 (-)
Parámetro de forma inicial de la curva de transición – $R_0$	20 (-)	20 (-)
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición – A1	18.5 (-)	18.5 (-)
Coefficiente de calibración de la forma de la curva de transición – A2	0.05 - 0.15 (-)	0.15 (-)
Coefficiente de calibración de endurecimiento isotrópico – A3	0.01 – 0.025 (-)	0 (-)

Propiedades del material	Valores típicos	Valores por defecto
Coefficiente de calibración de endurecimiento isotrópico – A4	2 - 7 (-)	1 (-)
Fractura/deformación por pandeo	0.1 (-)	
Peso específico – $\gamma$	78 (kN/m <sup>3</sup> )	78 (kN/m <sup>3</sup> )

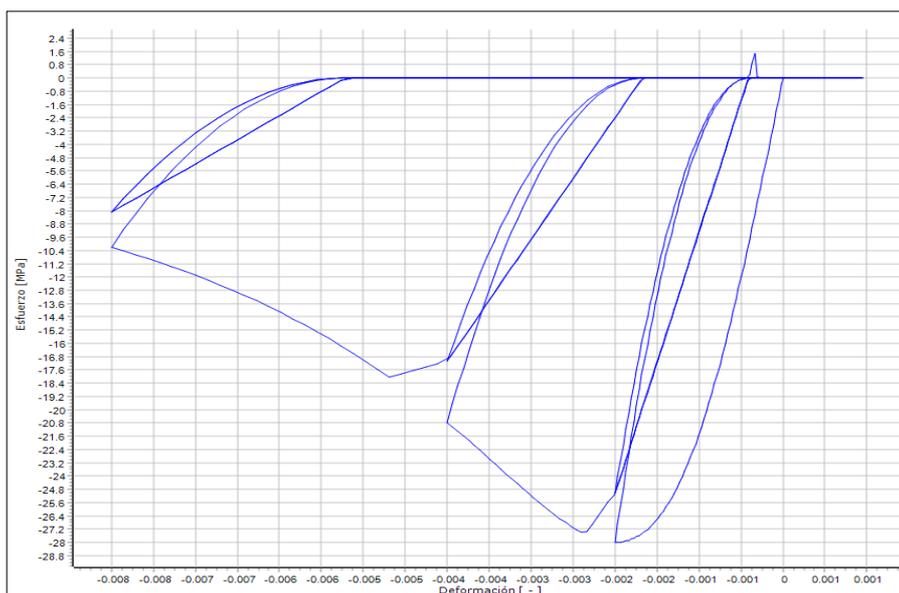
Nota. Obtenido del Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021).

### Modelo de Mander et al.

El modelo de Mander es de confinamiento constante no lineal uniaxial, inicialmente programado por Madas, que sigue la relación constitutiva propuesta por (Mander, Priestley, & Park, 1988). [1988] y las reglas cíclicas propuestas por Martínez-Rueda y Elnashai [1997].

Los efectos de confinamiento que proporciona el refuerzo transversal lateral se incorporan a través de las reglas propuestas por Mander et al. en el cual se supone una presión de confinamiento constante en todo el rango de tensión-deformación, en la Figura 44 se muestra la curva constitutiva del material utilizada por el software (SeismoSoft, 2021). **Figura 44.**

Configuración modelo de Mander



Nota: Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021)

**Tabla 11.**

Parámetros modelo hormigón de Mander et.

Propiedades del material	Valores típicos	Valores por defecto
Resistencia media a la compresión – $f_c$	15000 - 45000 (kPa)	28000 (kPa)
Resistencia media en tensión – $f_t$	2000 - 3000 (kPa)	2200 (kPa)
Módulo de elasticidad – $E_c$	18000 - 30000 (MPa)	24870 (MPa)
Esfuerzo en el pico de estrés – $\epsilon_c$	0.002 - 0.0022 (m/m)	0.002 (m/m)
Peso específico – $\gamma$	24 (kN/m <sup>3</sup> )	24 (kN/m <sup>3</sup> )

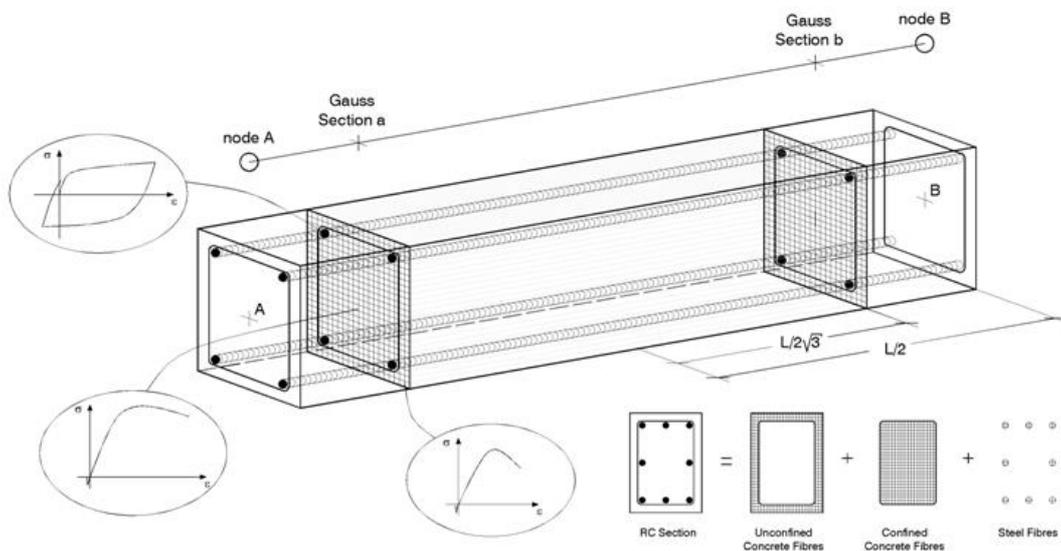
*Nota.* Obtenido Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021).

### Discretización de los elementos estructurales.

Para discretizar los elementos el programa utiliza la teoría de las fibras, donde cada fibra se asocia a una relación uniaxial esfuerzo-deformación. Para mejor comprensión en la Figura 45 se esquematiza la discretización de una sección transversal de hormigón armado típica (González et al., 2016)

**Figura 45.**

Discretización de una sección transversal de hormigón armado



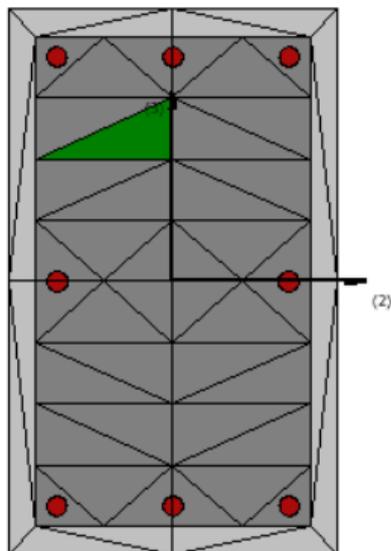
Nota: Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021)

## Plasticidad de elementos

Seismo Struct define la no-linealidad mediante elementos de plasticidad distribuida, las secciones transversales son definidas mediante una discretización por fibras en los elementos para pórticos, en la figura Figura 46 y Figura 47 se muestra una discretización típica donde a cada fibra se establece una relación uniaxial de esfuerzo-deformación.

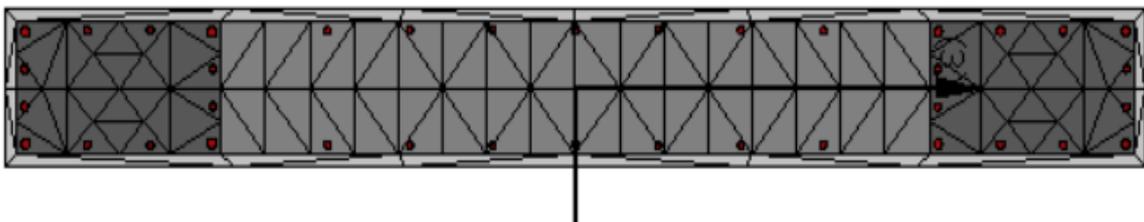
*Figura 46.*

*Elemento columna discretizado.*



*Figura 47.*

*Elemento muro de corte discretizado*



La integración de la respuesta uniaxial no lineal del material para cada una de las fibras da como resultado el esfuerzo-deformación de la sección del elemento viga-columna, de esta manera se considera la propagación de la inelasticidad en toda la longitud del miembro y la altura de la sección (Alas & Grijalva, 2018) .

Los modelos inelásticos presentan numerosas ventajas, entre las que se puede destacar:

- No es necesario realizar análisis momento-curvatura previos para definir los elementos.
- No es necesario definir ningún tipo de respuesta histérica de los elementos (dado que queda definida implícitamente mediante los modelos constitutivos de los materiales)
- Modelado directo de la interacción entre esfuerzo axial y momento flector (tanto para la resistencia como para la rigidez)
- Representación directa de la carga biaxial y de la interacción de la resistencia flexional en direcciones ortogonales. (Seismo Soft, 2021).

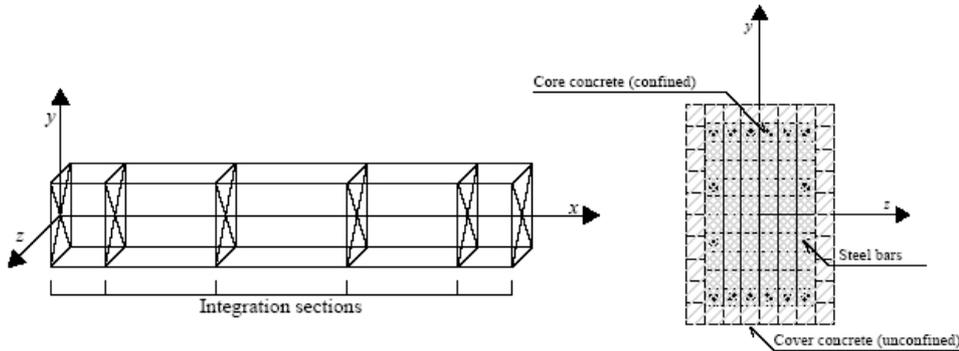
### **Elementos infrmFB**

Los elementos viga – columna se modelan con el elemento clase Inelastic force-based frame element type – infrmFB, que es un modelo 3D basado en fuerzas que permite modelar marcos espaciales con no linealidades geométricas, la respuesta del material uniaxial no lineal se obtiene a partir de las fibras individuales en las que se divide la sección. Como detallado en la

**Figura 48.**

**Figura 48.**

Secciones de integración de Gauss – Lobatto



Nota: Manual de usuario Seismo Struct 2021, (Seismo Soft 2021)

El elemento infrmFB es el más preciso entre los cuatro tipos de elementos de marco de Seismo Struct, ya que es capaz de capturar el comportamiento inelástico en toda la longitud de un miembro estructural, incluso cuando se emplea un solo elemento por miembro (Seismo Soft, 2021).

En los elementos de pórtico con inelasticidad distribuida la formulación basada en fuerzas (FB, force-based) siempre es exacta, dado que la sección no depende del comportamiento constitutivo asumido. El número sugerido de puntos de integración (IP) de Gauss-Lobatto es de 4, aunque generalmente se utilizan 5 y 7 como se indicó en la

Figura 48, Definiendo el número IP adecuado se puede modelar diferentes valores de cuantías de acero de refuerzo a lo largo del mismo elemento, así se permite que exista una correlación biunívoca entre los miembros estructurales (Seismo Soft, 2021).

### Idealización y modelo de las Estructuras

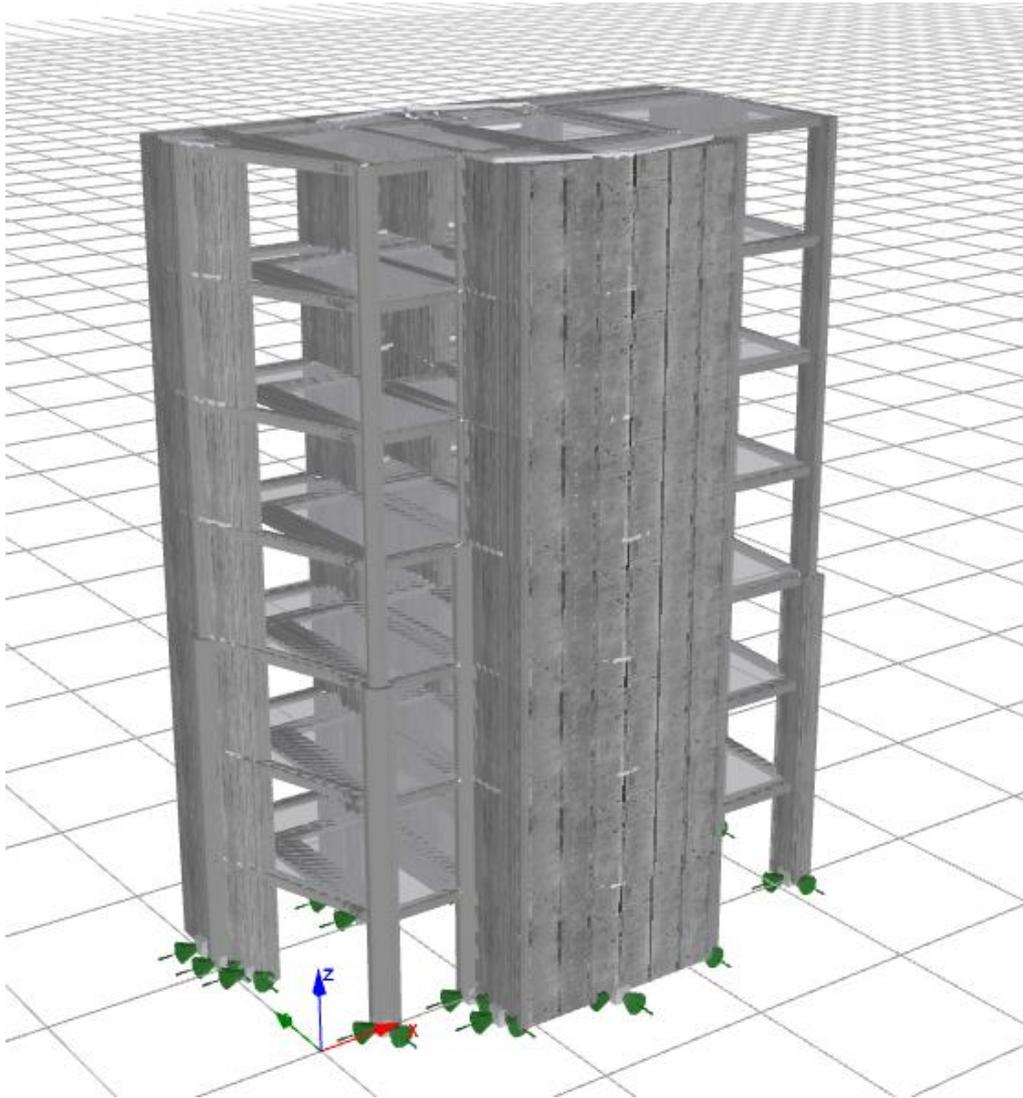
Con la información recopilada se realizó la verificación de secciones con su respectiva armadura de refuerzo, tanto de vigas, columnas, losas y muros de cortes, de la misma manera se ha incluido los modelos constitutivos, discretización y los otros parámetros antes descritos en la sección anterior para cada elemento estructural.

A continuación, en la .

Figura 49, Figura 50, Figura 51, Figura 52, se muestra los modelos 3d de la muestra de estudios para su posterior análisis no lineal, tanto para los casos estático y dinámica.

**Figura 49.**

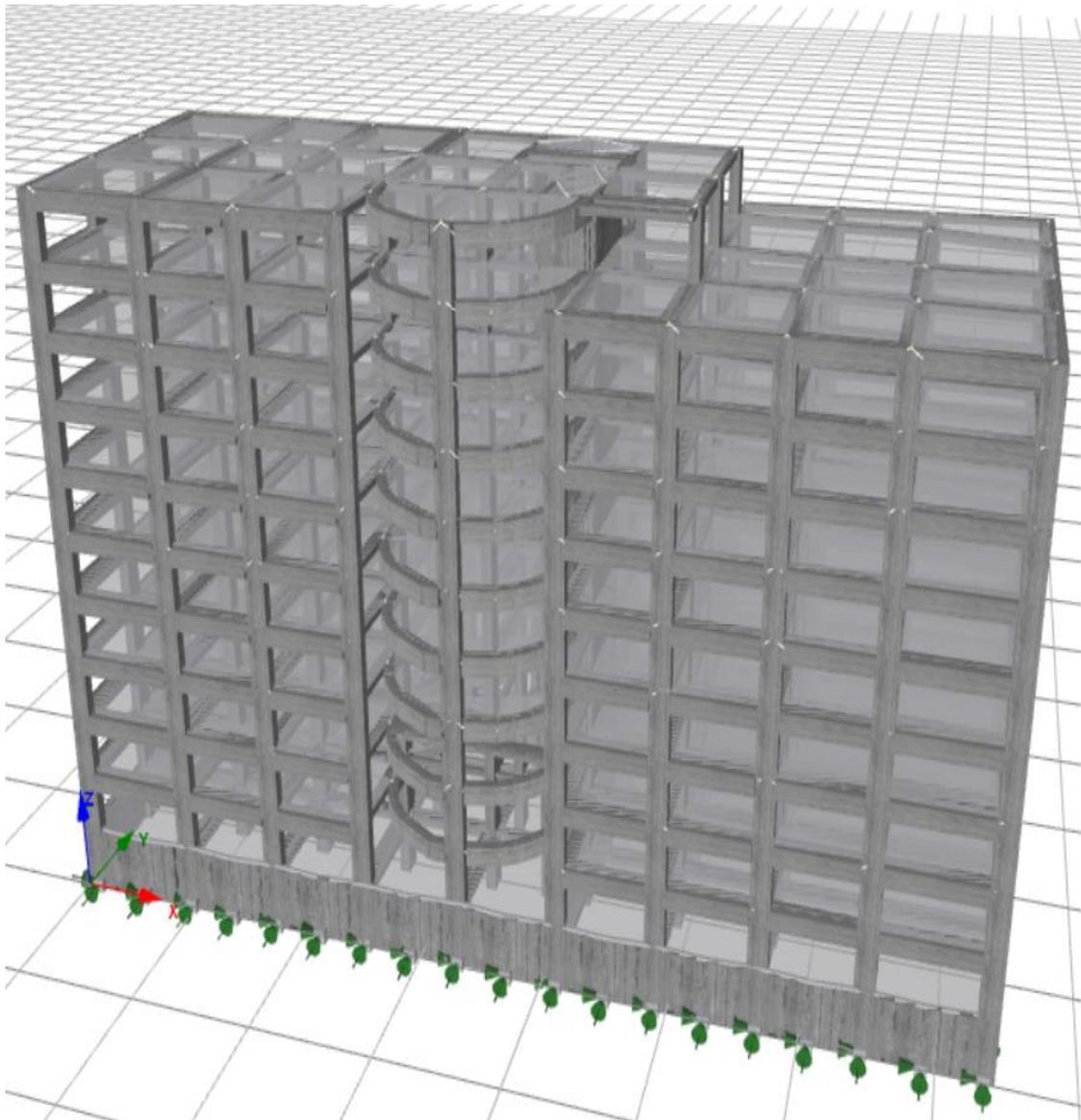
*Modelo 3d Edificio 1 Seismo Struc*



Como se puede visualizar el Edificio 1 fue sometido a un reacondicionamiento sísmico a través de un reforzamiento estructural para mejora su desempeño sísmico, de la misma manera, en la propuesta de reforzamiento se retira la piscina del segundo piso la cual producía un concentración de masas y efectos de torsión en la estructura.

**Figura 50.**

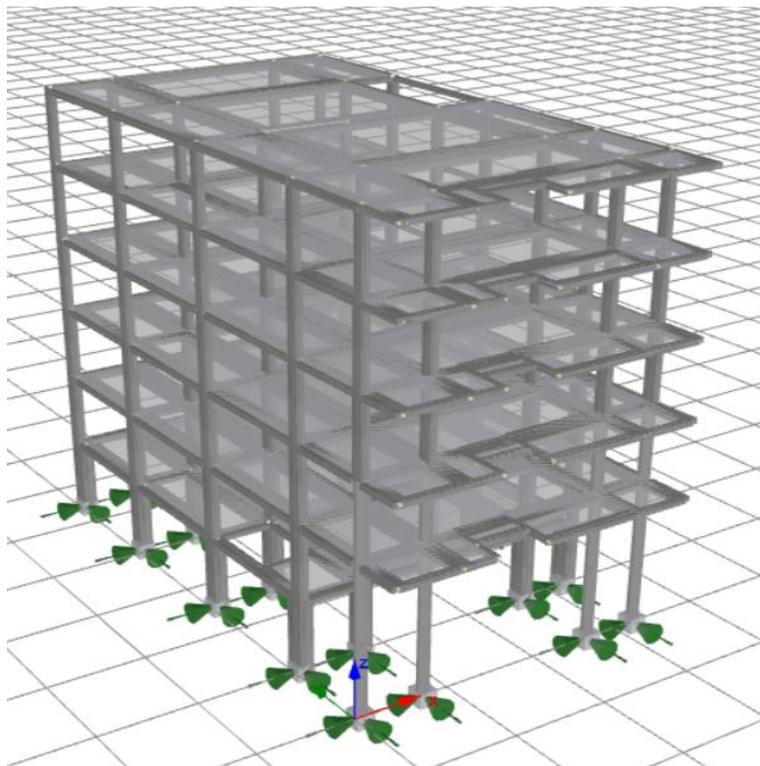
*Modelo 3d Edificio 2 Seismo Struc*



En esta edificación se observa que tiene una concentración de masas en el centro del edificio por lo que presenta efectos de torsión por su forma rectangular posee más pórticos en el sentido “Y” que pórticos en el sentido “X”, lo que indica mayor rigidez en un sentido.

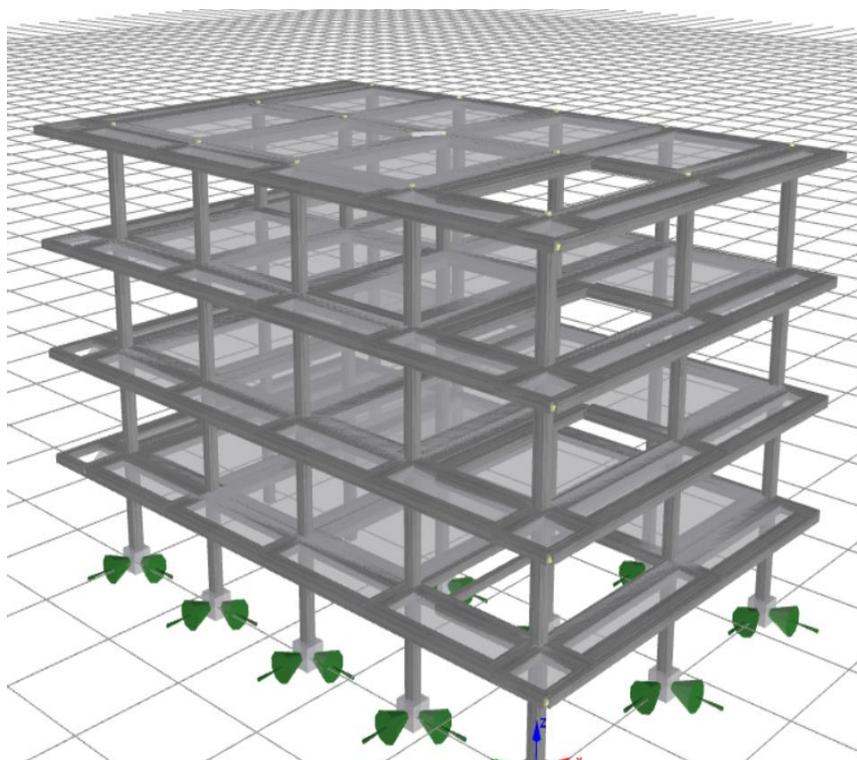
**Figura 51.**

*Modelo 3d Edificio 3 Seismo Struc*



**Figura 52.**

*Modelo 3d Edificio 4 Seismo Struc*



## Análisis estructural No Lineal

Para el análisis Estructural No lineal se realizó los recomendados por (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 2017), los cuales son los siguientes:

1. Análisis No lineal Estático (Push Over)
2. Análisis No lineal Dinámico (Time History Analysis)

En los siguientes puntos se detalla lo que se realizó para cada análisis.

### Análisis No Lineal Estático Push Over

El Análisis No lineal Estático se realizó para determinar los desplazamientos máximos determinando los objetivos de desempeño mínimos según (NEC-SE-RE, 2015), para estructuras de alta concurrencia más 2 niveles de desempeño: Operacional y Ocupación Inmediata para una mejor visualización de los resultados. Como se muestra en la Tabla 12.

**Tabla 12**

*Objetivos de Desempeños utilizados para el Análisis No lineal Estático*

Niveles Objetivos de Desempeño de la Edificación					
	ITEM	(1-A)	(1-B)	(3-C)	(5-D)
<b>Niveles de Peligro</b>	50% / 50 años	a	b	c	d
	BSE-1E (20% / 50 años)	e	f	g	h
	BSE-2E (5% / 50 años)	i	j	k	l
	BSE-2N (2% / 50 años)	m	n	o	p

*Nota.* Adaptado de (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 2017)

(1-A) Operacional, (1-B) Ocupación Inmediata (3-C), Seguridad de Vida (5-D), Prevención de Colapso.

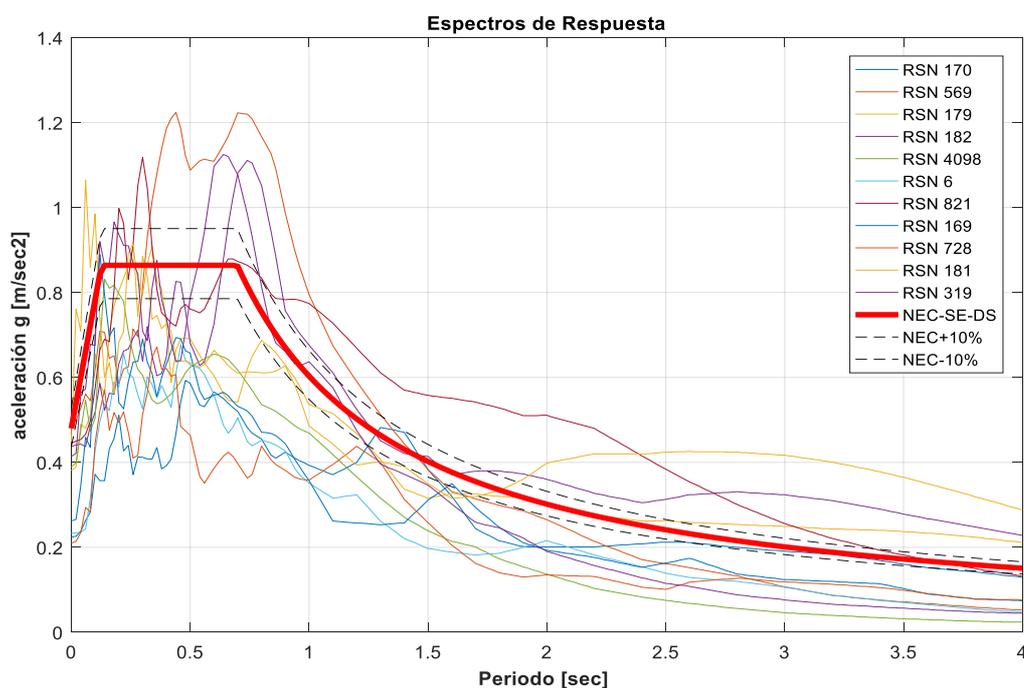
Se aplicó una carga impuesta de 100 kN en función de la carga vertical y el desplazamiento objetivo definidos según (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 2017) , necesaria para llegar a la falla del edificio la misma que se distribuye uniformemente en todos los nudos tanto en la dirección “X” como en la dirección “Y” definiendo un desplazamiento objetivo.

### **Análisis No Lineal Dinámico (Time History Analysis).**

Para el Análisis No lineal Dinámico se realizó la selección de 11 pares de registros de aceleraciones sísmicas, con estas aceleraciones se determinó sus respectivos espectros de respuesta identificados con RSN y un espectro objetivo en este caso el correspondiente a (*NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*, 2015), como se detalla en la Figura 53, correspondiente al edificio 1 que esta cimentado en un suelo tipo D y en la Figura 54 corresponde a los espectros para los edificio 2, 3 y 4 que están cimentados en un suelo tipo E.

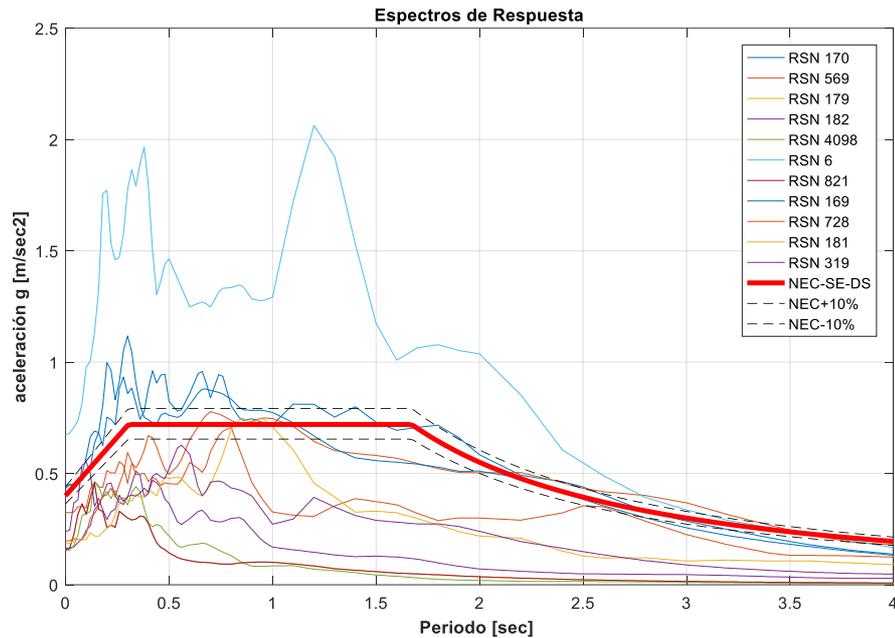
#### **Figura 53.**

*Espectro de respuesta de los 11 sismos seleccionados Suelo tipo D*



**Figura 54.**

*Espectro de respuesta de los 11 sismos seleccionados Suelo tipo E*



Acorde a las recomendaciones de (*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*, 2017) se realizó el escalamiento de los espectros de respuestas de cada sismo que son identificados con RSN en sus siglas en Ingles Respose Spectrum Name, al Espectro objetivo que este caso es el que indica el capítulo NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismorresistente de la Norma Ecuatoriana de la Construcción para cada tipo de suelo, zona y las características específicas para su construcción, de esta manera se obtuvieron los factores de escala.

En la Tabla **13** se indica los factores de escala que se tomando en cuenta el suelo tipo D, rangos de periodo, Peak Ground Aceleración (PGA), para la Edificio 1, ubicado en Bahía de Caráquez,

**Tabla 13.**

*Factores de escalamiento y registros de aceleraciones del PEER para suelo tipo D*

No.	Evento/Estación	RSN	Factor de Escala	Magnitud	PGA (g)
1	Imperial Valley-06/EC County Center FF	170	1.704	6,53/Mw	0.224
2	San Salvador/National Geografical Inst	569	0.986	5,80/Mw	0.495
3	Imperial Valley-06/El Centro Array #4	179	1.421	6,53/Mw	0.381
4	Imperial Valley-06/El Centro Array #7	182	1.207	6,53/Mw	0.437
5	Parkfield-02, CA/Parkfield - Cholame 1E	4098	1.654	6,00/Mw	0.389
6	Imperial Valley-02/El Centro Array #9	6	1.955	6,95/Mw	0.233
7	Erzican, Turkey/Erzincan	821	1.071	6,69/Mw	0.445
8	Imperial Valley-06/Delta	169	1.793	6,53/Mw	0.262
9	Superstition Hills-02/Westmorland Fire Sta	728	1.882	6,54/Mw	0.21
10	Imperial Valley-06/El Centro Array #6	181	1.452	6,53/Mw	0.448
11	Westmorland/Westmorland Fire Sta	319	1.199	5,90/Mw	0.414

En la tabla 14 se muestra los factores de escala para un suelo tipo E, correspondientes para los edificios 2, 3 y 4 ubicados en la ciudad de Portoviejo.

**Tabla 14.**

*Factores de escalamiento y registros de aceleraciones del PEER para suelo tipo E.*

No.	Evento/Estación	RSN	Factor de Escala	Magnitud	PGA (g)
1	Superstition Hills-02/Parachute Test Site	723	0.962	6.54/Mw	0.433
2	Denali, Alaska/TAPS Pump Station #10	2114	1.219	7.90/Mw	0.324
3	Northern Calif-03/Ferndale City Hall Imperial Valley-06/El Centro - Meloland	20	2.226	6.50/Mw	0.186
4	Geot. Array	171	1.422	6.53/Mw	0.313
5	Kobe, Japan/Port Island (0 m)	1114	1.086	6.90/Mw	0.316
6	Kobe, Japan/Takatori	1120	0.509	6.90/Mw	0.672
7	Imperial Valley-06/El Centro Array #10	173	1.994	6.53/Mw	0.199
8	Erzican, Turkey/Erzincan	821	1.005	6.69/Mw	0.445
9	Darfield, New Zealand/Papanui High School	6952	1.719	7.00/Mw	0.197
10	Kobe, Japan/Fukushima	1104	1.596	6.90/Mw	0.185
11	Imperial Valley-06/Agrarias	159	1.881	6.53/Mw	0.239

Los factores de escalas calculados en los 2 casos son cercanos o menores a 2, que es lo que se recomienda para realizar un escalamiento adecuado para realizar la correcta simulación de las fuerzas sísmicas cuando se ingresa al programa de análisis estructural, para posteriormente determinar los desplazamientos del Edificio y los demás resultados.

## **Capítulo IV: Resultados y análisis**

A continuación, se presentan los resultados de los análisis estructurales no lineales estáticos y dinámicos para cada una de las edificaciones de la muestra de estudio.

### **Análisis No Lineal Estático Push Over**

Posterior al análisis Push Over se muestra a continuación la deformación de cada edificación de la muestra de estudio, tanto en la dirección "X" como en la dirección "Y", además se incluirá una clave de colores para identificar los daños producidos en las mismas.

Posteriormente se obtendrá la curva de capacidad Fuerza vs. Deformación para verificar el desempeño de la estructura a los efectos del sismo estático.

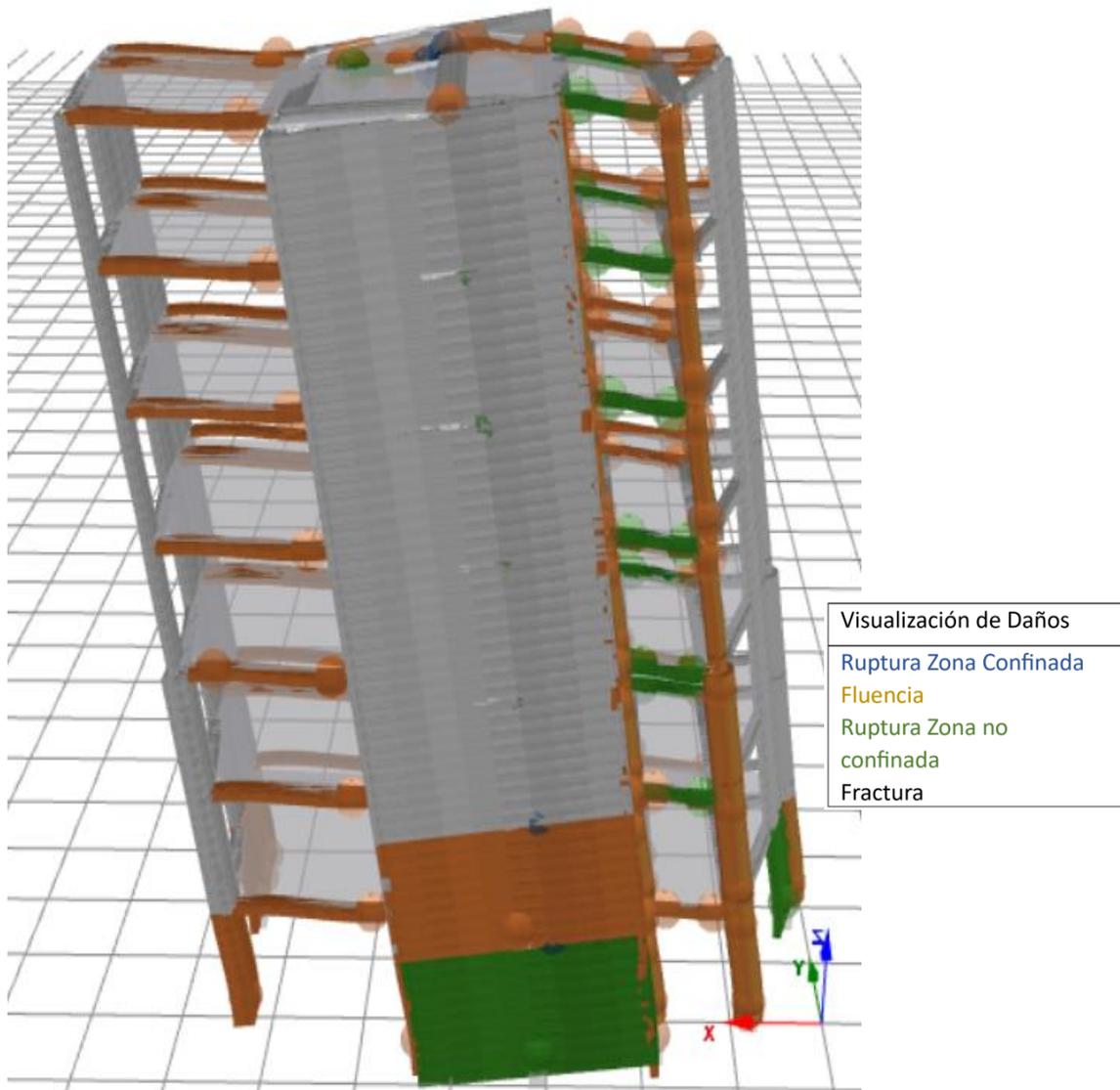
### **Deformaciones**

#### **Deformaciones Edificio 1**

En la Figura 55 se puede visualizar la deformación de la edificación 1 aplicada una fuerza horizontal para cada dirección, la clave de colores permite apreciar la formación de rótulas plásticas en vigas, cabeza y pie de columnas y en los pies de los muros.

Además, se puede apreciar ruptura en la zona no confinada a nivel de recubrimientos en los elementos estructurales antes mencionados.

En la mayoría de columnas perimetrales en los pisos superiores no se visualizan daños por lo que se puede apreciar un comportamiento adecuado del sistema para disipar la fuerza sísmica.

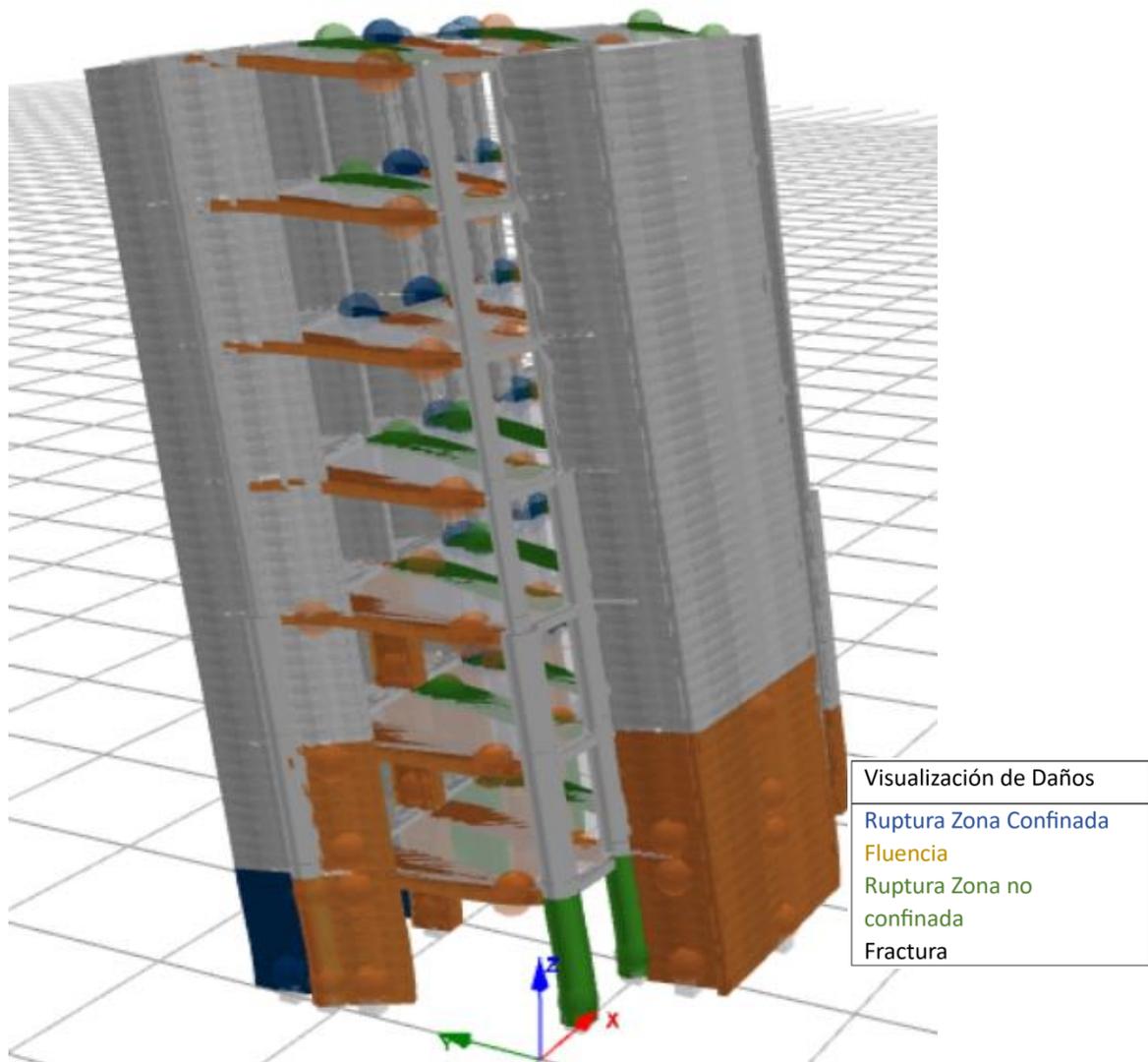
**Figura 55.***Deformada sentido X Edificio 1*

En la

**Figura 56**, en el sentido “Y” se aprecia que existe ruptura en la zona confinada en pies de los muros de corte y en algunas vigas, que alertan el desempeño de la edificación evidenciando que es más flexible en el sentido “Y”.

**Figura 56.**

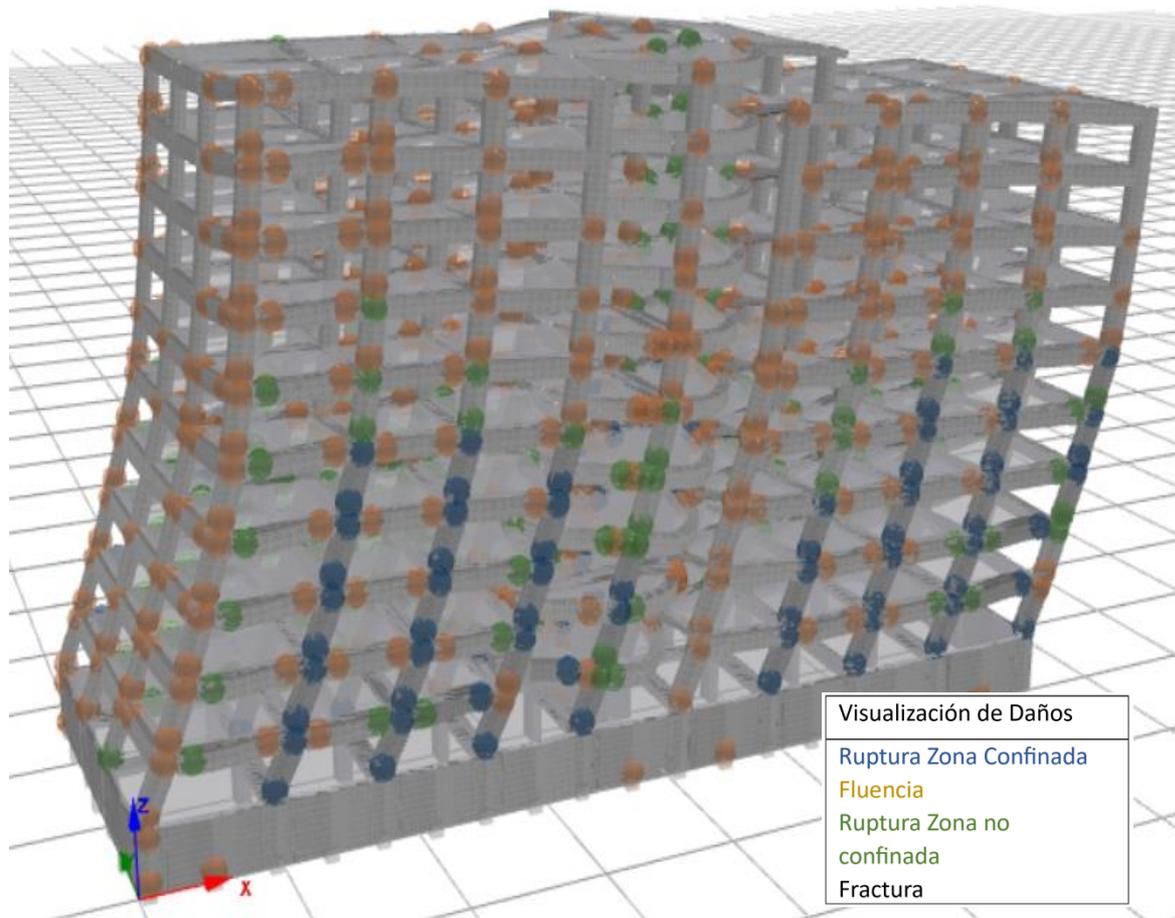
Deformada sentido Y Edificio 1

**Deformada Edificio 2**

En la Figura 57 y Figura 58 se puede visualizar la deformación de la edificación 2 aplicada fuerza horizontal para cada dirección, la clave de colores permite apreciar la formación de rótulas plásticas en vigas, cabeza, pies de columnas. Además, se puede apreciar ruptura en la zona no confinada en los elementos estructurales antes mencionados.

**Figura 57.**

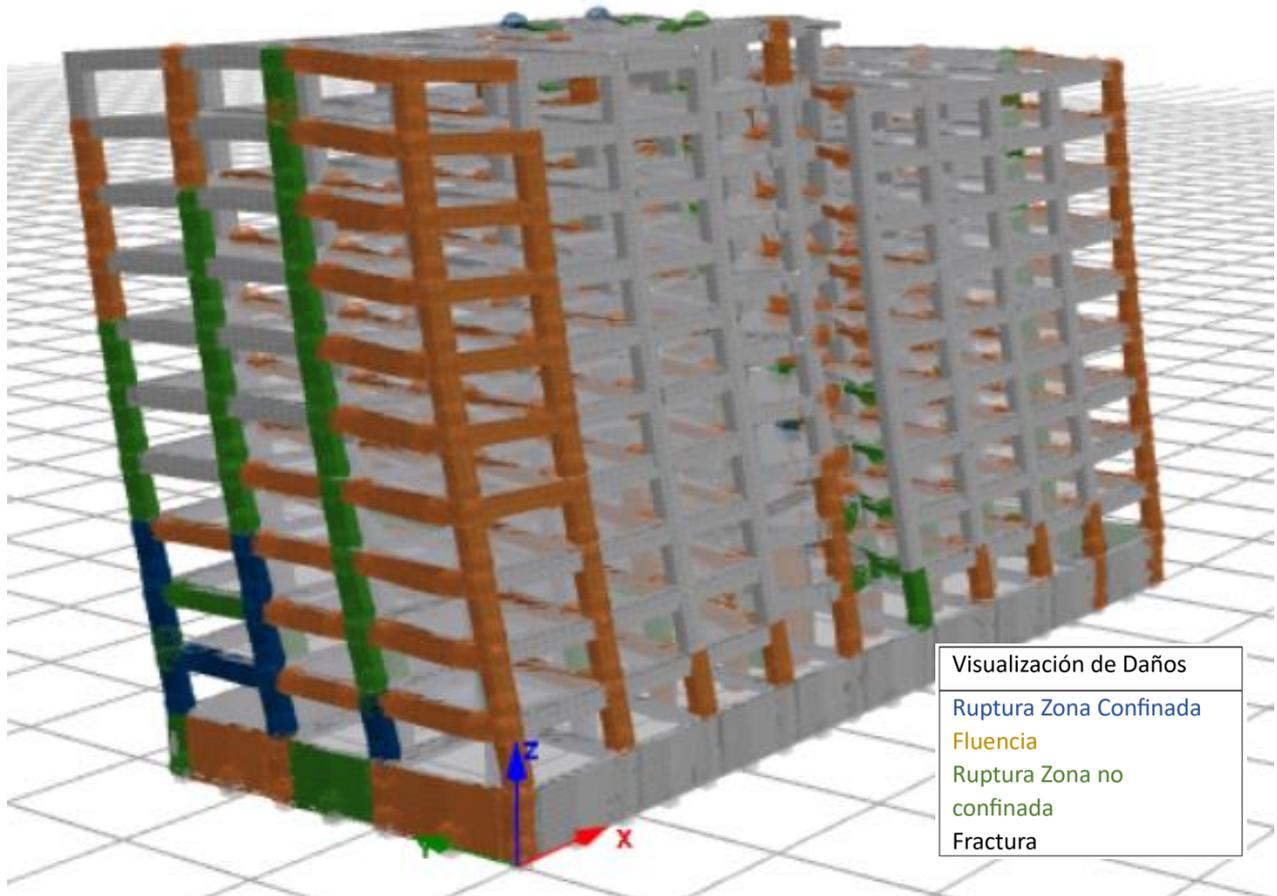
Deformada sentido "X" Edificio 2



En el sentido "Y" se observa la formación de rótulas plásticas en cabeza y pies de columnas, y su afectación llega hasta la zona confinada. Como se muestra a continuación.

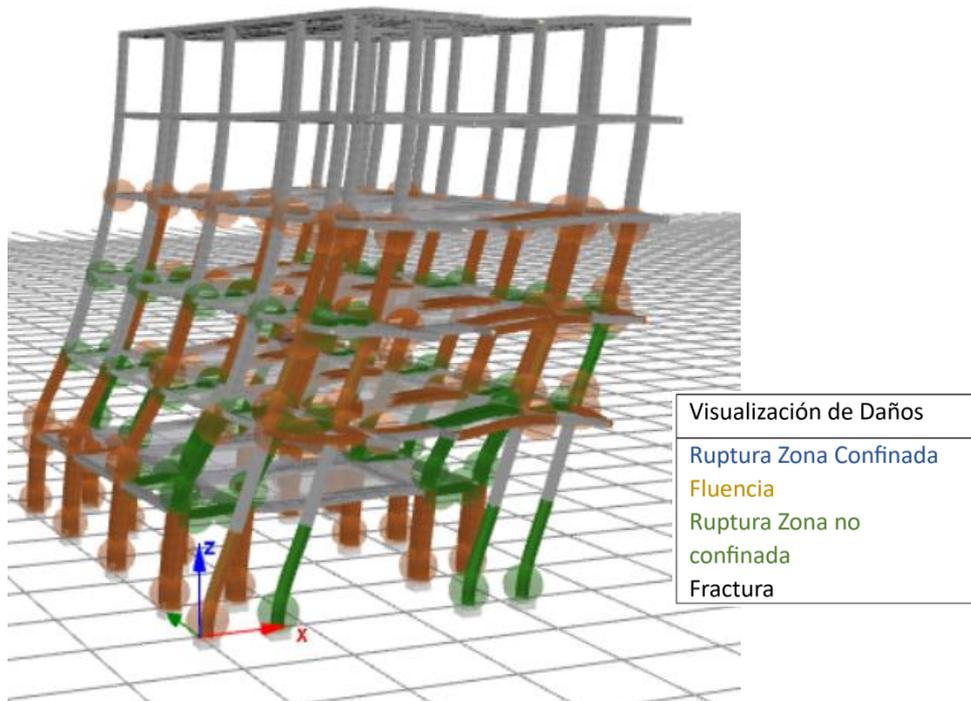
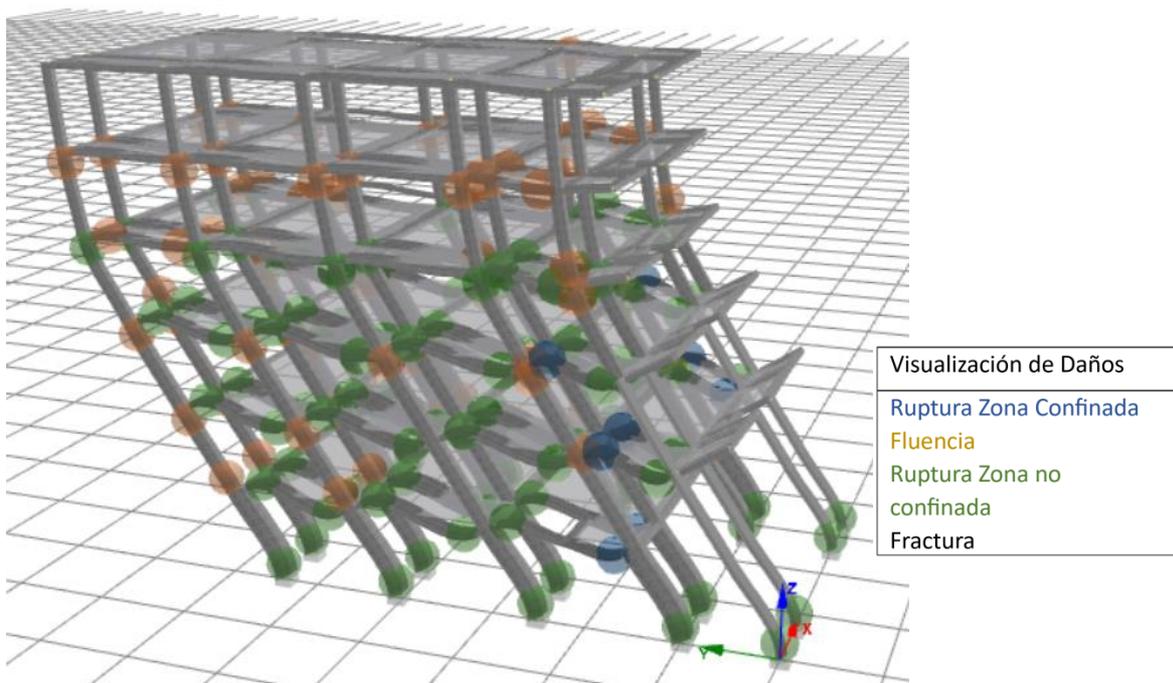
**Figura 58.**

*Deformada del Edificio 2 sentido "Y"*



### **Deformada Edificio 3**

En la Figura 59 y Figura 60 se puede visualizar la deformación del edificio 3, aplicada la fuerza horizontal en cada dirección, la clave de colores permite apreciar la formación de rótulas plásticas en vigas, cabeza y pies de columna. Además, se puede apreciar la concentración de daños en los primeros pisos y en las columnas esbeltas. En el sentido "Y" se puede visualizar afectaciones en la zona confinada de vigas.

**Figura 59.***Deformada sentido X Edificio 3***Figura 60.***Deformada sentido Y Edificio 3*

## Deformada Edificio 4

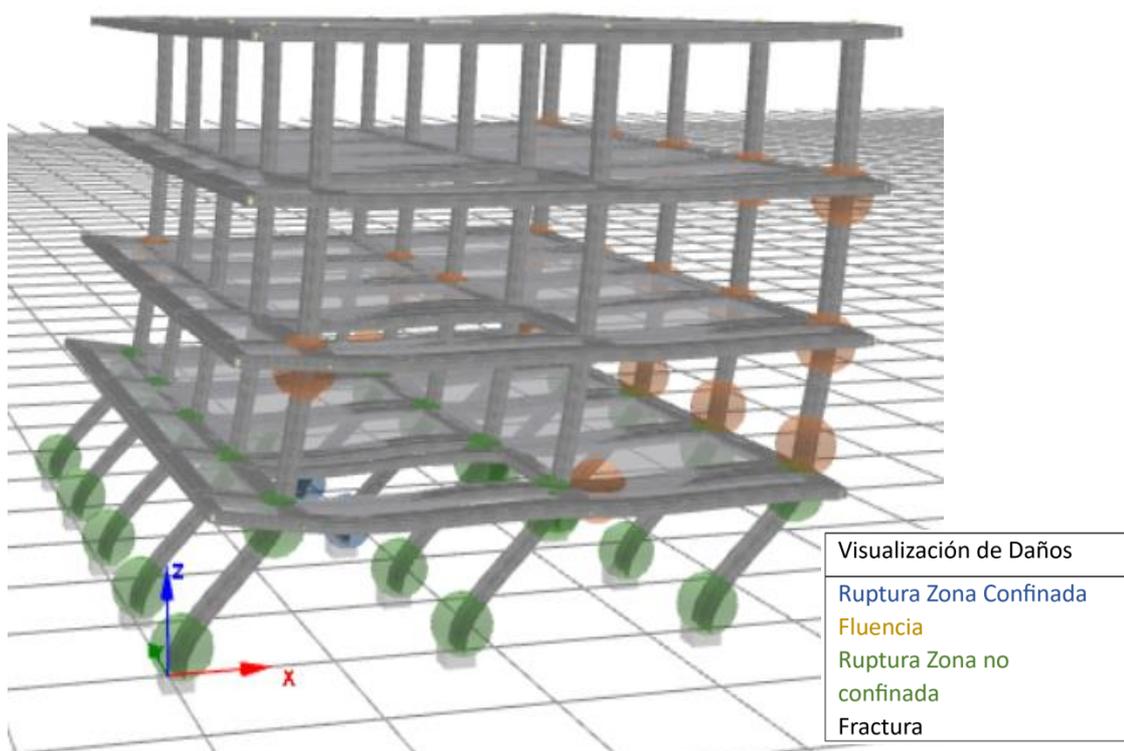
En la Figura 61 y

En la dirección “Y” de la misma manera se aprecia la formación de rótulas plásticas per se tiene una mayor afectación de columnas en planta baja, con la ruptura en la Zona confinada, evidenciando que la estructura es más flexible en esta dirección como se aprecia a continuación.

**Figura 62** se puede visualizar la deformación del edificio 4, aplicada fuerza horizontal para cada dirección, la clave de colores permite apreciar la formación de rótulas plásticas en vigas, cabeza y pies de columnas. Además, se puede apreciar ruptura en la zona no confinada en los elementos estructurales antes mencionados.

### **Figura 61.**

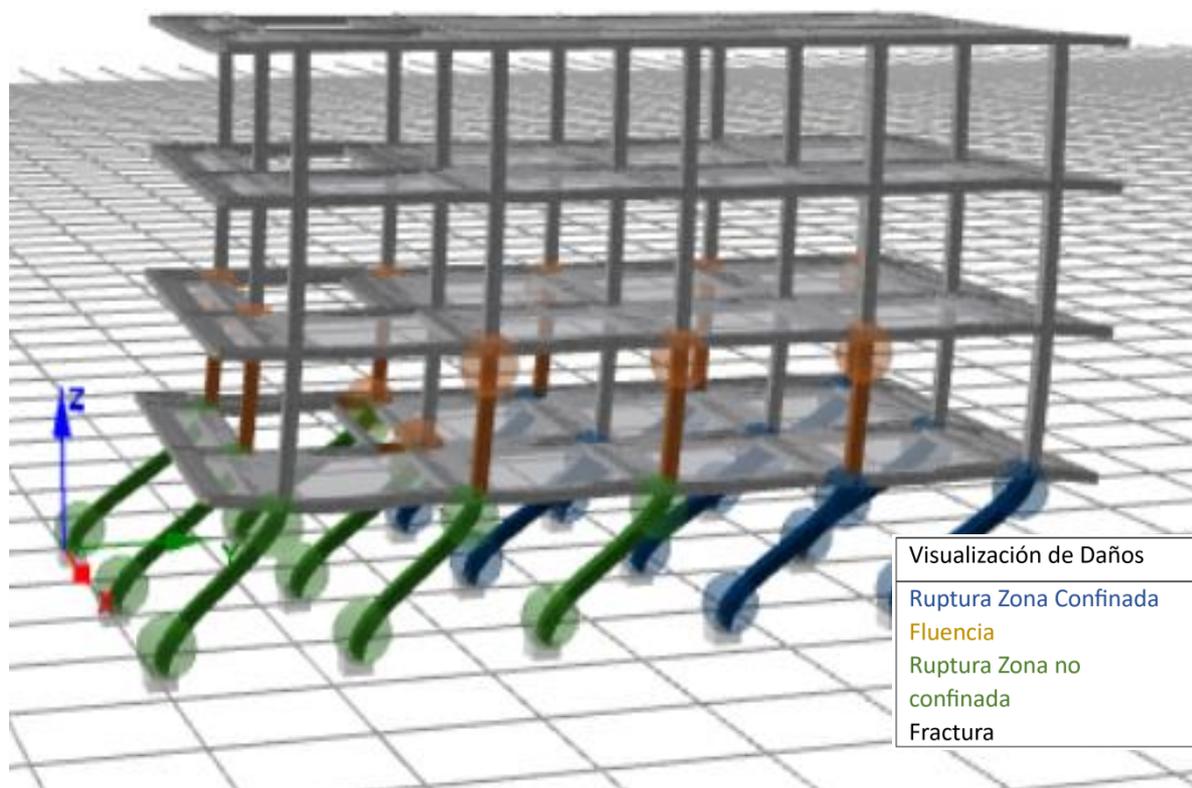
*Deformada sentido “X” Edificio 4*



En la dirección “Y” de la misma manera se aprecia la formación de rótulas plásticas per se tiene una mayor afectación de columnas en planta baja, con la ruptura en la Zona confinada, evidenciando que la estructura es más flexible en esta dirección como se aprecia a continuación.

**Figura 62.**

*Deformada sentido Y Edificio 4*



### Curvas de Capacidad

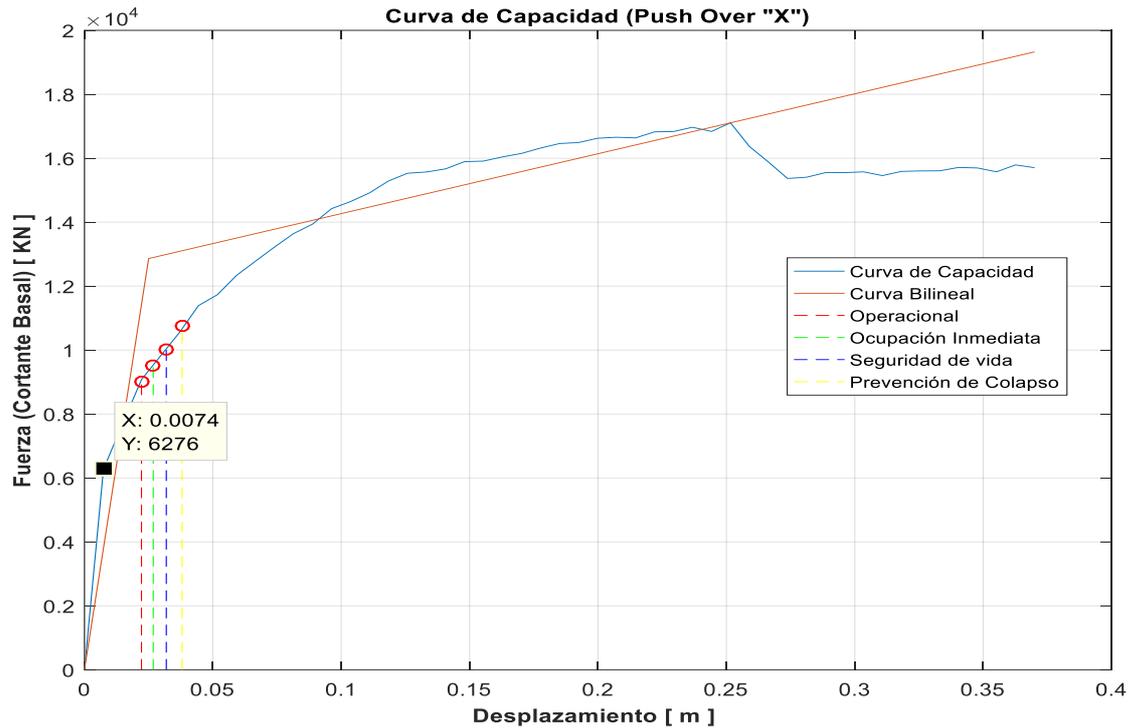
Para determinar el desempeño de las edificaciones posterior al análisis estructural se obtienen las curvas de capacidad de cada Edificación de la muestra de estudio, con el objeto de analizar los resultados, enfocado en los desplazamientos para posteriormente determinar las derivas globales, como parámetro de análisis y determinar el índice de Resiliencia.

A continuación, en la Figura 63 se muestra la curva de Capacidad, Fuerza vs.

Desplazamiento en el sentido "X" de la Edificio 1, ubicado en la ciudad de Bahía de Caráquez.

**Figura 63.**

*Curva de Capacidad Push Over en la dirección "X" Edificio 1*

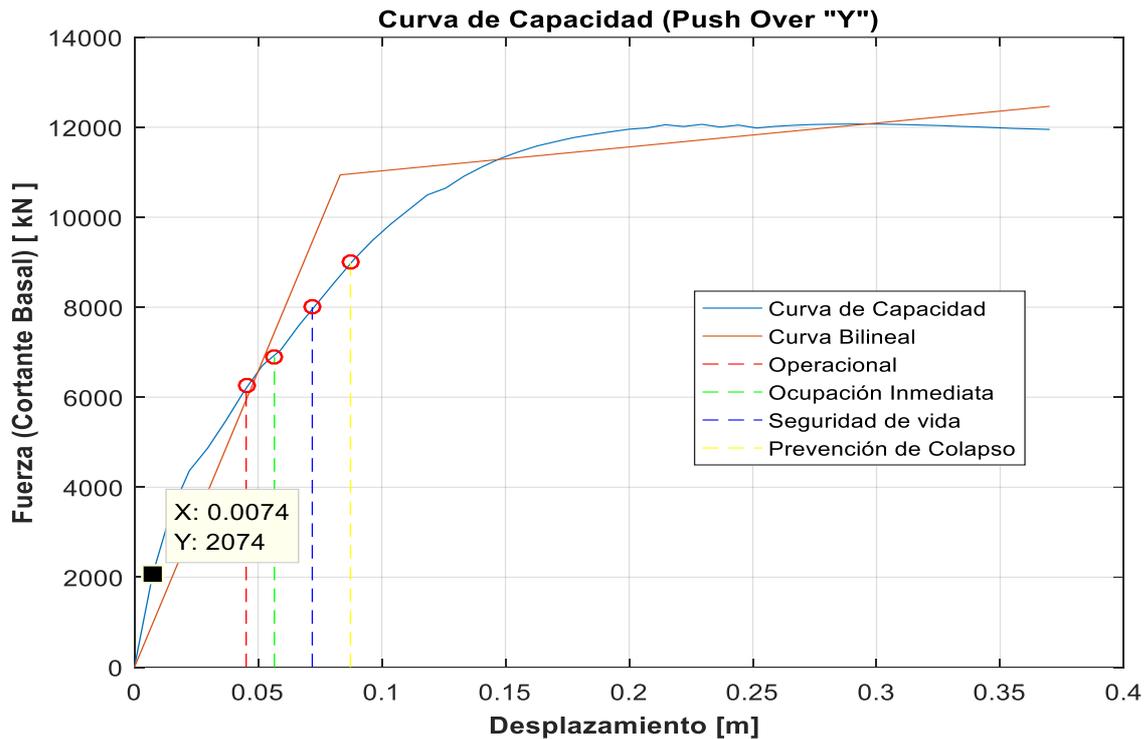


En la gráfica indica, que el edificio 1 tiene un comportamiento inelástico partir del desplazamiento 0.0074m, además, se puede visualizar que los niveles de desempeño están en el rango inelástico. En la curva bilineal se observa que los niveles de desempeño: Operacional y Ocupación Inmediata, están en los rangos elásticos y los niveles de desempeño Seguridad de Vida y Prevención de Colapso, están en el segundo tramo de la curva bilineal correspondiente al rango inelástico.

De la misma manera se presenta la curva de capacidad en el sentido "Y", detallado en la Figura 64.

**Figura 64.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "Y" Edificio 1

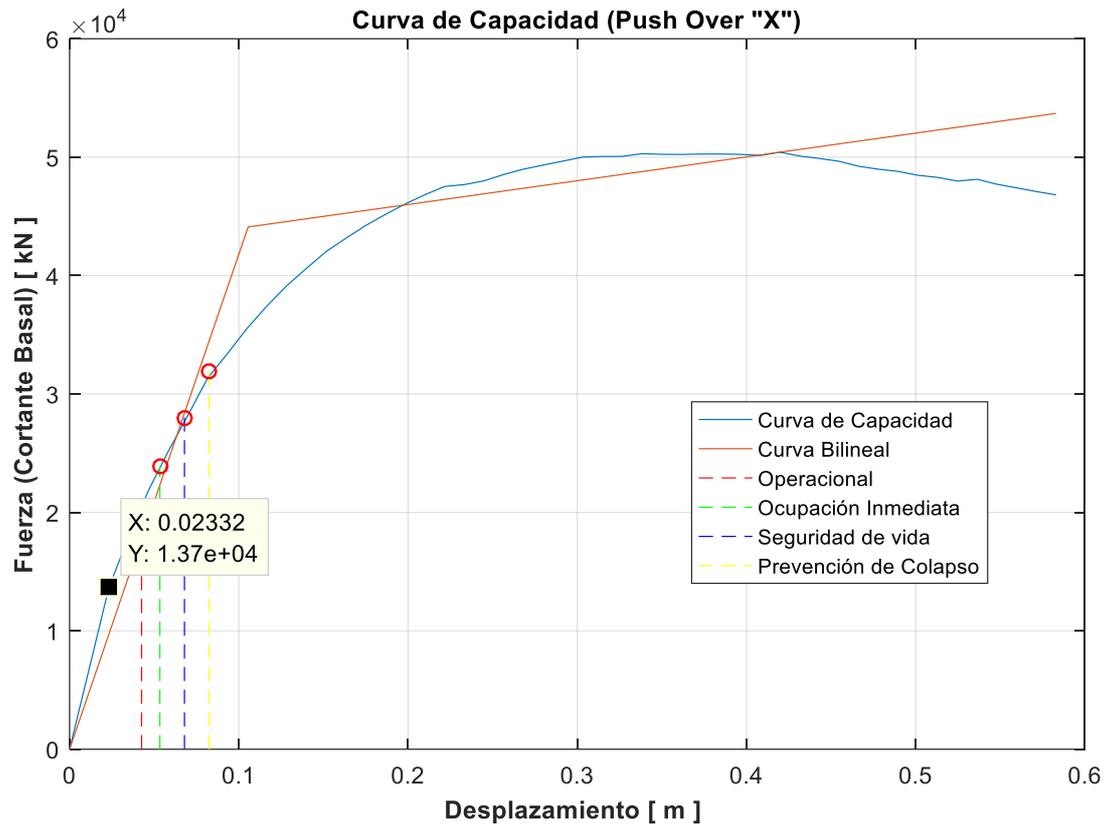


En la gráfica se observa, que la edificación tiene un comportamiento inelástico a partir de 0.0074 m y los niveles de desempeño se producen en el rango inelástico de la curva de capacidad. En la curva bilineal, en este caso los tres niveles de desempeño Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida están en el rango elástico y el nivel Prevención de Colapso están en la parte inelástica. Al comparar las dos curvas de capacidad, se aprecia que en la dirección "Y" tiene una mayor ductilidad por esta razón tiene mayores desplazamientos para cada nivel de desempeño.

En la Figura 65, se muestra la curva de Capacidad, Fuerza vs. Desplazamiento en el sentido "X" del Edificio 2 ubicado en la ciudad de Portoviejo.

**Figura 65.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "X" Edificio 2

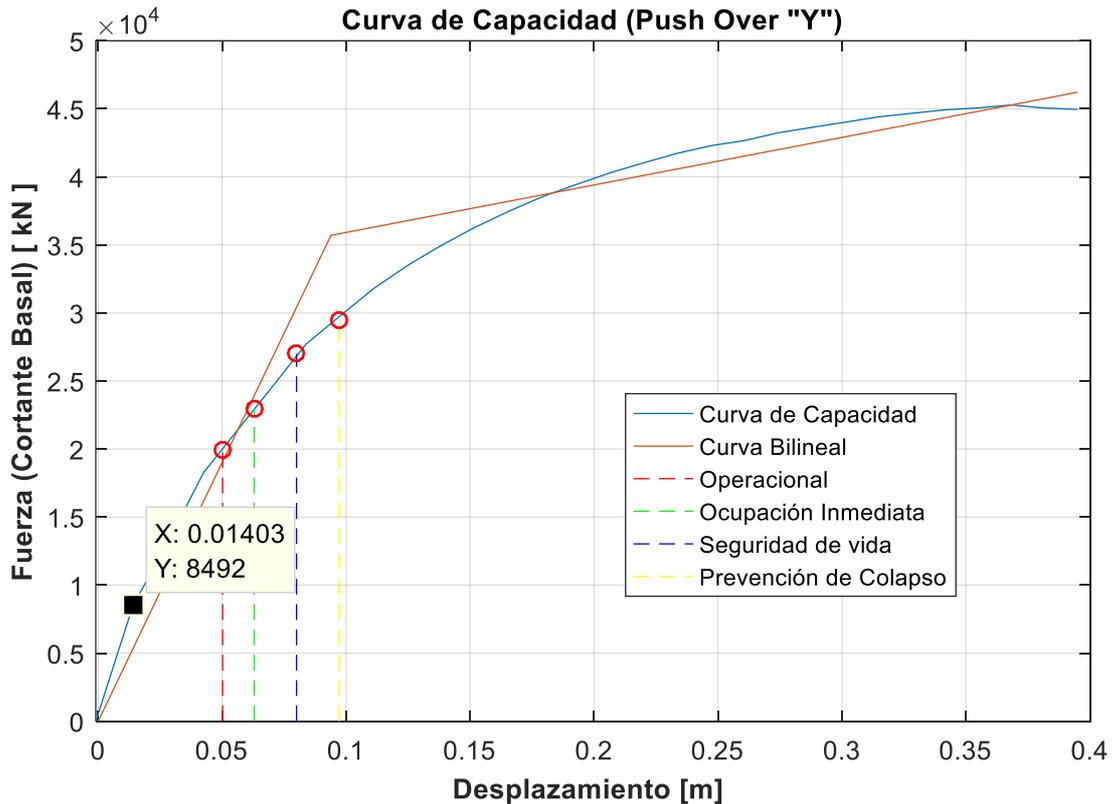


En la gráfica indica, que el edificio 2 tiene un comportamiento inelástico partir del desplazamiento 0.023 m, además, se puede visualizar que los niveles de desempeño están en el rango inelástico. En la curva bilineal se observa que los niveles de desempeño: Operacional y Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso, están en el primer tramo de la curva bilineal correspondiente al rango elástico.

De la misma manera se presenta la curva de capacidad en el sentido "Y", del Edificio 2 ubicado en la ciudad de Portoviejo, como se observa en la Figura 66.

**Figura 66.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "Y" Edificio 2

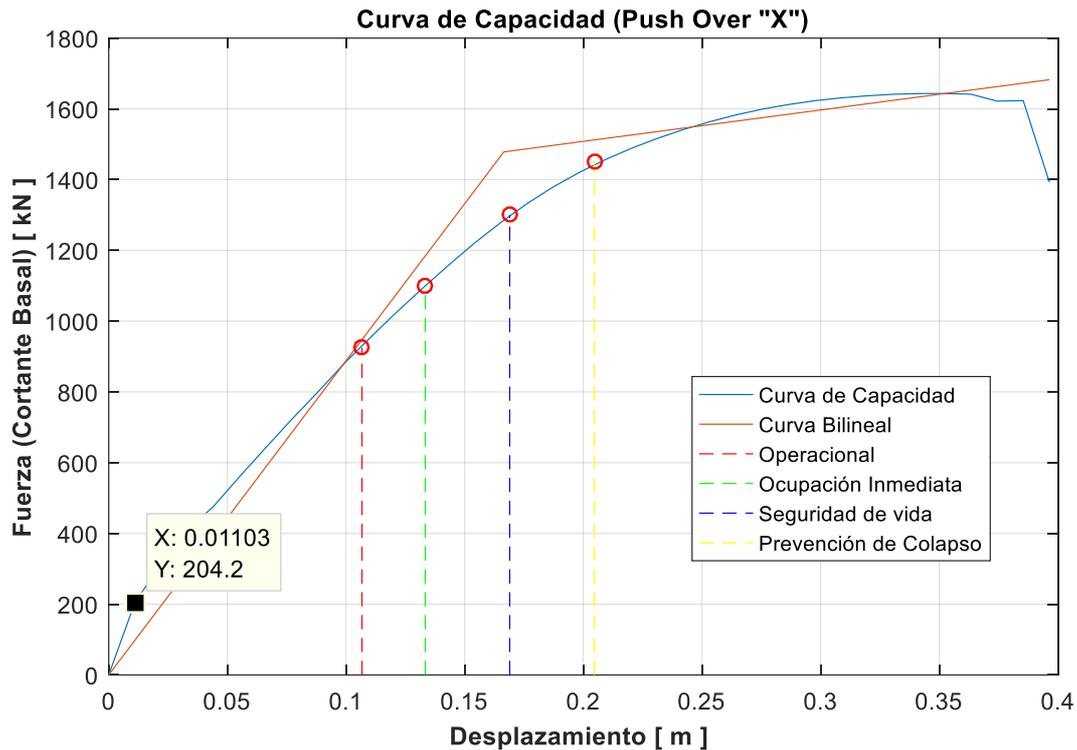


Se observa que la edificación tiene un comportamiento inelástico a partir de 0.014 m y los niveles de desempeños se producen en el rango inelástico de la curva. En la curva bilineal en este caso los tres niveles de desempeño Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida están en el rango elástico y el nivel Prevención de Colapso están en la parte inelástica. Al comparar las dos graficas se aprecia que en la dirección "Y" tiene una mayor ductilidad por esta razón tiene mayores desplazamientos para cada nivel de desempeño.

En la Figura 67 se muestra la curva de Capacidad, Fuerza vs. Desplazamiento en el sentido "X". del Edificio 3 ubicado en la ciudad de Portoviejo

**Figura 67.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "X" Edificio 3

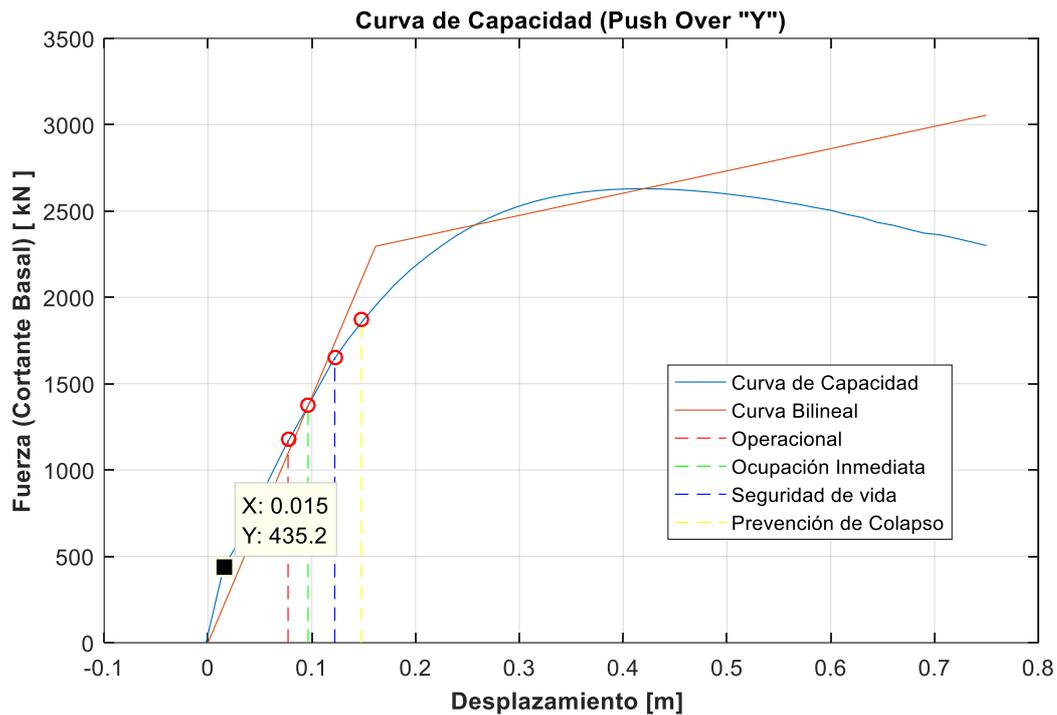


Se observa que el edificio tiene un comportamiento inelástico a partir del desplazamiento 0.011m, además, se puede visualizar que los niveles de desempeño están en el rango inelástico. En la curva bilineal se observa que los niveles de desempeño Operacional y Ocupación Inmediata, están en los rangos elásticos y los niveles de desempeño Seguridad de Vida y Prevención de Colapso, están en el segundo tramo de la curva bilineal correspondiente al rango inelástico.

De la misma manera se presenta la curva de capacidad en el sentido "Y", como se muestra en la Figura 68 del Edificio 3 ubicado en la ciudad de Portoviejo.

**Figura 68.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "Y" Edificio 3

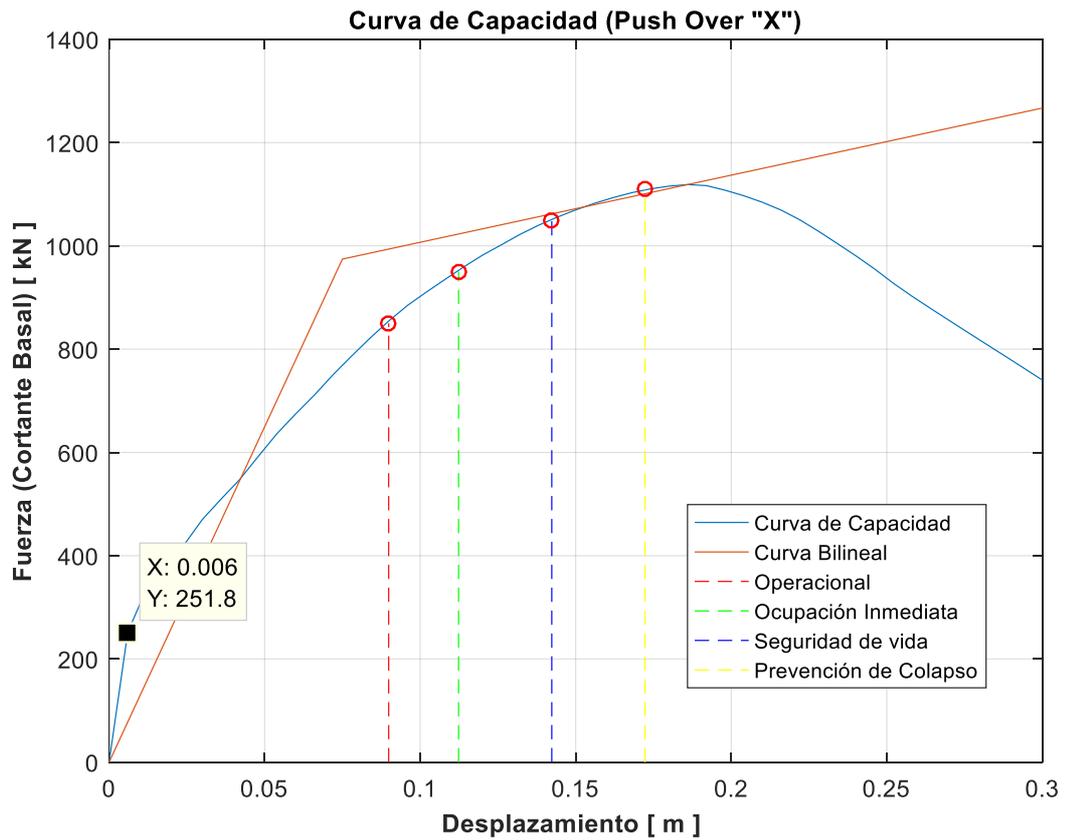


Se observa que la edificación tiene un comportamiento inelástico a partir de 0.015 m y los niveles de desempeños se producen en el rango inelástico de la curva. En la curva bilineal en este caso los cuatro niveles de desempeño Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida, Prevención de Colapso están en el rango elástico. Al comparar las dos graficas se aprecia que en la dirección "X" tiene una mayor ductilidad por esta razón tiene mayores desplazamientos para cada nivel de desempeño.

Finalmente, en la Figura 69, se presenta la curva de capacidad en sentido "X", del Edificio 4 ubicado en la ciudad de Portoviejo

**Figura 69.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "X" Edificio 4

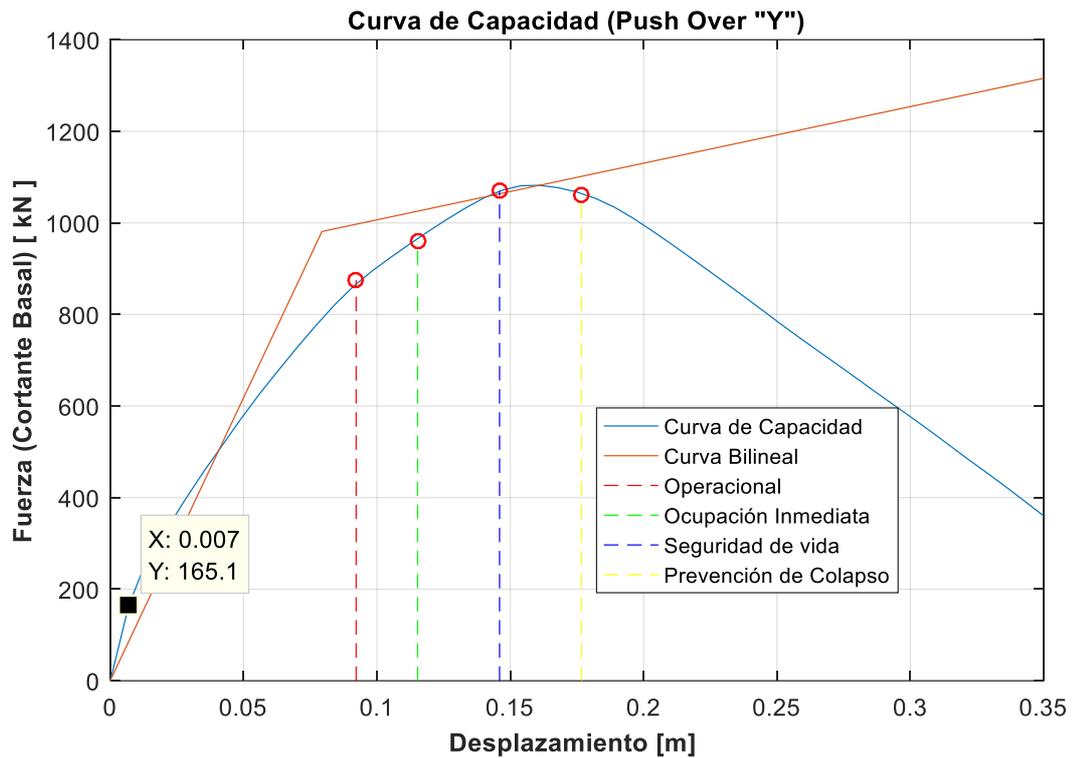


Se observa que el edificio tiene un comportamiento inelástico a partir del desplazamiento 0.006m, además, se puede visualizar que los niveles de desempeño están en el rango inelástico. En la curva bilineal se observa que los 4 niveles de desempeño: Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida y Prevención de Colapso, están en el segundo tramo de la curva bilineal correspondiente al rango inelástico.

De la misma manera se presenta la curva de capacidad en el sentido "Y", como se muestra en la Figura 70.

**Figura 70.**

Curva de Capacidad Push Over en la dirección "Y" Edificio 4



Se observa que la edificación tiene un comportamiento inelástico a partir de 0.007 m y los niveles de desempeños se producen en el rango inelástico de la curva. En la curva bilineal en este caso los cuatro niveles de desempeño Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad de Vida están en el rango elástico y el nivel Prevención de Colapso están en la parte inelástica. Al comparar las dos graficas se aprecia que la estructura tiene una gran ductilidad por esta razón tiene mayores desplazamientos para cada nivel de desempeño.

### Derivas Globales

Con los desplazamientos para cada nivel de desempeño se obtienen sus correspondientes derivas globales de cada Edificio.

Los valores de desplazamiento de los niveles de desempeño ocupación inmediata para un sismo del 20% de excedencia en 50 años, serán los utilizado para calcular las derivas globales debido que, este es el desempeño que debe tener una edificación, en este

caso de categoría III, para minimizar los daños y su recuperación funcional sea inmediata, siendo así una estructura resiliente. A continuación, en la Tabla 15,

**Tabla 16,**

**Tabla 17,** Tabla 18, se muestra las derivas globales de los 4 edificios, en las 2 direcciones para cada nivel de desempeño calculadas.

**Tabla 15.**

*Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 1*

<b>DERIVAS GLOBALES</b>		
<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Dirección "X" (%)</b>	<b>Dirección "Y" (%)</b>
Operacional (1-A)	0.04	0.16
Ocupación Inmediata (1-B)	0.05	0.20
Seguridad de Vida (3-C)	0.07	0.26
Prevención de colapso (5-D)	0.08	0.31

**Tabla 16.**

*Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 2*

<b>DERIVAS GLOBALES</b>		
<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Dirección "X" (%)</b>	<b>Dirección "Y" (%)</b>
Operacional (1-A)	0.150	0.180
Ocupación Inmediata (1-B)	0.180	0.230
Seguridad de Vida (3-C)	0.230	0.290
Prevención de colapso (5-D)	0.280	0.350

**Tabla 17.***Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 3*

<b>DERIVAS GLOBALES</b>		
<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Dirección "X" (%)</b>	<b>Dirección "Y" (%)</b>
Operacional (1-A)	0.370	0.280
Ocupación Inmediata (1-B)	0.460	0.350
Seguridad de Vida (3-C)	0.580	0.440
Prevención de colapso (5-D)	0.700	0.530

**Tabla 18.***Derivas Globales para el análisis Estático No Lineal (Push Over) Edificio 4*

<b>DERIVAS GLOBALES</b>		
<b>Nivel de Desempeño</b>	<b>Dirección "X" (%)</b>	<b>Dirección "Y" (%)</b>
Operacional (1-A)	0.040	0.160
Ocupación Inmediata (1-B)	0.050	0.200
Seguridad de Vida (3-C)	0.070	0.260
Prevención de colapso (5-D)	0.080	0.310

Con esta información de derivas globales se realizará la evaluación para la estimación de daño y posterior ponderación para el índice de resiliencia de la edificación.

### **Análisis No Lineal Dinámico (Time History Analysis).**

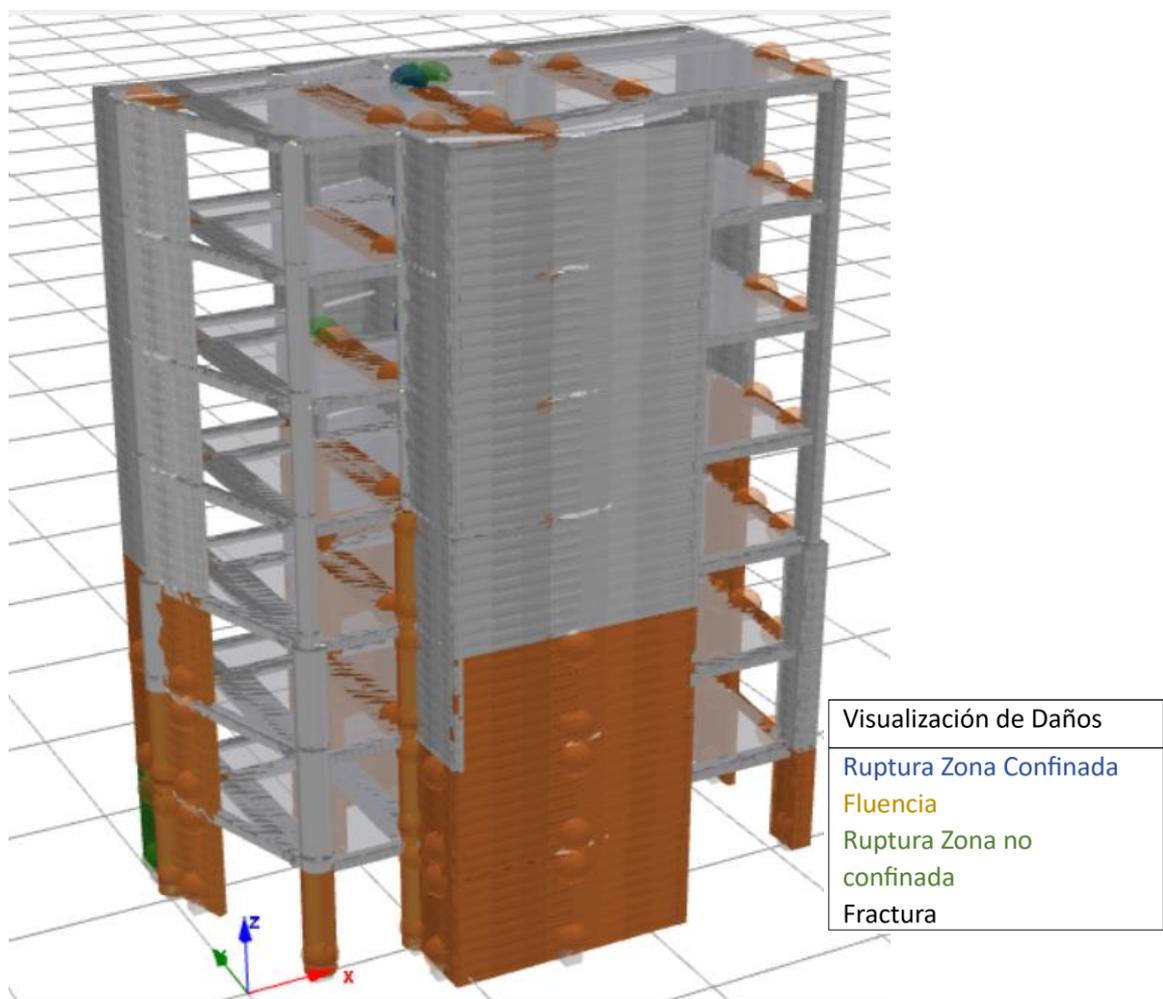
Posterior al Análisis No Lineal Dinámico con los 11 pares de sismos, para cada edificio se obtuvieron los valores de desplazamiento máximo en el último piso. A continuación, se presentan las deformadas, desplazamientos, derivas globales y derivas residuales.

### Deformada.

En la Figura 71, se presenta la deformada de la edificación 1 posterior al análisis tiempo historia con de sismo de Imperial Valley-06/El Centro Array #6 el cual produjo los mayores desplazamientos en el último piso.

### Figura 71.

*Deformada y visualización de daños del Edificio 1*



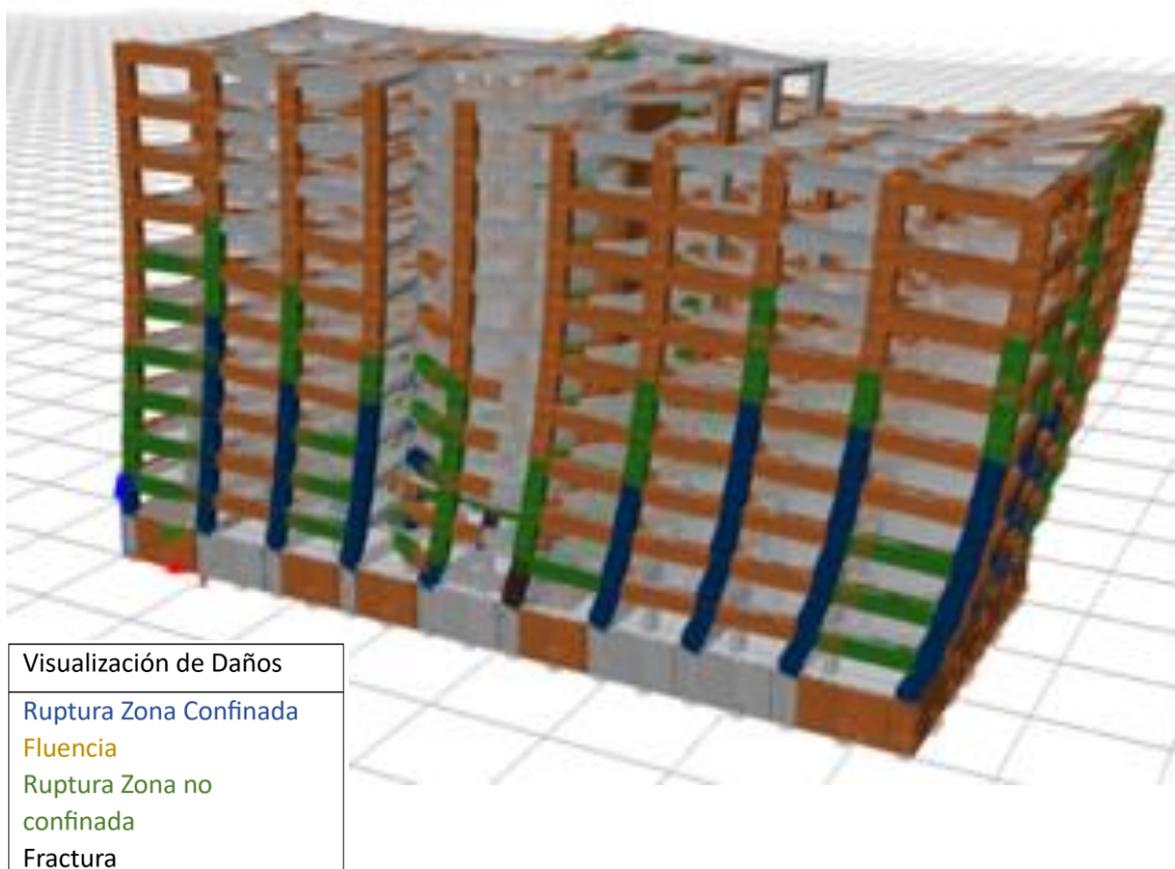
Se observa la formación de rótulas plásticas en vigas, muros en la planta baja y la fluencia de los elementos verticales como columnas y muros.

En la

Figura 72 se presenta la deformada del edificio 2 posterior al análisis tiempo historia con el sismo de Kobe, Japan/Fukushima el cual produjo los mayores desplazamientos en el último piso.

**Figura 72.**

*Deformada y visualización de daños del Edificio 2*

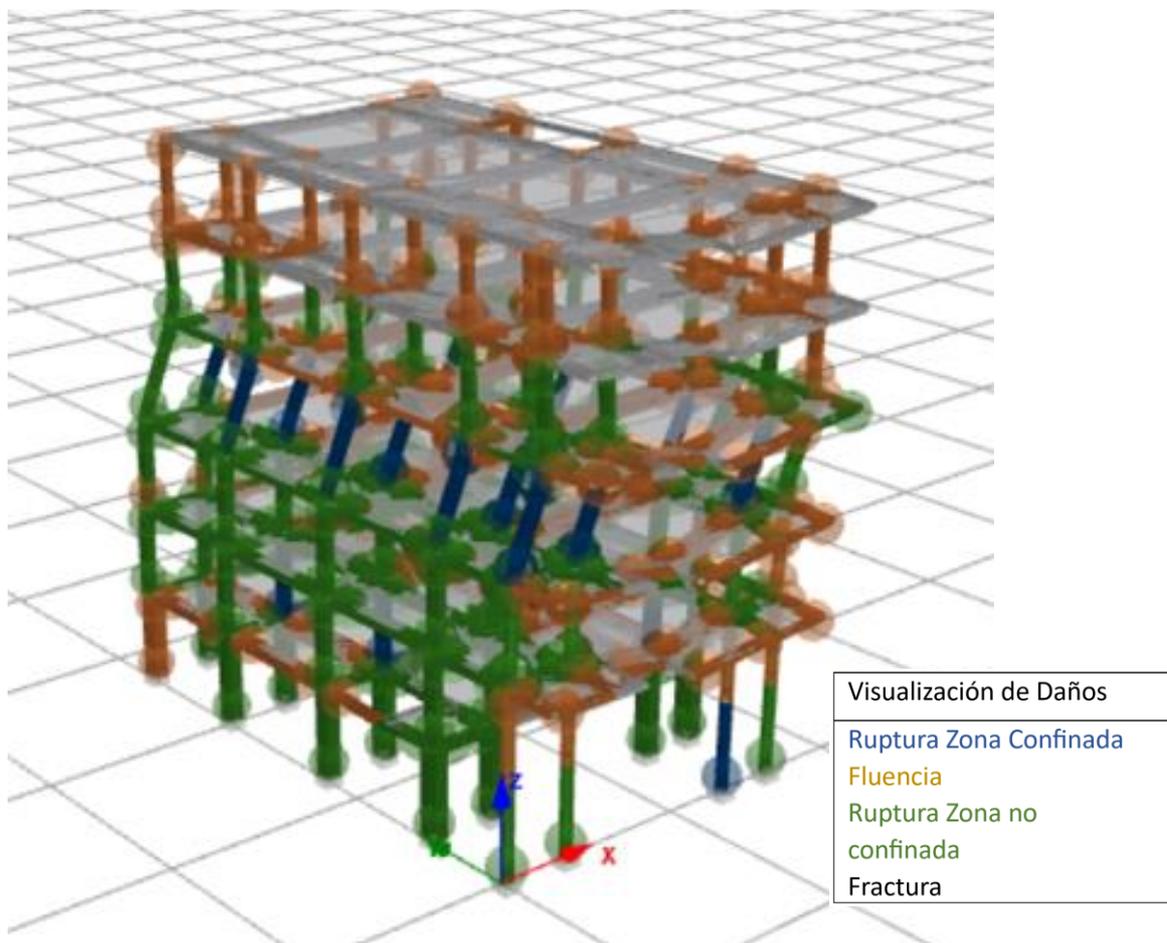


Se observa la formación de rótulas plásticas en vigas, columnas que llegan a la fluencia, ruptura en la zona no confina de las mismas y la ruptura en la zona confinada en elementos verticales que puede ocasionar el colapso de la edificación en los primeros pisos altos.

En la **Figura 73** se presenta la deformada del edificio 3 posterior al análisis tiempo historia con de sismo de Kobe, Japan/Takatori el cual produjo los mayores desplazamientos en el último piso.

**Figura 73.**

*Deformada y visualización de daños del Edificio 3*

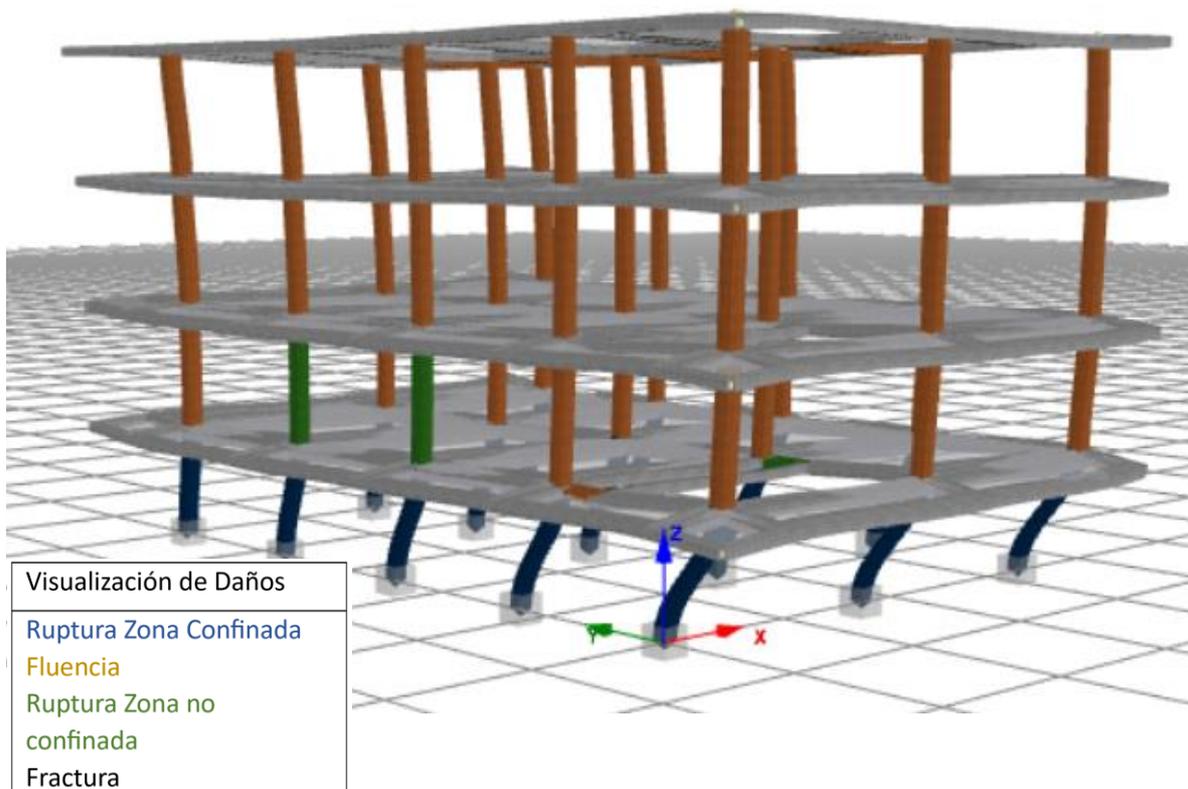


Se observa la formación de rótulas plásticas en vigas y columnas de planta baja y la ruptura en la zona confinada en las columnas de los pisos intermedios, por lo que produce el colapso de la edificación.

En la Figura 74 se presenta la deformada del Edificio 4, posterior al análisis tiempo historia con el sismo de Kobe, Japan/Fukushima el cual produjo los mayores desplazamientos en el último piso.

**Figura 74.**

*Deformada y visualización de daños del Edificio 4*



Se observa en la escala de colores existe una ruptura total en la zona confinada de las columnas en planta baja por lo que el colapso de la edificación es inminente.

### **Desplazamientos Máximos en el Último Piso.**

De la misma manera se obtuvieron los valores de los desplazamientos máximos en los últimos pisos de cada análisis tiempo historia para cada una de las edificaciones de la muestra de estudio.

En la Tabla 19 se muestra los valores de desplazamientos máximos del edificio 1

**Tabla 19.**

Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 1

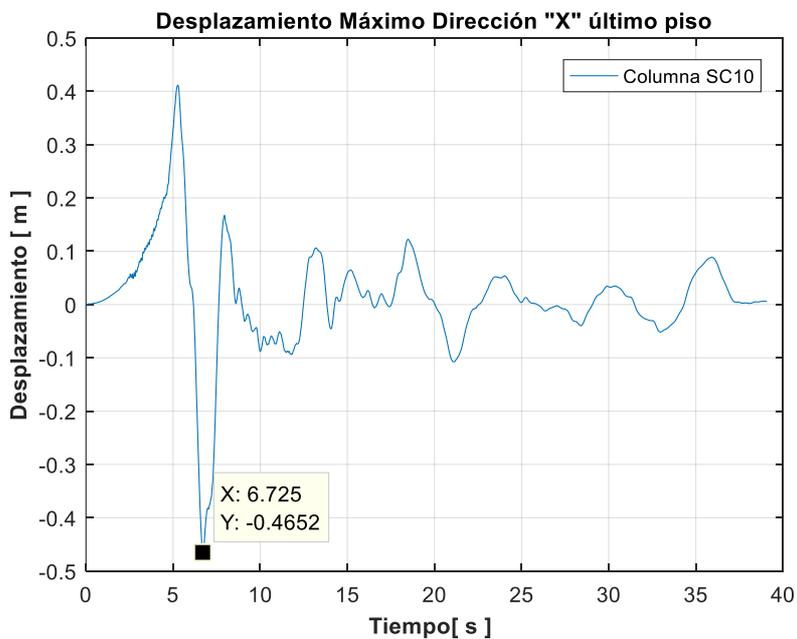
TH	DESP. MAX "X" (m)	DESP. MAX "Y" (m)
1	0.30556913	0.87216797
2	0.24759176	0.41544602
3	0.38484916	1.17586
4	0.38773419	0.7481252
5	0.21595708	0.32601784
6	0.24521987	0.50352565
7	0.36524307	0.69352081
8	0.28177502	0.43271228
9	0.46208384	0.33361088
<b>10</b>	<b>0.46519361</b>	<b>1.25349000</b>
11	0.17829129	0.39206583
<b>Despla. Max</b>	<b>0.46519361</b>	<b>1.25349</b>

Se observa que los desplazamientos con el sismo de Kobe llegan a 1.25 metros en la dirección "Y" esto quiere decir que la edificación es flexible en el sentido Y.

En la Figura 75 y Figura 76 muestra los valores de desplazamiento máximo tabulados en los que se puede observar el desplazamiento en función del tiempo.

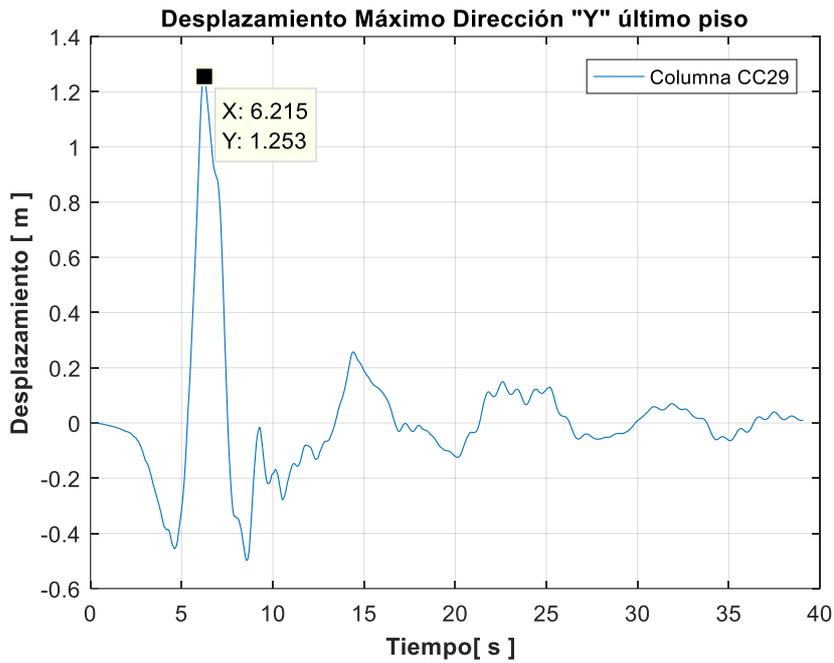
**Figura 75.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "X" Edificio 1



**Figura 76.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "Y" Edificio 1



En la **Tabla 20** se puede observar los desplazamientos máximos del edificio 2 en el último piso, para los 11 pares de sismos

**Tabla 20.**

Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 2

THA	DESP. MAX "X" (m)	DESP. MAX "Y" (m)
1	0.4369	0.8895
2	0.3808	0.3560
3	0.5153	1.3947
4	0.0127	0.0180
5	0.2727	0.4007
6	0.3419	0.6636
7	0.4311	0.7426
8	0.3339	0.5663
9	0.5764	0.3904
<b>10</b>	<b>0.6079</b>	<b>1.4886</b>
11	0.1817	0.4019
<b>Despla. Max</b>	<b>0.6079</b>	<b>1.4886</b>

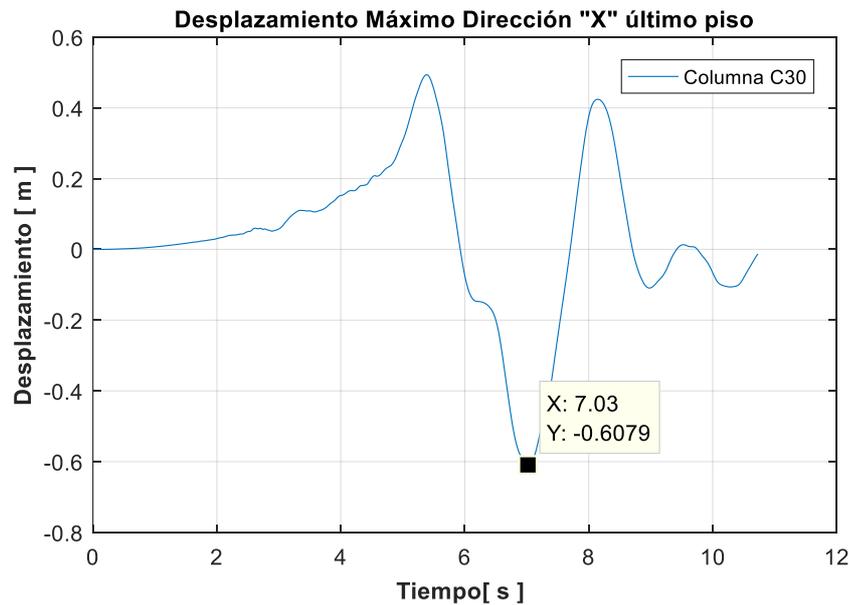
De igual manera se observa que los máximos desplazamientos son en la dirección

“Y” esto quiere decir que la edificación es flexible en este sentido.

En la Figura 77 y Figura 78 se muestra los valores de desplazamiento máximo tabulados, en los que se observar el desplazamiento en función del tiempo.

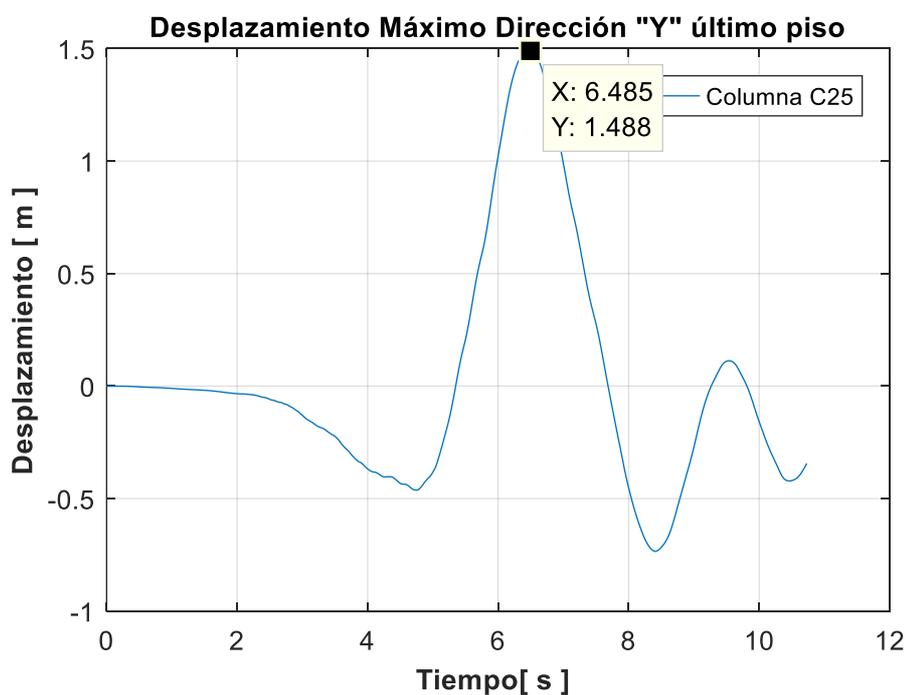
**Figura 77.**

*Desplazamiento último piso, en la dirección “X” Edificio 2*



**Figura 78.**

*Desplazamiento último piso, en la dirección “Y” Edificio 2*



Se puede observar en la Tabla 21 los desplazamientos máximos en el último piso

para los 11 pares de sismos posterior al Análisis tiempo Historia.

**Tabla 21.**

*Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 3*

<b>TH</b>	<b>DESP. MAX X(m)</b>	<b>DESP. MAX Y(m)</b>
1	0.575	0.360
2	2.517	0.781
3	1.012	0.409
4	0.790	1.037
5	2.884	0.496
6	3.138	0.514
7	0.961	0.794
8	0.628	0.799
9	0.894	1.246
10	0.430	0.606
11	0.619	0.549
<b>Despla. Max</b>	<b>3.138</b>	<b>1.246</b>

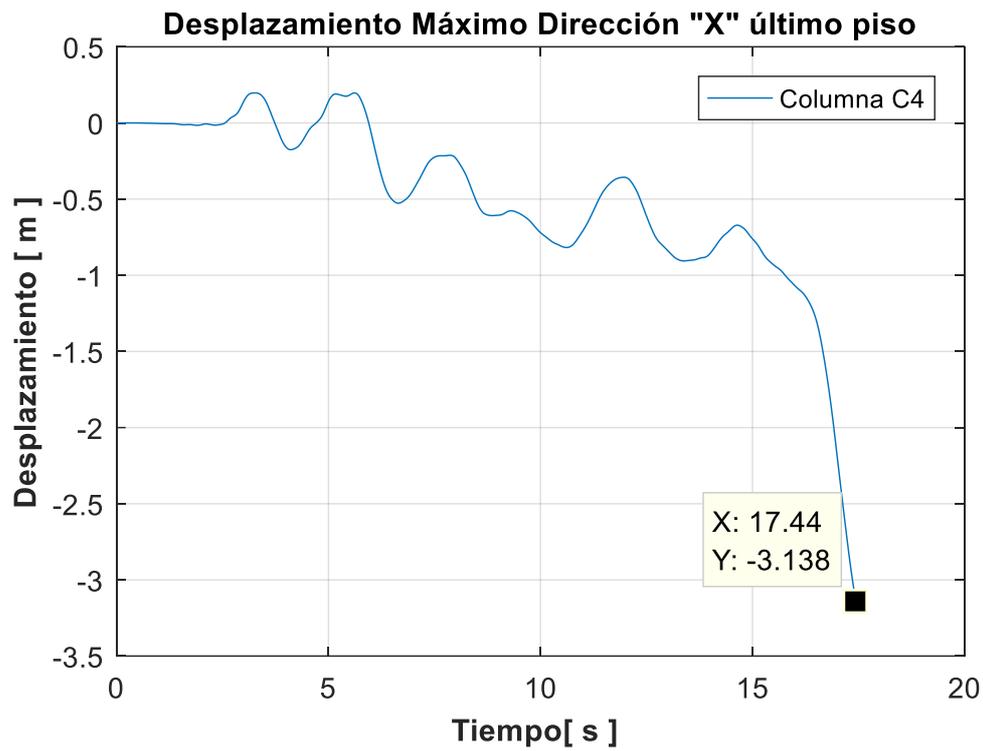
Se puede observar, que existe desplazamientos excesivos lo que evidencia que la estructura ha colapsado en las deformada se evidencia el colapso de la edificación por la ruptura y falla de las columnas en Planta Baja.

En la

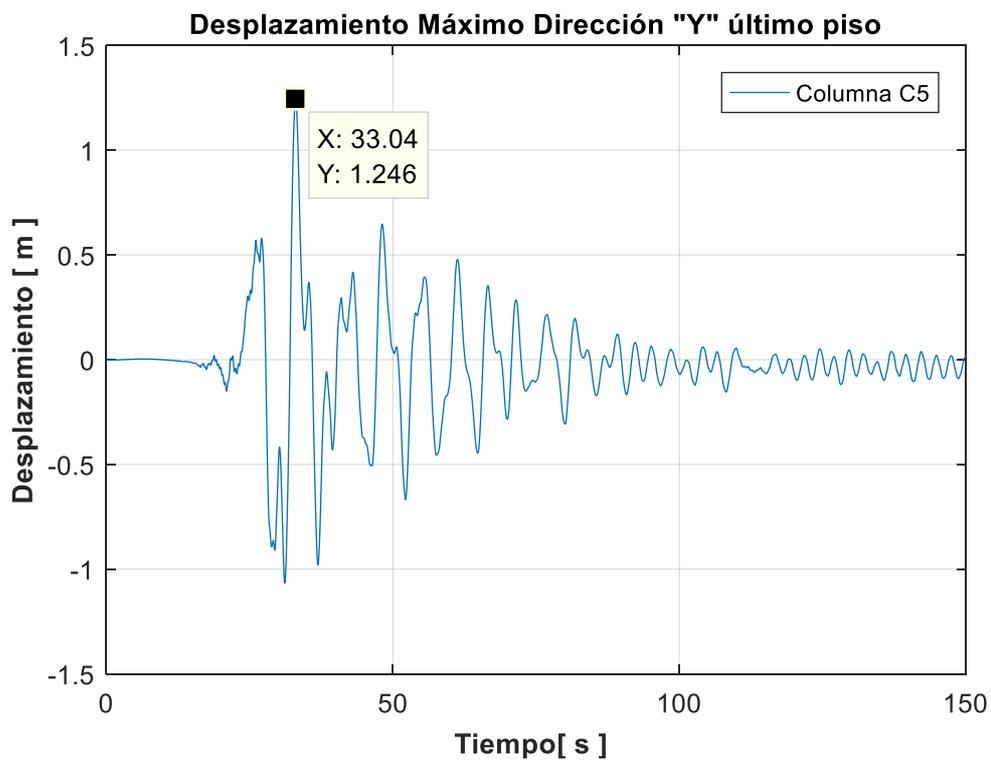
Figura 79 y Figura 80 se muestra la respuesta del edificio en el transcurso del tiempo.

**Figura 79.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "X" Edificio 3

**Figura 80.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "X" Edificio 3



Se aprecia que en la dirección "X" la edificación llega al colapso con deformaciones excesivas sin tener un movimiento oscilatorio.

En la dirección "Y" tiene un comportamiento común ante la excitación sísmica sin embargo se tiene desplazamientos mayores a 1 m por lo que también la estructura en ese sentido es flexible y llegaría al colapso.

En la Tabla 22 se muestra los desplazamientos máximos en el último piso para cada análisis tiempo historia.

**Tabla 22.**

*Desplazamientos máximos de cada THA Edificio 4*

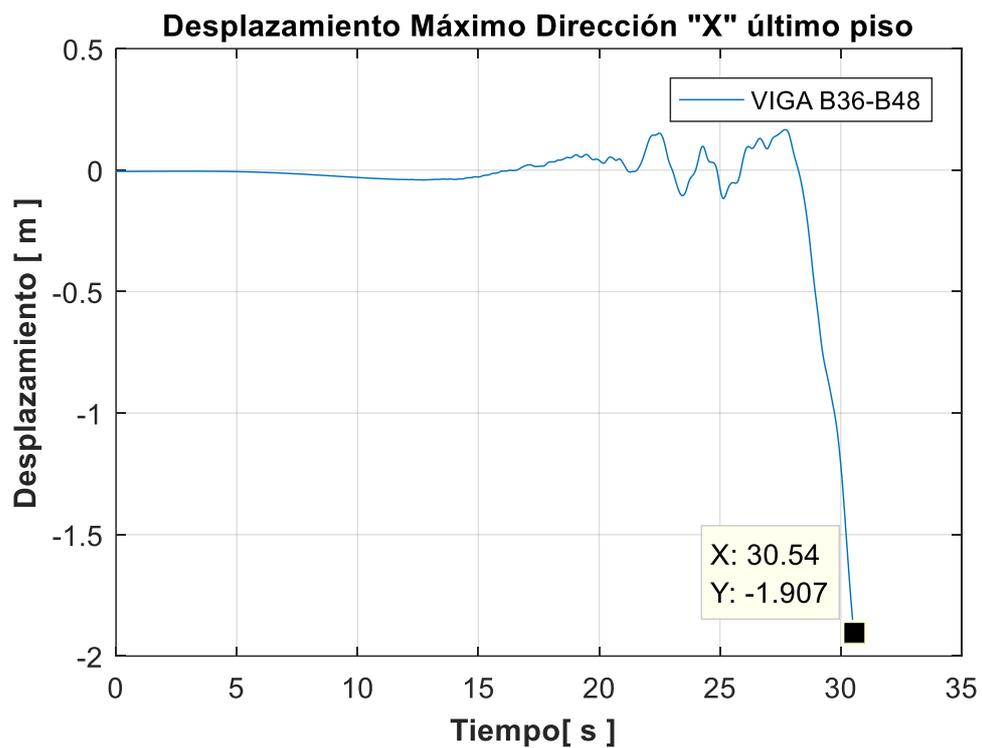
TH	DESP. MAX X(m)	DESP. MAX Y (m)
1	1.486	0.251
2	1.051	1.341
3	0.666	0.350
4	1.120	0.920
5	0.360	0.343
6	1.795	0.504
7	1.303	0.423
8	0.259	1.112
<b>9</b>	<b>1.907</b>	<b>1.951</b>
10	0.820	1.933
11	1.263	1.480
<b>Despla. Max</b>	<b>1.907</b>	<b>1.951</b>

De la misma manera los desplazamientos es esta edificación son excesivos por lo que evidencia su eminente colapso. En la mayoría de los desplazamientos están sobre un metro y cercano a un metro, evidenciando su vulnerabilidad a los efectos sísmicos.

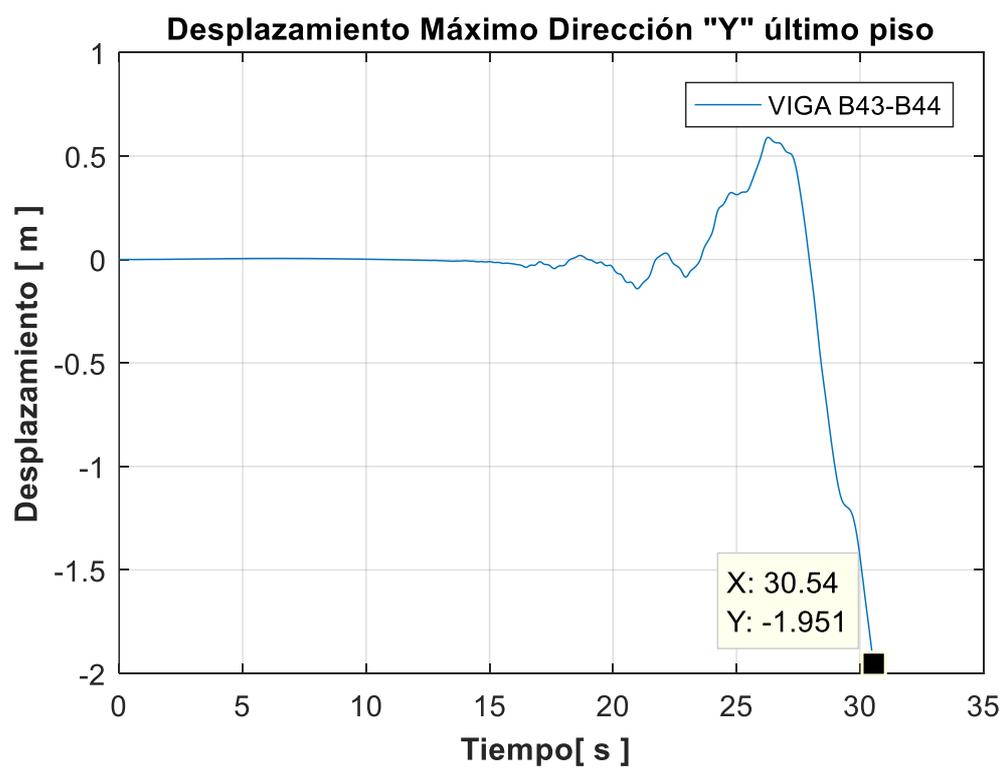
En la Figura 81 y Figura 82 se muestra la respuesta de las edificaciones ante el sismo que produjo las mayores deformaciones.

**Figura 81.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "X" Edificio 4

**Figura 82.**

Desplazamiento último piso, en la dirección "Y" Edificio 4



### Cálculo de Derivas Globales Y Residuales.

Una vez determinado los desplazamientos máximos en cada dirección, se procedió a calcular las derivas globales, posteriormente se obtuvo las derivas residuales con los valores de desplazamiento residual al final de cada registro sísmico.

En la Tabla 23 se indica los valores de las derivas tanto globales como residuales para el edificio 1 en la dirección "X", como en la dirección "Y", con sus respectivos valores máximos y promedios.

**Tabla 23.**

*Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 1*

TH	DGX %	DGY %	DRX %	DRY %
1	1.100	3.130	0.180	0.000
2	0.890	1.490	0.000	0.000
3	1.380	4.220	0.000	0.060
4	1.390	2.690	0.000	0.010
5	0.780	1.170	0.040	0.060
6	0.880	1.810	0.070	0.010
7	1.310	2.490	0.000	0.000
8	1.010	1.550	0.360	0.230
9	1.660	1.200	0.000	0.000
10	1.670	4.500	0.000	0.000
11	0.640	1.410	0.070	0.010
<b>D max</b>	<b>1.670</b>	<b>4.500</b>	<b>0.360</b>	<b>0.230</b>
<b>D promedio</b>	<b>1.155</b>	<b>2.333</b>	<b>0.070</b>	<b>0.051</b>

En Figura 83 y Figura 84 se muestra el gráfico de las derivas máximas globales y derivas residuales calculadas correspondiente a cada análisis tiempo historia y el valor promedio que se utilizará para la estimación de daño.

Figura 83.

Derivas Globales Edificio 1

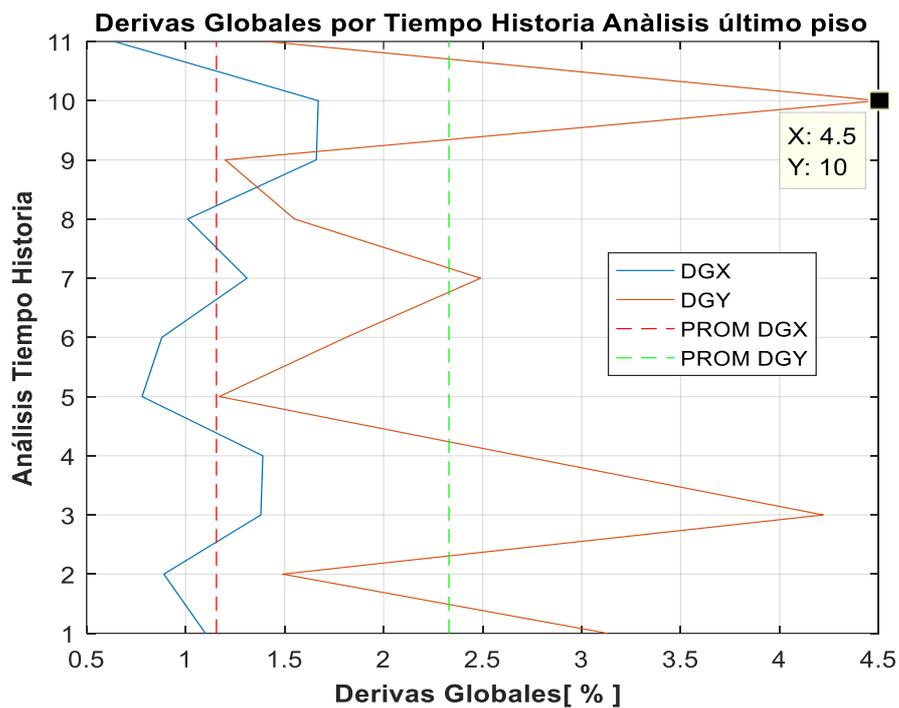
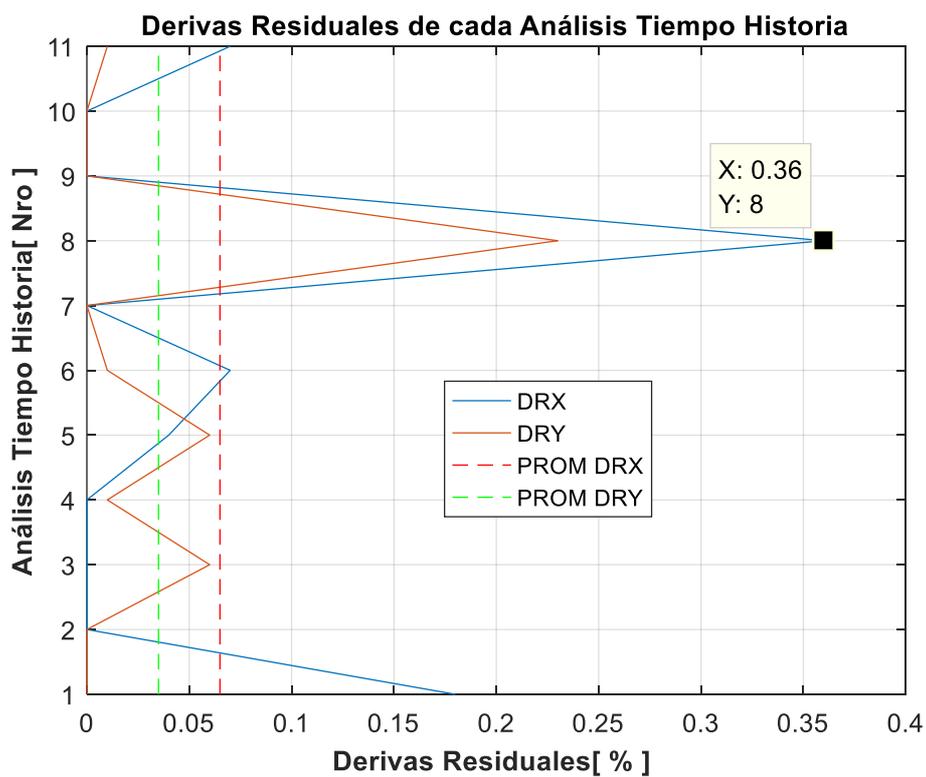


Figura 84.

Derivas Residuales Edificio 1



Para la evaluación con los límites de derivas con varios sismos lo recomendado es realizar el promedio de derivas que también se indica en las figuras anteriores.

En la Tabla 24 se indica los valores de las derivas tanto globales como residuales en la dirección "X", como en la dirección "Y", para el edificio 2. Con sus respectivos valores máximos y promedios.

**Tabla 24.**

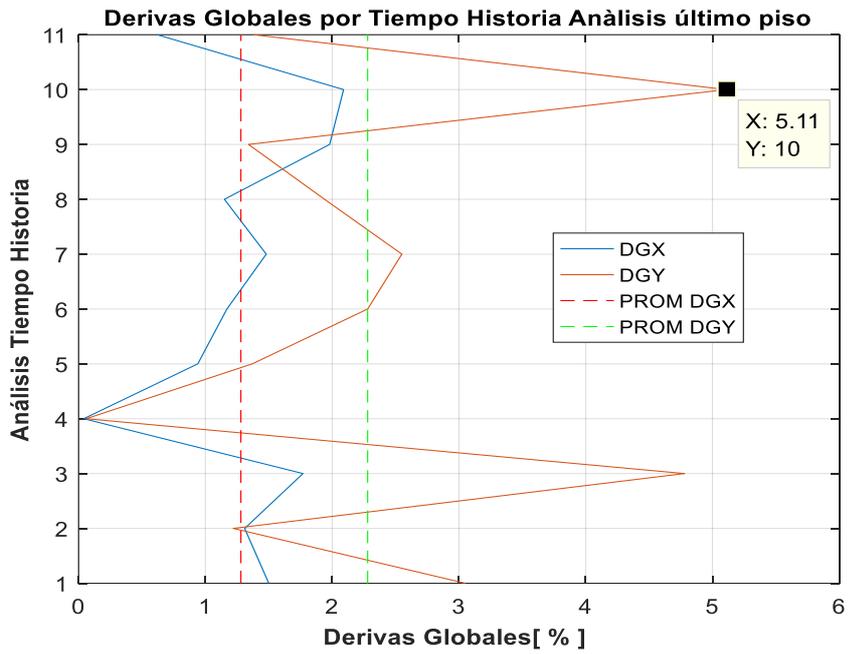
*Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 2*

TH	DG X %	DGY %	DRX %	DRY %
1	1.5	3.05	0.652	3.038
2	1.31	1.22	0.076	0.074
3	1.77	4.78	0.057	0.139
4	0.04	0.06	0.003	0.041
5	0.94	1.37	0.087	0.007
6	1.17	2.28	0.033	0.079
7	1.48	2.55	1.479	2.548
8	1.15	1.94	0.022	0.027
9	1.98	1.34	0.014	0.014
10	2.09	5.11	0.044	1.179
11	0.62	1.38	0	0.13
<b>D max</b>	<b>2.090</b>	<b>5.110</b>	<b>1.479</b>	<b>3.038</b>
<b>Dpromedio</b>	<b>1.277</b>	<b>2.280</b>	<b>0.224</b>	<b>0.661</b>

En la Figura 85 y la Figura 86 se muestra el gráfico de las derivas globales y residuales calculadas correspondiente a cada análisis tiempo historia y el valor promedio que valor que se utilizará para la estimación de daño.

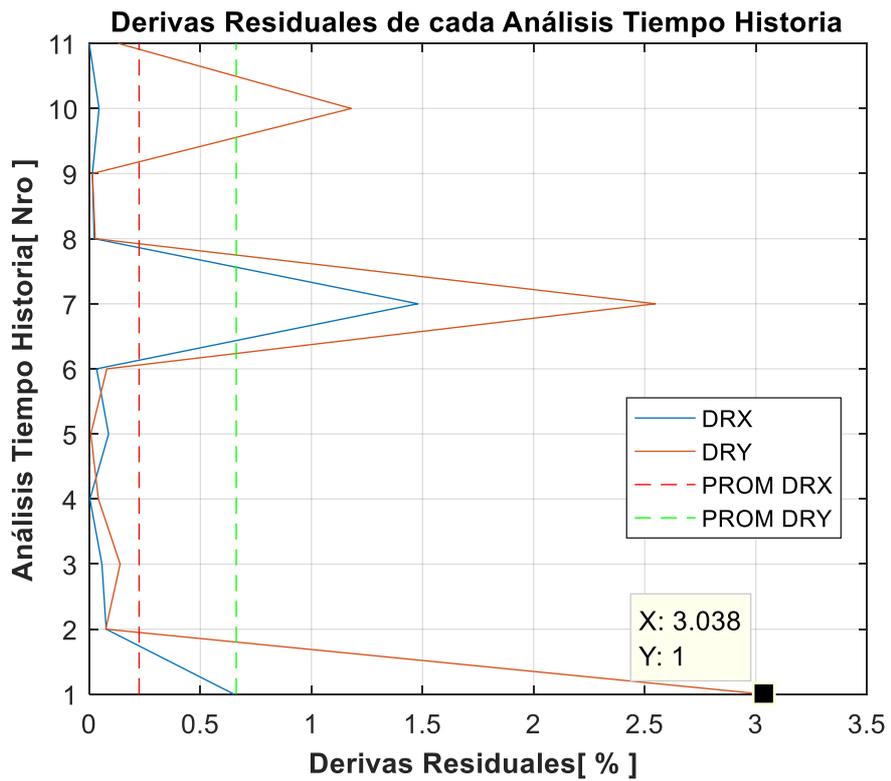
**Figura 85.**

*Derivas Globales Edificio 2*



**Figura 86.**

*Derivas Residuales Edificio 2*



En la Tabla 25 se muestra los valores de las derivas tanto globales como residuales en la dirección "X", como en la dirección "Y", para el edificio 3. Con sus respectivos valores máximos y promedios

**Tabla 25.**

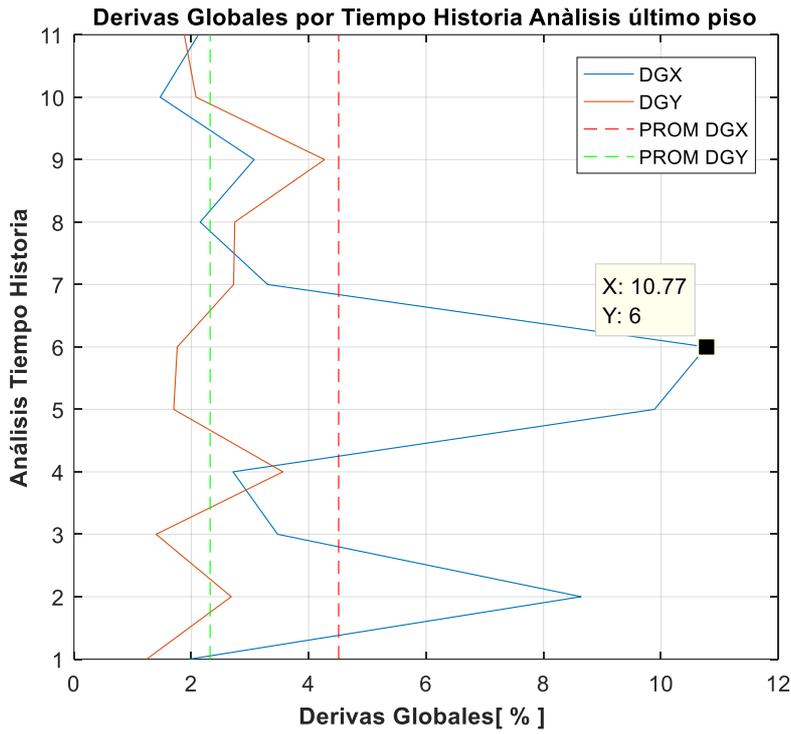
*Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 3*

<b>TH</b>	<b>DGX %</b>	<b>DGY %</b>	<b>DRX %</b>	<b>DRY %</b>
1	1.97	1.24	0.152	0.07
2	8.64	2.68	8.636	1.16
3	3.47	1.4	2.796	0.04
4	2.71	3.56	0.276	0.98
5	9.89	1.7	9.893	0.56
6	10.77	1.76	10.766	0.12
7	3.3	2.72	0.433	0.44
8	2.15	2.74	0.059	0.11
9	3.07	4.27	0.527	0.05
10	1.47	2.08	0.028	0.94
11	2.12	1.88	0.363	0.17
<b>D max</b>	<b>10.770</b>	<b>4.270</b>	<b>10.766</b>	<b>1.160</b>
<b>D promedio</b>	<b>4.505</b>	<b>2.366</b>	<b>3.084</b>	<b>0.422</b>

En la Figura 87 y Figura 88 se muestra el gráfico de las derivas globales y residuales calculadas correspondiente a cada análisis tiempo historia. De la misma manera se visualiza el promedio de todos estos valores que se utilizará para la estimación de daño

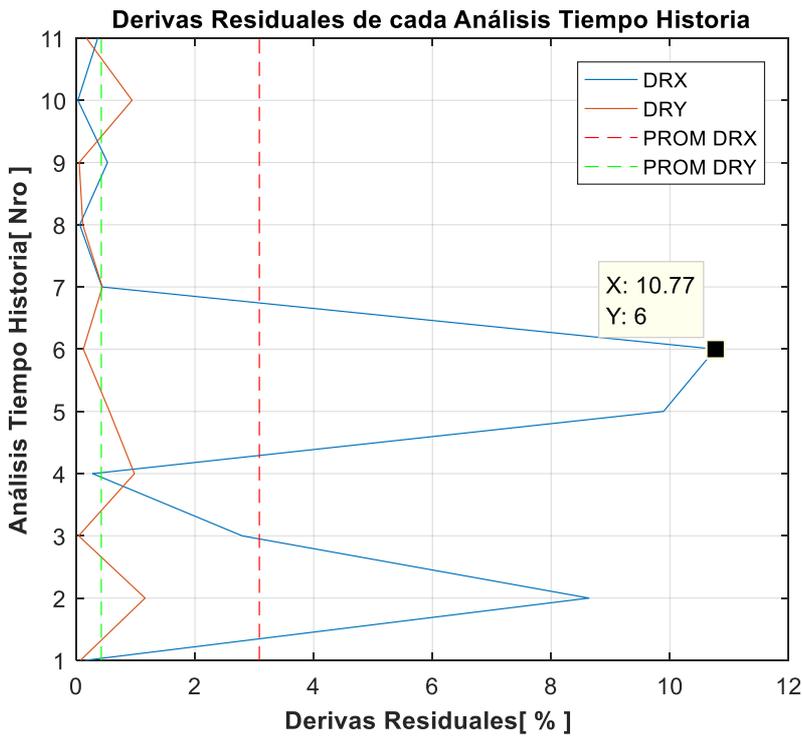
**Figura 87.**

*Derivas Globales Edificio 3*



**Figura 88.**

*Derivas Residuales Edificio 3*



En la Tabla 26 se observa el cálculo de Derivas Globales y Residuales para cada análisis tiempo historia, con su respectivo promedio.

**Tabla 26.**

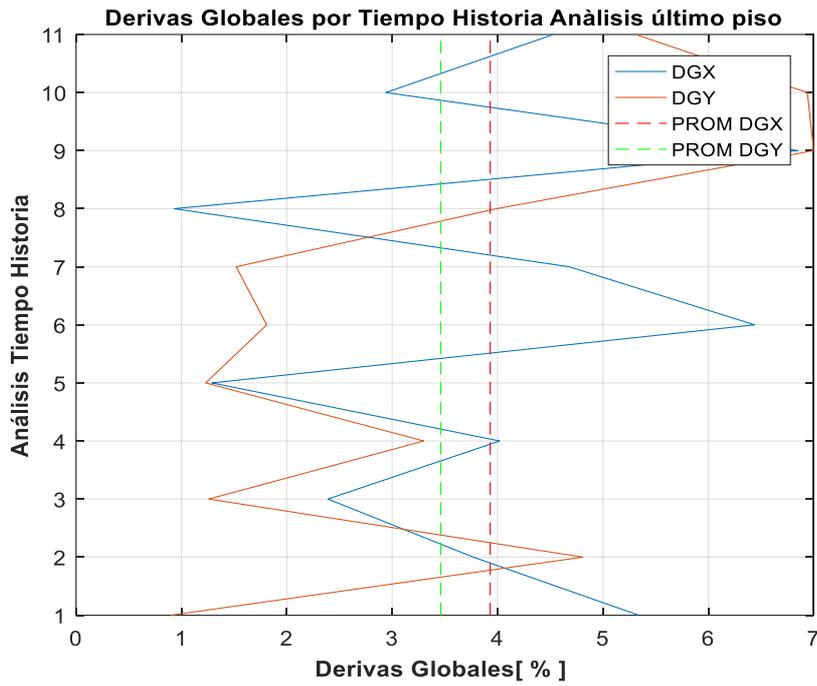
*Cálculo de derivas Globales y Residuales para cada THA Edificio 4*

<b>TH</b>	<b>DGX %</b>	<b>DGY %</b>	<b>DRX %</b>	<b>DRY %</b>
1	5.34	0.9	0.152	0.07
2	3.77	4.81	8.636	1.16
3	2.39	1.26	2.796	0.04
4	4.02	3.3	0.276	0.98
5	1.29	1.23	9.893	0.56
6	6.44	1.81	10.766	0.12
7	4.68	1.52	0.433	0.44
8	0.93	3.99	0.059	0.11
9	6.85	7	0.527	0.05
10	2.94	6.94	0.028	0.94
11	4.53	5.31	0.363	0.17
<b>D max</b>	<b>6.850</b>	<b>7.000</b>	<b>10.766</b>	<b>1.160</b>
<b>D promedio</b>	<b>3.925</b>	<b>3.461</b>	<b>3.084</b>	<b>0.422</b>

En la Figura 89 y Figura 90 se muestran las gráficas de las derivas globales y residuales máximas en el último piso, de la misma manera se aprecia los valores promedios recomendables cuando se trabaja con varios sismos.

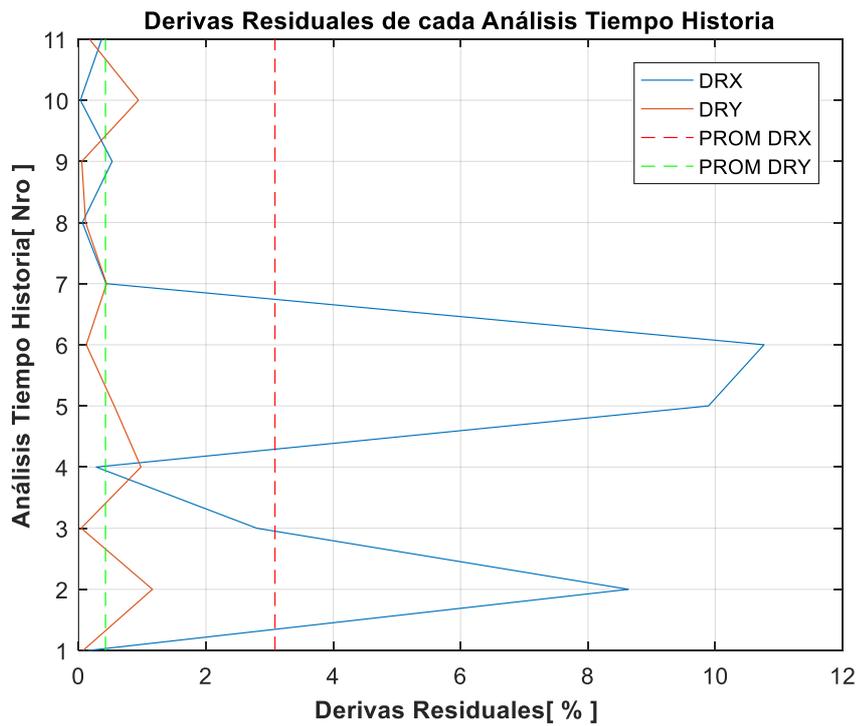
**Figura 89.**

*Derivas Globales Edificio 4*



**Figura 90.**

*Derivas Residuales Edificio 4*



## Estimación de Daño

La estimación de daño se realizó para los elementos estructurales y los elementos no estructurales de las cuatro edificaciones siguiendo un proceso de comparación con los límites para las derivas globales y residuales como se detalla a continuación:

### Elementos No Estructurales

Los límites de deriva para la comparación y determinación de daño en elementos no estructurales son acordes a la Tabla 2-1 correspondiente a los límites de deriva de piso para diferentes niveles de desempeño en edificios considerando elementos no estructurales de (Diseño Basado En Desplazamientos, 2023) , para estimar el daño en las edificaciones de la muestra del estudio, se debe considerar que son edificios de Categoría III, de uso Especial, por lo tanto deben tener un nivel de desempeño DS1: Ocupación Inmediata, el segundo parámetro es considerar que los Edificios tiene elementos no estructurales dúctiles por lo tanto su límite es 0.7%, como se indica en la **Tabla 27**

### **Tabla 27.**

*Límites de deriva de piso para diferentes niveles de desempeño en edificios considerando elementos no estructurales*

Nivel de Desempeño	DS1: Ocupación inmediata	DS2: Seguridad de Vida	DS3: Prevención de colapso
Edificios con elementos no estructurales frágiles	0.004	0.02	No límite*
<b>Edificios con elementos no estructurales dúctiles</b>	<b>0.007</b>	0.02	No límite*
Edificios con elementos no estructurales detallados para soportar los desplazamientos de la edificación	0.01	0.02	No límite*

*Nota.* Tabla 2-1 (Diseño Basado En Desplazamientos, 2023)

El nivel de DS1 corresponde a daño leve, Desempeño que se define como requisito a una edificación para considerarla resiliente.

Con este parámetro se realizó la comparación con las derivas globales para cada

análisis estático y dinámico tanto para el caso lineal y no lineal de cada Edificio, para determinar su estado de Daño, como se muestra en la siguiente Tabla 28.

**Tabla 28.**

*Estimación de Daño en elementos No Estructurales en función de Derivas Globales*

<b>Parámetros de análisis</b>	<b>EDIFICIO 1</b>	<b>EDIFICIO 2</b>	<b>EDIFICIO 3</b>	<b>EDIFICIO 4</b>
<b>ANALISIS LINEAL ESTÁTICO</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daño Excesivo/Completo
<b>ANALISIS LINEAL DINÁMICO</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
<b>ANALISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSH OVER)</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
<b>ANALISIS NO LINEAL DINÁMICO (TIME HYSTORY 11 Pares de Sismos)</b>				
Chequeo con DgX	Daño Moderado	Daño Moderado	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo
Chequeo con DgY	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo

Se determinó, en los análisis lineales para el caso dinámico que el edificio 4 presenta daños excesivos/ completo de los elementos no estructurales en la dirección “Y”, el resto de los casos presenta daños leves.

En el caso de los análisis no lineales los edificios 3 y 4 son los que presentan daños excesivos/completo en sus elementos no estructurales en las 2 direcciones, y en el caso de los edificios 1 y 2 se observa que tiene daños moderados en la dirección “X” pero daños excesivos/completo en la dirección “Y”. Esta estimación de daño se reflejará en la calificación de la estructura para determinar el índice de resiliencia, que es proporcional al desempeño del edificio a los desplazamientos horizontales.

## Elementos Estructurales

### Estimación de Daños de elementos Estructurales en función de las Derivas

#### Residuales

Para los elementos Estructurales y siguiendo los lineamientos de (Diseño Basado En Desplazamientos, 2023), para estimar el daño, el parámetro de comparación son las derivas residuales, teniendo como valor límite para el nivel DS1: Ocupación Inmediata 0.2%, por lo que al realizar la evaluación con los resultados del análisis se determina que los elementos estructurales tienen un daño es leve.

De la misma manera siguiendo las recomendaciones (FEMA P58 & Hanson, 2018), de la tabla C-1 para la estimación de daño en función de la deriva residual, indica que para DS1: Operacional tiene un límite del 0.2% y para DS2: Ocupación Inmediata, tiene un límite 0.5%, los cuales son desempeños necesarios para una estructura resiliente.

Comparando con derivas residuales obtenidas del análisis dinámico no lineal, se tiene un valor menor al límite, por lo que el daño de los elementos estructurales se indica en la Tabla 29 de resultados.

#### **Tabla 29.**

*Evaluación de Daño en elementos Estructurales en función de la Deriva Residual Daño (Propuesta DBD 2023)*

<b>ELEMENTOS ESTRUCTURALES</b>				
<b>Parámetros de análisis</b>	<b>EDIFICIO 1</b>	<b>EDIFICIO 2</b>	<b>EDIFICIO 3</b>	<b>EDIFICIO 4</b>
Evaluación de Daño/Deriva Residual Daño (Propuesta DBD 2023)				
<b>Chequeo con DrX</b>	<b>Daño Leve</b>	<b>Daño Moderado</b>	<b>Daño Excesivo/ Permanente</b>	<b>Daño Excesivo/ Permanente</b>
<b>Chequeo con DrY</b>	<b>Daño Leve</b>	<b>Daño Excesivo/ Permanente</b>	<b>Daño Moderado</b>	<b>Daño Excesivo/ Permanente</b>

Con referencias a las recomendaciones del FEMA P58, se determinó los límites de

las derivas para el nivel de desempeño Ocupación Inmediata para el caso de los elementos estructurales como se indica en la Tabla 30.

**Tabla 30.**

*Estados de Daño para Deriva Residual en % Ref. (FEMA P58, Hanson, 2018)*

<b>DS1: Operacional</b>	<b>DS2: Ocupación Inmediata</b>	<b>DS3: Seguridad de Vida</b>	<b>DS4: Previsión de Colapso</b>
No es necesario ningún reajuste en la estructura para estabilidad estructural; sin embargo, el edificio puede requerir ajustes y reparaciones de componentes mecánicos y no estructurales sensibles a la alineación del edificio (por ejemplo ascensores, courtain walls y puertas).	<b>Realineación del marco y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)</b>	Se requiere un reajuste estructural importante para restaurar el margen de seguridad para la estabilidad lateral; Sin embargo, la realineación y reparación de la estructura pueden no ser viables económicamente y en la práctica (es decir, la estructura podría pérdida económica total).	La deriva residual es lo suficientemente grande como para que la estructura está en peligro de colapso por réplicas de terremotos (nota: este punto de funcionamiento podría considerarse igual al colapso, pero con mayor incertidumbre).
0.2	<b>0.5</b>	1	Elegir sistema
<b>Límite de Deriva residual para DS4 (%)</b>			
Sistema de Alta Ductilidad			4
Sistemas de Moderada Ductilidad			2
Sistema de Limitada Ductilidad			1

Una vez definido el límite de 0.5 para los 4 edificios se determinó la estimación de daño en función de las derivas Residuales como se muestra en la Tabla 31.

**Tabla 31.**

*Evaluación de Daño de elementos Estructurales en función de la Deriva Residual para cada Edificio*

<b>Parámetros de análisis</b>	<b>EDIFICIO 1</b>	<b>EDIFICIO 2</b>	<b>EDIFICIO 3</b>	<b>EDIFICIO 4</b>
-------------------------------	-------------------	-------------------	-------------------	-------------------

---

Chequeo con DrX	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Completo	Daño Excesivo
Chequeo con DrY	Daño Leve	Daño Excesivo	Daño Moderado	Daño Completo

---

Como se observa en la tabla de estimación de daño de elementos estructurales en función de la deriva residual, el daño en el Edificio 1, es Leve en las dos direcciones a diferencia de los Edificios 2, 3 y 4 que presentan daños Excesivos y Completos comprometiendo su estabilidad Estructural.

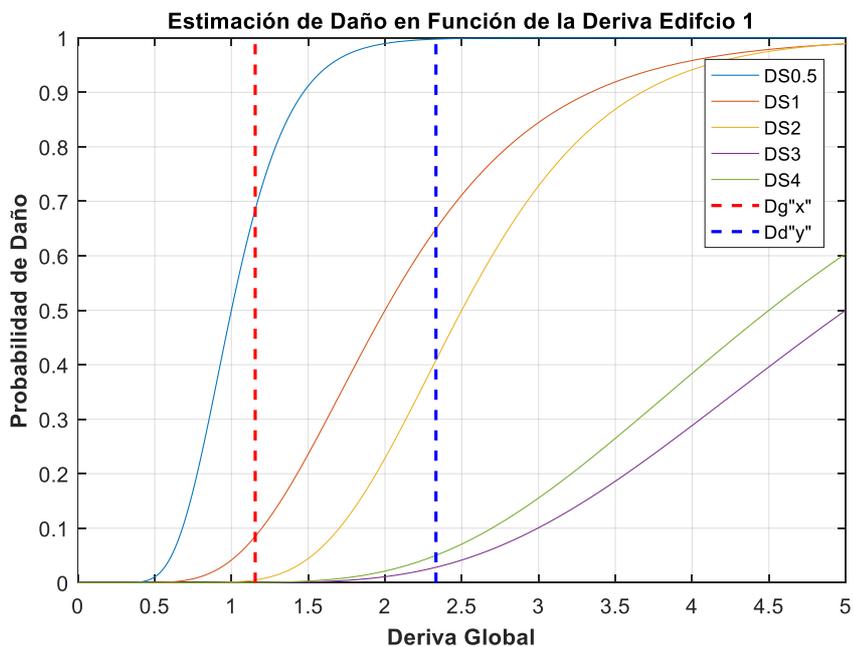
**Estimación de Daños de elementos Estructurales en función de la Deriva Globales**

Para la estimación de daño de los elementos estructurales en función de las derivas globales se utilizó las recomendaciones de (ATC-145, 2021), en la que plantea curvas de fragilidad para la determinara la probabilidad de daño en función de las derivas.

En la Figura 91 se muestra las curvas de fragilidad para la estimación de daño y las derivas globales del Edificio.

**Figura 91.**

*Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 1*

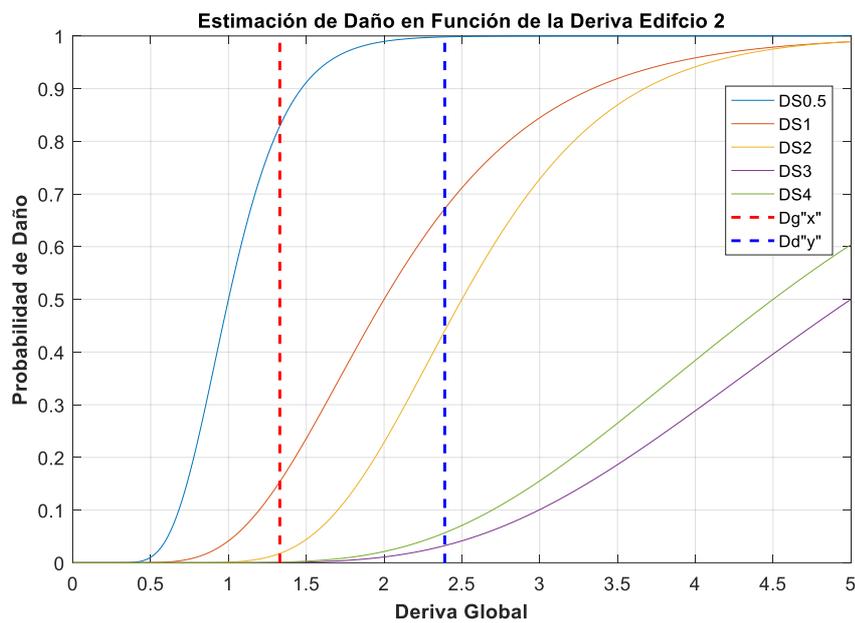


Nota: Recuperado de (ATC 145., 2021)

En la Figura 92 se muestra la curva de fragilidad para la estimación de daño y las derivas globales del Edificio 2.

**Figura 92.**

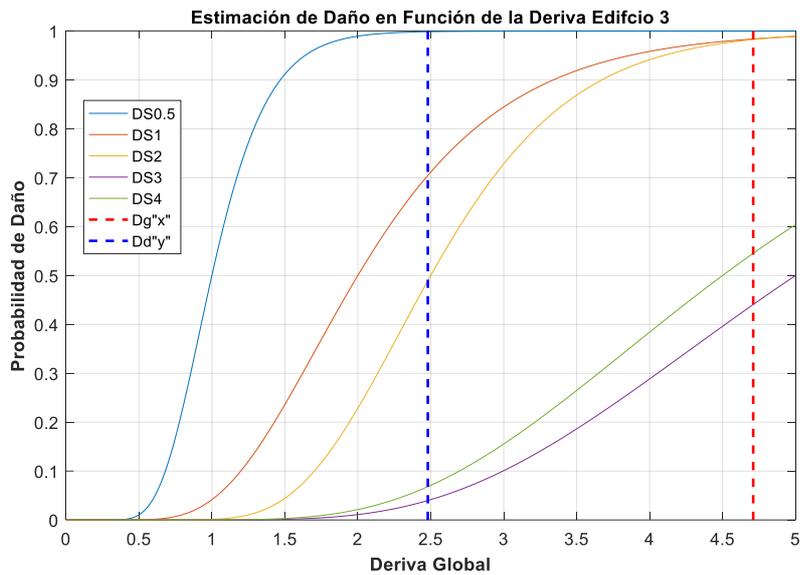
*Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 2*



En la Figura 93 se muestra la curva de fragilidad para la estimación de daño y las derivas globales del Edificio 3

**Figura 93.**

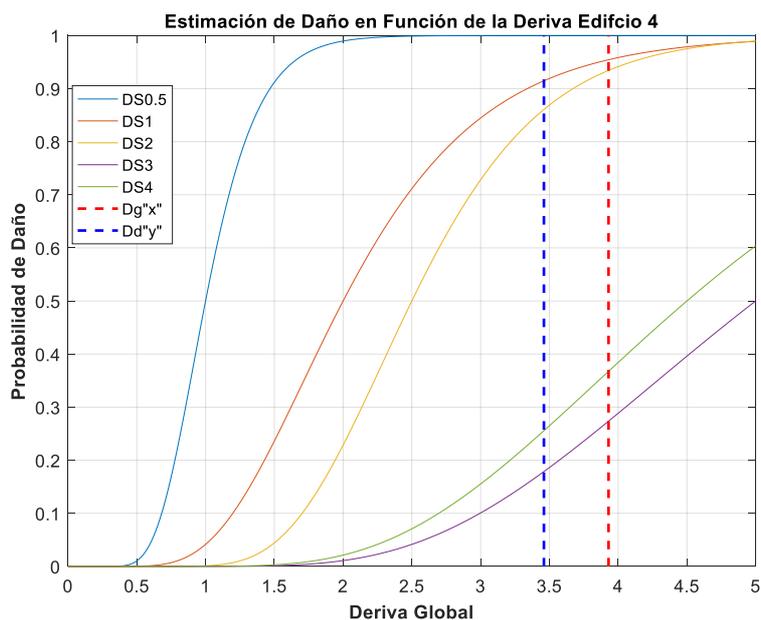
*Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 3*



En la Figura 94 se muestra la curva de fragilidad para la estimación de daño y las derivas globales del Edificio 4

**Figura 94.**

*Probabilidad de Daño en función de la Deriva global Edificio 4*



Con estos valores se determinó la probabilidad de daño para cada nivel de desempeño tanto en la dirección “X” como en la dirección “Y”, en la que se obtuvo la Tabla 32 y la

Tabla 33, indicando además el valor de la deriva global de cada edificio en las dos direcciones

**Tabla 32.**

*Estimación de Daño Deriva Global ATC 145 Sentido "X".*

Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
<b>DIRECCIÓN "X"</b>				
<b>DGX</b>	<b>1.15</b>	<b>1.33</b>	<b>4.71</b>	<b>3.93</b>
DS0.5: No Daño	60.00%	67.00%	4.00%	2.00%
DS1: Leve	10.00%	14.00%	1.00%	0.00%
DS2: Moderado-OI	1.00%	2.00%	43.00%	57.50%
DS3: Excesivo-SV	0.00%	0.00%	44.00%	38.00%
DS4: Completo-PC	0.00%	0.00%	11.00%	9.00%
<b>Mayor Probabilidad de Daño</b>	<b>10.00%</b>	<b>14.00%</b>	<b>44.00%</b>	<b>57.50%</b>
<b>RESULTADO DE DESEMPEÑO</b>	<b>DS1: Leve</b>	<b>DS1: Leve</b>	<b>DS3: Excesivo-SV</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>

**Tabla 33.**

*Estimación de Daño Deriva Global ATC 145 Sentido "Y"*

Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
<b>DIRECCIÓN "X"</b>				
DGY	2.19	2.39	2.48	3.46
DS0.5: No Daño	40.50%	32.00%	29.00%	8.00%
DS1: Leve	27.00%	24.00%	21.00%	6.00%
DS2: Moderado-OI	28.50%	38.00%	41.00%	60.00%
DS3: Excesivo-SV	2.50%	2.50%	4.00%	18.00%
DS4: Completo-PC	2.50%	2.50%	3.00%	8.00%
<b>Mayor Probabilidad de Daño</b>	<b>28.50%</b>	<b>38.00%</b>	<b>41.00%</b>	<b>60.00%</b>
<b>RESULTADO DE DESEMPEÑO</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>

A continuación, se presenta la Tabla 34 de Resumen de desempeño y estimación de

daño.

**Tabla 34.**

*Evaluación de Daño/Deriva Global*

Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
<b>Chequeo con DGX</b>	DS1: Leve-O	DS1: Leve-O	DS3: Excesivo-SV	DS2: Moderado-OI
<b>Chequeo con DGY</b>	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI

La mayor probabilidad de Daño en la dirección “X” para el Edificio 1 y el Edificio 2, es Operacional que corresponde a Leve”, en el Edificio 3, presenta una probabilidad de daño excesivo y su desempeño es Seguridad de vida por lo que su tiempo de recuperación tomarán más tiempo que el objetivo, en el Edificio 4 el daño es moderado.

La mayor probabilidad de daño para la dirección “Y” son daños leves para los 4 edificios y los niveles de desempeño obtenidos son Ocupación Inmediata.

Aparentemente cumpliría con los requisitos mínimos para ser una estructura resiliente, por lo que puede ser una deducción errada ya que al utilizar otros parámetros de comparación se han obtenido daños Excesivos y completos.

Con todos esto parámetros de estimación de daño y desempeño sísmico procedemos a calcular los tiempos de recuperación funcional y el Índice de Resiliencia.

**Índice de resiliencia**

Para definir el índice de resiliencia y determinar qué tan resiliente es la edificación del caso de estudio, se utilizaron dos parámetros importantes según las recomendaciones de. (National Institute of Building Sciences NIBS & Building Seismic Safety Council BSSC, 2020).

La primera indica que una estructura es resiliente, si la probabilidad de colapso es menor del 10% dado el  $MCE_R$ , (Máximo Sismo Considerado para un riesgo objetivo), para la evaluación de este parámetro se consideró el sismo de diseño DE, debido que en el país no se dispone de estos datos, y se revisa el valor obtenido en de la probabilidad de colapso DS4 de la Tabla 32 y la

Tabla **33** de la anterior sección. Se puede realizar un chequeo rápido de este parámetro como se indica en la Tabla 35.

**Tabla 35.**

*Probabilidad de Colapso de cada Edificio en función de la Deriva Global*

Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Probabilidad de colapso <10% comprobación DGX	0.00%	0.00%	11.00%	9.00%
Probabilidad de colapso <10% Comprobación DGY	2.50%	2.50%	3.00%	8.00%

Como se observa en la tabla anterior el Edificio 3 excede este parámetro indicado en la Dirección X, por lo que tendrá un menor valor para la calificación del índice de resiliencia.

El segundo parámetro de Resiliencia, indica que se debe plantear un tiempo de recuperación objetivo dependiendo de la categoría de la estructura, para el caso de estudio es Categoría III de uso Especial, Con esta consideración se plantea la **Tabla 36** correspondiente al tiempo objetivo de recuperación según (National Institute of Building Sciences NIBS & Building Seismic Safety Council BSSC, 2020) y (Fema, 2021).

**Tabla 36.**

*Tiempo Objetivo de Recuperación en días*

Categoría	DS1: Leve	DS2: Moderado	DS3: Excesivo	DS4: Completo
IV	0.04	1	7	30
III	7	<b>15</b>	30	60
I-II	15	30	60	150

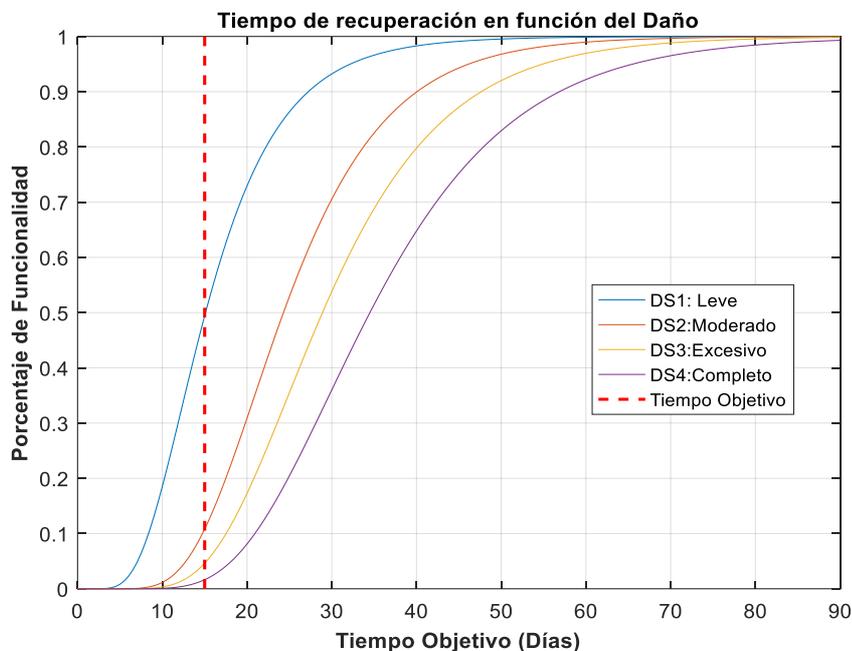
Para catalogar una edificación para que sea resiliente, debe tener un nivel de desempeño Ocupación Inmediata, DS2: Daño Moderado y si es una Edificación de Categoría III, de uso especial que corresponde a todos los edificios que se realizó el

análisis, se plantea un tiempo objetivo de recuperación de 15 días y nivel de desempeño Ocupación inmediata.

Para la determinar la probabilidad de recuperación funcional según la estimación de daño en función del tiempo objetivo planteado, se utilizó las recomendaciones de (ATC 145, Ayala Milián, 2022 ), en la tabla del A3 correspondiente a la Distribución de probabilidad de los tiempos de reparación de los estados de daño por lo que se procedió a dibujar las curvas de fragilidad como se muestra en la **Figura 95**.

**Figura 95.**

*Probabilidad de funcionalidad según el daño y tiempo objetivo*



Como se puede apreciar en la gráfica se ingresa el valor del tiempo objetivo, para determinar las probabilidades de funcionalidad correspondiente a cada estado de daño, obteniendo como resultado un 40 % de probabilidad que la edificación se puede recupera a un daño leve y un 6.5 % a un daño moderado si mi tiempo objetivo es de 15 días.

A continuación, se muestra en la **Tabla 37**, las probabilidades de Recuperación Funcional para cumplir el tiempo objetivo en relación del estado de daños que obtenidas de la Figura 95.

**Tabla 37.**

*Probabilidad de recuperación funcional en función del daño y tiempo objetivo*

<b>Estado de Daño</b>	<b>Porcentaje de Recuperación Funcional</b>
DS1: Leve	40.00%
DS2: Moderado-OI	6.50%
DS3: Excesivo-SV	3.50%
DS4: Completo P.C.	1.50%
<b>Mayor Probabilidad</b>	<b>40.00%</b>
<b>Funcional a Daño</b>	<b>DS1: Leve</b>

Todos los parámetros descritos en la sección 4, de este documento, se resumen en una tabla de evaluación para determinar el Índice de Resiliencia (IR), cuyo procedimiento se detalla en el Anexo 1, 2 ,3 y 4.

### **Pesos de evaluación y calificación de las Edificaciones**

Para la calificación de la estructura y la obtención del mencionado Índice se aplican 12 pesos de evaluación, que se les asigna una ponderación correspondiente a valores máximos, mínimos y si cumple con ciertos requisitos de desempeño, según el caso.

Principalmente los mayores pesos de Evaluación corresponden a la ponderación de los parámetros de resiliencia que evalúa el tiempo de recuperación funcional y la probabilidad de colapso dado el sismo de Diseño.

Por ejemplo, para el caso del tiempo de recuperación, se determinó un mayor porcentaje de recuperación funcional para un DS1: daño leve, correspondiente al 40%, por lo que se le asigna el puntaje máximo de 3, sin embargo, según la estimación de daño en la dirección "Y" , la evaluación es DS2: Daño Moderado, por lo que tiene una probabilidad 6.5% de recuperar su funcionalidad en 15 días (tiempo objetivo) por lo que, solo se le asigna un puntaje de 2. A continuación, se describe lo que corresponde a cada peso de evaluación:

El peso 1, califica con el puntaje máximo si se han realizado Estudios Geotécnicos, Estáticos y Dinámicos. En la Figura 96 están los datos correspondientes a cada edificio de

la muestra de estudio, incluido el Periodo Natural del Suelo y velocidad de Onda.

**Figura 96.**

*Peso1. Datos Estudios Geotécnicos*

ESTUDIOS GEOTÉCNICOS				
Edificación	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Ubicación	Bahía de Caráquez	Portoviejo	Portoviejo	Portoviejo
VELOCIDAD DE ONDA				
Vs (m/s)	358	132.94	160.37	144.4
COEFICIENTE DE BALASTO				
Ks (Kg/cm3)	5.2	1.05	0.75	1.23
CAPACIDAD PORTANTE DEL SUELO				
Qa (T/m2)	16	7	6	8.2
TIPO DE SUELO SEGÚN NEC-SE-GC: GEOTECNIA Y CIMENTACIONES, 2015				
Tipo de Suelo	D	E	E	E
PERIODO NATURAL DEL SUELO				
Tsuelo (Seg)	0.523	0.9	0.47	0.83

En la Figura 97 se puede visualizar la tabla de ponderación para la calificación de cada edificación si disponen de los datos descritos en la Figura 96, por lo al tener los mencionados datos los 4 edificios tienes el valor máximo correspondiente.

**Figura 97.**

*Calificación y Tabla de ponderación peso 1.*

CALIFICACIÓN					PARÁMETROS DE EVALUACIÓN		
					1		
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Tabla de Ponderación		
					SI	NO	
0.20	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
	0.04	0.04	0.04	0.04	0.04		0
	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		0
	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		0
	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02		0
L	SI	SI	SI	SI	SI	NO	
	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0

Para el peso 2 de igual manera se califica la edificación en función de los periodos de la estructura tanto longitudinales como transversales obtenidos del ensayo de vibración ambiental, el periodo calculado del análisis modal y el recomendado por la NEC-SE-DS, para determinar su rigidez y desempeño sísmico como se observa en la Figura 98

**Figura 98.**

Peso 2. Parámetros de Rigidez, Periodos de la Estructura para los 4 edificios

ANÁLISIS ESTRUCTURAL				
PARÁMETROS DE RIGIDEZ				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
<b>PERIODO DE LA ESTRUCTURA (Segundos)</b>				
<b>PERIODO DE LA EDIFICACIÓN SENTIDO TRANSVERSAL</b>				
Vibración Ambiental Trans.	0.95	1.41	0.91	0.79
<b>PERIODO DE LA EDIFICACIÓN SENTIDO LONGITUDINAL</b>				
Vibración Ambiental Long.	0.89	1.31	0.47	0.51
<b>PERIODO CALCULADO POR ANÁLISIS MODAL</b>				
Modal -T1c	0.4632	0.5788	1.03	1.058
<b>PERIODO CALCULADO RECOMENDADO POR NEC-SE-DS: PELIGRO SISMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE METODO 2, MIDUVI, 2015</b>				
NEC-SE-DS, 2015-T2	0.667	0.694	0.72	0.487
<b>DATOS ADICIONALES</b>				
H=(m)	27.86	29.15	17.40	11.27
Nro. de Pisos	7	11	6	4
<b>RELACIÓN DE PERIODOS METODO 1 VS. METODO 2 NEC-SE-DS: PELIGRO SISMICO, DISEÑO SISMO RESISTENTE, MIDUVI, 2015</b>				
TNEC*1.30	0.8671	0.9022	0.936	0.6331
TNEC*1.30<T	<b>RIGIDA</b>	<b>RIGIDA</b>	<b>FLEXIBLE</b>	<b>FLEXIBLE</b>
<b>Cálculo de Rigidez en función del Período de la Estructura (Lagos, 2020)</b>				
Ho/Tcr Transversal	29.33	20.67	19.12	14.27
Ho/Tcr Longitudinal	31.3	22.25	37.02	22.1
<b>RIGIDEZ Paper (LAGOS) TRANS</b>	<b>NORMAL</b>	<b>FLEXIBLE</b>	<b>FLEXIBLE</b>	<b>FLEXIBLE</b>
<b>RIGIDEZ Paper (LAGOS) LONG</b>	<b>NORMAL</b>	<b>NORMAL</b>	<b>NORMAL</b>	<b>NORMAL</b>

Para la Calificación del peso 2 se determina si se realizan disponen o no de los datos y cálculos antes descritos, y posteriormente se realizan la calificación según de los parámetros de rigidez y desempeño de la Edificación.

Para el caso del Cumplimiento de la relación de periodos recomendado por la NEC-SE-DS: Peligro Sísmico y Diseño Sismorresistente, determina si la edificación es rígida o flexible.

Para el caso de la Comprobación recomendada por Lagos, Flexible, Normal o Rígida como se muestra en la Figura 99, y se procede a calificar en función de la tabla de ponderación teniendo el mayor valor si las edificaciones son rígidas y un valor de 0 si estas son flexibles.

**Figura 99.**

Calificación y Tabla de ponderación peso 2. para los 4 edificios

2						
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Tabla de Ponderación	
0.10	SI	SI	SI	SI		SI
	0.015	0.015	0.015	0.015	0	
	SI	SI	SI	SI	0	
	0.015	0.015	0.015	0.015	0	
	SI	SI	SI	SI	0	
	0.01	0.01	0.01	0.01	0	
	SI	SI	SI	SI	0	
	0.01	0.01	0.01	0.01	0	
	RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN FUNCIÓN DEL PERIODO NEC-SE-DS				NEC-SE-DS (MIDUVI, 2015)	
	0.025	0.025	0.000	0.000	T1c > T2*1.30	T1c ≤ T2*1.30
	RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA EN FUNCIÓN DEL PERIODO (LAGOS, 2020)				TABLA DE PONDERACIÓN (LAGOS, 2020)	
	0.0075	0.0000	0.0000	0.0000	11 < Ho/Tcr < 21	22 < Ho/Tcr < 43
0.0075	0.0075	0.0075	0.0075	FLEXIBLE	RIGIDO	
<b>TOTAL</b>				<b>0.090    0.083    0.058    0.058</b>		

En los pesos 3, 4, 5 y 6, se califica en función de los datos obtenidos si se han realizado los Análisis Estructurales Estáticos y Dinámicos, tanto lineales como no lineales y a través de este análisis se realiza el cálculo de desplazamientos máximos en el último piso, derivas globales y residuales correspondiente a cada análisis como se indica en la Figura 100.

**Figura 100.**

Peso 3, 4, 5 y 6 Cálculo de Desplazamientos y Derivas en el último piso para los 4 edificios

ANÁLISIS LINEAL ESTÁTICO				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Desplazamiento máximo último piso				
DSx	0.01802	0.15500	0.02300	0.07800
DSy	0.05614	0.19900	0.01500	0.07000
Derivas Globales				
Sx	0.0647	0.5317	0.1322	0.6921
Sy	0.0080	0.6827	0.2500	1.7500
ANÁLISIS LINEAL DINÁMICO				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Desplazamiento máximo último piso				
Desp.Esp.X	0.017	0.125	0.068	0.070
Desp.Esp.Y	0.048	0.186	0.044	0.066
Derivas Globales				
Esp.X	0.061	0.447	0.244	0.251
Esp.y	0.173	0.165	0.276	0.427
ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSH OVER)				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Nivel de Desempeño /Desplazamiento Objetivo				
DIRECCIÓN X				
Operacional (1-A) "X"	0.01188	0.04257	0.10673	0.08987
Ocupación Inmediata (1-B) "X"	0.01504	0.05337	0.13341	0.11234
Seguridad de Vida (3-C) "X"	0.01940	0.06789	0.16898	0.14230
Prevención de Colapso (5-D) "X"	0.02393	0.08255	0.20456	0.17226
DIRECCIÓN Y				
Operacional (1-A) "Y"	0.04517	0.05019	0.07713	0.09221
Ocupación Inmediata (1-B) "Y"	0.05658	0.06292	0.09642	0.11526
Seguridad de Vida (3-C) "Y"	0.07190	0.08000	0.12213	0.14600
Prevención de Colapso (5-D) "Y"	0.08732	0.09721	0.14784	0.17674
DERIVAS GLOBALES				
DIRECCIÓN X				
Deriva Global (1-A) % "X"	0.04080	0.14600	0.36610	0.30830
<b>Deriva Global (1-B) % "X"</b>	<b>0.05160</b>	<b>0.18310</b>	<b>0.45770</b>	<b>0.38540</b>
Deriva Global (3-C) % "X"	0.06650	0.23290	0.57970	0.48820
Deriva Global (5-D) % "X"	0.08210	0.28320	0.70180	0.59090
DIRECCIÓN Y				
Deriva Global (1-A) % "Y"	0.16210	0.18020	0.27690	0.33100
<b>Deriva Global (1-B) % "Y"</b>	<b>0.20310</b>	<b>0.22590</b>	<b>0.34610</b>	<b>0.41370</b>
Deriva Global (3-C) % "Y"	0.25810	0.28720	0.43840	0.52400
Deriva Global (5-D) % "Y"	0.31340	0.34890	0.53070	0.63440
ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO (TIME HYSTORY 11 Pares de Sismos)				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Desplazamiento máximo (m)				
dmax X	0.32	0.37	1.31	1.09
dmax Y	0.61	0.66	0.69	0.96
Derivas Globales (%)				
DgX	1.15	1.33	4.71	3.93
DgY	2.19	2.39	2.48	3.46
Deriva Residual (%)				
DrX	0.065	0.2243	3.09	3.88
DrY	0.034	0.6615	0.4218	3.31

Para la calificación de los pesos 3, 4, 5 y 6, tiene un valor de ponderación máximo, si se realiza el Análisis Estructural estático y dinámico tanto lineales como no lineales como se indica en la Figura 101

**Figura 101.**

Calificación pesos 2, 3, 4 ,5 y 6 para los 4 edificios

3							
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	1.-Elegir "SI", si se realizó el Análisis Lineal Estático y el Cálculo de Derivas Globales, si no realizó el Análisis elegir "NO"	Tabla de Ponderación	
CÁLCULO	SI	SI	SI	SI		SI	NO
0.15	0.15	0.15	0.15	0.15		0.15	0
4							
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	1.-Elegir "SI", si se realizó el Análisis Lineal Dinámico y el Cálculo de Derivas Globales, si no realizó el Análisis elegir "NO"	Tabla de Ponderación	
CÁLCULO	SI	SI	SI	SI		SI	NO
0.15	0.15	0.15	0.15	0.15		0.15	0
5							
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	1.-Elegir "SI", si se realizó el Análisis No Lineal Estático PUSH OVER y el Cálculo de Derivas Globales, si no realizó el Análisis elegir "NO" .  2.Seleccionar el Nivel de desempeño a evaluar para el cálculo de derivas Globales para una estructura resiliente es <b>Ocupación Inmediata</b>	Tabla de Ponderación	
CÁLCULO	SI	SI	SI	SI		SI	NO
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.2	0
6							
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	1.-Elegir "SI", si se realizó el Análisis No Lineal Dinámico y Cálculo de Derivas Globales y Residuales, si no realizó el Análisis elegir "NO"	Tabla de Ponderación	
CÁLCULO	SI	SI	SI	SI		SI	NO
0.2	0.2	0.2	0.2	0.2		0.2	0

En los pesos 7, 8, 9, y 10 se determina el desempeño de la estructura y se estima el daño en función de las derivas calculadas en los pesos anteriores. Lo que se describe a continuación:

El peso 7 corresponde a la Estimación de Daño de los elementos no Estructurales de una edificación en función de la Deriva Global como se muestra en la Figura 102, también se visualiza el Límite de la Deriva Global para el nivel de Desempeño DS1: Ocupación Inmediata correspondiente a Daños Leves recomendado por (Propuesta DBD, 2023).

**Figura 102.**

Peso 7, Estimación de Daño para elementos no estructurales de los 4 Edificios.

ESTIMACIÓN DE DAÑO EN FUNCIÓN DE DERIVAS				
ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES				
Limite de Deriva/Daño (Propuesta DBD 2023)				
TIPO DE ELEMENTO	Edificios con elementos no estructurales dúctiles			
Nivel de Desempeño	DS1:Ocupación inmed	DS1:Ocupación inmed	DS1:Ocupación inmediata	DS1:Ocupación inmediata
Limite de deriva	0.7	0.7	0.7	0.7
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
<b>ANALISIS LINEAL ESTÁTICO</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daño Excesivo/Completo
<b>ANALISIS LINEAL DINÁMICO</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
<b>ANALISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSH OVER)</b>				
Chequeo con DgX	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
Chequeo con DgY	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves	Daños Leves
<b>ANALISIS NO LINEAL DINÁMICO (TIME HYSTORY 11 Pares de Sismos)</b>				
Chequeo con DgX	Daño Moderado	Daño Moderado	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo
Chequeo con DgY	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo	Daño Excesivo/Completo

Para este peso se le asigna el puntaje máximo si el nivel de desempeño de la edificación corresponde a Operacional y se encuentra bajo el límite determinado en este caso de 0.7%, en la Figura 103 se visualiza la calificación correspondiente a cada edificio en las dos direcciones, Se le asigna un puntaje máximo si la Edificación presenta daños leves en sus elementos No Estructurales y si tienen un daño Excesivo o Completo tienen un valor de 0 según la tabla de ponderación en la misma figura.

**Figura 103.**

Calificación peso 7, para los 4 edificios

ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES								
Selecciones el tipo de Edificación, Tipo de Elementos No Estructurales					Edificios con elementos no estructurales frágiles	Edificios con elementos no estructurales dúctiles	Edificios con elementos no estructurales detallados para soportar los desplazamientos de	
					LÍMITES DE DERIVA NEC-SE-DS, DBD, 2023			
Selecciones Nivel de Desempeño					DS1:Ocupación inmediata	DS2:Seguridad de Vida	DS3:Prevención de colapso	
Edificios con elementos no estructurales frágiles					0.4	2	No límite*	
Edificios con elementos no estructurales dúctiles					0.7	2	No límite*	
Edificios con elementos no estructurales detallados para soportar los desplazamientos de la edificación					1	2	No límite*	
Límite de Deriva a Evaluar para evaluar estimación de Daño Ver tabla 1								
PONDERACIÓN	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Según la Estimación de Daño en elementos No Estructurales se califica a la Estructura	Tabla de Ponderación		
ANÁLISIS LINEAL ESTÁTICO						DS1:Daño Leve	Moderado	Excesivo/Completo
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1		0.1	0.05	0
0.1	0.1	0.1	0.1	0		OBSERVACIÓN:		
ANÁLISIS LINEAL DINÁMICO								
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
0.1	0.1	0.1	0.1	0.1				
ANÁLISIS NO LINEAL ESTÁTICO (PUSH OVER)								
0.15	0.1	0.1	0.1	0.1				
0.15	0.1	0.1	0.1	0.1				
ANÁLISIS NO LINEAL DINÁMICO (TIME HYSTORY 11 Pares de Sismos)								
0.15	0.05	0.05	0	0				
0.15	0	0	0	0				
1	0.65	0.65	0.60	0.50				

El peso 8 corresponde a la Estimación de Daño en elementos Estructurales en función de la Deriva Residual como se muestra en la Figura 104, también se visualiza el Límite de la Deriva Residual correspondiente el 0.2% para el nivel de Desempeño DS1: Ocupación Inmediata correspondiente a Daños Leves según las recomendaciones de (Propuesta DBD, 2023)

El peso 9 corresponde a la Estimación de Daño en elementos Estructurales en función de la Deriva Residual como se muestra en la Figura 104, para este caso se visualiza el Límite de la Deriva Residual correspondiente el 0.5% para el nivel de Desempeño DS2: Ocupación Inmediata correspondiente a Daños Moderado según las recomendaciones del (FEMA P58, 2018).

Figura 104.

## Pesos 8, 9 Estimación de Daño para los 4 Edificios

ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
Límite de Deriva Residual/Permanente/Daño (Propuesta DBD 2023)				
TIPO DE ELEMENTO	Estructura de edificación	Estructura de edificación	Estructura de edificación	Estructura de edificación
Nivel de Desempeño	DS1:Ocupación inmediata	DS1:Ocupación inmediata	DS1:Ocupación inmediata	DS1:Ocupación inmediata
Límite de deriva	0.2	0.2	0.2	0.2
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Evaluación de Daño/Deriva Residual Daño (Propuesta DBD 2023)				
Chequeo con DrX	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo/Permanente	Daño Excesivo/Permanente
Chequeo con DrY	Daño Leve	Daño Excesivo/Permanente	Daño Moderado	Daño Excesivo/Permanente
				TOTAL
ELEMENTOS ESTRUCTURALES				
Estimación de Daño Deriva Residual FEMA P58				
Estado de Daño	DS2: Ocupación Inmediata	DS2: Ocupación Inmediata	DS2: Ocupación Inmediata	DS2: Ocupación Inmediata
Descripción	Realineación del marco estructural y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)	Realineación del marco estructural y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)	Realineación del marco estructural y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)	Realineación del marco estructural y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)
Límite Deriva Residual	0.5	0.5	0.5	0.5
Sistema para DS4	N/A	N/A	N/A	N/A
Límite Deriva Residual DS4	N/A	N/A	N/A	N/A
Evaluación de Daño/Deriva Residual				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Chequeo con DXr	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Completo	Daño Excesivo
Chequeo con DYr	Daño Leve	Daño Excesivo	Daño Moderado	Daño Completo
				TOTAL

Para la calificación de los pesos 8 y 9 se lo realiza en función de que las Estructuras en análisis superen o no el límite de deriva, por lo que se puede estimar el daño de estas teniendo un valor si las edificaciones presentan daños leves y un valor de 0 si estas

presentan daños excesivos o completos como se visualiza en la Figura 105 y su respectiva calificación para cada edificio del caso de estudio.

**Figura 105.**

*Calificación Pesos 8, 9 Estimación de Daño para los 4 Edificios*

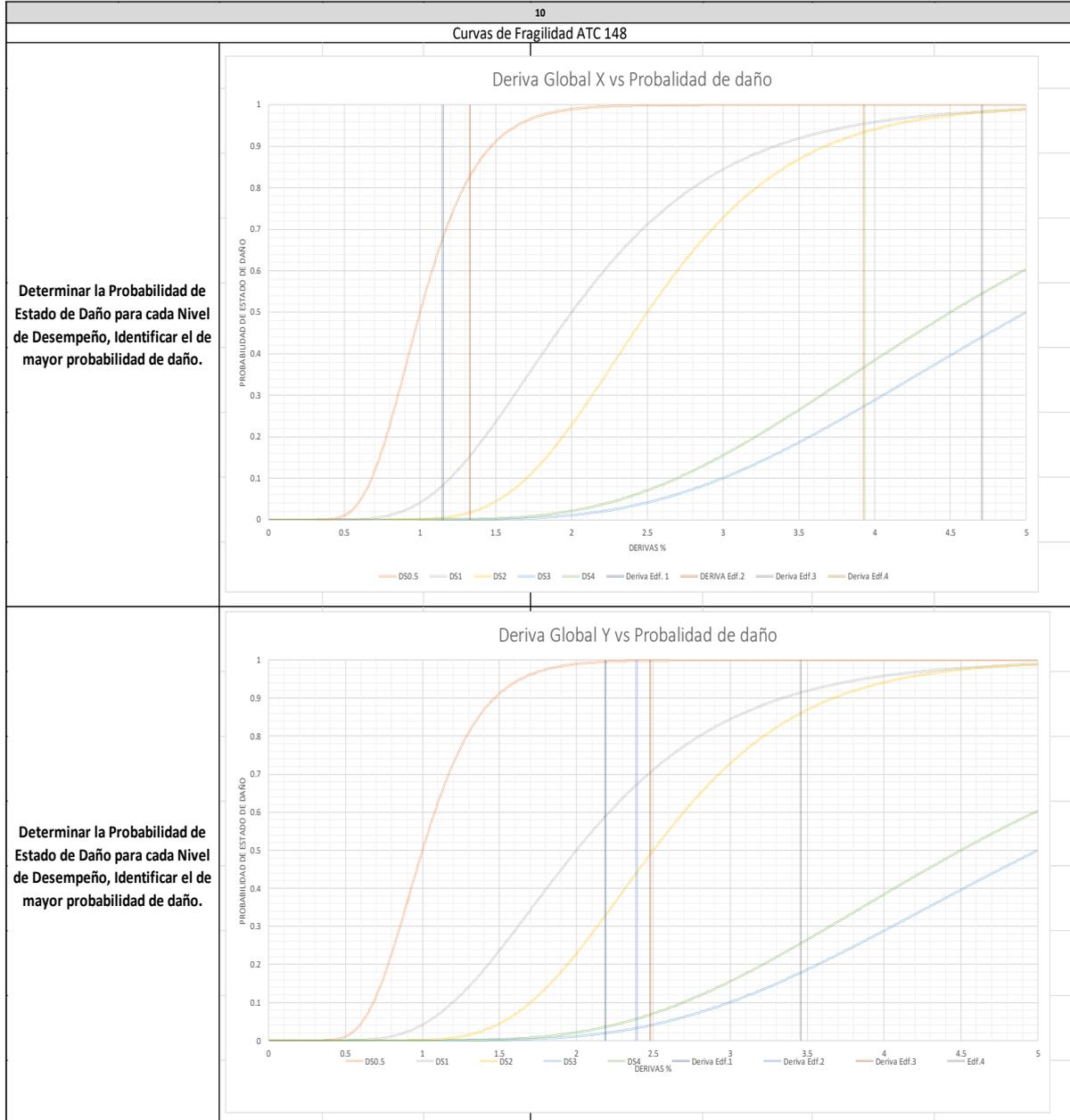
8										
Sistema de edificación					Según el Desempeño y tipo de estructura define el límite de Deriva Residual	TABLA ESTIMACIÓN DE DAÑOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES (DBD 2023-NEC-SE-DS)				
Selecciones Nivel de Desempeño						Estructura de edificación				
Límite de Deriva residual						DS1: Ocupación Inmediata	DS2: Seguridad de Vida	DS3: Prevención de colapso		
Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Tabla de Ponderación					
0.5	0.5	0.25	0	0	DS1: Daño Leve	DS2: Daño Moderado	DS3: Daño Excesivo/Permanente			
0.5	0.5	0	0.25	0	0.5	0.25	0			
1.00	1.00	0.25	0.25	0.00						
9										
INDICACIONES					Table C-1 Damage States for Residual Story Drift Ratio FEMA P58					
Selecciones Nivel de Desempeño					DS1: Operacional	DS2: Ocupación Inmediata	DS3: Seguridad de Vida	DS4: Previsión de Colapso		
Descripción del Estado de la estructura					No es necesario ningún reajuste en la estructura para estabilidad estructural; sin embargo, el edificio puede requerir ajustes y reparaciones de componentes mecánicos y no estructurales sensibles a la alineación del edificio (por ejemplo ascensores, curtain walls y puertas).	Realineación del marco estructural y reparaciones estructurales necesarias para mantener límites de deriva admisibles para los componentes mecánicos y no estructurales y limitar la degradación de la estabilidad estructural (es decir seguridad contra derrumbes)	Se requiere un reajuste estructural importante para restaurar el margen de seguridad para la estabilidad lateral; Sin embargo, la realineación y reparación de la estructura pueden no ser viables económicamente y en la práctica (es decir, la estructura podría pérdida)	La deriva residual es lo suficientemente grande como para que la estructura esté en peligro de colapso por réplicas de terremotos (nota: este punto de funcionamiento podría considerarse igual al colapso, pero con mayor incertidumbre).		
Límite de Deriva residual (%)					0.2	0.5	1	Elegir sistema		
Elegir Sistema Solo para DS4					Límite de Deriva residual para DS4 (%)					
					Sistema de Alta Ductilidad					4
					Sistemas de Moderada Ductilidad					2
Límite de Deriva residual para DS4 (%)					Sistema de Limitada Ductilidad					1
Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Tabla de Valores para calificación					
0.5	0.50	0.25	0.00	0.10	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo	Daño Completo		
0.5	0.50	0.10	0.25	0.00	0.5	0.25	0.10	0		
1.0	1.00	0.35	0.25	0.10						

El peso 10, corresponde a la estimación de daños de elementos estructurales en función de las recomendaciones de la ATC 145, para el efecto se realizaron curvas de fragilidad para determinar la probabilidad de daño en función de las derivas globales como se indicó en la Figura 91, Figura 92, Figura 93 y Figura 94 correspondiente a cada Edificio, en la Figura 106, se puede visualizar las mencionadas curvas incluido los valores de

derivadas globales de las 4 edificaciones y en las 2 direcciones.

**Figura 106.**

*Curvas de Fragilidad para Estimación de Daño en función de la Deriva para los 4 edificios*



De las mencionadas curvas se obtuvieron los valores de probabilidad de daño, que se resume en la Figura 107.

**Figura 107.**

*Peso 10 Estimación de Daño para los 4 Edificios, 3*

Estimación de Daño Deriva Global ATC 145				
Parámetros de análisis	EDIFICIO 1	EDIFICIO 2	EDIFICIO 3	EDIFICIO 4
Estado de Daño ATC 145	Probabilidad de Daño ATC 145	Probabilidad de Daño ATC 145	Probabilidad de Daño ATC 145	Probabilidad de Daño ATC 145
DGX	1.15	1.33	4.71	3.93
DS0.5: No Daño	60.00%	67.00%	4.00%	2.00%
DS1: Leve	10.00%	14.00%	1.00%	0.00%
DS2: Moderado-OI	1.00%	2.00%	43.00%	57.50%
DS3: Excesivo-SV	0.00%	0.00%	44.00%	38.00%
DS4:Completo PC	0.00%	0.00%	11.00%	9.00%
<b>Mayor Probabilidad de Daño</b>	10.00%	14.00%	44.00%	57.50%
<b>RESULTADO DE DESEMPEÑO</b>	<b>DS1: Leve</b>	<b>DS1: Leve</b>	<b>DS3: Excesivo-SV</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>
Dy	2.19	2.39	2.48	3.46
DS0.5: No Daño	40.50%	32.00%	29.00%	8.00%
DS1: Leve	27.00%	24.00%	21.00%	6.00%
DS2: Moderado-OI	28.50%	38.00%	41.00%	60.00%
DS3: Excesivo-SV	2.50%	2.50%	4.00%	18.00%
DS4:Completo P.C.	2.50%	2.50%	3.00%	8.00%
<b>Mayor Probabilidad de Daño</b>	<b>28.50%</b>	<b>38.00%</b>	<b>41.00%</b>	<b>60.00%</b>
<b>RESULTADO DE DESEMPEÑO</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>	<b>DS2: Moderado-OI</b>

Una vez determinadas las probabilidad para cada estado de daño se obtiene la mayor probabilidad y se evalúa el desempeño del edificio, en la Figura 108 se realiza el resumen de los daños presentados en cada edificio para las derivas Globales en la dirección "X" y la dirección "Y", y su calificación que está en función de la tabla de ponderaciones en la que asigna el máximo valor si la edificación presenta daños leves y con cero si la misma presenta daño Completo.

**Figura 108.**

Evaluación final y calificación peso 10

Evaluación de Daño/Deriva Global				
Chequeo con DgX	DS1: Leve	DS1: Leve	DS3: Excesivo-SV	DS2: Moderado-OI
Chequeo con DgY	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI

Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4	Tabla de Valores para calificación			
					No Daño/ Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo	Daño Completo
0.5	0.5	0.5	0.15	0.25	No Daño/ Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo	Daño Completo
0.5	0.25	0.25	0.25	0.25	0.5	0.25	0.15	0
1.0	0.75	0.75	0.4	0.5				

Finalmente, en los pesos 11 y 12 corresponde a los Parámetros de Resiliencia descritos anteriormente siendo este peso de evaluación que tiene mayor ponderación.

En el peso 11 de evaluó la probabilidad de colapso de las edificaciones para el Sismo de Diseño sea menor al 10% que se obtiene del peso 10, en el caso del edificio 3 excede ese valor en la dirección "X" por lo que No cumple esta condición por lo que se le asigna una calificación de 0, para el resto de las condiciones cumple esta condición por lo que se le asigna el valor máximo, lo cual es explicado en la Figura 109.

**Figura 109.**

Peso 11, Parámetros de Resiliencia y Evaluación con las ponderaciones para los 4 edificios

Parámetros de Resiliencia Sísmica				
Probabilidad de colapso <10% DX	OK	OK	NO	OK
Probabilidad de colapso <10% Dy	OK	OK	OK	OK
				TOTAL

11				
Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4
1.00	1.00	1.00	0.00	1.00
1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
2.00	2.00	2.00	1.00	2.00

La recomendación para una Estructura es Resiliente es cuando la probabilidad de Colapso sea menor al 10%

Para el Peso de evaluación 12 se define el Tiempo Objetivo de recuperación funcional en este caso se obtiene la probabilidad de recuperación en función del daño de la Figura 95.

En la **Figura 110** se obtiene la probabilidad de funcionalidad para un Daño leve

**Figura 110.**

Peso 12 Definición del tiempo objetivo de recuperación para las 4 edificaciones.

12					
Selecciones el tipo de Estructura	Tabla Tiempo de Recuperación Funcional Objetivo				
Selecciones el Tipo de Daño para definir el Tiempo Objetivo	Estimación de Daño de la	DS1: Leve	DS2: Moderado	DS3:Excesivo	DS4:Completo
Tiempo Objetivo	CAT. IV Esencial	0.041666667	1	7	30
El tiempo objetivo se ingresa en la curva para determinar la probabilidad de recuperación funcional en función del daño estimado	CAT. III Especial	7	15	30	60
	CAT. I-II Otra	15	30	60	150
	Los tiempos de reparación estimados por FEMA no incluyen "el tiempo adicional necesario para identificar, planificar y permitir el trabajo, organizar la financiación o contratar y movilizar a los contratistas" (FEMA,				

TIEMPO DE RECUPERACIÓN				
Tipo de Estructura	CAT. III Especial	CAT. III Especial	CAT. III Especial	CAT. III Especial
Estado de Daño Crítico	DS2: Moderado	DS2: Moderado	DS2: Moderado	DS2: Moderado
Tiempo Objetivo (Días)	15	15	15	15
Daño	Recuperación Funcional	Recuperación Funcional	Porcentaje de Recuperación Funcional	Porcentaje de Recuperación Funcional
DS1: Leve	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%
DS2: Moderado-OI	6.50%	6.50%	6.50%	6.50%
DS3: Excesivo-SV	3.50%	3.50%	3.50%	3.50%
DS4:Completo P.C.	1.50%	1.50%	1.50%	1.50%
Mayor Probabilidad de recuperación	40.00%	40.00%	40.00%	40.00%
Funcional a Daño	DS1: Leve	DS1: Leve	DS1: Leve	DS1: Leve
P(TRF > Tobjetivo)< Y=10% Para CAT. II				
TRF=	16.5			Días

Como resultado de Desempeño de una estructura de categoría III, Se estima un daño leve, para el tiempo objetivo de 15 días. En la Figura 111, se muestra la evaluación en función del daño esperado y los daños obtenidos en los pesos 6,7,8,9 y 10.

**Figura 111**

Peso 12 Calificación del daño de los pesos 6,7,8,9 y 10 de las 4 edificaciones.

Evaluación de Daño Calculado vs. el estado de Daño Crítico para cumplir con el tiempo de recuperación funcional vs. Tiempo objetivo				
Evaluación de Daño/Deriva Residual DBD				
Drx	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo/Permanente	Daño Excesivo/Permanente
Puntaje	0.500	0.333	0.083	0.083
DrY	Daño Leve	Daño Excesivo/Permanente	Daño Moderado	Daño Excesivo/Permanente
Puntaje	0.500	0.083	0.333	0.083
Estimación de Daño Deriva Residual FEMA P58				
Drx	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Completo	Daño Excesivo
Puntaje	0.500	0.333	0.000	0.083
DrY	Daño Leve	Daño Excesivo	Daño Moderado	Daño Completo
Puntaje	0.500	0.083	0.333	0.000
Estimación de Daño Deriva Global ATC 145				
DGX	DS1: Leve	DS1: Leve	DS3: Excesivo-SV	DS2: Moderado-OI
Puntaje	0.500	0.500	0.083	0.333
DGY	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI	DS2: Moderado-OI
Puntaje	0.333	0.333	0.333	0.333

A continuación, se presenta la tabla de Valores y la calificación del peso 12 que definirá el segundo parámetro de Resiliencia, este peso equivale el 30 % total de toda la calificación.

**Figura 112**

Peso 12 Calificación y Tabla de ponderación para las 4 edificaciones.

Tabla de Valores para calificación				
Daño Leve	Daño Moderado	Daño Excesivo/ Permanente	Daño Completo	
0.5000	0.3333	0.0833	0.0000	

Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4
<b>3</b>	2.833	1.667	1.167	0.917

Como resultado final y la suma de las calificaciones de los pesos antes mencionado se obtiene el Índice de Resiliencia (IR) que se resume en la **Tabla 38**, en la que indica el valor del Índice calculado para cada Edificio de la muestra de estudio.

**Tabla 38.**

*Resumen de evaluación para Índice de Resiliencia Sísmica*

Pesos	Descripción	Ponderación	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación
			E1	E2	E2	E2
1	Estudios	0.20	0.20	0.20	0.20	0.20
	Geotécnicos					
2	Periodo/Rigidez	0.10	0.09	0.083	0.06	0.06
3,4,5,6	Análisis/Evaluación	0.70	0.70	0.70	0.70	0.70
	Estructural					
7,8,9,10	Desempeño y	4.00	3.40	2.00	1.50	1.10
	Estimación de Daños					

11,12	Parámetros de Resiliencia	5.00	4.83	3.67	2.17	2.92
<b>Índice de Resiliencia (IR)</b>		10.00	<b>9.22</b>	<b>6.65</b>	<b>4.630</b>	<b>4.98</b>

Una vez obtenido el índice de Resiliencia (IR), se debe determinar qué tan resiliente es la edificación, por lo que se definió una tabla de valores con diferentes parámetros en relación de las ponderaciones mínimas y máximas que pueda tener el mencionado Índice (IR), midiendo así su desempeño y resiliencia sísmica del caso de estudio, como se muestra a continuación en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia..**

### Figura 113

*Parámetros para evaluar el Índice de Resiliencia Sísmica*

Parámetros de Calificación Índice de Resiliencia			ESTRELLAS	
1	$0 < IR \leq 3$	No Resiliente	0 ESTRELLAS	
2	$3 < IR \leq 5$		1 ESTRELLAS	
3	$5 < IR \leq 6$	Medianamente Resiliente	2 ESTRELLAS	
4	$6 < IR \leq 7$		3 ESTRELLAS	
5	$7 < IR \leq 8$	Resiliente	4 ESTRELLAS	
6	$8 < IR \leq 10$		5 ESTRELLAS	

Como se observa en la figura anterior, los rangos presentados están en función del Índice de Resiliencia (IR), que determinan si la Edificación: No es Resiliente, es moderadamente Resiliente y es Resiliente, para facilitar la comprensión de la calificación realizada, se utiliza una simbología de calidad representado por estrellas doradas, las mismas que van de 0 a 5 estrellas.

Al aplicar los pesos de evaluación para el caso de estudio en función del Índice de Resiliencia (IR) se determinó que la estructura del caso de estudio: El Edificio 1 tiene una calificación de 5 estrellas por lo es Resiliente, el Edificio 2, tiene una calificación de 3

estrellas lo que implica que es medianamente resiliente y finalmente las edificaciones que presentaron un mal desempeño el Edificio 3 y Edificio 4 tienen una estrella lo que indica que no son edificaciones resilientes a un evento sísmico como se observa en la Figura 114.

**Figura 114**

*Calificación Final de los Edificios*

Ponderación	CALIFICACIÓN E1	CALIFICACIÓN E2	CALIFICACIÓN E3	CALIFICACIÓN E4
10.00	9.22	6.65	4.62	4.97
<b>GRADO DE RESILIENCIA</b>	5 ESTRELLAS	3 ESTRELLAS	1 ESTRELLAS	1 ESTRELLAS
	★★★★★	★★★	★	★
	<b>Resiliente</b>	<b>Medianamente Resiliente</b>	<b>No Resiliente</b>	<b>No Resiliente</b>

Con esta calificación, permite al diseñador tomar decisiones para mejorar las estructuras y determinar donde se puede focalizar el reforzamiento o reacondicionamiento sísmico, que sería lo más viable para el Edificio 2, que con un reforzamiento estructural puede mejorar su desempeño sísmico y subir su grado de resiliencia.

Para el caso de los edificios 3 y 4 se debe analizar si el reforzamiento estructural o reacondicionamiento sísmico puede mejorar considerablemente su grado de resiliencia ya que la inversión que se puede necesitar para llegar a un desempeño óptimo puede ser muy costosa, y su intervención agresiva, pues el edificio no estaría operativo por mucho tiempo, y no se puede garantizar que las edificaciones sean resilientes para este tipo de edificaciones por lo que se debería cambiar de uso. En la que pueda cumplir con el desempeño definido por el Diseñador Estructural.

## Capítulo V: Conclusiones, recomendaciones y referencias

### Conclusiones

- En el presente trabajo de Investigación se plantea una metodología de evaluación sísmica basada en resiliencia, considerando los tiempos de recuperación funcional, que debe tener una estructura de uso público o que pueda necesitar una operación inmediata posterior a un evento sísmico, la muestra de estudio de 4 edificio de hormigón armado que fueron afectado por el sismo de pasado 16 de abril del 2016, para el efecto, se realizó un control de daños de los elementos estructurales y no estructurales para posterior determinar su grado de resiliencia sísmicas.
- Con el aporte del presente trabajo de investigación como fundamento normativo, permitirá dar un paso más adelante de la Ingeniería Sísmica basada en Desempeño, implementando nuevos parámetros y conceptos que aportarán a tener Estructuras Resilientes ante eventos Sísmicos, sobre todo a edificaciones Esenciales, Especiales y de alta concurrencia.
- El contenido de esta metodología planteada en la presente investigación es didáctico, de fácil aplicación para cualquier Ingeniero Diseñador y/o Evaluador Estructural, como se detalla en los Anexos. Con una planificación clara del proceso, permitirá cumplir parámetros definidos y necesarios para un evaluación estructural completa, iniciando con estudios geotécnicos estáticos y dinámicos, utilizar el periodo de la estructura para determinar su desempeño y rigidez, además hacer hincapié en los Análisis Estructurales recomendados por la ASCE 7-22, lineales, no lineales, tanto estáticos como dinámicos, para posteriormente determinar su desempeño y control de daños y finalmente definir los parámetros de resiliencia con el tiempo de recuperación funcional, y la probabilidad de colapso menor al 10% dado el Sismo de Diseño, Determinando su respectivo Índice de Resiliencia (IR), para su calificación.

- La mayor ponderación del Índice de Resiliencia de los pesos de evaluación, corresponden a los parámetros de resiliencia, con una ponderación correspondiente al 50% distribuido de la siguiente manera: si la probabilidad de colapso es menor del 10% dado el sismo de diseño (para este caso), corresponde un 20% y si la mayor probabilidad de recuperación funcional para años leves y moderados están dentro del tiempo de recuperación objetivo para una estructura de categoría III y IV corresponde un valor del 30%.

- Los Índices de Resiliencia obtenido para el cada edificio son los siguientes:

<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>	<b>CALIFICACIÓN</b>
<b>E1</b>	<b>E2</b>	<b>E3</b>	<b>E4</b>
9.22	6.65	4.62	4.97
5 ESTRELLAS	3 ESTRELLAS	1 ESTRELLA	1 ESTRELLA

Por lo que se puede concluir que es una Edificio 1 del resiliente, el Edificio 2 es medianamente resiliente, y los Edificios 3 y 4, No son resilientes, este desempeño está en función de que ocurra un evento sísmico, que puede ser el simulando para este caso el sismo de diseño, la estimación de daños que puedan presentarse en las edificaciones, para el caso de las estructuras resilientes los daños son leves y moderados. Para las estructuras no resilientes de este estudio, se reflejan daños excesivos o completos.

- Los tiempos de recuperación funcional son proporcional al daño por lo que, se puede concluir que la recuperación funcional estará dentro de lo planificado y permitirá la ocupación inmediata para el caso del Edificio 1, sin embargo, para el resto de los edificios no se cumple con el tiempo objetivo de recuperación y no se puede catalogar como resilientes.

- Con el cálculo del índice de resiliencia y la calificación de las Edificaciones, permite al diseñador tomar decisiones para mejorar las estructuras, por lo que permite determinar donde se puede focalizar el reforzamiento o reacondicionamiento sísmico, Para el caso de estudio el más viable es para el Edificio 2, que con un reforzamiento estructural puede mejorar su desempeño sísmico y subir su grado de resiliencia.
  
- Para el caso de los edificios 3 y 4 se debe analizar si el reforzamiento estructural o reacondicionamiento sísmico puede mejorar considerablemente su grado de resiliencia, ya que la inversión necesaria para llegar a un desempeño óptimo, puede ser muy costosa y agresiva su intervención, pues el edificio no estaría operativo por mucho tiempo, y no se puede garantizar que las edificaciones sean resilientes para este tipo de edificaciones, debido a la calidad de materiales, configuración estructural, se puede considerar un cambiar de uso para disminuir la exigencia referente a los niveles y objetivos de desempeño.
  
- Cabe recalcar la importancia de un reforzamiento estructural para mejorar su desempeño y su resiliencia sísmica. Sobre todo, con la adecuada evaluación y rehabilitación estructural se puede controlar los daños y salvaguardar la vida de los usuarios y los bienes materiales. Como es el caso del Edificio 1.
  
- El manejo del concepto de resiliencia sísmica y la recuperación funcional obviamente disminuirá los costos de reparación, por lo que el aporte de esta investigación, como fundamento normativo, contribuirá notablemente para garantizar edificaciones seguras y aportará a una comunidad resiliente.

## Recomendaciones

- Siguiendo el ejemplo y las experiencias de muchos países en el mundo, la inclusión de varios actores tanto públicos y privados para la institucionalización de la normativa Sismorresistente permitirá incluir esta metodología, y más estudios sobre el Diseño y Evaluación Sísmica basada en Resiliencia.
- Con un trabajo conjunto con el estado y la academia se puede lograr que las políticas públicas incentiven a los usuarios a construir edificaciones y ciudades Resilientes ante las amenazas sísmicas latentes, y sobre todo fortalecer la investigación de la Resiliencia Sísmica.
- Actualmente, la exigencia del cumplimiento de la Normativa permite que se tengan edificaciones Sismorresistentes, sin embargo, la inclusión del concepto de resiliencia sísmica se debe implementar en nuestro país para fortalecer a la Ingeniería Estructural del país y al código modelo de la región.
- Se recomienda la implementación de esta metodología para futuras actualizaciones de la normativa de seguridad estructural para que sea de obligatorio cumplimiento y además se debería utilizar esta metodología para realizar una evaluación masiva de edificaciones de alta concurrencia como un actualización de la resolución 008-CTUGS-2020 “PARÁMETROS EVALUACIÓN EDIFICACIONES EXISTENTES DE ALTA CONCURRENCIA” con el fin que estas edificaciones se pueda determinar qué tan resilientes son ante eventos sísmicos.

## Referencias

- Acosta, A., Guerrero, D., León, R., Oña, P., Cruz, M., & Toulkeridis, T. (2016). 35 *Revista de Ciencias de Seguridad y Defensa* CALIFICACIÓN Y CUANTIFICACIÓN DE FALLAS GEOLÓGICAS EN EL DISTRITO METROPOLITANO DE QUITO.  
<https://www.extremos.com>
- ALAS FERNÁNDEZ, R. E., & GRIJALVA, S. (2018). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, POR MEDIO DE CURVAS DE FRAGILIDAD, UTILIZANDO EL ANÁLISIS DINÁMICO NO LINEAL INCREMENTAL, UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR*. (“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de ... - UES”)
- Alcaráz, J. M. (2017). Un enfoque integral para la evaluación de la resiliencia sísmica. (“Un enfoque integral para la evaluación de la resiliencia sísmica”) In *TESIS*.
- Ayala Milián, A. G. (2022). ANÁLISIS DE LA RESILIENCIA SÍSMICA DE EDIFICIOS. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 107, 47–73. <https://doi.org/10.18867/ris.107.603>
- Carillo, J. (2008). "ESTRUCTURAS UTILIZANDO UN DISEÑO POR DESEMPEÑO EVALUATION OF THE SEISMIC VULNERABILITY OF STRUCTURES USING A PERFORMANCE DESIGN." (“(PDF) EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE ESTRUCTURAS UTILIZANDO ...”) 91–102.
- FEMA (2021). *FEMA P 2082, 2020 NEHRP Recommended Seismic Provisions: Design Examples, Training Materials, and Design Flow Charts*.  
<https://www.fema.gov/emergency-managers/risk-management/building-science/earthquakes>.
- FEMA P58, M. M., & Hanson, R. D. (2018). *Seismic Performance Assessment of Buildings*

*Volume 1-Methodology Second Edition Prepared for FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY.* [www.ATCouncil.org](http://www.ATCouncil.org)

Gil-Ureta, M., Carlos, J., Llera, D., & Rivera, F. (2017). *Infra estructura resiliente caso chileno.* January. <https://www.researchgate.net/publication/321595193>

González, H., Indira, R., Rodríguez, S., Samir, M., Cordero, M., Andreina, E., Garrido, U., & David, R. (2016). "VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UN EDIFICIO APORTICADO DE CONCRETO ARMADO DE CINCO NIVELES, CON IRREGULARIDAD EN PLANTA Y VARIACIONES EN EL DIAFRAGMA DE PISO." ("VULNERABILIDAD SÍSMICA DE UN EDIFICIO APORTICADO DE CONCRETO ... - Redalyc") *Revista Multidisciplinaria Del Consejo de Investigación de La Universidad de Oriente*, 6–8.

Heintz, J. A., Executive, P., Manager Chiara McKenney, P., Project Manager, A., Elwood Nic Brooke Gregory Deierlein Abbie Liel Santiago Pujol Llano James Malley Jack P Moehle Bill Tremayne John Wallace, K. G., Pujol Llano James Malley, S., & Abdullah Vishvendra Bhanu Ryo Kuwabara Donovan Llanes Kai Marder Gonzalo Munoz Polly Murray Eytayo Opabola Matias Rojas Leon Amir Safiey Mehdi Sarrafzadeh Prateek Shah Tomomi Suzuki, S. (2021). *ATC 145\_2\_ Resilient Repair Guide Source Report: Case Study Annex.* [www.ATCouncil.org](http://www.ATCouncil.org)

Helping, P., Build, P., & World, S. (2019). *A National Approach to Seismic Functional Recovery for New Construction A roundtable discussion convened by the International Code.* INTERNATIONAL CODE COUNCIL.

INEN, Saraguro, D., Jácome, R., Vélez, D., & Nabernegg, M. (2019). *Boletín Técnico No 01-2019-ENED.*

Informe Sísmico Especial N. 18 - 2016 - Instituto Geofísico - EPN. (2016). *IG-EPN.*

<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1324-informe-sismico-especial-n-18-2016>

Instituto Geofísico, E. P. N. (2012). *"TERREMOTO DE ESMERALDAS DE 1906 - UNO DE LOS SISMOS MÁS GRANDES DE LA HISTORIA RECIENTE."* ("Sismos Y Terremotos Ensayos gratis 1 - 50 - ClubEnsayos.com")

<https://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/575-terremoto-de-esmeraldas-de-1906-uno-de-los-sismos-m%C3%A1s-grandes-la-historia>

INTERNACIONAL INSTITUTE OF SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING BUILDING RESEARCH INSTITUTE- JAPON. (2021, December 23). *ENHANCEMENTE AND DISSEMINATION OF EARTHQUAKE-RESISTANT TECHNOLOGY FOR BUILDINGS IN LATIN AMERICAN COUNTRIES.*

J. Aveiga, F. Carvajal, (UNIVERSIDAD CENTRAL DEL ECUADOR). (2018). *"Análisis de pérdidas y estimación de daños utilizando la herramienta PACT del FEMA P-58, en una edificación ubicada en la ciudad de Quito."* ("Repositorio Digital: Análisis de pérdidas y estimación de daños ...")

Lagos, R., Lafontaine, M., Bonelli, P., Boroschek, R., Guendelman, T., Massone, L. M., Saragoni, R., Rojas, F., & Yañez, F. (2021). The quest for resilience: The Chilean practice of seismic design for reinforced concrete buildings. *Earthquake Spectra*, 37(1), 26–45. <https://doi.org/10.1177/8755293020970978>

Mcallister, T., & McCabe, S. (2018). "Research Needs to Support Immediate Occupancy Building Performance Objective Following Natural Hazard Events." ("A framework for operationalizing the assessment of post-earthquake ...") *NIST*.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.6028/NIST.SP.1224>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, (2015) *NEC-SE-RE: RIESGO SÍSMICO, EVALUACIÓN, REHABILITACIÓN DE ESTRUCTURAS.*

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/6.-NEC-SE-RE-Riesgo-sismico.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2019). *Manual para regulación de procesos constructivos* (Vol. 58, Issue 12). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2019/06/Manual-para-la-Regulacion-de-Procesos-Constructivos.pdf>

Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda. (2021). *PLAN DE IMPLEMENTACION DE PROCESOS CONSTRUCTIVOS MIDUVI-JICA*. [https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/Libro\\_JICA\\_2021\\_outlines\\_low.pdf](https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2021/10/Libro_JICA_2021_outlines_low.pdf)

Ministerio de Desarrollo Urbano y vivienda MIDUVI (2015) *NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismo Resistente*, (2015). <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/2023/03/2.-NEC-SE-DS-Peligro-Sismico-parte-1.pdf>

MINISTERIO DE DESARROLLO URBANO Y VIVIENDA. (2016). *ANÁLISIS, ESTUDIO Y PLANTEAMIENTO DE SOLUCIONES ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES AFECTADAS POR EL TERREMOTO DEL 16 DE ABRIL DEL 2016 EN LA PROVINCIA DE MANABÍ, CANTÓN SUCRE, IDENTIFICADAS COMO DE ALTO RIESGO*.

National Institute of Building Sciences NIBS, & Building Seismic Safety Council BSSC. (2020). *Resilience-Based Design and the NEHRP Provisions*. FEMA IDIQ Contract HSFE60-15-D-0022.

Diseño Basado en Desplazamientos, (2023). *NEC-SE-DS: Peligro Sísmico, Diseño Sismorresistente*.

NIST. (2016). NIST Special Publication 1190: Community Resilience Planning Guide for Buildings and Infrastructure Systems, Volume II. *National Institute of Standards and Technology, II*, 126.

OMS. (2004). "Fundamentos para la Mitigación de Desastres en Establecimientos de Salud." ("Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud")

Rosenberg, M. (2023, April 5). "Anillo de Fuego." *ThoughtCo*. [Thoughtco.Com/Ring-of-Fire-1433460](https://www.thoughtco.com/ring-of-fire-1433460).

*Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings*. (2017). American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>

Seismosoft. (2002). *SeismoStruct Manual de Usuario*. [www.seismosoft.com](http://www.seismosoft.com)

Terremoto Pista. (2022). <https://earthquaketrack.com/quakes/2016-04-16-23-58-37-utc-7-8-19>.

UNISDR. (2004). Natural disasters: rich countries also pay their toll. *World Conference on Disaster Reduction*, 8(October), 1. [www.unisdr.org/wcdr](http://www.unisdr.org/wcdr)

UNISDR. (2009). 2009 UNISDR Terminología sobre Reducción del Riesgo de Desastres. *Estrategia Internacional Para La Reducción de Desastres de Las Naciones Unidas (UNISDR)*, 43.

Universidad Nacional autónoma de México-UNAM. (2022). *Resiliencia Sísmica, Desarrollo de Capacidades Nacionales para la rehabilitación de Edificios*.

<https://www.resilienciasismica.unam.mx/>.

## Apéndices