

Universidad Católica de Santa María
Facultad de Arquitectura e Ingenierías Civil y del Ambiente
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



**Análisis comparativo del comportamiento sísmico de disipadores de
fluencia Shear Link Bozzo y de fricción Quaketek en una edificación
multifamiliar, Arequipa 2024.**

Tesis presentada por el Bachiller:

Pure Aguinaga, Christian Sebastian

ORCID: 0009-0001-4151-2059

para optar el Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor (a):

Ing. Chávez Vega, Oscar Félix

ORCID: 0000-0002-2281-2013

Arequipa - Perú

2025

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 14 de Abril del 2025

Dictamen: 013457-C-EPIC-2025

Visto el borrador del expediente 013457, presentado por:

2017202091 - PURE AGUINAGA CHRISTIAN SEBASTIAN

Titulado:

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE DISIPADORES DE FLUENCIA
SHEAR LINK BOZZO Y DE FRICCIÓN QUAKETEK EN UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR,
AREQUIPA 2024.**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

Título Profesional/Título de Segunda Especialidad/Grado Académico a optar:

INGENIERO CIVIL

**29238311 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR**



**42839424 - ROSAS ESPINOZA JORGE
DICTAMINADOR**



**72476554 - BUSTAMANTE MORA BORIS ANDRE
DICTAMINADOR**



Análisis comparativo del comportamiento sísmico de disipadores de fluencia Shear Link Bozzo y de fricción Quaketek en una edificación multifamiliar, Arequipa 2024.

INFORME DE ORIGINALIDAD

26%

INDICE DE SIMILITUD

25%

FUENTES DE INTERNET

6%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

11%

2

repositorioacademico.upc.edu.pe

Fuente de Internet

1%

3

repositorio.upeu.edu.pe

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.upt.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

cybertesis.uni.edu.pe

Fuente de Internet

1%

6

repositorio.ucv.edu.pe

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.upla.edu.pe

Fuente de Internet

1%

8

biblioteca2.ucab.edu.ve

Fuente de Internet

<1%

DEDICATORIA

*Dedico este trabajo a Dios, por haberme guiado a lo largo de este camino y por darme
fortaleza en los momentos difíciles de mi carrera profesional.*

*A mis padres, Ruben e Isabel, por su apoyo incondicional y confianza en cada paso de mi
formación profesional.*

A mis hermanos, por su cariño, compañía y motivación durante todo este proceso.

*A mis profesores, cuya orientación ha sido invaluable en este proceso, y a mis amigos, por su
constante aliento. Este logro es el reflejo de su apoyo continuo.*

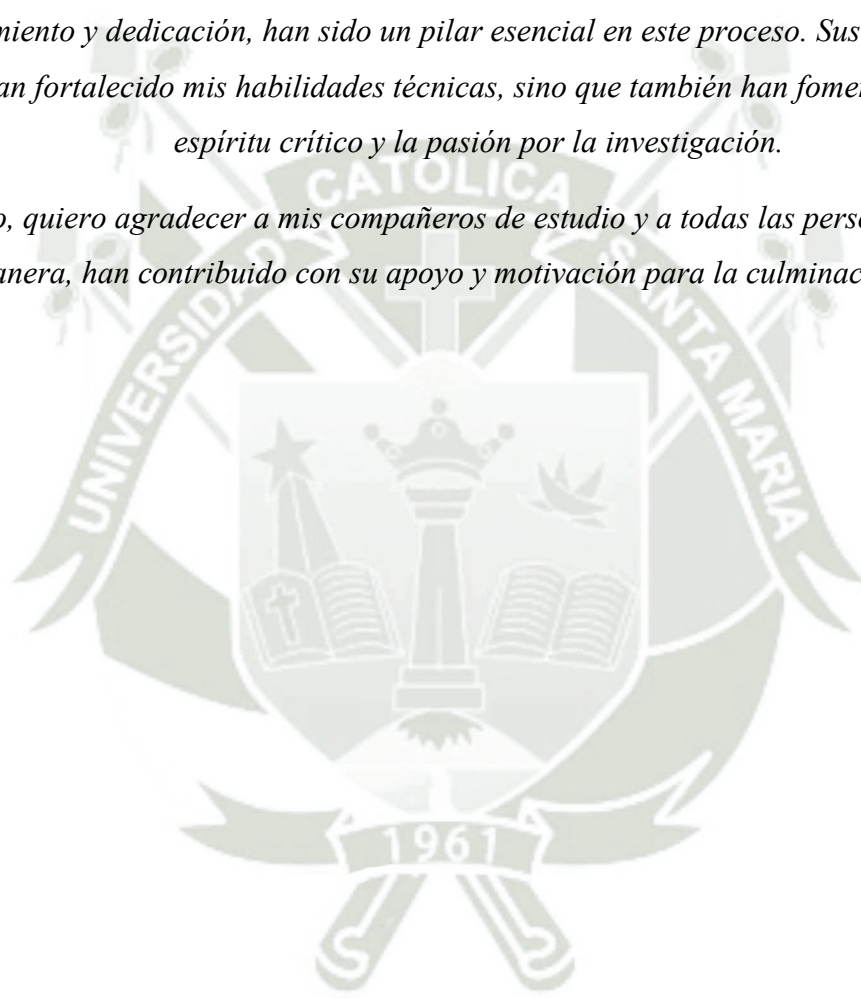


AGRADECIMIENTOS

Agradezco a la Universidad Católica de Santa María por haberme brindado la formación académica y los recursos necesarios para llevar a cabo esta investigación. Su compromiso con la excelencia educativa ha sido fundamental en mi desarrollo profesional y en la culminación de este trabajo.

Expreso mi más sincero reconocimiento a mis profesores y asesores, quienes, con su guía, conocimiento y dedicación, han sido un pilar esencial en este proceso. Sus enseñanzas no solo han fortalecido mis habilidades técnicas, sino que también han fomentado en mí el espíritu crítico y la pasión por la investigación.

Asimismo, quiero agradecer a mis compañeros de estudio y a todas las personas que, de una u otra manera, han contribuido con su apoyo y motivación para la culminación de esta tesis.



RESUMEN

Esta investigación analiza comparativamente el comportamiento sísmico de los disipadores históricos Shear Link Bozzo (SLB) y los disipadores de fricción Quaketek, con el objetivo de determinar su efectividad en la reducción de daños estructurales y mejora de la seguridad sísmica en edificaciones de Arequipa. Mediante simulaciones numéricas y análisis estructurales, se evaluaron sus capacidades de disipación de energía, así como su impacto en la reducción de desplazamientos y derivas. Los resultados muestran que los disipadores SLB destacan en la reducción de desplazamientos laterales, alcanzando disminuciones de hasta 43% en eventos sísmicos severos, en comparación con una reducción del 39% lograda por los disipadores Quaketek. En términos de disipación de energía, los SLB absorbieron aproximadamente el 52% de la energía sísmica, mientras que los Quaketek lograron un 47%. Por otro lado, los disipadores de fricción Quaketek demostraron una mayor efectividad en la reducción de desplazamientos y máximas distorsiones laterales, lo que mejora la seguridad y el confort de los ocupantes, especialmente en sismos moderados. En conclusión, los disipadores SLB son más adecuados para edificaciones en zonas altamente sísmicas, donde el control de desplazamientos y la disipación de energía son prioritarios. En contraste, los disipadores Quaketek son recomendables en estructuras donde el confort y la reducción de aceleraciones son factores determinantes.

Palabras claves: Disipadores históricos Shear Link Bozzo, Disipadores de fricción Quaketek, desplazamientos laterales.

ABSTRACT

This research comparatively analyzes the seismic behavior of Shear Link Bozzo (SLB) hysteretic dampers and Quaketek friction dampers, aiming to determine their effectiveness in reducing structural damage and improving seismic safety in buildings in Arequipa. Through numerical simulations and structural analyses, their energy dissipation capacities were evaluated, as well as their impact on the reduction of displacements and drifts. The results show that SLB dampers excel in reducing lateral displacements, achieving reductions of up to 43% during severe seismic events, compared to a 39% reduction achieved by Quaketek dampers. In terms of energy dissipation, the SLBs absorbed approximately 52% of the seismic energy, while the Quaketek dampers reached 47%. On the other hand, the Quaketek friction dampers demonstrated greater effectiveness in reducing displacements and maximum lateral distortions, which enhances the safety and comfort of occupants, especially during moderate earthquakes. In conclusion, SLB dampers are more suitable for buildings in highly seismic zones, where displacement control and energy dissipation are priorities. In contrast, Quaketek dampers are recommended for structures where comfort and acceleration reduction are determining factors.

Key words: Shear Link Bozzo hysteretic dampers, Quaketek friction dampers, lateral displacements.

ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTOS

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN 1

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA 3

1.1 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN 3

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 6

1.2.1 Problema general..... 6

1.2.2 Problemas Específicos..... 6

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN 6

1.3.1 Justificación Ambiental..... 6

1.3.2 Justificación Social..... 6

1.3.3 Justificación Económica..... 7

1.3.4 Justificación Tecnológica..... 7

1.3.5 Justificación Política 7

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN 8

1.4.1 Hipótesis general..... 8

1.4.2 Hipótesis Específicas..... 8

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN 8

1.5.1 Objetivo general 8

1.5.2 Objetivos específicos..... 9

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES 9

1.6.1 Alcances 9

1.6.2 Limitaciones 10

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO	12
2.1 ESTADO DEL ARTE	12
2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN	15
2.3 MARCO LEGAL	19
2.4 MARCO TEÓRICO	21
2.4.1 Peligro sísmico	21
2.4.2 Análisis sísmico.....	24
2.4.3 Sistemas de protección sísmica.....	26
2.4.4 Sistemas de Disipación de Energía	34
2.4.5 Disipadores de energía SLB.....	42
2.4.6 Disipadores de energía Quaketek.....	45
CAPÍTULO III	
3. METODOLOGÍA PROPUESTA	51
3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	51
3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN.....	52
3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN	53
3.3.1 Descripción del área de estudio.....	55
CAPÍTULO IV	
4. RESULTADOS.....	57
4.1 MODELAMIENTO ESTRUCTURAL.....	57
4.1.1 Vista de las plantas.....	58
4.1.2 Definición de la masa sísmica.....	60
4.1.3 Análisis modal.....	61
4.1.4 Cálculo del centro de masa y de rigidez.....	64
4.2 ANÁLISIS ESTÁTICO.....	65
4.2.1 Determinación del coeficiente sísmico	65
4.2.2 Distribución de las cargas estáticas laterales equivalentes.....	81
4.2.3 Fuerzas cortantes	83
4.2.4 Máximas distorsiones laterales.....	88
4.3 ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL.....	93

4.3.1	Demanda sísmica.....	93
4.3.2	Respuesta sísmica modal espectral	96
4.4	DEFINICIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA	104
4.4.1	Registro sísmico de Atico-Arequipa 2001	104
4.4.2	Registro sísmico de Ica del 2007.....	106
4.4.3	Registro sísmico de Huaraz 1970.....	107
4.4.4	Escalamiento de los registros sísmicos	109
4.5	DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA SLB	111
4.5.1	Colocación de una línea de los dispositivos de disipación SLB	111
4.5.2	Colocación de dos líneas de disipación en dirección X e Y.....	114
4.5.3	Diseño de los dispositivos de disipación SLB en X.....	118
4.5.4	Diseño de los dispositivos de disipación SLB en Y.....	122
4.5.5	Respuesta sísmica con disipadores de energía	127
4.5.6	Respuesta no lineal tiempo historia.....	137
4.6	DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS QUAKETEK.....	143
4.6.1	Modelamiento estructural del sistema con disipadores de fricción.....	143
4.6.2	Respuesta modal con disipadores Quaketek	147
4.6.3	Diseño de elementos Quaketek por fricción en dirección X.....	150
4.6.4	Diseño de elementos Quaketek por fricción en dirección Y	153
4.6.5	Respuesta sísmica de la estructura con disipadores Quaketek.....	159
4.7	RESPUESTA TIEMPO HISTORIA NO LINEAL	168
4.7.1	Comportamiento cíclico de los disipadores sismo de Pisco 2007.....	170
4.7.2	Comportamiento cíclico de los disipadores ante el sismo de Atico.... 2001	174
4.7.3	Comportamiento cíclico de los disipadores ante el sismo de Huaraz.. 1970.....	177
4.7.4	Disipadores de energía colocados en el eje 8.....	182
4.7.5	Máximas distorsiones Análisis no lineal tiempo historia.....	197

4.8 DISEÑO POR CAPACIDAD	211
4.9 EVALUACIÓN DEL REFUERZO COLOCADO	219
4.9.1 Evaluación del diagrama de interacción.....	219
CONCLUSIONES	221
RECOMENDACIONES	223
REFERENCIAS	225
ANEXOS.....	235



ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	<i>Resumen de tipos de disipadores de energía pasivos</i>	<i>32</i>
Tabla 2	<i>Matriz Operacional</i>	<i>53</i>
Tabla 3	<i>Características modales del sistema estructural analizado.....</i>	<i>63</i>
Tabla 4	<i>Centros de masa y de rigidez por niveles del sistema estructural.</i>	<i>64</i>
Tabla 5	<i>Factor de Suelo “S” de la Norma E.030</i>	<i>67</i>
Tabla 6	<i>Periodos “TP” y “TL” de la Norma E.030</i>	<i>67</i>
Tabla 7	<i>Determinación de la Irregularidad por Altura – Piso Blando en “X”</i>	<i>71</i>
Tabla 8	<i>Determinación de la Irregularidad por Altura – Piso Blando en “Y”</i>	<i>71</i>
Tabla 9	<i>Determinación de la Irregularidad de Resistencia – Piso Débil en “X”</i>	<i>72</i>
Tabla 10	<i>Determinación de la Irregularidad de Resistencia – Piso Débil en “Y”</i>	<i>72</i>
Tabla 11	<i>Determinación de la Irregularidad de Peso o Masa en “X”</i>	<i>73</i>
Tabla 12	<i>Determinación de la Irregularidad de Peso o Masa en “Y”</i>	<i>73</i>
Tabla 13	<i>Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión Derivas</i>	<i>74</i>
Tabla 14	<i>Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión Relación de Derivas</i>	<i>75</i>
Tabla 15	<i>Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión extrema Derivas</i>	<i>75</i>
Tabla 16	<i>Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión extrema Relación de Derivas</i>	<i>76</i>
Tabla 17	<i>Determinación de Irregularidad Esquinas Entrantes</i>	<i>76</i>
Tabla 18	<i>Determinación de Irregularidad Discontinuidad de Diafragma</i>	<i>77</i>
Tabla 19	<i>Parámetros de respuesta sísmica definidas por la Norma E.030</i>	<i>77</i>
Tabla 20	<i>Distribución de las fuerzas cortantes aplicadas al centro de masa de la estructura en dirección X e Y.....</i>	<i>83</i>
Tabla 21	<i>Fuerzas cortantes inducidas por el sismo en dirección X.....</i>	<i>84</i>
Tabla 22	<i>Fuerzas cortantes inducidas por el sismo en dirección Y.....</i>	<i>86</i>
Tabla 23	<i>Máximas distorsiones laterales por el sismo en dirección X y los máximos normativos.</i>	<i>89</i>

Tabla 24	<i>Máximas distorsiones laterales por el sismo en dirección Y y los máximos normativos.</i>	91
Tabla 25	<i>Parámetros de respuesta sísmica de la edificación analizada</i>	93
Tabla 26	<i>Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	96
Tabla 27	<i>Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	98
Tabla 28	<i>Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	100
Tabla 29	<i>Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	102
Tabla 30	<i>Fuerza cortante de análisis y cortantes de diseño y las propiedades.</i>	121
Tabla 31	<i>Fuerza cortante de análisis y cortantes de diseño y las propiedades.</i>	124
Tabla 32	<i>Propiedades de diseño de los disipadores de energía SLB.</i>	125
Tabla 33	<i>Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	127
Tabla 34	<i>Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	129
Tabla 35	<i>Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	132
Tabla 36	<i>Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	134
Tabla 37	<i>Características modales de la estructura considerada y los periodos asociados.</i>	150
Tabla 38	<i>Fuerzas axiales actuantes, fuerzas de diseño y áreas requeridas.</i>	153
Tabla 39	<i>Fuerzas axiales requeridas en cada uno de los disipadores de fricción existentes.</i>	156
Tabla 40	<i>Propiedades mecánicas requeridas de cada uno de los disipadores de fricción Quaketek.</i>	158
Tabla 41	<i>Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.</i>	159

Tabla 42	<i>Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.....</i>	161
Tabla 43	<i>Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.....</i>	164
Tabla 44	<i>Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.....</i>	166
Tabla 45	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 100%EW+30%NS.....</i>	197
Tabla 46	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.....</i>	200
Tabla 47	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 100%EW+30%NS.....</i>	202
Tabla 48	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 30%EW+100%NS.....</i>	204
Tabla 49	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz, 100%EW+30%NS.....</i>	206
Tabla 50	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 30%EW + 100%NS.....</i>	208

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	<i>Espectro de aceleraciones característico de la norma peruana de diseño sísmico.....</i>	22
Figura 2	<i>Métodos de Análisis Sísmico</i>	24
Figura 3	<i>Clasificación de los sistemas de protección sísmica</i>	26
Figura 4	<i>Esquema de funcionamiento de control activo</i>	27
Figura 5	<i>Esquema de funcionamiento de control Híbrido</i>	28
Figura 6	<i>Esquema de funcionamiento de control Semiactivo</i>	29
Figura 7	<i>Esquema de funcionamiento de control Pasivo.....</i>	30
Figura 8	<i>Clasificación de los sistemas de control pasivos.....</i>	33
Figura 9	<i>Clasificación de disipadores de energía.....</i>	34
Figura 10	<i>Disipadores ADAS (a) y TADAS (b)</i>	36
Figura 11	<i>Disipador SLB (Shear Link Bozzo).....</i>	37
Figura 12	<i>Disipador de Extrusión</i>	38
Figura 13	<i>Disipador de ficción. Pall y Marsh.....</i>	39
Figura 14	<i>Esquema del sistema extendido de amortiguación, disipador Taylor</i>	40
Figura 15	<i>Configuración típica de un disipador sólido viscoelástico</i>	41
Figura 16	<i>Configuración típica de un disipador fluido viscoelástico.....</i>	42
Figura 17	<i>Disipador de energía SLB característico</i>	43
Figura 18	<i>Colocación típica de los disipadores de energía en un pórtico de concreto armado.....</i>	44
Figura 19	<i>Brazo metálico del disipador Quaketek.....</i>	46
Figura 20	<i>Funcionamiento de los disipadores de energía Quaketek.....</i>	47
Figura 21	<i>Desempeño sísmico esperado de un sistema estructural en función del peligro sísmico.....</i>	48
Figura 22	<i>Área de estudio</i>	55
Figura 23	<i>Modelo estructural de la edificación analizada sin dispositivos de disipación de energía.....</i>	57
Figura 24	<i>Vista en planta de piso típico del sistema estructural analizado.</i>	58
Figura 25	<i>Aplicación de cargas gravitacionales de carga muerta y carga viva.</i>	59

Figura 26	<i>Definición de las masas sísmicas de análisis considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva.</i>	60
Figura 27	<i>Primera y segunda forma de modo del sistema estructural analizado.</i>	61
Figura 28	<i>Tercera y cuarta forma de modo del sistema estructural analizado.</i>	62
Figura 29	<i>Zonas Sísmicas de la norma E.030.....</i>	66
Figura 30	<i>Determinación de la fuerza cortante en los muros estructurales respecto al sismo en X.</i>	69
Figura 31	<i>Determinación de la fuerza cortante en los muros estructurales respecto al sismo en Y.</i>	70
Figura 32	<i>Definición del caso de análisis sísmico estático en dirección X e Y.....</i>	80
Figura 33	<i>Ingreso del coeficiente de corte, excentricidad y parámetros sísmicos en dirección X.</i>	80
Figura 34	<i>Ingreso del coeficiente de corte, excentricidad y parámetros sísmicos en dirección Y.</i>	81
Figura 35	<i>Distribución de las cargas laterales estáticamente equivalentes.</i>	82
Figura 36	<i>Máximas fuerzas cortantes provocadas por la acción del sismo en dirección X.....</i>	85
Figura 37	<i>Máximas fuerzas cortantes inducidas por la acción del sismo en dirección Y.....</i>	88
Figura 38	<i>Máximas distorsiones laterales por la acción del sismo en dirección X</i>	90
Figura 39	<i>Máximas distorsiones laterales por la acción del sismo en dirección Y.....</i>	92
Figura 40	<i>Espectro de aceleraciones característico de la zona de estudio</i>	94
Figura 41	<i>Definición de la Función de Espectro de respuesta</i>	95
Figura 42	<i>Máximos desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.....</i>	97
Figura 43	<i>Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	99
Figura 44	<i>Máximas distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	101

Figura 45	<i>Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	103
Figura 46	<i>Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente EW.</i>	104
Figura 47	<i>Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente NS.</i>	105
Figura 48	<i>Espectro de aceleraciones del sismo de Arequipa, componentes EW y NS.</i>	105
Figura 49	<i>Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente EW.</i>	106
Figura 50	<i>Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente NS.</i>	106
Figura 51	<i>Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de Ica del 2007.</i>	107
Figura 52	<i>Registro de aceleración del sismo de 1970, componente EW.</i>	107
Figura 53	<i>Registro de aceleración del sismo de 1970, componente NS.</i>	108
Figura 54	<i>Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de 1970.</i>	108
Figura 55	<i>Relación de magnitud de aceleración entre el espectro de la norma E030 del 2018 y registros sísmicos naturales.</i>	109
Figura 56	<i>Escalamiento del registro sísmico de Atico 2001.</i>	110
Figura 57	<i>Escalamiento del registro sísmico de Pisco 2007.</i>	110
Figura 58	<i>Escalamiento del registro sísmico de 1970.</i>	111
Figura 59	<i>Modelo estructural de la edificación considerando disipadores de energía SLB en una dirección.</i>	112
Figura 60	<i>Forma fundamental de vibrar de la estructura con la incorporación de los sistemas de disipación de energía SLB.</i>	113
Figura 61	<i>Modelo estructural con dos líneas de disipadores de energía SLB en dirección X y en dirección Y.</i>	115
Figura 62	<i>Respuesta modal del sistema estructural considerando las dos líneas de disipación de energía SLB en direcciones X e Y.</i>	117
Figura 63	<i>Definición de las propiedades mecánicas del disipador de fricción.</i>	119
Figura 64	<i>Fuerzas cortantes actuantes en los disipadores de energía.</i>	120
Figura 65	<i>Fuerza cortante en disipadores de energía SLB en dirección Y.</i>	123

Figura 66	<i>Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	128
Figura 67	<i>Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	130
Figura 68	<i>Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.</i>	133
Figura 69	<i>Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.</i>	135
Figura 70	<i>Nombre de los disipadores de energía ubicados en el eje A</i>	137
Figura 71	<i>Nombre de los dispositivos de disipación de energía ubicados en el eje 8.</i>	138
Figura 72	<i>Comportamiento histórico del disipador K16 ante el sismo de Pisco 2007</i>	139
Figura 73	<i>Comportamiento histórico del disipador K14 ante el sismo de Pisco 2007</i>	139
Figura 74	<i>Comportamiento histórico del disipador K12 ante el sismo de Pisco 2007</i>	140
Figura 75	<i>Comportamiento histórico del disipador K10 ante el sismo de Pisco 2007</i>	140
Figura 76	<i>Comportamiento histórico del disipador K8 ante el sismo de Pisco 2007</i>	141
Figura 77	<i>Comportamiento histórico del disipador K6 ante el sismo de Pisco 2007</i>	141
Figura 78	<i>Comportamiento histórico del disipador K4 ante el sismo de Pisco 2007</i>	142
Figura 79	<i>Comportamiento histórico del disipador K2 ante el sismo de Pisco 2007</i>	142
Figura 80	<i>Modelamiento estructural de la edificación analizada con los disipadores de energía SLB en dos direcciones X e Y.</i>	143
Figura 81	<i>Definición de los disipadores de fricción Quaketek</i>	145
Figura 82	<i>Definición de las propiedades mecánicas del disipador de fricción.....</i>	146
Figura 83	<i>Primera y segunda de formas de modo del sistema estructural con disipadores de fricción Quaketek.</i>	149

Figura 84	<i>Fuerzas axiales demandadas en cada uno de los disipadores de fricción por la acción del sismo en X.</i>	151
Figura 85	<i>Fuerzas axiales actuantes en los disipadores de fricción Quaketek.</i>	155
Figura 86	<i>Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.</i>	160
Figura 87	<i>Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.</i>	162
Figura 88	<i>Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.</i>	165
Figura 89	<i>Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.</i>	167
Figura 90	<i>Nombres asignados a los disipadores de energía por fricción Quaketek en el eje A.</i>	169
Figura 91	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.</i>	170
Figura 92	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.</i>	171
Figura 93	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6.</i>	172
Figura 94	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.</i>	173
Figura 95	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.</i>	174
Figura 96	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.</i>	175
Figura 97	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6.</i>	176
Figura 98	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.</i>	177
Figura 99	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.</i>	178
Figura 100	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.</i>	179

Figura 101	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6.</i>	180
Figura 102	<i>Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.</i>	181
Figura 103	<i>Modelamiento estructural de los disipadores de energía por fricción Quaketek en dirección X.</i>	183
Figura 104	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.</i>	185
Figura 105	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K10.</i>	186
Figura 106	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.</i>	187
Figura 107	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K16.</i>	188
Figura 108	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.</i>	189
Figura 109	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K10.</i>	190
Figura 110	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.</i>	191
Figura 111	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K16.</i>	192
Figura 112	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.</i>	193
Figura 113	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K10.</i>	194
Figura 114	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.</i>	195
Figura 115	<i>Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K16.</i>	196
Figura 116	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.</i>	199
Figura 117	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.</i>	201
Figura 118	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 100%EW+30%NS.</i>	203
Figura 119	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 30%EW+100%NS.</i>	205
Figura 120	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 100%EW+30%NS.</i>	207
Figura 121	<i>Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 30%EW+100%NS.</i>	210
Figura 122	<i>Fuerzas axiales máximas actuantes sobre los disipadores de energía.</i>	211
Figura 123	<i>Fuerzas de compresión actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.</i>	212

Figura 124	<i>Momentos flectores actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.</i>	214
Figura 125	<i>Fuerzas cortantes actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.</i>	215
Figura 126	<i>Fuerzas de compresión actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.</i>	216
Figura 127	<i>Momentos flectores actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.</i>	217
Figura 128	<i>Fuerzas cortantes actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.</i>	218
Figura 129	<i>Evaluación del diagrama de interacción carga axial momento flector y la demanda producida por la incorporación de los disipadores de energía.</i>	219

INTRODUCCIÓN

El Perú está ubicado en una zona de alta actividad sísmica. En este marco, la presente investigación tiene como objetivo evaluar el comportamiento sísmico de una edificación multifamiliar en Arequipa, utilizando disipadores de energía como estrategia para mitigar los daños. Se seleccionaron dos tipos de disipadores: los disipadores de fluencia Shear Link Bozzo y los disipadores de fricción Quaketek, con el fin de realizar un análisis comparativo exhaustivo de su efectividad en la reducción de desplazamientos, derivas, fuerzas cortantes y aceleraciones en la estructura, preservando la integridad y funcionalidad de la construcción tras un evento sísmico (Orocollo, 2024). A fin de dar cumplimiento a los objetivos de esta investigación, esta se ha estructurado en cuatro capítulos.

En el primer capítulo, se presenta el planteamiento y problemática de la investigación, formulación del problema, justificación, hipótesis, objetivos, alcances y limitaciones.

En el segundo capítulo, se desarrolla el fundamento teórico considerando el estado del arte, antecedentes de la investigación, marco legal y teórico. En este capítulo se describe de forma detallada los disipadores SLB y Quaketek.

En tercer capítulo, se presenta la metodología propuesta donde se detalla el tipo, nivel, diseño y métodos de la investigación.

En el cuarto capítulo, se realiza el análisis estático, modal espectral, la demanda sísmica, diseño de los sistemas de disipación de energía SLB y Quaketek,

Finalmente, se presentan las conclusiones y recomendaciones basadas en los objetivos planteados, así como las referencias bibliográficas y los anexos correspondientes a la investigación.



CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 PROBLEMÁTICA DE LA INVESTIGACIÓN

El Perú es una de las regiones más expuestas a la actividad sísmica del mundo debido a su ubicación dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico. Este cinturón es una zona altamente sísmica y volcánica que rodea el Océano Pacífico y es responsable de la mayoría de los terremotos del mundo (Gamarra Dávila, 2020). En los últimos 20 años, Perú ha experimentado varios eventos sísmicos significativos, incluyendo los terremotos de Arequipa en 2001, Pisco en 2007 y Huaraz en 1970. Aunque estos terremotos tienen orígenes tectónicos diferentes, todos han demostrado la extrema vulnerabilidad del país a los sismos, los cuales generan aceleraciones suficientemente grandes en las estructuras, provocando daños considerables.

El terremoto de Arequipa, que ocurrió el 23 de junio de 2001, tuvo una magnitud de 8.4 en la escala de Richter. De acuerdo con el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), este evento sísmico resultó en la pérdida de 83 vidas humanas y causó heridas graves a aproximadamente 2,812 personas. En cuanto a los costos materiales, el número de viviendas destruidas en la región fue de alrededor de 22,052, y se contabilizaron aproximadamente 35,576 viviendas dañadas. Además, se reportaron daños significativos en carreteras, puentes y otras infraestructuras civiles esenciales para las actividades económicas (Chirme, 2023).

Una situación similar se observó durante el terremoto de Pisco, ocurrido el 15 de agosto de 2007, con una magnitud de 7.9 en la escala de magnitud de momento. Sin embargo, los costos humanos y materiales de este terremoto fueron considerablemente mayores que los del terremoto de Arequipa. Se contabilizaron 596 personas fallecidas y el número de heridos alcanzó aproximadamente 2,200 personas. En cuanto a las pérdidas materiales, el número de viviendas destruidas fue de alrededor de 76,000, mientras que las

viviendas dañadas ascendieron a más de 100,000. También se reportaron numerosas pérdidas materiales y la interrupción de servicios vitales debido a daños en infraestructuras civiles como hospitales, escuelas, iglesias y otros edificios importantes (Andina, 2022).

El terremoto de Huaraz, ocurrido el 31 de mayo de 1970, tuvo una magnitud de 7.9 en la escala de Richter y afectó principalmente a la región de Ancash. La magnitud del desastre que no tiene precedentes en la historia de los sismos en el Perú, segó la vida de más de 50 000 personas. 3 470 811 personas resultaron afectadas directa o indirectamente en toda la región donde se levantaban 250 pueblos (Salazar, 2022).

El gobierno proporcionó un año después los siguientes datos del terremoto ocurrido en Huaraz de 1970: 60 000 viviendas de 38 poblaciones necesitan reconstruirse; 15 pueblos quedaron con las viviendas destruidas en más de un 80 %; en 18 ciudades con un total de 309 000 habitantes y en 81 pueblos con una población de 59 400 personas, los alcantarillados quedaron inhabilitados; además, 6730 aulas fueron destruidas (Salazar, 2022).

El análisis presentado resalta la constante amenaza de fuertes aceleraciones del terreno en el país, lo que subraya la necesidad de que las estructuras construidas consideren la posible ocurrencia de sismos que generen grandes desplazamientos laterales en el sistema estructural. Dado que los sistemas tradicionales dependen de la deformación generalizada en toda la estructura, es crucial explorar enfoques de diseño alternativos, como aquellos que se enfocan en concentrar el daño en áreas específicas.

Por esta razón, este trabajo de investigación se enfoca en el análisis y diseño de estructuras con sistemas de disipación de energía, con el objetivo de abordar eficazmente el comportamiento no lineal de un sistema estructural. En particular, se ha elegido evaluar el comportamiento sísmico de dos tipos de disipadores de energía dependientes del

desplazamiento: el disipador basado en la fluencia de metales SLB y el disipador Quaketek, que emplea fricción.

Los sistemas de disipación de energía son una herramienta crucial en el diseño sísmo-resistente moderno, ya que permiten reducir significativamente las demandas de deformación en las estructuras durante un sismo. Estos sistemas funcionan absorbiendo y disipando la energía generada por el movimiento sísmico, lo que reduce la energía que debe ser soportada por los elementos estructurales principales. De esta manera, se minimizan los daños estructurales y se mejora la seguridad de los edificios (Carhuamaca, 2020).

El disipador de energía basado en fluencia metálica SLB (Shear Link Bozzo) es un sistema que utiliza la fluencia por cortante para disipar la energía sísmica a través de la fricción controlada entre las capas. Este sistema es eficaz para reducir las aceleraciones y desplazamientos en la estructura, proporcionando una respuesta más controlada durante un sismo (Orocollo, 2024).

Por otro lado, el disipador de energía basado en fricción Quaketek utiliza mecanismos de fricción para disipar la energía sísmica. Este tipo de disipador es altamente eficiente en la absorción de energía, ya que convierte la energía cinética del movimiento sísmico en calor a través del deslizamiento de las superficies en contacto. La fricción controlada permite una disipación constante y efectiva de la energía, lo que contribuye a la estabilidad y seguridad de la estructura (Quiroz Gordillo, 2020).

En este estudio se propone analizar el comportamiento sísmico de sistemas de disipación de energía con el fin de valorar su efectividad frente a métodos tradicionales de diseño estructural. Para ello, se utilizarán modelos estructurales y simulaciones sísmicas que permitan observar el rendimiento de los dispositivos SLB y Quaketek bajo distintas condiciones de carga sísmica.

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 *Problema general*

- ¿Es posible comparar el comportamiento sísmico de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek en una edificación multifamiliar en la ciudad de Arequipa, 2024, para determinar cuál de estos sistemas ofrece un mejor desempeño en términos de reducción de daños estructurales y seguridad durante eventos sísmicos?

1.2.2 *Problemas Específicos*

¿Cómo se evaluará el comportamiento dinámico de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek mediante simulaciones numéricas y análisis no lineal tiempo historia bajo diferentes escenarios sísmicos?

¿Cómo se analizará la capacidad de disipación de energía de ambos tipos de disipadores y su impacto en la reducción de desplazamientos y derivas en las estructuras?

¿Cuáles serán las recomendaciones para la aplicación práctica de los disipadores más eficientes en futuras construcciones y rehabilitaciones de edificaciones en Arequipa?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 *Justificación Ambiental*

El uso de los disipadores de energía reduciría significativamente las deformaciones y daños estructurales de una estructura ante un evento sísmico evitando así la posibilidad de un colapso estructural que generaría residuos sólidos, lo cual podría implicar un impacto ambiental (Rodríguez-Castellanos et al., 2022).

1.3.2 *Justificación Social*

La problemática expuesta refleja la necesidad de encontrar soluciones prácticas para mejorar la resistencia sísmica de las edificaciones en Arequipa. Los disipadores de energía permitirán mejorar el comportamiento estructural frente a demandas sísmicas y se logrará

contribuir al avance del conocimiento en el campo de la ingeniería sísmica, al proporcionar datos empíricos y teóricos que pueden ser utilizados para mejorar los códigos y normas de diseño sísmico.

1.3.3 Justificación Económica

Una edificación multifamiliar equipada con disipadores de energía reducirá sus desplazamientos laterales y de esta forma reducirá los daños en las estructuras principales mejorando su funcionabilidad después de un movimiento sísmico evitando mayores costos de reparación de la estructura.

1.3.4 Justificación Tecnológica

La comparación entre estos disipadores histéricos SLB y de fricción Quaketek se justifica por la necesidad de evaluar y seleccionar las mejores tecnologías disponibles para la protección sísmica de las edificaciones en Arequipa, esta investigación proporcionará información valiosa sobre el desempeño de estos disipadores en un entorno sísmico como el de Arequipa.

En el Perú, los disipadores de energía se suelen usar principalmente en hospitales, universidades y otras estructuras de gran importancia, a diferencia de su poco uso en las viviendas multifamiliares (Vilca Zapana, 2022).

1.3.5 Justificación Política

La investigación busca cumplir con las restricciones a la regularidad y rigidez establecidas en la norma peruana NTE E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

1.4 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 *Hipótesis general*

- Los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek presentan diferencias significativas en su comportamiento sísmico, y uno de ellos ofrece un mejor desempeño en términos de reducción de daños estructurales y seguridad durante eventos sísmicos en las edificaciones de Arequipa.

1.4.2 *Hipótesis Específicas*

Los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) reducirán los desplazamientos laterales y derivas en las estructuras de Arequipa de manera más eficiente que los disipadores de fricción Quaketek bajo escenarios sísmicos similares en el análisis no lineal tiempo historia.

La capacidad de disipación de energía de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) es superior a la de los disipadores de fricción Quaketek, lo que resulta en una mayor protección contra daños estructurales durante un sismo.

La implementación de disipadores histéricos Shear Link Bozzo (SLB) en edificaciones de Arequipa proporcionará una mayor resiliencia sísmica en comparación con la implementación de disipadores de fricción Quaketek.

1.5 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 *Objetivo general*

- Comparar el comportamiento sísmico de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek en una edificación multifamiliar en la ciudad de Arequipa, 2024, para determinar cuál de estos sistemas ofrece un mejor desempeño en términos de reducción de daños estructurales y seguridad durante eventos sísmicos.

1.5.2 Objetivos específicos

Evaluar el comportamiento dinámico de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek mediante simulaciones numéricas y análisis no lineal tiempo historia bajo diferentes escenarios sísmicos.

Analizar la capacidad de disipación de energía de ambos tipos de disipadores y su impacto en la reducción de desplazamientos y derivas en las estructuras.

Proponer recomendaciones para la aplicación práctica de los disipadores más eficientes en futuras construcciones y rehabilitaciones de edificaciones en Arequipa.

1.6 ALCANCES Y LIMITACIONES

1.6.1 Alcances

El estudio se centrará en una edificación multifamiliar ubicada en la ciudad de Arequipa, Perú, una región conocida por su alta actividad sísmica. La investigación se llevará a cabo en el año 2024, con un enfoque en el análisis de datos históricos recientes y la aplicación de modelos predictivos para eventos sísmicos futuros.

El análisis se enfocará en una edificación típica de Arequipa, que se asemeje a las construcciones de edificios residenciales como comerciales, que representen una muestra significativa de las construcciones en la región.

Se utilizarán simulaciones numéricas y modelos computacionales avanzados para evaluar el comportamiento sísmico de los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek.

Se realizarán análisis comparativos basados en diferentes escenarios sísmicos, considerando variaciones en la magnitud y características de los terremotos.

1.6.2 Limitaciones

El análisis se limitará a los disipadores de fluencia metálica Shear Link Bozzo (SLB) y de fricción Quaketek, sin incluir otros tipos de disipadores o tecnologías de mitigación sísmica.

Los resultados estarán basados en modelos y simulaciones, por lo que podrían diferir ligeramente de los resultados obtenidos en pruebas experimentales o en condiciones reales.





CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 ESTADO DEL ARTE

Los eventos sísmicos en el sur del Perú en los últimos años dejaron como registro daños estructurales los cuales tuvieron como consecuencia pérdidas de carácter social, económico, etc. A causa de la falta de información para afrontar un sismo y a la poca preocupación de las entidades públicas en realizar un estudio que prepare a las viviendas y pobladores ante un evento sísmico. El estudio de vulnerabilidad sísmica es un paso fundamental para una respuesta favorable de una región ante un desastre natural en el Perú (Enríquez & Granda, 2018).

Los disipadores de energía son fundamentales en la protección de las estructuras contra los terremotos, ya que absorben y disipan la energía sísmica, reduciendo así el daño potencial. Entre estos dispositivos, los disipadores histeréticos Shear Link Bozzo (SLB) se destacan por su eficacia y aplicaciones diversas en ingeniería sísmica (Quispe Huamán & García Urrutia, 2019).

El disipador SLB (Shear Link Bozzo) es un tipo de disipador de fluencia metálica que utiliza el principio de fricción controlada entre capas deslizantes. Este sistema convierte la energía sísmica en calor a través de la fricción, lo que ayuda a reducir las fuerzas internas en la estructura. La principal ventaja de este dispositivo es su capacidad de ofrecer una respuesta sísmica más controlada y predecible, disminuyendo los desplazamientos laterales y aceleraciones que experimentan las estructuras durante un sismo (Bozzo, Ramirez, Bairan, Bozzo, & Muñoz, 2020).

El desarrollo de los disipadores SLB ha evolucionado con el tiempo, incorporando mejoras en los materiales y en el diseño para aumentar su eficiencia y durabilidad. Los estudios han demostrado que los disipadores SLB son efectivos en una amplia gama de

estructuras, desde edificios residenciales hasta infraestructuras críticas como puentes y hospitales. Su capacidad para adaptarse a diferentes configuraciones estructurales los hace una opción versátil para la protección sísmica (Bozzo, Ramirez, Bairan, Bozzo, & Muñoz, 2020).

Numerosos estudios han evaluado el comportamiento y la eficacia de los disipadores SLB en distintos escenarios sísmicos. Investigaciones recientes han recurrido a simulaciones numéricas y ensayos de laboratorio para examinar su comportamiento en diversas condiciones sísmicas. Los hallazgos han revelado que los disipadores SLB son eficaces en la disminución de desplazamientos y fuerzas internas dentro de las estructuras, lo que contribuye a mejorar su resistencia y estabilidad.

Pruebas en laboratorio han demostrado que los disipadores SLB son capaces de disipar grandes cantidades de energía, reduciendo el impacto de las cargas sísmicas en las estructuras. Se han realizado experimentos para evaluar la durabilidad y la capacidad de recuperación de los disipadores SLB después de múltiples eventos sísmicos, mostrando resultados positivos en términos de rendimiento a largo plazo (Bozzo et al., 2019).

El uso de modelos computacionales avanzados ha facilitado la simulación del comportamiento de los disipadores SLB en estructuras complejas, lo que ha permitido verificar su eficacia en la reducción de desplazamientos y aceleraciones. Estas simulaciones han contribuido a perfeccionar el diseño de los disipadores, mejorando tanto su capacidad de disipación de energía como su integración en diversas configuraciones estructurales.

La aplicación de disipadores SLB en proyectos reales ha demostrado ser eficaz en mejorar el desempeño sísmico de diversas estructuras, como edificios de gran altura, puentes y hospitales. Según Peralta Tafur (2021), estos dispositivos han ayudado a reducir los daños estructurales y los costos de reparación post-sismo, asegurando la operatividad de

infraestructuras críticas durante y después de eventos sísmicos. Aunque la integración de disipadores SLB presenta desafíos técnicos y económicos, especialmente en estructuras existentes, la investigación en nuevos materiales y tecnologías sigue avanzando, lo que podría optimizar su rendimiento y accesibilidad en el futuro.

En varias regiones sísmicas, los disipadores SLB se han instalado en edificios de gran altura, demostrando su capacidad para mejorar la seguridad estructural y reducir los costos de reparación post-sismo. En puentes y hospitales, los disipadores SLB han sido utilizados para garantizar la operatividad y la seguridad durante y después de eventos sísmicos significativos (Peralta Tafur, 2021).

Aunque ha habido mejoras significativas, los disipadores SLB aún enfrentan algunos obstáculos, como la necesidad de reducir costos y adaptar su uso a estructuras ya existentes. No obstante, se espera que los avances en los materiales y las tecnologías de fricción continúen optimizando su rendimiento y facilidad de implementación.

La investigación busca mejorar la eficiencia de los disipadores SLB mediante el desarrollo de materiales más accesibles y procesos de fabricación que reduzcan tanto los costos de instalación como los de mantenimiento.

El proceso de mejorar estructuras antiguas con disipadores SLB presenta desafíos tanto técnicos como económicos, pero también brinda una valiosa oportunidad para aumentar la resistencia sísmica de los edificios más antiguos. Además, la investigación en nuevos materiales y el uso de tecnologías avanzadas, como los sistemas de monitoreo en tiempo real, pueden incrementar significativamente su eficacia y flexibilidad.

Los disipadores de fricción Quaketek son una tecnología de control de vibraciones diseñada para mejorar la resistencia sísmica de las estructuras mediante la disipación de energía sísmica a través de fricción controlada. Estos dispositivos han sido desarrollados

para abordar los desafíos que presentan los eventos sísmicos, proporcionando una solución eficaz para reducir el daño estructural y mejorar la seguridad durante terremotos. Por otro lado, los disipadores de fricción Quaketek operan basándose en el principio de fricción entre superficies en contacto. Durante un evento sísmico, estas superficies se deslizan entre sí, disipando la energía sísmica en forma de calor. Este mecanismo de fricción ayuda a reducir las fuerzas internas en las estructuras, minimizando el impacto de las cargas sísmicas y limitando los desplazamientos laterales y las aceleraciones (Quaketek, s.f.).

La tecnología de los disipadores Quaketek ha evolucionado significativamente desde su introducción. Los avances han incluido mejoras en los materiales de fricción, el diseño de las superficies de contacto y la integración de sistemas de monitoreo para una mayor eficacia y durabilidad. Los disipadores Quaketek se utilizan en una amplia variedad de aplicaciones, desde edificios comerciales y residenciales hasta infraestructuras críticas como puentes y hospitales (Quaketek, s.f.).

2.2 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Cervantes y Albrizzio (2020) presentaron un trabajo cuyo objetivo principal fue evaluar el desempeño sísmico de un hospital de concreto armado equipado con disipadores SLB (Shear Link Bozzo) en una zona sísmica de nivel 4. La investigación se centró en determinar la eficacia de los disipadores SLB en mejorar la capacidad de absorción de energía y reducir los daños estructurales durante eventos sísmicos. Además, se buscó comparar el desempeño del hospital con y sin los disipadores para evaluar su impacto en la estabilidad estructural y la seguridad del edificio. La metodología empleada en el estudio incluyó un análisis detallado basado en simulaciones computacionales y estudios de casos. Primero, se desarrollaron modelos estructurales del hospital utilizando software de simulación sísmica, incorporando los disipadores SLB. Se aplicaron diferentes escenarios sísmicos, representando las condiciones esperadas en una zona sísmica de nivel 4, para

evaluar la respuesta del hospital. Posteriormente, se compararon las simulaciones del hospital con disipadores SLB y aquellas sin ellos para identificar las mejoras en el desempeño sísmico. Los parámetros analizados incluyeron desplazamientos, fuerzas internas y energía disipada por los disipadores. Los resultados obtenidos mostraron que el uso de los disipadores SLB mejoró significativamente el desempeño sísmico del hospital. Los modelos simulados indicaron una reducción considerable en los desplazamientos de las estructuras y las fuerzas internas, así como una mayor eficiencia en la absorción de energía durante eventos sísmicos. El hospital equipado con los disipadores SLB demostró una mayor capacidad para resistir las cargas sísmicas sin experimentar daños graves, en comparación con el modelo sin disipadores. Los disipadores SLB contribuyeron a una reducción notable en el riesgo de colapso estructural y en la necesidad de reparaciones posteriores a un sismo. La investigación concluyó que los disipadores SLB (Shear Link Bozzo) fueron altamente efectivos en mejorar el desempeño sísmico de edificios de concreto armado, como se evidenció en el caso del hospital analizado. La integración de estos disipadores en la estructura del hospital proporcionó una mejora significativa en la capacidad de absorción de energía sísmica y redujo el riesgo de daños estructurales graves. La implementación de disipadores SLB en zonas sísmicas de alta actividad demostró ser una estrategia efectiva para aumentar la seguridad y la resiliencia de edificaciones críticas. El estudio destacó la importancia de considerar estos dispositivos en el diseño sísmico de infraestructuras, especialmente en áreas con alta actividad sísmica, para garantizar la protección de la vida humana y la continuidad de las operaciones de las instalaciones esenciales.

Según Quiroz Gordillo (2020), en su tesis titulada *Evaluación del desempeño sísmico con disipadores a fricción en dos edificios bajos en el centro poblado El Milagro, Trujillo 2020*, se propuso evaluar el comportamiento estructural de edificaciones con la incorporación de disipadores sísmicos a fricción, con el objetivo de mejorar la seguridad

estructural en zonas expuestas a actividad sísmica. La investigación se centró en dos edificios bajos con características irregulares, para los cuales se diseñaron y modelaron disipadores de fricción que fueron incorporados a las estructuras mediante el uso del software ETABS 2016. El estudio aplicó un enfoque metodológico no experimental, transversal y descriptivo, y consideró tanto análisis estáticos como dinámicos, de acuerdo con la norma técnica peruana E.030 de diseño sismorresistente. Se evaluó el comportamiento de los edificios en distintos escenarios sísmicos, incluyendo factores como el tipo de suelo y condiciones climáticas. Uno de los principales parámetros de análisis fue la deriva máxima de entrepiso, verificando que no superara los límites establecidos por la normativa vigente. Los resultados evidenciaron que los disipadores a fricción lograron reducir significativamente las derivas y desplazamientos estructurales, con un rendimiento superior al de los disipadores de fluido viscoso, especialmente en estructuras con alto grado de irregularidad. Además, se destacó que estos dispositivos representan una solución más económica, lo cual los convierte en una alternativa viable para reforzar edificaciones existentes con vulnerabilidad sísmica, en particular en zonas urbanas con recursos limitados.

Según la tesis desarrollada por Fuentes Espinoza y Corazi Maqui (2023), titulada *“Análisis comparativo de sistemas de protección sísmica entre aisladores sísmicos y disipadores SLB en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna – 2023”*, el objetivo principal del estudio fue comparar el desempeño sísmico de dos sistemas de protección estructural: los aisladores sísmicos y los disipadores SLB (Shear Link Bozzo), aplicados al Hospital Hipólito Unanue de la ciudad de Tacna. La investigación se centró en determinar cuál de estos sistemas ofrecía mejores resultados en la capacidad de absorción de energía y en la reducción de daños estructurales frente a eventos sísmicos. La metodología empleada fue de tipo comparativo y se basó en simulaciones computacionales utilizando modelos tridimensionales del hospital, desarrollados en software especializado. En dichos modelos

se incorporaron ambos sistemas de protección en configuraciones independientes, y se sometieron a diferentes escenarios sísmicos representativos de la actividad sísmica de la región. Los parámetros de análisis incluyeron desplazamientos máximos, fuerzas internas y energía disipada. Los resultados evidenciaron que ambos sistemas contribuyen significativamente a mejorar el desempeño sísmico de la estructura. Los aisladores sísmicos presentaron una mayor efectividad en la reducción de desplazamientos y fuerzas internas, mientras que los disipadores SLB mostraron una notable capacidad de disipación de energía, lo cual se traduce en una disminución importante de los daños estructurales. La tesis concluye que la selección del sistema de protección más adecuado debe basarse en las características específicas del proyecto, los objetivos de diseño estructural y las condiciones sísmicas locales, a fin de garantizar un alto nivel de seguridad y resiliencia para edificaciones críticas.

Según Tello y Yacsavilca (2023) en la tesis titulada *"Análisis de la respuesta sísmica de un edificio de usos mixtos de 5 pisos de muros estructurales sin y con disipadores SLB en el distrito de San Juan de Miraflores – Lima"*, que tuvo como objetivo principal evaluar el impacto de los disipadores SLB (Shear Link Bozzo) en la respuesta sísmica de un edificio de cinco pisos con muros estructurales en el distrito de San Juan de Miraflores, Lima. La investigación buscó comparar el desempeño sísmico del edificio tanto con los disipadores SLB instalados como sin ellos, para determinar su eficacia en la mejora de la resistencia sísmica y la reducción de daños estructurales. La metodología empleada en la investigación incluyó simulaciones computacionales detalladas. Se desarrollaron modelos estructurales del edificio de usos mixtos, tanto con disipadores SLB como sin ellos, utilizando software de análisis sísmico. Se aplicaron diferentes escenarios sísmicos basados en espectros de diseño y registros sísmicos históricos para evaluar la respuesta del edificio en ambas configuraciones. Los parámetros analizados incluyeron desplazamientos, fuerzas internas y

energía disipada durante los eventos sísmicos. Los resultados obtenidos indicaron que la incorporación de los disipadores SLB en el edificio mejoró significativamente su desempeño sísmico en comparación con el diseño sin disipadores. El uso de los disipadores SLB resultó en una reducción notable de los desplazamientos y las fuerzas internas en la estructura, así como una mayor eficiencia en la absorción de energía sísmica. El edificio equipado con disipadores SLB mostró una capacidad superior para resistir las cargas sísmicas sin experimentar daños graves, en comparación con el modelo sin disipadores. La investigación concluyó que la instalación de disipadores SLB en edificios de muros estructurales proporciona una mejora significativa en la respuesta sísmica y la resistencia a daños estructurales. La integración de estos dispositivos es especialmente beneficiosa en áreas de alta actividad sísmica como el distrito de San Juan de Miraflores. El estudio destacó la importancia de considerar el uso de disipadores SLB en el diseño sísmico de edificaciones para aumentar su resiliencia y garantizar la seguridad estructural en eventos sísmicos.

2.3 MARCO LEGAL

El marco legal para el diseño y uso de disipadores sísmicos en Perú se basa en una serie de normativas y regulaciones que establecen los requisitos y estándares para garantizar la seguridad y la resiliencia sísmica de las estructuras. Este marco legal incluye leyes, reglamentos y normas técnicas que abordan tanto la construcción de nuevas edificaciones como la rehabilitación de estructuras existentes. A continuación, se detalla el marco legal relevante:

Ley General de Defensa Civil: La Ley N° 30831 modifica la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD) con la finalidad de incorporar un plazo para la presentación del Plan Nacional de Gestión de Riesgo de Desastres y los planes que lo conforman, a fin de garantizar la acción permanente y el

cumplimiento de la gestión prospectiva, correctiva y reactiva de riesgos de desastres (Congreso de la República del Perú, 2018).

Además, La Ley N°30831 sienta las bases para las políticas de seguridad y prevención, y proporciona directrices generales sobre la infraestructura y la gestión de riesgos sísmicos (Congreso de la República del Perú, 2018).

Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE): El Reglamento Nacional de Edificaciones, aprobado por el Decreto Supremo N.º 011-2006-VIVIENDA, regula los requisitos técnicos y de seguridad para la construcción de edificaciones en Perú. Este reglamento incluye normas específicas para el diseño sísmico (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

El Reglamento Nacional de Edificaciones incluye especificaciones para el uso de sistemas de protección sísmica, como los disipadores sísmicos, y establece los parámetros para su implementación en edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Norma E.030 - Diseño Sismorresistente: El Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú (2018), en su publicación *Norma Técnica E.030: Diseño Sismorresistente*, establecida mediante la Resolución Ministerial N.º 355-2018-VIVIENDA, se enfoca en el diseño sismorresistente de edificaciones. Esta norma proporciona los requisitos y directrices para el diseño y construcción de estructuras capaces de resistir los efectos sísmicos, garantizando la seguridad estructural en el contexto de terremotos en el país.

El reglamento establece directrices para la incorporación de dispositivos diseñados para reducir la energía sísmica, como los disipadores de fricción e histéricos, con el objetivo

de optimizar la respuesta sísmica de las edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Normas Internacionales y Códigos de Diseño: Además de las normativas nacionales, Perú también considera normas internacionales y códigos de diseño sísmico que influyen en el diseño y la implementación de tecnologías de disipación de energía.

Estas normas pueden incluir las del International Building Code (International Code Council, 2024) y de la American Society of Civil Engineers (ASCE, 2017), que ofrecen estándares adicionales y mejores prácticas internacionales que pueden ser incorporadas en el diseño de estructuras sísmicamente resistentes.

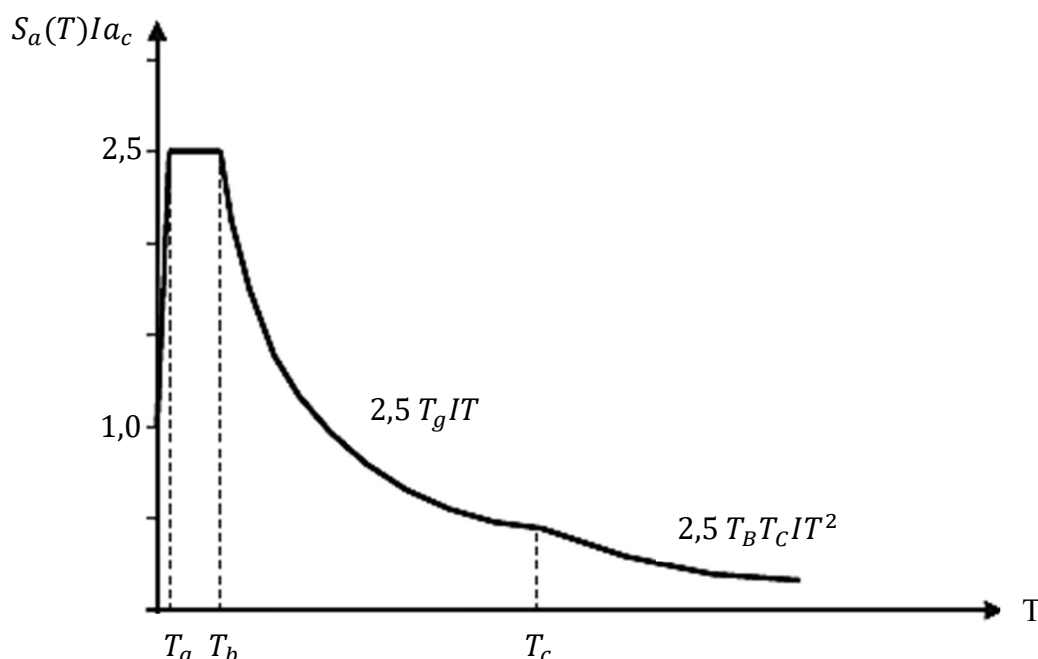
2.4 MARCO TEÓRICO

2.4.1 *Peligro sísmico*

El peligro sísmico se define como la probabilidad de que un sitio experimente un terremoto de una magnitud específica y el nivel de intensidad de las fuerzas sísmicas que podrían afectar a una estructura en dicho sitio (Rivera Rojas, 2024).

Figura 1

Espectro de aceleraciones característico de la norma peruana de diseño sísmico



Nota. Norma de construcción sismorresistente: Puentes (NCSP-07) (p. 19), por Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana, 2008, https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49_Spain/NCSP-07.pdf

El concepto de peligro sísmico se basa en la evaluación de la actividad sísmica regional y las características del suelo. La norma ASCE/SEI 41-17 proporciona diversos métodos y herramientas para estimar estos riesgos con mayor precisión (ASCE, 2018).

La evaluación del peligro sísmico, según la norma ASCE/SEI 41-17, se realiza mediante el análisis de datos sísmicos históricos, estudios de sismología y mapas de peligrosidad sísmica. Esta información incluye la frecuencia de ocurrencia y la magnitud de los eventos sísmicos registrados en la región, lo que permite estimar el nivel de amenaza sísmica en una zona determinada (ASCE, 2018).

Una herramienta fundamental en esta evaluación es el espectro de peligro sísmico, que muestra la intensidad del peligro sísmico en función de diferentes períodos de oscilación. Este espectro representa la relación entre la magnitud del terremoto y la

intensidad de las fuerzas sísmicas esperadas en función del período de la estructura, proporcionando una representación gráfica de cómo las fuerzas sísmicas pueden afectar a diferentes tipos de estructuras, el peligro sísmico también se evalúa en términos de la probabilidad de ocurrencia de un terremoto de cierta magnitud en un período de tiempo específico (ASCE, 2018).

Los mapas de peligro sísmico son una herramienta clave en el contexto de la normativa ASCE 41, ya que permiten estimar la intensidad esperada de los sismos en distintas regiones y así evaluar el nivel de amenaza al que están expuestas las estructuras. Esta información, que incluye parámetros como la aceleración del suelo, es fundamental para realizar un análisis adecuado del desempeño sísmico de los edificios y orientar decisiones de diseño o reforzamiento estructural (Luque Luque, 2020).

La norma ASCE 41-17 establece procedimientos para estimar la demanda sísmica esperada en estructuras existentes, utilizando probabilidades basadas en espectros de respuesta modificados por condiciones locales del suelo. Considera factores de amplificación del sitio, los cuales reflejan cómo las características del terreno pueden incrementar la intensidad de las fuerzas sísmicas que afectan a una estructura. Esta consideración es esencial para una evaluación precisa del comportamiento estructural frente a sismos, ya que el tipo de suelo puede influir significativamente en la forma en que se propagan y amplifican las ondas sísmicas (ASCE, 2018).

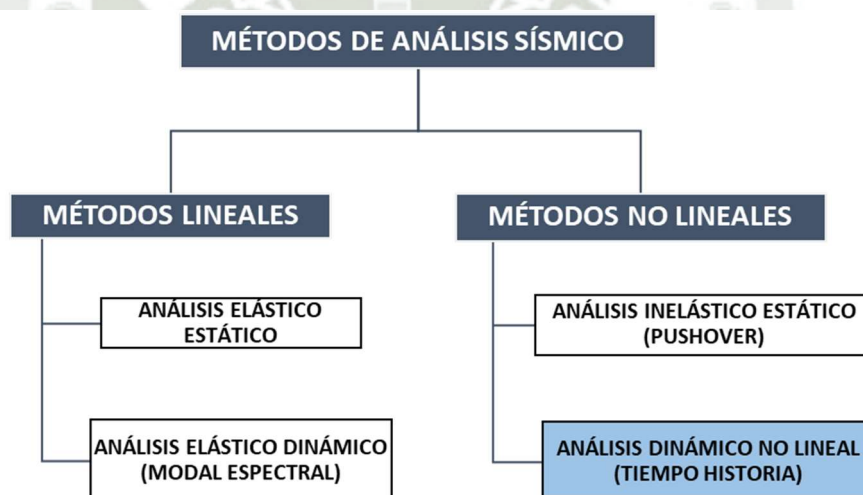
Finalmente, la norma ASCE 41-17 proporciona directrices detalladas para incorporar la evaluación del peligro sísmico en el análisis, diseño y rehabilitación de estructuras existentes. Estas directrices permiten verificar si las edificaciones cumplen con los niveles de desempeño sísmico apropiados para cada nivel de amenaza sísmica, asegurando así la protección de las personas y la reducción de daños estructurales y no estructurales durante un sismo (ASCE, 2018).

2.4.2 *Análisis sísmico*

El análisis sísmico busca conocer el comportamiento estructural ante cargas sísmicas, que incluyen dos componentes horizontales y una vertical (Palma Romero, 2020). En general, estos análisis requieren comprender el comportamiento de los materiales empleados en el diseño, lo que frecuentemente implica la necesidad de análisis lineales y no lineales (ASCE, 2018). Los métodos de análisis sísmicos son los siguientes:

Figura 2

Métodos de Análisis Sísmico



Nota. Elaboración propia.

2.4.2.1 **Métodos Lineales**

2.4.2.1.1 *Análisis elástico dinámico (Modal Espectral)*

Este análisis evalúa la respuesta sísmica a diferentes aceleraciones del terreno mediante la integración de las ecuaciones de equilibrio y se puede usar como complemento a los análisis estáticos y dinámicos espectrales, según la Norma E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018). Este método utiliza un modelo de masas concentradas o un modelo simplificado, conocido como edificio cortante, que no considera la deformación axial de columnas y vigas.

El análisis modal espectral es aplicable a cualquier tipo de estructura y se emplea en casos donde el método de fuerzas equivalentes no es suficientemente preciso. La aceleración del suelo se describe mediante la curva de respuesta espectral de pseudoaceleraciones, de la cual se obtienen los máximos valores espectrales de fuerzas y desplazamientos (Rodríguez & Tejada, 2023).

2.4.2.2 Métodos no Lineales

2.4.2.2.1 Análisis no lineal estático (Push Over)

El análisis Push Over de una estructura (como un edificio o un puente) implica examinar su comportamiento bajo una carga gravitatoria constante y fuerzas laterales que aumentan progresivamente (Poma, 2019).

La carga lateral puede simular el rango de cortante basal causado por una carga sísmica, y su disposición puede ser proporcional a la distribución de masa en la altura del edificio, a las formas modales u otros enfoques prácticos (Poma, 2019).

2.4.2.2.2 Análisis Dinámico no lineal (Tiempo-Historia)

Este método es adecuado para analizar estructuras con disipadores o aisladores sísmicos, manteniendo un comportamiento elástico lineal. Las fuerzas en elementos no lineales se calculan iterativamente al final de cada paso de tiempo, y el análisis de tiempo historia se realiza a través de superposición modal, resolviendo las ecuaciones modales para cada incremento, dado que muchos estudios sobre estructuras con dispositivos de disipación necesitan modelar su comportamiento no lineal, el análisis no lineal de tiempo historia es esencial. La normativa ASCE 7-10 respalda este procedimiento (Tapia Quispe, 2020).

En esta investigación, se eligió realizar un análisis de tiempo historia basado en normativas norteamericanas y peruanas, utilizando un modelo matemático lineal y métodos de integración numérica. Según la *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente del*

Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), se deben usar al menos tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno con dos componentes en direcciones ortogonales, provenientes de eventos consistentes con el sismo máximo considerado.

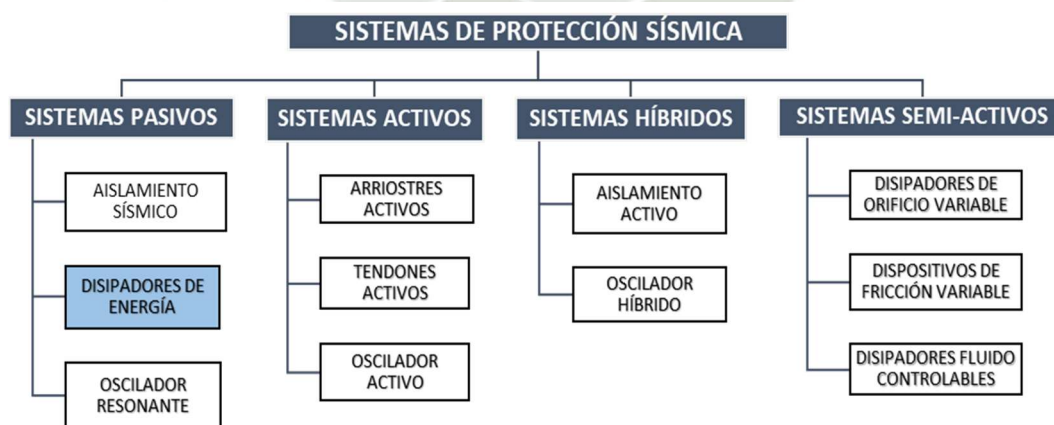
2.4.3 *Sistemas de protección sísmica*

Los sistemas de protección sísmica están diseñados para mitigar los efectos de los terremotos sobre las estructuras, reduciendo el daño y mejorando la seguridad. Estos sistemas pueden ser clasificados en dos categorías principales: sistemas de aislamiento sísmico y sistemas de disipación de energía. Cada tipo tiene enfoques y tecnologías específicas para enfrentar las fuerzas sísmicas (Palma Romero, 2020).

Según Villarreal y Díaz (2016), los sistemas de protección sísmica se clasifican en cuatro grupos: sistemas pasivos, semiactivos, híbridos y activos.

Figura 3

Clasificación de los sistemas de protección sísmica



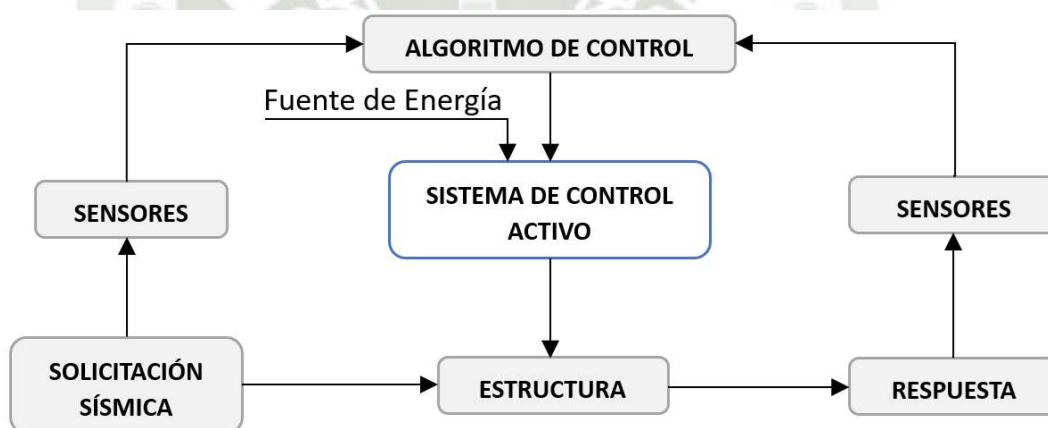
Nota. Adaptado de *Edificaciones con disipadores viscosos* (p. 8), por G. Villarreal Castro & M. Díaz la Rosa Sánchez, 2016, Gráfica Norte S.R.L.

2.4.3.1 Sistemas activos de Protección Sísmica

Los sistemas activos mitigan los efectos sísmicos aplicando fuerzas mediante actuadores controlados por sensores, procesadores y controladores en tiempo real. Los sensores miden las excitaciones y la respuesta de la estructura, mientras que los procesadores calculan las fuerzas necesarias, las cuales son generadas por los actuadores para estabilizar la estructura durante un sismo (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013).

Figura 4

Esquema de funcionamiento de control activo



Nota. Adaptado de *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron* (p. 7), por Z. E. Boza Farfán & D. Galán Tirapo, 2013, Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4518>

2.4.3.2 Sistemas Híbridos de Protección Sísmica

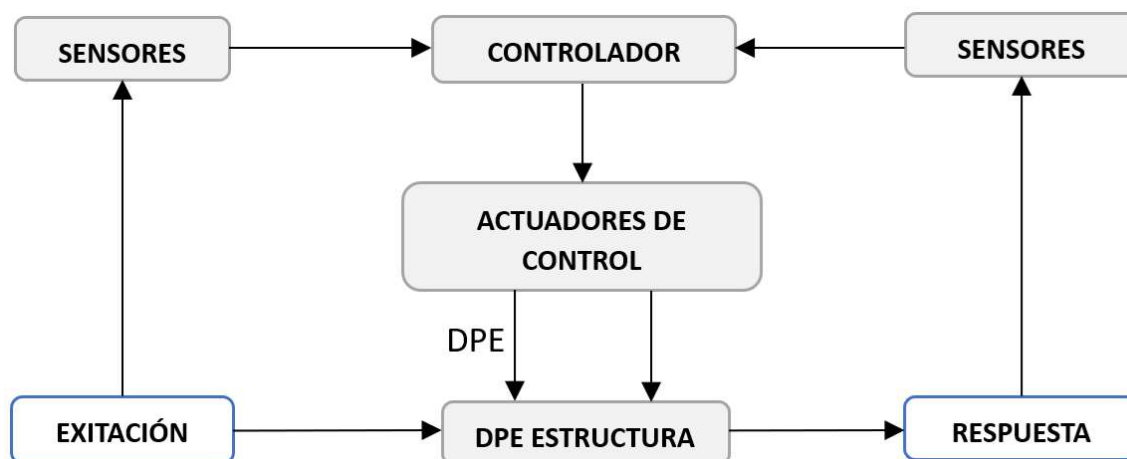
Los sistemas híbridos combinan sistemas activos y pasivos para mejorar la eficiencia y confiabilidad del control estructural. Estos sistemas requieren menos energía que los activos y, en caso de falla del componente activo, el sistema pasivo sigue funcionando, aunque de manera menos efectiva (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013).

Los sistemas de control híbrido se enfocan principalmente en dos tipos: osciladores híbridos “Hybrid Mass Damper - HMD”, y aislamiento de base con control activo del

desplazamiento. Los HMD son el resultado de la combinación de un oscilador resonante (TMD) y un actuador activo (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013).

Figura 5

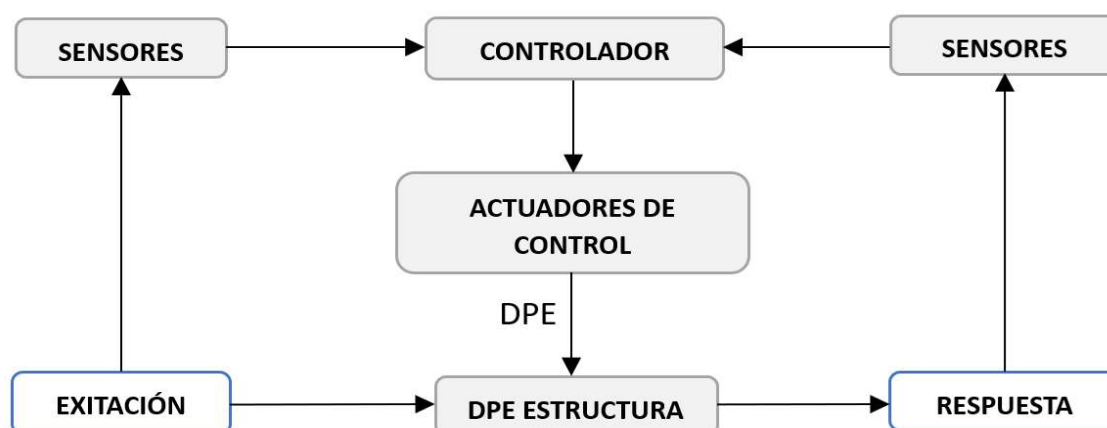
Esquema de funcionamiento de control Híbrido



Nota. Adaptado de *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron* (p. 8), por Z. E. Boza Farfán & D. Galán Tirapo, 2013, Tesis de grado, Pontificia Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4518>

2.4.3.3 Sistema Semi – Activos de Protección Sísmica

Los sistemas semi - activos tienen un esquema de funcionamiento similar a los sistemas activos, con la diferencia que no aplican fuerzas de control en el sistema estructural, pero poseen distintas propiedades que pueden ser controladas a tiempo real mediante actuadores para reducir la respuesta del sistema estructural con costos energéticos reducidos (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013).

Figura 6*Esquema de funcionamiento de control Semiactivo*

Nota. Adaptado de *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*

(p. 8), por Z. E. Boza Farfán & D. Galán Tirapo, 2013, Tesis de grado, Pontificia

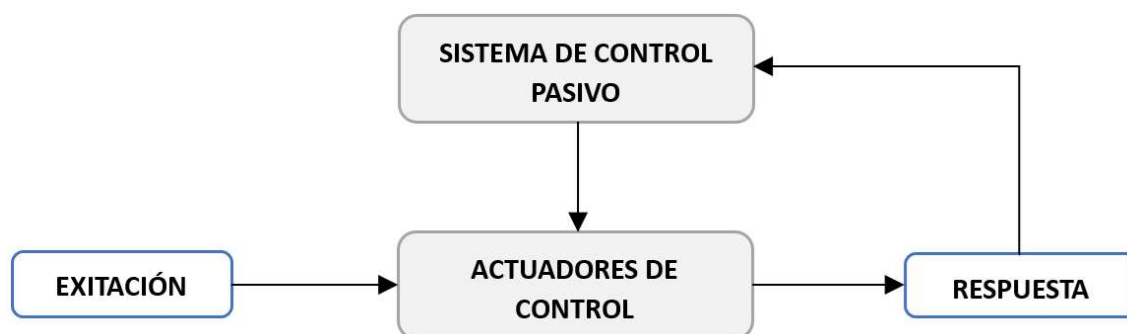
Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4518>

2.4.3.4 Sistemas pasivos de protección sísmica

Los sistemas de control pasivo se basan en dispositivos mecánicamente simples que responden de forma inercial a la acción sísmica y, a diferencia del resto de sistemas, son más económicos y no dependen de fuentes de energía para funcionar. Estos sistemas se clasifican en sistemas de aislamiento sísmico, en disipadores de energía y en osciladores resonantes. El aislamiento sísmico se basa en el hecho de que es posible separar la estructura de los movimientos del suelo mediante la incorporación de elementos flexibles entre la estructura y su cimentación, disminuyendo notablemente la energía de entrada y por consiguiente su respuesta estructural (Boza Farfán & Galán Tirapo, 2013).

Figura 7

Esquema de funcionamiento de control Pasivo



Nota. Adaptado de *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*

(p. 5), por Z. E. Boza Farfán & D. Galán Tirapo, 2013, Tesis de grado, Pontificia

Universidad Católica del Perú. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4518>

Según Fuentes y Corazi (2023), la clasificación de los dispositivos de protección en primera instancia será:

- Aislamiento Sísmico
- Disipadores de energía
- Sistemas Sintonizados

2.4.3.4.1 Aisladores Sísmicos

Los sistemas de aislamiento sísmico tienen el objetivo de desacoplar la estructura del suelo, reduciendo así la transmisión de las fuerzas sísmicas hacia el edificio. Esto se logra mediante la implementación de dispositivos que permiten que la estructura se mueva independientemente del movimiento del terreno (Peralta Tafur, 2021).

2.4.3.4.2 Disipadores de energía

Los Disipadores de Energía, o ED (en sus siglas en inglés), No alteran el impacto del sismo, pero absorben la energía incidente, evitando que sea disipada por los elementos estructurales mediante deformaciones inelásticas, lo que conviene evitar. Esto significa que la mayor parte de la energía del terremoto se concentra en estos dispositivos, lo que hace

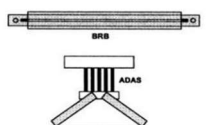
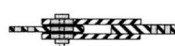
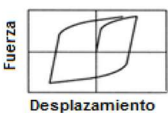
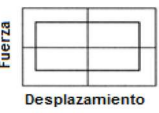
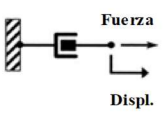
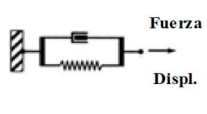
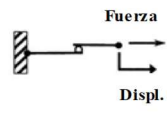
que reaccionen y se activen. La ED puede reducir la fuerza de corte, la aceleración del suelo, el desplazamiento e incluso la duración de la vibración (Miranda & Ontiveros, 2020).

2.4.3.4.3 Ventajas y desventajas de los disipadores pasivos de energía

Es importante conocer las ventajas y desventajas de cada uno de los tipos de dispositivos de energía pasivos para elegir un disipador.



Tabla 1
Resumen de tipos de disipadores de energía pasivos

	Disipador fluido viscoso	Disipador solido viscoelástico	Disipador metálico	Disipador por fricción
Esquema básico				
Modelo Histerético Idealizado				
Modelo físico idealizado			Modelo idealizada no disponible	
Ventajas	Se activa en bajos desplazamientos. -Mínima fuerza de restauración. -Para amortiguamiento lineal, la modelación del amortiguador es simplificada.	Se activa en bajos desplazamientos. -Proporciona fuerza restauradora. -Comportamiento lineal, por lo tanto el modelamiento del amortiguador es simplificado.	Comportamiento histerético estable. -Fiabilidad a largo plazo. -Insensible a temperatura ambiente. -Materiales y comportamiento familiares al ingeniero estructural.	Alta disipación energética por ciclo. -Insensible a temperatura ambiente.
Desventajas	Posible fuga de líquido en la junta.	Limitada capacidad de deformación. -Sus propiedades son dependientes de la frecuencia y la temperatura. - Posible desprendimiento del material viscoelástico.	Después del sismo requieren ser remplazados. -Comportamiento no lineal; requiere análisis complejo.	Condiciones de la interfaz deslizante pueden cambiar con el tiempo. Comportamiento altamente no lineal. -Desplazamientos permanentes si el mecanismo no provee fuerza restauradora.

Nota. Adaptado de *Energy dissipation systems for seismic applications: Current practice and recent developments* (p. 10), por M. D. Symans et al., 2008, *Journal of Structural Engineering*, 134(1), 3–21. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2008\)134:1\(3\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:1(3))

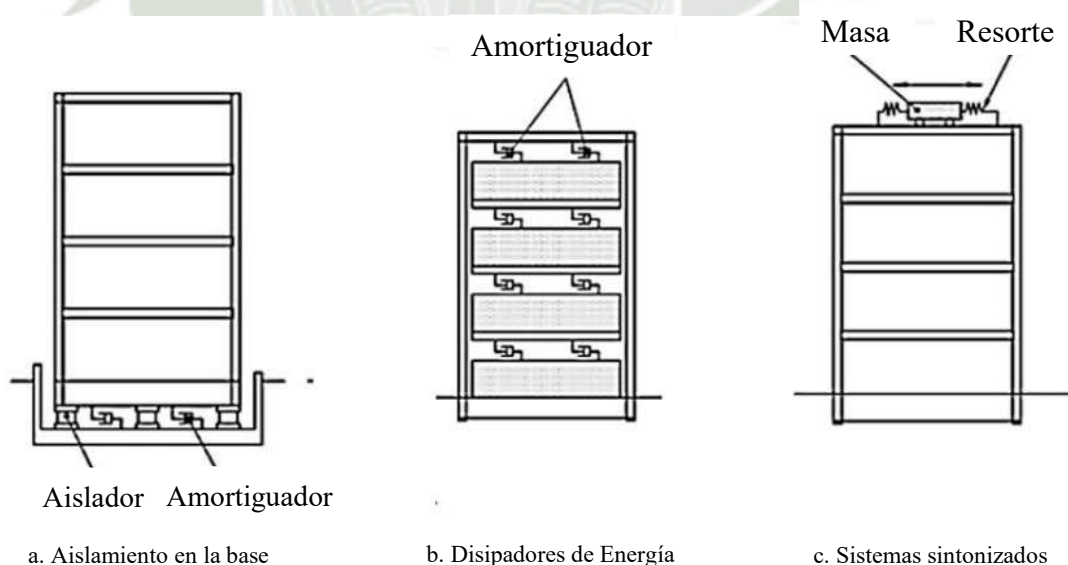
Existen dispositivos de protección sísmica que disipan energía mediante el desplazamiento de componentes, y estos son ampliamente utilizados debido a su efectividad en mitigar los efectos de los terremotos sobre las estructuras.

2.4.3.4.4 *Sistemas Sintonizados*

Los amortiguadores de masa sintonizada (TMD, por sus siglas en inglés) son sistemas de control de vibraciones utilizados en la ingeniería sísmica y estructural, cuya función principal es reducir la amplitud de las vibraciones que experimenta una estructura, especialmente durante un evento sísmico o cargas dinámicas. Estos dispositivos operan absorbiendo la energía cinética generada por el movimiento del edificio, lo que ayuda a disminuir el impacto de las fuerzas sísmicas sobre la estructura (Martínez-Martínez et al., 2022).

Figura 8

Clasificación de los sistemas de control pasivos



Nota. Adaptado de *Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones*, por EFE PRIMA CE, 2017, <https://www.efepripace.co/sistemas-control-respuesta-sismica-edificaciones/>

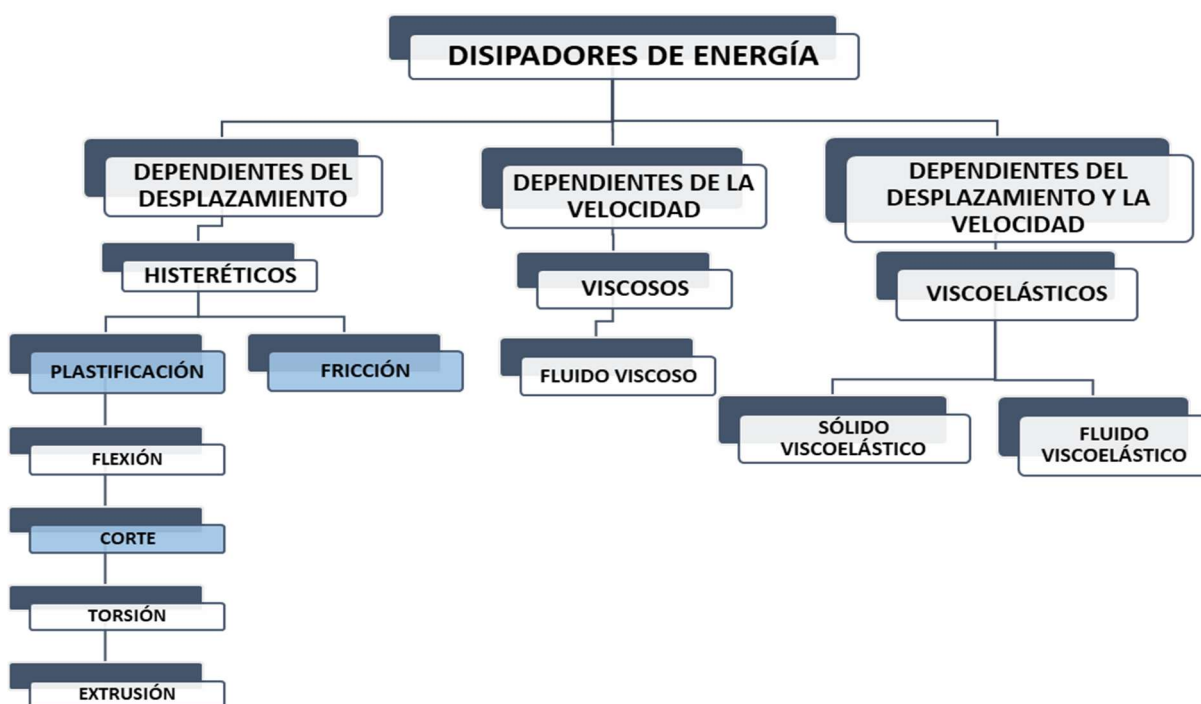
2.4.4 Sistemas de Disipación de Energía

Los sistemas de disipación de energía se utilizan para atenuar los efectos sísmicos en las estructuras, absorbiendo y disipando la energía sísmica durante un evento sísmico. Esto permite reducir las fuerzas internas y los desplazamientos que podrían comprometer la estabilidad de la edificación (Llacua Escobar, 2021).

Según la norma estadounidense ASCE 7-10 en su capítulo 18 señala que estos dispositivos se clasifican según su comportamiento en 3 categorías diferentes: dependientes del desplazamiento, dependientes de velocidad y dependientes del desplazamiento y de la velocidad (Villarreal & Diaz, 2016).

Figura 9

Clasificación de disipadores de energía



Nota. Adaptado de *Análisis del desempeño de disipadores de energía implementados en edificaciones* (p. 3), por J. L. Neyra-Torres, N. Campos-Vásquez, R. K. Manturano-Chipana, E. Lizana-Gamarra, D. A. Guerra-Quispe, & L. A. López-Lau, 2023, en *Actas de*

la 21ª Conferencia Internacional LACCEI, Buenos Aires, Argentina.

https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_556_a.pdf

2.4.4.1 Disipadores dependientes del desplazamiento

Los disipadores de esta categoría se activan por medio de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un terremoto. Estos dispositivos disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies especialmente diseñadas para estos fines (Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción, 2012).

2.4.4.1.1 Disipadores Histeréticos

Los disipadores histeréticos son aquellos que trabajan por medio del desplazamiento del entrepiso de la estructura y pueden ser de plastificación y/o fluencia de metales o friccionantes. Los dispositivos por plastificación disipan energía mediante ciclos de deformación inelástica por flexión, corte, torsión o extrusión, proceso utilizado para crear objetos con sección transversal definida y fija (López Ortiz, 2018).

Por lo general los disipadores histeréticos se comportan elásticamente para resistir las cargas laterales producidas por el viento y sismos menores, y trabajan en el rango inelástico en el caso de los sismos de alta intensidad disipando energía mediante este comportamiento. Al estar ligados a la estructura principal, las deformaciones inelásticas que se presentan durante el evento sísmico representan una forma efectiva de disipación de energía (López Ortiz, 2018).

2.4.4.1.1.1 Disipadores de plastificación o fluencia de metales

Según Villarreal y Oviedo (2009), los disipadores de energía son esenciales para reducir los efectos sísmicos en las estructuras, funcionando mediante la plastificación de metales, ya sea por esfuerzos estructurales o extrusión. El acero es el material más utilizado

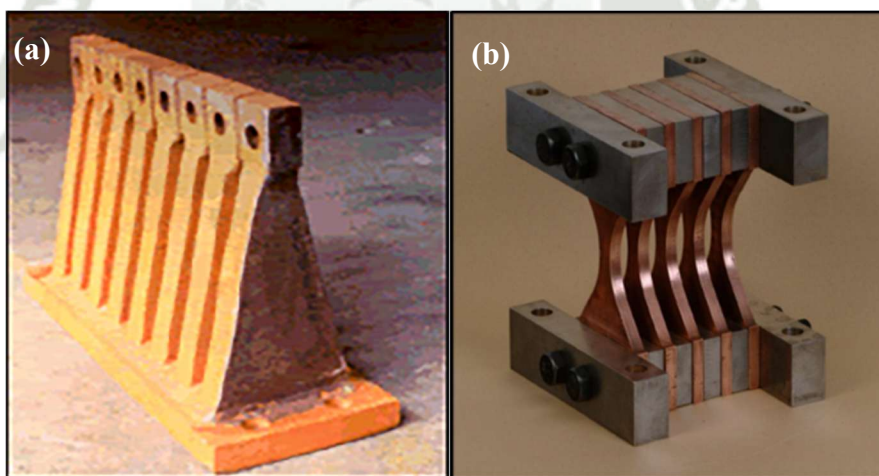
debido a su ductilidad, bajo costo y propiedades constructivas, lo que permite que los disipadores de acero disipen eficazmente la energía sísmica sin comprometer la estabilidad de la estructura durante sismos de gran magnitud.

2.4.4.1.1.1 Disipadores Por Flexión

Se han desarrollado numerosos dispositivos que plastifican debido a flexión. Se ha estudiado el comportamiento de dos placas en forma de U que disipan energía por flexión pura al enrollarse por efecto del desplazamiento relativo entre sus extremos (Figura 10). Su comportamiento histerético se demostró muy estable (Henriques, Calado, & Castiglioni, 2019).

Figura 10

Disipadores ADAS (a) y TADAS (b)



Nota. Disipadores histeréticos tipo “ADAS” o “TADAS”, por Disipa Ingeniería, s.f.,

http://www.disipaing.com/adas_tadas/

2.4.4.1.1.2 Disipadores por Cortante

Los disipadores por cortante, como las placas de acero rigidizadas, utilizan aceros de alta ductilidad y bajo límite elástico para disipar energía sísmica. Su estructura con rigidizadores distanciados requiere espesores importantes para evitar la abolladura, y los

aceros con límite elástico de 80 MPa y alargamiento entre 46% y 60% permiten espesores mayores sin necesidad de mucha rigidización (Gashi, Petrini, & Bontempi, 2023).

Figura 11

Disipador SLB (Shear Link Bozzo)



Nota. Eficiencia de los disipadores de energía en la respuesta sísmica de los edificios (p. 128), por K. Y. Saldaña Vásquez & H. V. L. Scaletti Farina, 2022, TECNIA, 32(2).

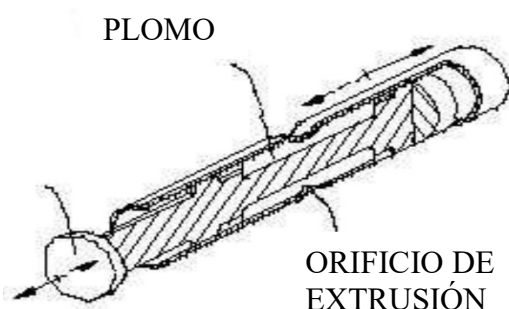
<https://doi.org/10.21754/tecnia.v32i2.1379>

2.4.4.1.1.1.3 Disipadores por Extrusión

El dispositivo de disipación de energía basado en la extrusión de plomo, como el Prestressed Lead Extrusion Damper (P-LED), utiliza un diseño optimizado para disipar energía sísmica. Este sistema muestra una respuesta histerética estable y eficiente, incluso después de varios ciclos de desplazamiento, lo que lo convierte en una opción robusta para la protección sísmica de estructuras. Su capacidad para manejar cargas repetidas con alta estabilidad lo hace ideal para aplicaciones en zonas sísmicas (Quaglini, Pettorruso, & Bruschi, 2022).

Figura 12

Disipador de Extrusión



Nota. Adaptado de *Edificaciones con disipadores de energía* (p. 38), por G. Villarreal Castro & R. Oviedo Sarmiento, 2009, Premio Nacional ANR 2008.

2.4.4.1.1.2 Disipadores de Fricción

Son dispositivos metálicos que se caracterizan por tener un comportamiento histerético que se logra a través de la fricción entre sólidos metálicos y de este modo disipar energía por calor, el principio básico de estos disipadores consiste en utilizar la deformación relativa entre dos puntos de una estructura para disipar energía a través de fricción (Puma Gonzales, 2021).

El mecanismo desliza ante una carga determinada, regulable a partir de la presión ejercida por pernos mediante una llave dinamométrica. Existe un método simplificado de diseño sísmico para estructuras que incorporan este sistema disipativo. A partir de un estudio paramétrico, se determina la distribución en altura de la fuerza umbral óptima de deslizamiento y se establece un espectro de diseño para su determinación práctica (Quiroz Gordillo, 2020).

Figura 13

Disipador de fricción. Pall y Marsh



Nota. Friction dampers for seismic upgrade of patient tower, St. Joseph Hospital, Tacoma, WA, por D. Shao, B. Soli, R. (T.) Pall y A. Pall, 2007, en Proceedings of the Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering (artículo n.º 1029, p. 15), https://www.caee.ca/9CCEEpdf/1029_EJ.pdf

2.4.4.2 Disipadores dependientes de la velocidad

2.4.4.2.1 Disipadores Viscoso

Los disipadores viscoelásticos pertenecen al grupo de dispositivos activados por desplazamiento o velocidad. Antes de su uso en la ingeniería civil tras 1969, se empleaban en estructuras aeroespaciales. Un ejemplo notable fue su aplicación en las Torres Gemelas del World Trade Center en Nueva York, donde se instalaron cerca de 10,000 disipadores por torre para controlar las vibraciones causadas por el viento (Montgomery, 2021).

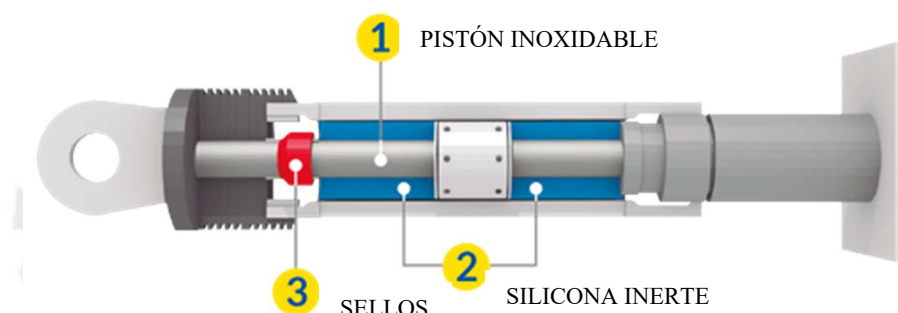
2.4.4.2.1.1 Disipadores de Fluido Viscoso

Los disipadores de fluido viscoso tienen la propiedad de reducir simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura. Esto es debido a que los disipadores de fluido varían su fuerza solamente con la velocidad, la cual provee una respuesta que es inherentemente fuera de fase con los esfuerzos debido a la flexibilidad de la estructura. Otros

disipadores pueden normalmente ser clasificados como histeréticos, donde una fuerza de amortiguamiento es generada bajo una deflexión o los viscoelásticos que son disipadores con un complejo resorte combinado con un amortiguamiento (López Ortiz, 2018).

Figura 14

Esquema del sistema extendido de amortiguación, disipador Taylor



Nota. Disipadores/amortiguadores sísmicos Taylor, por CDV Ingeniería Antisísmica, s.f.

<https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>

2.4.4.3 Disipadores dependientes del desplazamiento y la velocidad

2.4.4.3.1.1 Disipadores Viscoelásticos

Los disipadores viscoelásticos se agrupan en dos: disipadores viscoelásticos sólidos y disipadores viscoelásticos fluidos, con la posterior incorporación de dispositivos basados en orificios y deformación de fluidos. Las respuestas típicas fuerza-desplazamiento obtenidas para estos dispositivos bajo amplitud constante, condiciones cíclicas de desplazamiento controlado son provistas. En general, estos dispositivos exhiben amortiguamiento y rigidez (Villarreal & Oviedo, 2009).

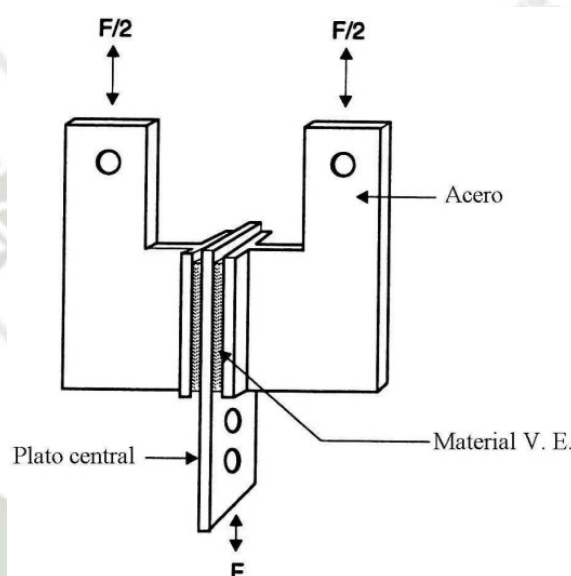
2.4.4.3.1.2 Disipadores Sólido Viscoelástico

Los disipadores viscoelásticos sólidos empleados en estructuras están compuestos por copolímeros o sustancias vidriosas que disipan energía cuando están sujetos a deformación por corte. Un disipador viscoelástico típico consiste en capas viscoelásticas

entre platos de acero; cuando se montan en una estructura, la deformación por corte y, por consiguiente, la disipación de energía ocurre cuando la vibración estructural induce el movimiento relativo entre las láminas de acero exteriores y el plato central (Villarreal & Oviedo, 2009).

Figura 15

Configuración típica de un disipador sólido viscoelástico



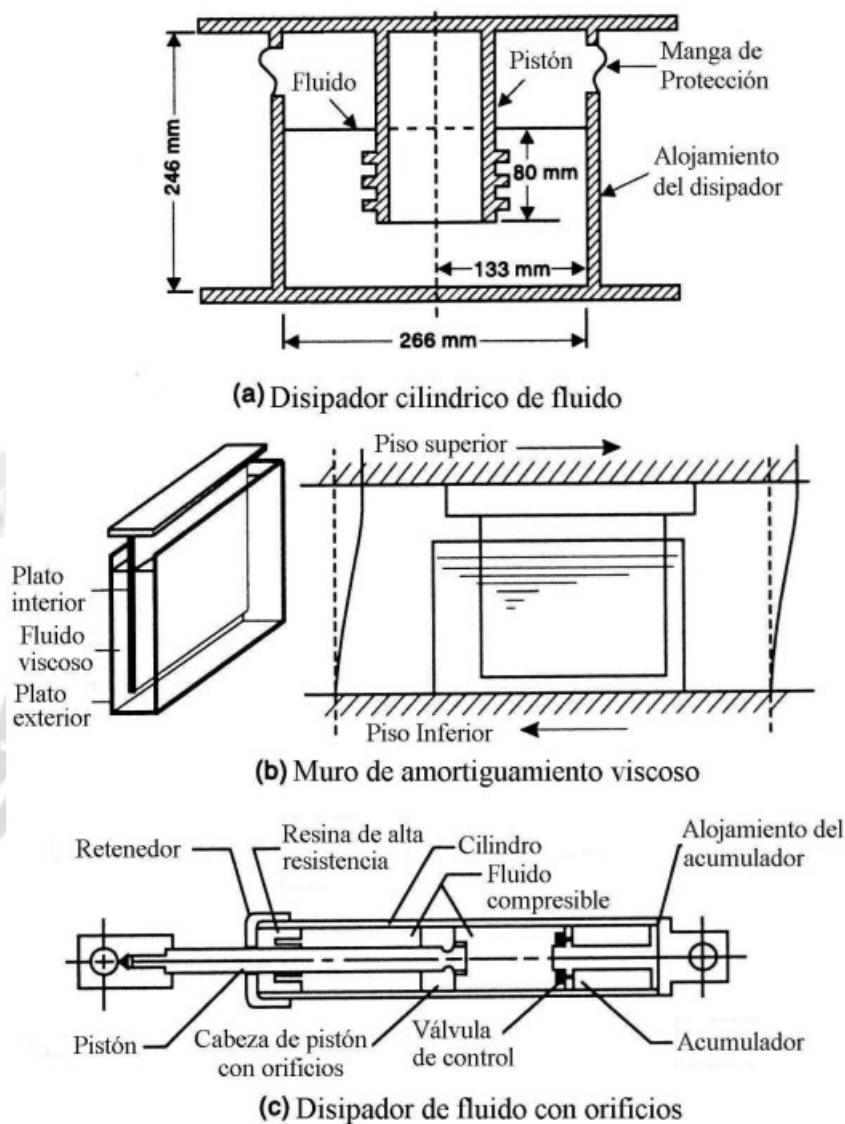
Nota. Adaptado de *Edificaciones con disipadores de energía* (p. 48), por G. Villarreal Castro & R. Oviedo Sarmiento, 2009, Premio Nacional ANR 2008.

2.4.4.3.1.3 Disipadores de Fluido Viscoelástico

Los dispositivos de fluido viscoelástico sólidos utilizan la acción de sólidos para mejorar el desempeño de la estructura frente a diversas acciones externas. Por otra parte, los fluidos también pueden ser empleados eficazmente para obtener el nivel deseado de control pasivo. Recientemente, se ha orientado un esfuerzo significativo al desarrollo de disipadores de fluido viscoso para aplicaciones estructurales, inicialmente adaptando tecnologías de la industria militar y pesada (Marra et al., 2023).

Figura 16

Configuración típica de un disipador fluido viscoelástico



Nota. Adaptado de *Edificaciones con disipadores de energía* (p. 53), por G. Villarreal Castro & R. Oviedo Sarmiento, 2009, Premio Nacional ANR 2008.

2.4.5 Disipadores de energía SLB

Los disipadores SLB, o Shear Link Bozzo, son dispositivos de disipación de energía diseñados para mejorar el desempeño sísmico de estructuras al absorber y disipar la energía generada durante un terremoto. Estos dispositivos se basan en mecanismos histéricos para

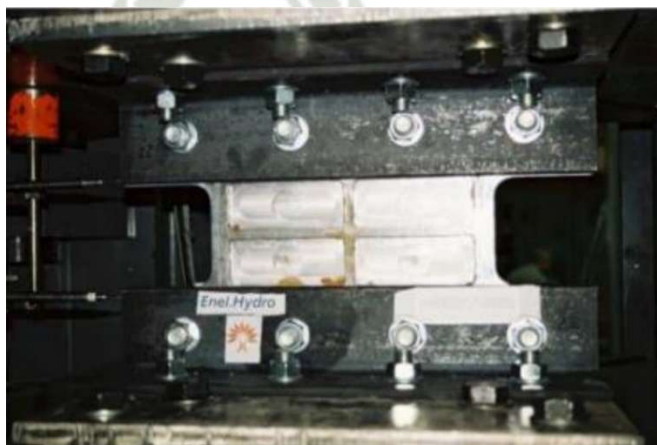
reducir las fuerzas transmitidas a la estructura y controlar los desplazamientos durante un evento sísmico (Bozzo, Gonzales, Pantoja, Muñoz, & Ramírez, 2019).

Mecanismo Histérico: Los disipadores SLB utilizan un mecanismo histérico que se basa en el comportamiento no lineal de ciertos materiales y componentes estructurales. El término "histérico" se refiere a la capacidad del dispositivo para absorber energía mediante ciclos repetidos de carga y descarga, generando una curva de histéresis que disipa la energía sísmica (Bozzo, Ramirez, Bairan, Bozzo, & Muñoz, 2020).

Estos dispositivos se basan en el aumento localizado de ductilidad en el edificio permitiendo una reducción significativa en las fuerzas inducidas por un sismo de alta intensidad, esto quiere decir que estos dispositivos van a absorber energía de sismo debido a la plastificación de su material y a las propiedades mecánicas que posee, disminuyendo así las derivas de entrepiso y aumentando también el periodo fundamental de la estructura debido a que también aporta rigidez. Así mismo, también se pueden definir como articulaciones plásticas que el ingeniero estructural puede colocar en puntos estratégicos para mejorar la respuesta sísmica (Miranda & Ontiveros, 2020).

Figura 17

Disipador de energía SLB característico

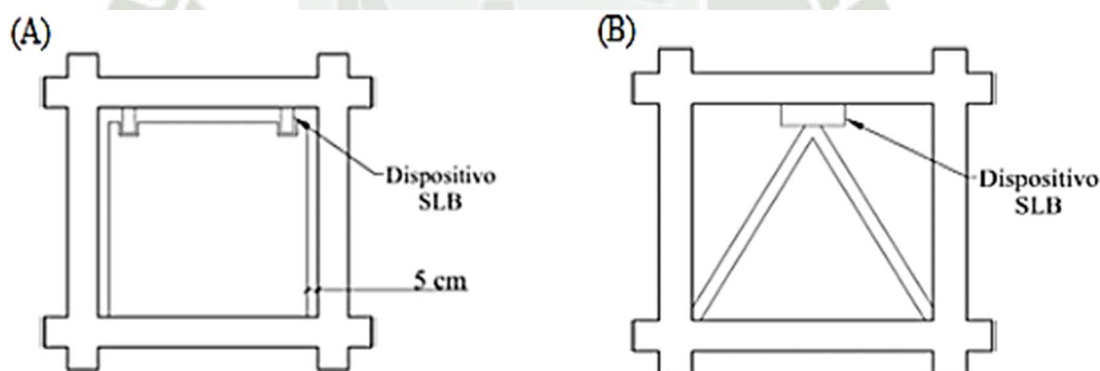


Nota. Estudio comparativo para edificación de 5 plantas empleando solución prefabricada y disipadores SLB y solución convencional en zona de sismicidad alta de Perú (p. 15), por B. J. Ramírez Machado, 2020, *Universitat Politècnica de Catalunya*.
<http://hdl.handle.net/2117/340783>

Según Ramírez Machado (2020), los disipadores SLB están diseñados para disipar energía sísmica mediante la plastificación del acero, la cual ocurre a través de esfuerzos de cortante repetidos en su geometría específica. Este mecanismo permite absorber la energía sísmica y reducir su transmisión a la estructura principal, mejorando el comportamiento sísmico del edificio. Esta disipación ocurre principalmente gracias a la deformación inelástica controlada del metal.

Figura 18

Colocación típica de los disipadores de energía en un pórtico de concreto armado



Nota: Influencia Estructural de Disipadores SLB para Muros Desacoplados en Estructuras de Concreto Armado y Arriostramientos en Estructuras Metálicas (p. 187), por J. A. Brito-Tapia, R. A. Terán Coloma y D. P. Guerrero Cuasapaz, 2022, *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 45(3), 185–200.
<https://doi.org/10.22209/rt.v45n3a05>

La colocación típica de los disipadores en un pórtico, según Bozzo, Ramírez, Gonzales y Pantoja (2019), se realizará de acuerdo con los siguientes parámetros: rehabilitación de estructuras, ubicación y cálculo de la capacidad.

Ubicación: Los disipadores SLB se instalan en ubicaciones clave dentro de la estructura, como en las conexiones entre vigas y columnas. Su ubicación y el número de dispositivos necesarios se determinan en función del análisis sísmico y los requisitos de diseño (Bozzo, Ramírez, Gonzales, & Pantoja, 2019).

Cálculo de Capacidad: El diseño de los disipadores SLB implica el cálculo de su capacidad de disipación en función de las características sísmicas del sitio y las especificaciones estructurales, considerando también la capacidad máxima de deformación y la resistencia del dispositivo (Bozzo, Gonzales, Pantoja, Muñoz, & Ramírez, 2019).

Integración con Otros Sistemas: Los disipadores SLB a menudo se integran con otros sistemas de protección sísmica, como aisladores de base o amortiguadores adicionales, para proporcionar una solución integral (Bozzo, Ramírez, Gonzales, & Pantoja, 2019).

2.4.6 Disipadores de energía Quaketek

Los disipadores Quaketek son dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía sísmica durante un terremoto, con el objetivo de reducir las fuerzas transmitidas a las estructuras y minimizar los daños. Estos disipadores se basan en principios de fricción para transformar la energía sísmica en calor, mejorando así el desempeño sísmico de las edificaciones (Quaketek, s.f.).

Figura 19

Brazo metálico del dissipador Quaketek



Nota. Disipadores Sísmicos – Disipadores a fricción, por Quaketek, s.f.

<https://quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>

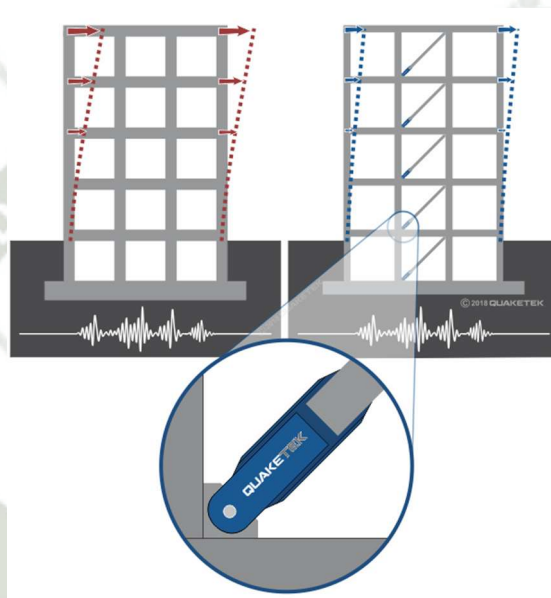
Los Disipadores a fricción están diseñados para accionarse antes que los miembros de que los miembros estructurales alcancen estados plásticos. De esta forma el edificio es capaz de resistir un terremoto sin recibir un daño significativo a su estructura principal. Los disipadores a fricción son muy fáciles de modelar en el análisis estructural, pudiendo ser implementados en virtualmente cualquier proyecto. Los disipadores permiten al edificio deformarse elásticamente y disipar la energía de terremoto. Esto a su vez produce ahorros substanciales toda vez que los elementos estructurales pueden ser optimizados. Los disipadores a fricción operan con los principios de un amortiguador tipo Coulomb transformando la energía cinética en calor mediante la fricción (Puma Gonzales, 2021).

Los disipadores Quaketek están compuestos principalmente por placas de acero u otros materiales de fricción, organizados en una estructura compacta. Durante un sismo, se genera fricción en las superficies de contacto entre las placas al deslizarse unas sobre otras.

El rendimiento del disipador depende fundamentalmente del diseño de estas placas y del tipo de material de fricción empleado. Por ello, seleccionar adecuadamente estos componentes es esencial para garantizar que el dispositivo funcione eficientemente y cumpla con su función de absorber la energía sísmica de forma eficaz (Quaketek, s. f.).

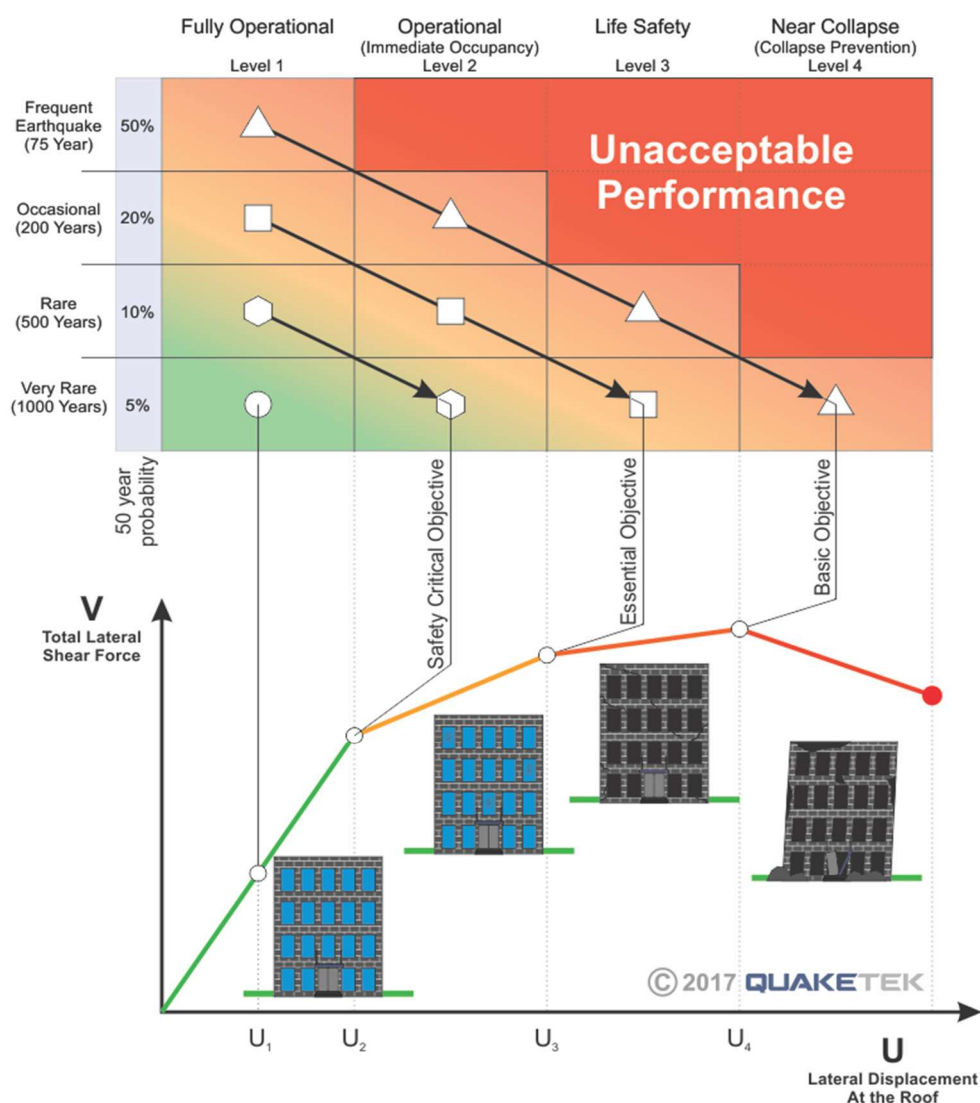
Figura 20

Funcionamiento de los disipadores de energía Quaketek



Nota. Los disipadores Quaketek están concebidos para integrarse directamente en la estructura de una edificación, generalmente en las conexiones entre vigas y columnas. Esta instalación estratégica permite una absorción de energía eficiente durante un sismo, minimizando el impacto en la estructura principal y contribuyendo a una respuesta sísmica más controlada. *Disipadores Sísmicos – Disipadores a fricción*, por Quaketek, s.f.

<https://quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>

Figura 21
Desempeño sísmico esperado de un sistema estructural en función del peligro sísmico


Nota. Disipadores Sísmicos – Disipadores a fricción, por Quaketek, s.f.

<https://quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>

Entre las ventajas destacadas de los disipadores Quaketek se encuentran su alta eficiencia en la disipación de energía. Gracias a su mecanismo de fricción, estos dispositivos son muy efectivos para convertir la energía sísmica en calor, lo que ayuda a reducir significativamente las fuerzas internas en la estructura. Además, son excelentes para controlar los desplazamientos horizontales y verticales de las estructuras durante un sismo, mejorando la estabilidad y la seguridad general del edificio (Quaketek, s. f.).

La durabilidad es otra característica clave de los disipadores Quaketek. Están diseñados para soportar múltiples ciclos de carga sin experimentar una pérdida significativa de eficacia, lo que los hace aptos para aplicaciones en regiones con alta actividad sísmica. Asimismo, requieren poco mantenimiento, ya que su diseño robusto y confiable les permite funcionar de manera efectiva a lo largo de su vida útil, sin necesidad de revisiones frecuentes (Quaketek, s. f.).





CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA PROPUESTA

3.1 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

La tesis propuesta corresponde a una investigación aplicada con un enfoque comparativo y experimental. A continuación, se detallan las características que definen el tipo de investigación:

En primer lugar, se trata de una investigación aplicada, cuyo propósito es resolver problemas prácticos y proporcionar soluciones concretas. En este caso, el objetivo es mejorar el diseño sísmico de las estructuras mediante la evaluación de diferentes sistemas de disipación de energía. Los resultados esperados buscan ser directamente aplicables en la práctica de la ingeniería estructural, específicamente para el proyecto en estudio, con el fin de modificar y mejorar el comportamiento sísmico de la estructura.

En segundo lugar, el enfoque comparativo es esencial en esta investigación. El propósito de este enfoque es comparar el comportamiento sísmico de dos tipos de disipadores de energía: los disipadores histeréticos SLB y los disipadores de fricción Quaketek. Según Chanduví Nuñez et al. (2023), el método consiste en evaluar y comparar las características, eficiencia y desempeño de ambos sistemas de disipación bajo condiciones sísmicas simuladas.

Finalmente, esta tesis se basa en una investigación experimental. La metodología empleada incluye simulaciones y, posiblemente, pruebas de laboratorio para analizar el comportamiento de los disipadores SLB y Quaketek. Se utilizarán modelos estructurales a los cuales se aplicarán cargas sísmicas para observar y medir la respuesta de los sistemas. Los datos obtenidos serán cuantitativos y se analizarán estadísticamente para determinar la efectividad de cada sistema de disipación de energía.

3.2 DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

El diseño de este estudio es cuasi-experimental con un enfoque comparativo, lo que implica el uso de simulaciones y pruebas de laboratorio para evaluar y comparar el comportamiento sísmico de dos tipos de disipadores de energía: los disipadores SLB y Quaketek. Este enfoque se emplea cuando no es posible controlar todas las variables, como en un experimento puro, pero se busca observar relaciones causales manipulando una variable independiente. Según Silva Silva (2023), este diseño permite estudiar fenómenos en condiciones parcialmente controladas, recreando situaciones similares a las reales. En este caso, se manipularán las condiciones sísmicas aplicadas a los modelos estructurales con el objetivo de controlar variables externas y asegurar que las diferencias en el desempeño sísmico sean atribuibles a los tipos de disipadores utilizados.

El enfoque comparativo tiene como objetivo comparar el comportamiento sísmico de dos tipos de disipadores de energía, histeréticos SLB y de fricción Quaketek, bajo condiciones similares. La metodología incluye la evaluación y comparación de las características, eficiencia y desempeño de ambos sistemas de disipación de energía utilizando modelos estructurales y cargas sísmicas simuladas.

Para llevar a cabo este estudio, se utilizarán simulaciones computacionales mediante software especializado para crear modelos estructurales detallados que incorporen los disipadores SLB y Quaketek. Estas simulaciones permitirán aplicar diferentes cargas sísmicas y observar cómo responden las estructuras. En caso de ser aplicable, también se realizarán pruebas físicas en modelos a escala para validar los resultados obtenidos en las simulaciones computacionales, proporcionando datos adicionales sobre el comportamiento real de los disipadores bajo cargas sísmicas.

El análisis cuantitativo de los datos obtenidos de las simulaciones y pruebas de laboratorio será fundamental. Se recopilarán y analizarán datos cuantitativos, incluyendo parámetros como desplazamientos, fuerzas internas y energía disipada. Estos datos serán cruciales para determinar la eficiencia y efectividad de cada sistema de disipación de energía, proporcionando una base sólida para recomendaciones prácticas en el diseño estructural.

Tabla 2
Matriz Operacional

VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES
INDEPENDIENTE		
Disipador Sísmico Histerético	Disipador de fluencia SLB	Características del disipador
	Disipador de fricción Quaketek	Ubicación del disipador
DEPENDIENTE		
Comportamiento Sísmico	Respuestas sísmicas	Derivas
	Características del suelo	Desplazamientos
		Energía Disipada Cortante basal

Nota. Elaboración propia.

3.3 MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN

El método de investigación del presente trabajo se basa en un enfoque cuasi-experimental que emplea diversas técnicas, tales como simulaciones computacionales, pruebas experimentales, análisis cuantitativo y estudios de casos.

El objetivo principal de las simulaciones computacionales es evaluar el comportamiento sísmico de las estructuras equipadas con disipadores de energía SLB y Quaketek bajo diferentes escenarios sísmicos. Para ello, se emplearán herramientas avanzadas de software de análisis estructural, que permitirán la creación de modelos estructurales detallados con los disipadores incorporados. A través de estas simulaciones, se analizarán aspectos como desplazamientos, fuerzas internas y energía disipada, generando datos cuantitativos sobre el desempeño de los disipadores.

En caso de que se apliquen pruebas experimentales, su objetivo será validar los resultados obtenidos en las simulaciones y obtener datos adicionales sobre el comportamiento real de los disipadores bajo condiciones sísmicas controladas. Estas pruebas se llevarán a cabo en laboratorios especializados con equipos para ensayos de materiales y mesas vibratorias. El procedimiento incluirá la construcción de modelos físicos a escala de las estructuras equipadas con los disipadores, los cuales serán sometidos a pruebas sísmicas. Durante las pruebas, se medirán y registrarán los parámetros de respuesta estructural para confirmar la efectividad y eficiencia de los disipadores en un entorno controlado.

El análisis cuantitativo se centrará en procesar los datos obtenidos tanto de las simulaciones como de las pruebas experimentales. Se utilizarán técnicas estadísticas apropiadas para comparar el desempeño de los disipadores SLB y Quaketek, con el fin de identificar diferencias significativas en el comportamiento sísmico de las estructuras equipadas con estos dispositivos.

Finalmente, se llevará a cabo un estudio de casos, en el cual se aplicarán los resultados obtenidos a edificaciones representativas de la ciudad de Arequipa. El objetivo es evaluar el impacto de la implementación de los disipadores SLB y Quaketek en la

resistencia sísmica de las estructuras seleccionadas, brindando una visión práctica y aplicable de los hallazgos obtenidos a lo largo del estudio.

3.3.1 Descripción del área de estudio

El área del terreno es de 110 m² y el área del edificio multifamiliar es de 779.01 m².

El edificio multifamiliar cuenta con 8 niveles y una azotea, el área aproximada de cada nivel se detalla a continuación:

- 1er Nivel: 92.3 m²
- 2do Nivel: 92.3 m²
- 3er Nivel: 92.3 m²
- 4to Nivel: 92.3 m²
- 5to Nivel: 92.3 m²
- 6to Nivel: 92.3 m²
- 7mo Nivel: 92.3 m²
- 8vo Nivel: 92.3 m²
- Azotea: 40.61 m²

Figura 22

Área de estudio



Nota. Ubicación del área de estudio. Adaptada de Google Maps para fines de la investigación, 2024.



CAPÍTULO IV

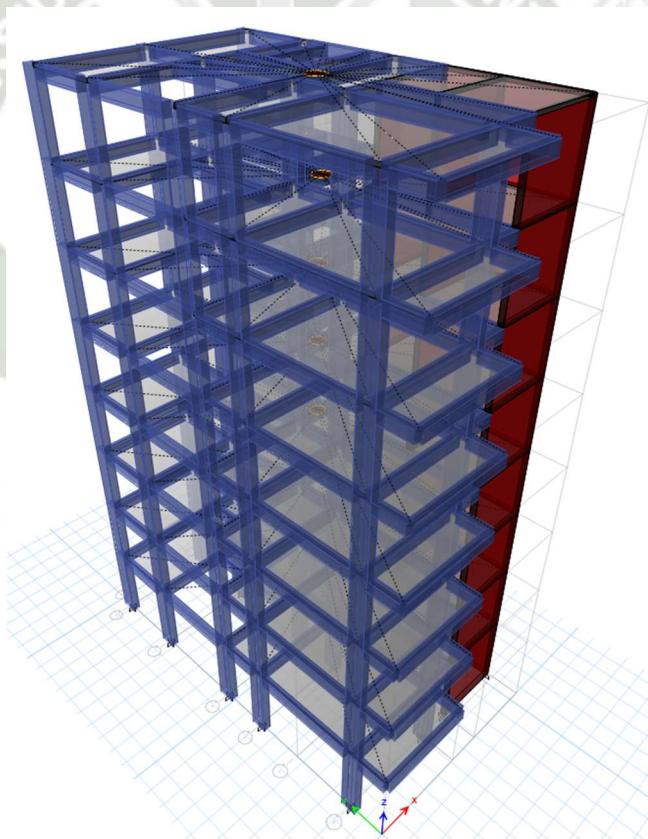
4. RESULTADOS

4.1 MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

A continuación, se muestra el modelo estructural de la edificación analizada en este trabajo de investigación, que en cuanto a sistema estructural consistió esencialmente de un sisma dual, es decir, una combinación de pórticos de concreto armado, representando por elementos azules en la imagen siguiente y muros de concreto armado, representadas en color rojo.

Figura 23:

Modelo estructural de la edificación analizada sin dispositivos de disipación de energía.



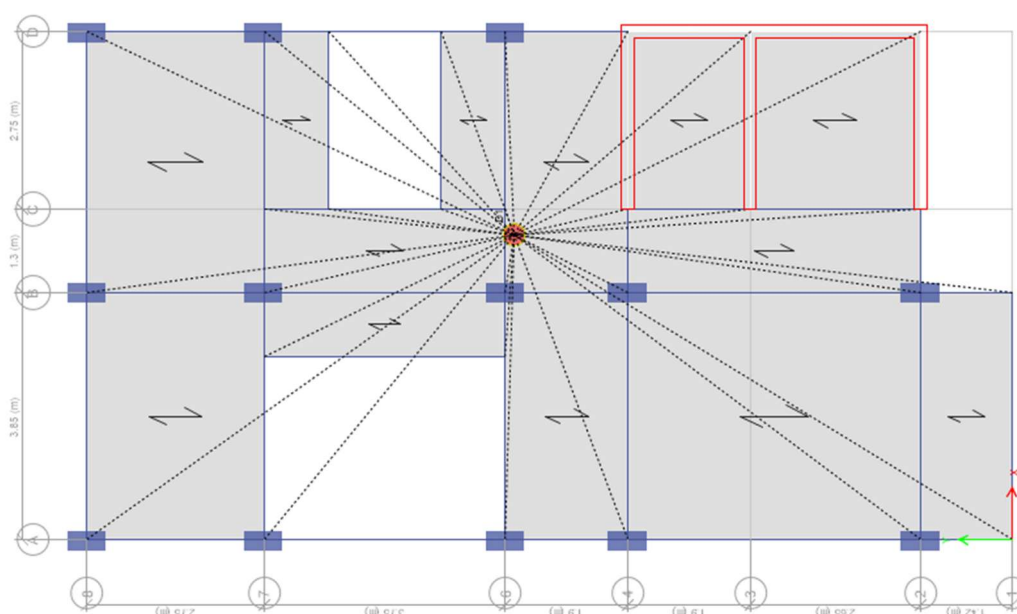
Nota. El sistema estructural tuvo ocho niveles de un piso típico que va de primera al último nivel. Las cargas gravitacionales consideradas en el modelamiento fueron consecuentes con las cargas provenientes del uso de la edificación, que fue una edificación multifamiliar. Elaboración propia.

4.1.1 Vista de las plantas

En la siguiente figura se muestra la vista en planta del modelo estructural realizado y presentado en la sección anterior. Como se aprecia de este modelo estructural, existe un cajón de placas de concreto armado en la zona de las escaleras y los ascensores, estos se han coloreado en color rojo para poder distinguirlas del sistema de pórticos de concreto armado.

Figura 24:

Vista en planta de piso típico del sistema estructural analizado.



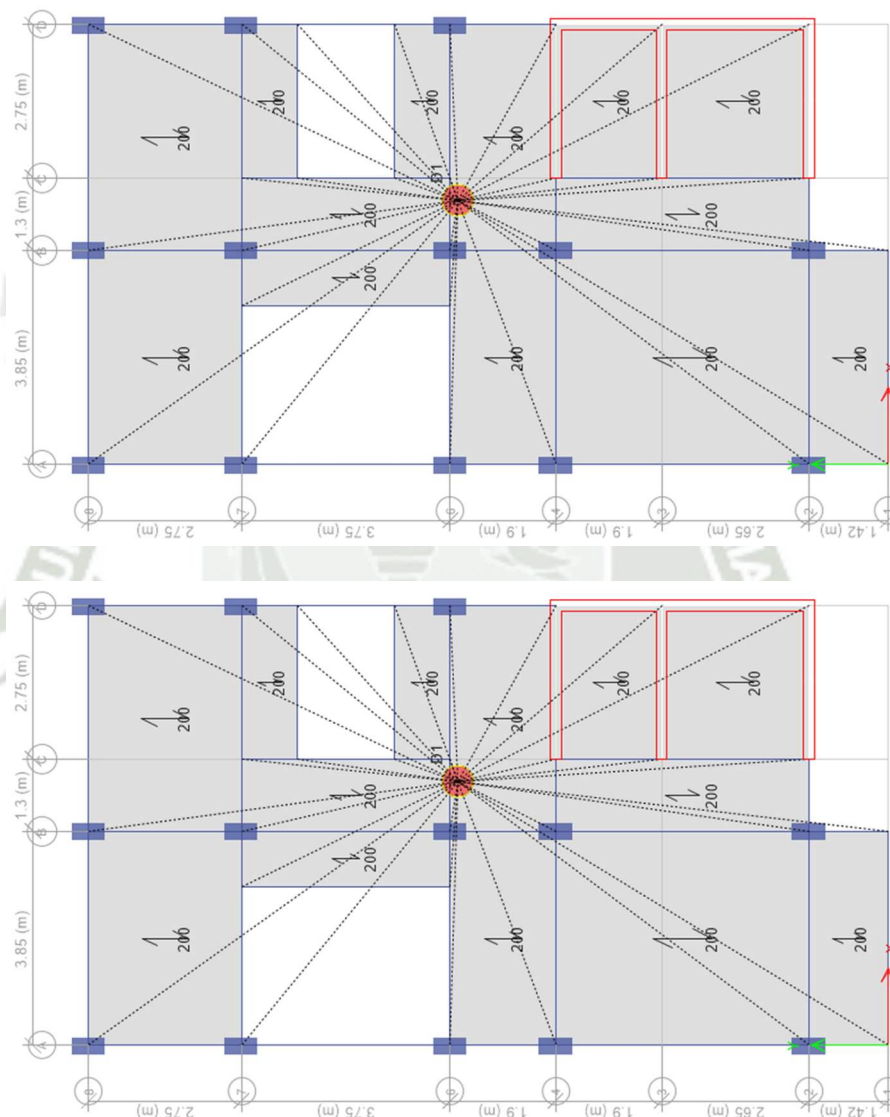
Nota. Se presentan trece columnas de concreto armado de diferentes secciones transversales. Las secciones se modelaron con la finalidad de representar mecánicamente y de forma más fiable, las columnas de concreto armado. Elaboración propia.

Las cargas gravitacionales consideradas fueron de dos tipos, de acuerdo con la norma peruana de diseño sísmico, a decir, la carga muerta y la carga viva. El valor de la carga muerta se consideró de 200 kg/m² y considera tanto el peso de los acabados como el peso de la tabiquería móvil, la aplicación de esta se realizó a todos los pisos excepto la azotea,

pues se considera que no existe cargas debidas a la tabiquería móvil. En la figura siguiente se muestra la aplicación de la carga muerta en los pisos típicos.

Figura 25:

Aplicación de cargas gravitacionales de carga muerta y carga viva.



Nota. Se presenta la planta típica del modelo estructural realizado en ETABS, donde se puede observar la aplicación de la carga viva como una carga uniformemente distribuida sobre las losas del sistema estructural. Elaboración propia.

El valor de la carga viva introducido en el programa ETABS fue determinado conforme a las normativas vigentes del Reglamento Nacional de Edificaciones. De acuerdo

con la Norma Técnica E.020 – Cargas del Reglamento Nacional de Edificaciones (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006), la carga viva mínima, aplicada como carga uniformemente distribuida sobre elementos horizontales o cubiertas, varía según el uso de la estructura.

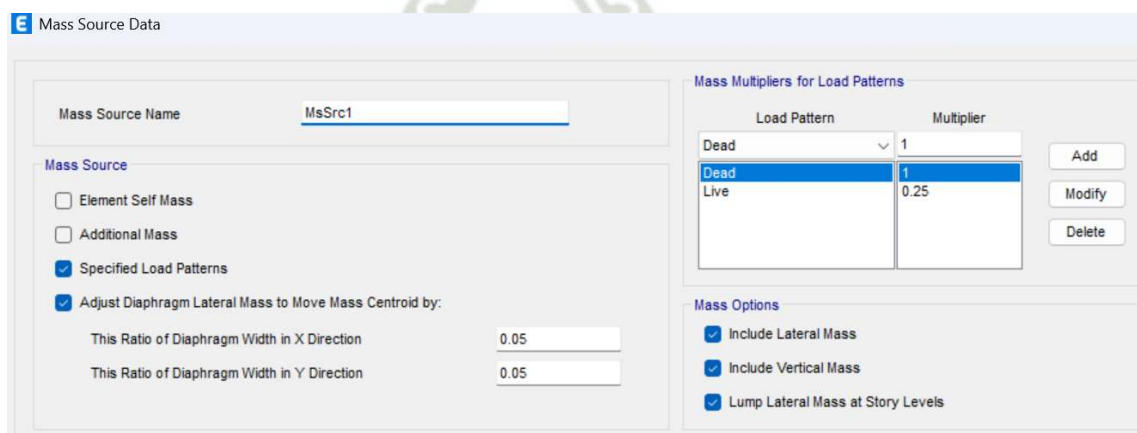
En este caso, la estructura analizada es un edificio de vivienda multifamiliar, por lo que la carga viva correspondiente es de 200 kg/m^2 . Este valor fue finalmente aplicado como la carga uniformemente distribuida en el modelo estructural.

4.1.2 Definición de la masa sísmica

La masa sísmica es una de las características más importantes para determinar la respuesta dinámica de un sistema estructural, ya que, durante un sismo, los efectos inerciales producidos por la masa son significativos. En esta investigación, la masa sísmica se ha definido siguiendo los procedimientos estándar de la ingeniería sísmica, considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva. A continuación, se presentan los parámetros utilizados en el análisis seleccionado.

Figura 26:

Definición de las masas sísmicas de análisis considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva.



Mass Source Data

Mass Source Name: MsSrc1

Mass Source

- ☐ Element Self Mass
- ☐ Additional Mass
- ☒ Specified Load Patterns
- ☒ Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction: 0.05
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction: 0.05

Mass Multipliers for Load Patterns

Load Pattern	Multiplier
Dead	1
Dead	1
Live	0.25

Mass Options

- ☒ Include Lateral Mass
- ☒ Include Vertical Mass
- ☒ Lump Lateral Mass at Story Levels

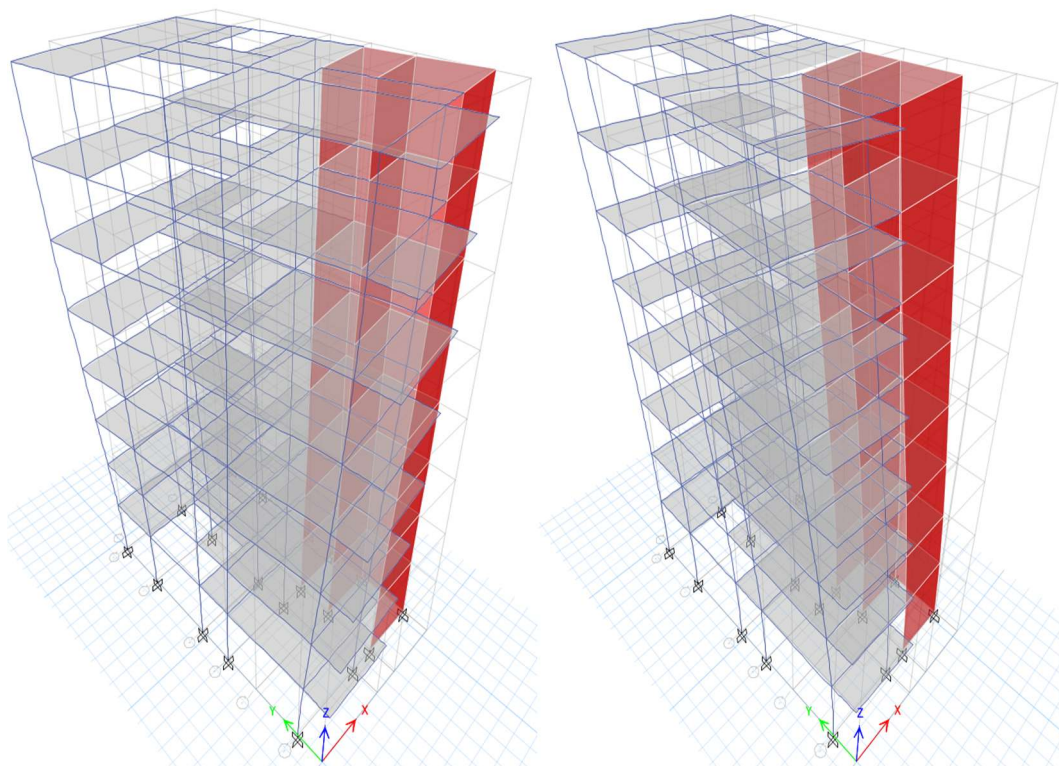
Nota. Elaboración propia.

4.1.3 *Análisis modal*

El análisis modal del sistema estructural revela que la primera forma de vibración, con un período de 0.766 s, está dominada por un movimiento traslacional en la dirección X (0.314) y en menor medida en la dirección Y (0.190), acompañado de una contribución torsional moderada ($RZ = 0.288$). Este modo representa el comportamiento fundamental de la estructura, donde la oscilación global es más significativa en la base y en la parte superior del edificio. La segunda forma modal, con un período de 0.452 s, mantiene la predominancia en la dirección X con una mayor participación (0.377) y un aumento en la dirección Y (0.250), lo que indica que la estructura continúa respondiendo principalmente mediante traslaciones. La contribución torsional en este caso es baja ($RZ = 0.076$), lo que sugiere que la influencia de la torsión sigue siendo secundaria.

Figura 27:

Primera y segunda forma de modo del sistema estructural analizado.

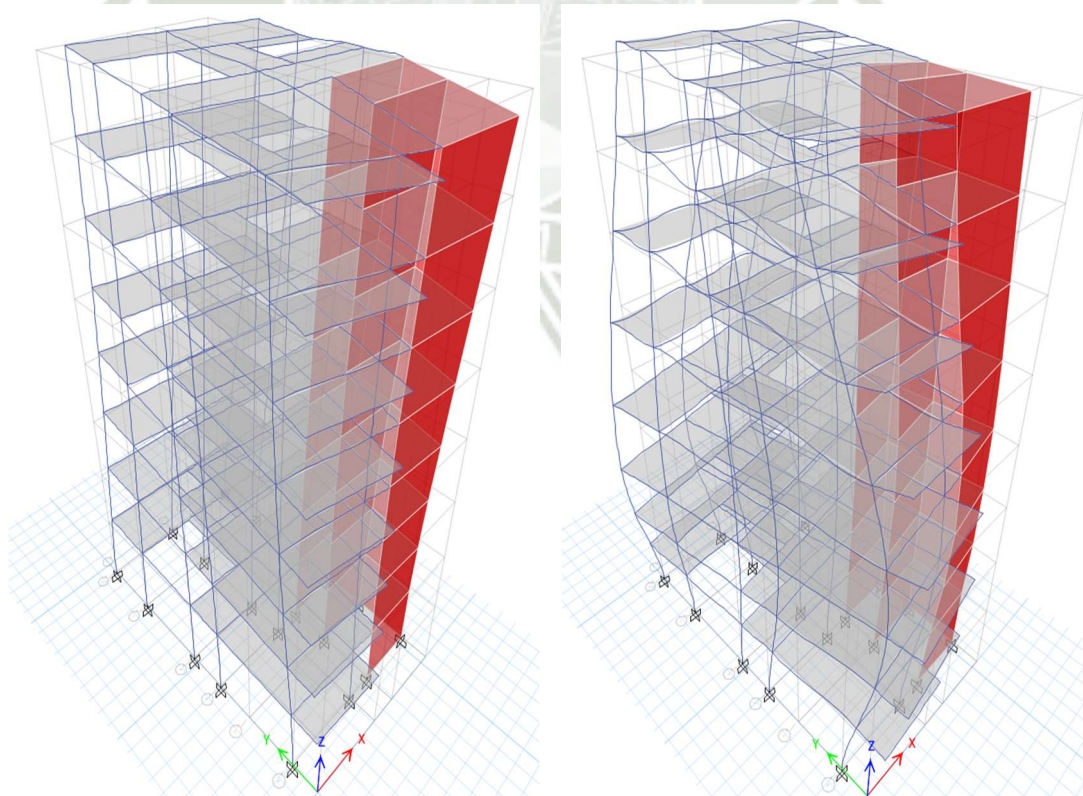


Nota. Elaboración propia.

Por otro lado, la tercera forma modal, con un período de 0.290 s, muestra una inversión en la respuesta dinámica, con una mínima participación en la dirección X (0.012) y una contribución significativa en la dirección Y (0.272). En este modo, la torsión adquiere un papel más relevante ($RZ = 0.411$), lo que indica que la estructura comienza a experimentar un comportamiento combinado de traslación y rotación, un aspecto clave para evaluar posibles efectos torsionales en el diseño sísmico. La cuarta forma modal, con un período de 0.231 s, presenta contribuciones equilibradas en ambas direcciones (0.063 en X y 0.053 en Y), alcanzando una acumulación de participación modal de aproximadamente 76% en cada dirección, lo que sugiere que estos primeros cuatro modos explican gran parte de la respuesta dinámica de la estructura. La influencia torsional en este modo es mínima ($RZ = 0.013$), por lo que su impacto en la estabilidad estructural es reducido.

Figura 28:

Tercera y cuarta forma de modo del sistema estructural analizado.



Nota. Elaboración propia.

Tabla 3:
Características modales del sistema estructural analizado.

Mode	Period sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.766	0.314	0.190	0.314	0.190	0.288	0.288
2	0.452	0.377	0.250	0.691	0.440	0.076	0.364
3	0.29	0.012	0.272	0.703	0.712	0.411	0.776
4	0.231	0.063	0.053	0.767	0.765	0.013	0.789
5	0.123	0.009	0.012	0.775	0.777	0.027	0.816
6	0.109	0.114	0.060	0.889	0.837	0.006	0.822
7	0.078	0.006	0.005	0.895	0.842	0.012	0.834
8	0.076	0.011	0.076	0.906	0.918	0.092	0.925
9	0.07	0.001	0.001	0.907	0.920	0.001	0.926
10	0.07	0.001	0.007	0.907	0.927	0.004	0.931
11	0.059	0.001	0.000	0.908	0.927	0.000	0.931
12	0.056	0.005	0.003	0.913	0.930	0.004	0.934
13	0.054	0.000	0.000	0.913	0.930	0.000	0.934
14	0.053	0.000	0.000	0.913	0.930	0.000	0.934
15	0.052	0.000	0.001	0.913	0.931	0.001	0.935

Nota. Elaboración propia

En términos de respuesta estructural, estos resultados evidencian que la estructura está gobernada principalmente por modos de traslación en X e Y, con una influencia torsional significativa en el tercer modo. La rápida acumulación de la participación modal en los primeros cuatro modos indica que la estructura responde de manera predecible ante excitaciones sísmicas, y que los modos superiores tendrán una menor influencia en la respuesta global. Sin embargo, el impacto torsional del tercer modo debe analizarse cuidadosamente para evitar concentraciones de esfuerzos que puedan comprometer la estabilidad estructural. Finalmente, los períodos modales obtenidos sugieren que la estructura posee una flexibilidad moderada, lo que influirá en la demanda de desplazamientos y aceleraciones durante un evento sísmico.

4.1.4 Cálculo del centro de masa y de rigidez

La distribución de los centros de masa y de rigidez por niveles en el sistema estructural indica una ligera variación en la masa de cada nivel, manteniéndose en aproximadamente 9.89 tonf-s²/m, con excepción de los niveles inferiores y superiores, donde la masa es mayor en el primer nivel (10.07 tonf-s²/m) y menor en el último (7.78 tonf-s²/m). Esto sugiere una reducción de cargas en los pisos superiores, posiblemente debido a modificaciones en la arquitectura o distribución estructural. En cuanto a la ubicación del centro de masa, se observa que en dirección X varía entre 4.69 m y 4.82 m, mientras que en Y oscila entre 7.68 m y 7.79 m, indicando una distribución relativamente uniforme de las cargas en planta sin grandes desplazamientos entre niveles. Sin embargo, el centro de rigidez presenta un comportamiento distinto, desplazándose progresivamente desde 7.63 m hasta 7.78 m en X y de 3.99 m a 4.88 m en Y, lo que revela que la rigidez no está perfectamente centrada con respecto a la masa.

Tabla 4:

Centros de masa y de rigidez por niveles del sistema estructural.

Story	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	XCR m	YCR m
Story1	10.07	10.07	4.7789	7.7169	7.6305	3.9908
Story2	9.89	9.89	4.7633	7.7306	8.0387	4.0766
Story3	9.83	9.83	4.7665	7.7254	8.1392	4.1912
Story4	9.85	9.85	4.7653	7.728	8.1316	4.3188
Story5	9.89	9.89	4.7633	7.7306	8.0732	4.4541
Story6	9.83	9.83	4.7665	7.7644	7.9857	4.5961
Story7	10.07	10.07	4.8226	7.6817	7.8825	4.7436
Story8	7.78	7.78	4.6907	7.785	7.7887	4.8859

Nota. En esta tabla se muestra los centros de masa y de rigidez desde el nivel 1 al 8.

Elaboración propia.

La diferencia entre la ubicación del centro de masa y el centro de rigidez genera excentricidades que inducen efectos torsionales durante un sismo, siendo más pronunciados en dirección X, donde la excentricidad alcanza aproximadamente 3.1 m en los primeros niveles y se mantiene en valores similares hasta la parte superior. En dirección Y, la diferencia es menor, lo que sugiere que los efectos torsionales serán más significativos en X. Además, el desplazamiento progresivo del centro de rigidez sugiere variaciones en la rigidez de la estructura a lo largo de su altura, lo que puede generar concentraciones de esfuerzos y puntos de vulnerabilidad estructural, especialmente si existen niveles con rigidez reducida que favorezcan la formación de pisos débiles.

Para mitigar los efectos torsionales, podrían implementarse estrategias como la reubicación de elementos estructurales para reducir la excentricidad, el uso de dispositivos de disipación de energía o el incremento de la rigidez en zonas estratégicas. En conclusión, la estructura presenta un desbalance de rigidez en dirección X, lo que podría generar movimientos torsionales importantes bajo la acción sísmica. Se recomienda realizar un análisis dinámico detallado para evaluar la magnitud de estos efectos y, de ser necesario, adoptar medidas de control para mejorar el desempeño estructural y reducir los riesgos asociados a la torsión inducida por sismos.

4.2 ANÁLISIS ESTÁTICO

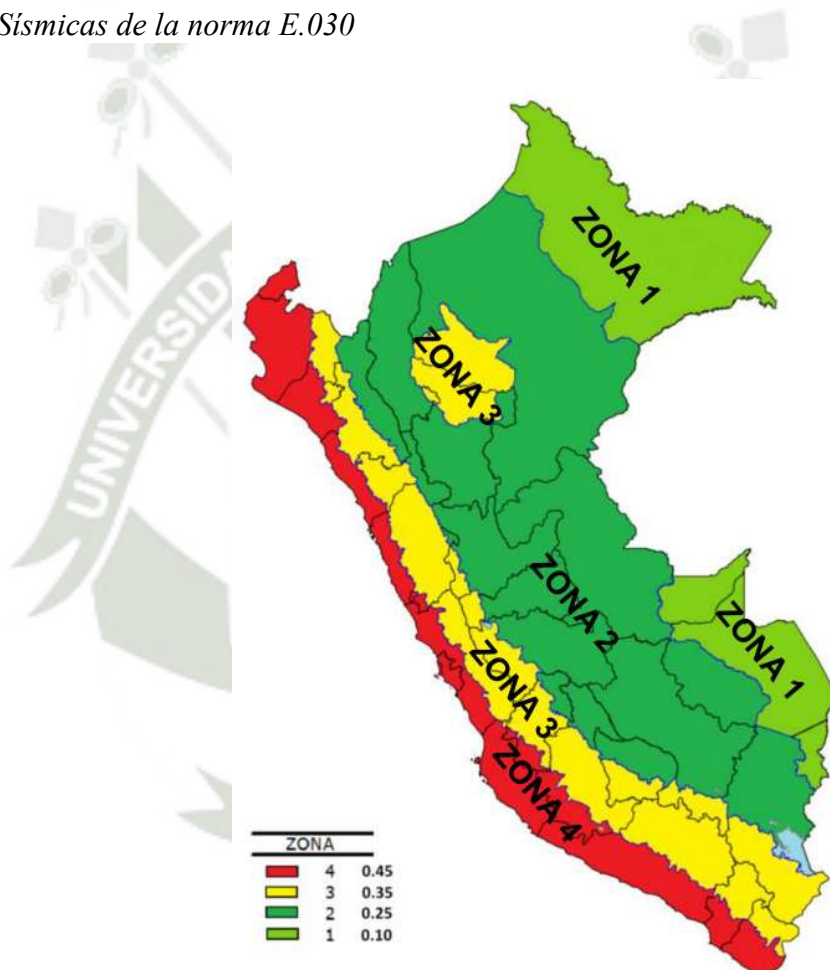
4.2.1 *Determinación del coeficiente sísmico*

El análisis de la respuesta sísmica de una estructura, según la *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente* del Reglamento Nacional de Edificaciones, se fundamenta en parámetros específicos que permiten estimar las fuerzas sísmicas de diseño (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

El factor de zona representa la peligrosidad sísmica de la región donde se ubica la estructura. En el presente caso de estudio, la edificación se encuentra en el distrito de José Luis Bustamante y Rivero, en el departamento de Arequipa, el cual está ubicado en la Zona 3 ($Z = 0.35$), correspondiente a una zona de alta sismicidad.

Figura 29:

Zonas Sísmicas de la norma E.030



Nota. Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente (RM N° 355-2018-VIVIENDA), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf

El factor de suelo depende del tipo de suelo en el que se cimentará la estructura, para el caso de estudio se tiene el Perfil Tipo S2 de Suelos Intermedios, que amplifica

moderadamente las ondas sísmicas (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Para la determinación de los Parámetros de Sitio se considera el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos TP y TL dados en las siguientes tablas:

Tabla 5:

Factor de Suelo “S” de la Norma E.030

Suelo Zona	S_0	S_1	S_2	S_3
Z_4	0.80	1.00	1.05	1.10
Z_3	0.80	1.00	1.15	1.20
Z_2	0.80	1.00	1.20	1.40
Z_1	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota. Adaptado de *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente* (RM N° 355-2018-VIVIENDA), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf

Tabla 6:

Períodos “TP” y “TL” de la Norma E.030

	S_0	S_1	S_2	S_3
T_p	0.3	0.4	0.6	1.0
T_L	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota. Adaptado de *Norma Técnica E.030: Diseño sismorresistente* (RM N° 355-2018-VIVIENDA), por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf

Los periodos cortos ($T_p = 0.60$ s) y largo ($T_L = 2.60$ s) definen la forma del espectro de diseño sísmico, donde T_p indica la transición entre la región de aceleraciones constantes y la de velocidad constante, mientras que T_L marca el inicio de la región de desplazamiento constante en la curva espectral.

De acuerdo con las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$$T < T_p \quad C = 2.5$$

$$T_p < T < T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

Se determina el Factor de amplificación sísmica considerando el T de 0.766, este periodo se encuentra dentro de los rangos del T_p de 0.6 y T_L de 2.

$$C = 2.5 * \left(\frac{0.6}{0.766} \right)$$

$$C = 1.96$$

El Factor de Uso o importancia (U), se usa según la clasificación que se haga. Para edificaciones comunes tales como viviendas multifamiliares el Factor de Uso =1.

El factor de reducción básico señala la capacidad de disipación de energía del sistema estructural, y este factor se clasifica de acuerdo con los sistemas estructurales según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis.

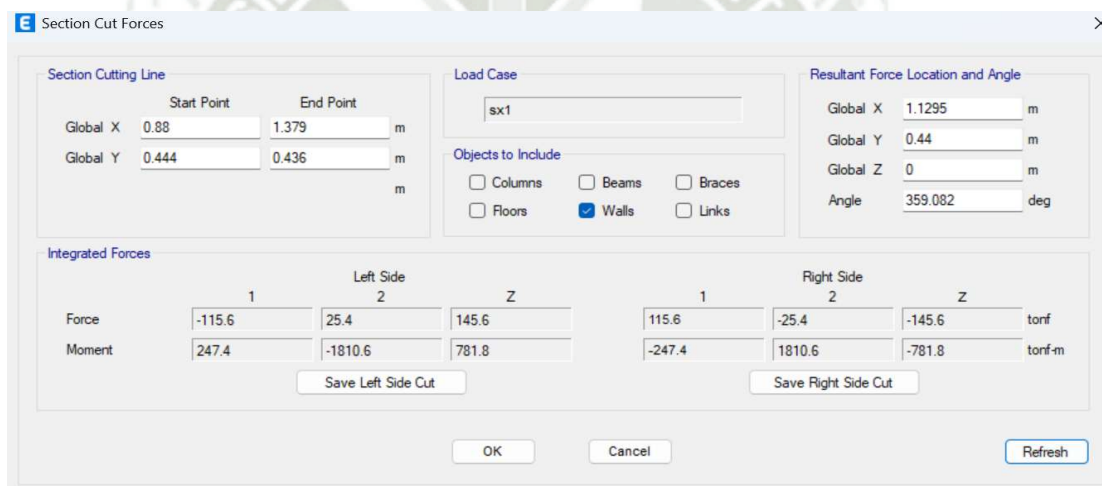
Se determinó el sistema estructural de la edificación de acuerdo con la *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente*, que nos indica que, para ser considerado como

sistema de muros estructurales, la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70% de la fuerza cortante en la base, se determinó de la siguiente manera para la dirección de análisis en X (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Se tiene como cortante en los muros estructurales de 115.6 tonf, esto representa el 86% respecto al 134.0 tonf de la cortante basal por ende se considera como sistema estructural de Muros Estructurales para el análisis en dirección X.

Figura 30:

Determinación de la fuerza cortante en los muros estructurales respecto al sismo en X.



Section Cutting Line				Load Case		Resultant Force Location and Angle			
	Start Point	End Point							
Global X	0.88	1.379	m	Load Case	sx1	Global X	1.1295	m	
Global Y	0.444	0.436	m	Objects to Include	☐ Columns ☐ Beams ☐ Braces ☐ Floors ☒ Walls ☐ Links	Global Y	0.44	m	
						Global Z	0	m	
						Angle	359.082	deg	

Integrated Forces						
	Left Side			Right Side		
	1	2	Z	1	2	Z
Force	-115.6	25.4	145.6	115.6	-25.4	-145.6
Moment	247.4	-1810.6	781.8	-247.4	1810.6	-781.8
			tonf			tonf
			tonf-m			tonf-m

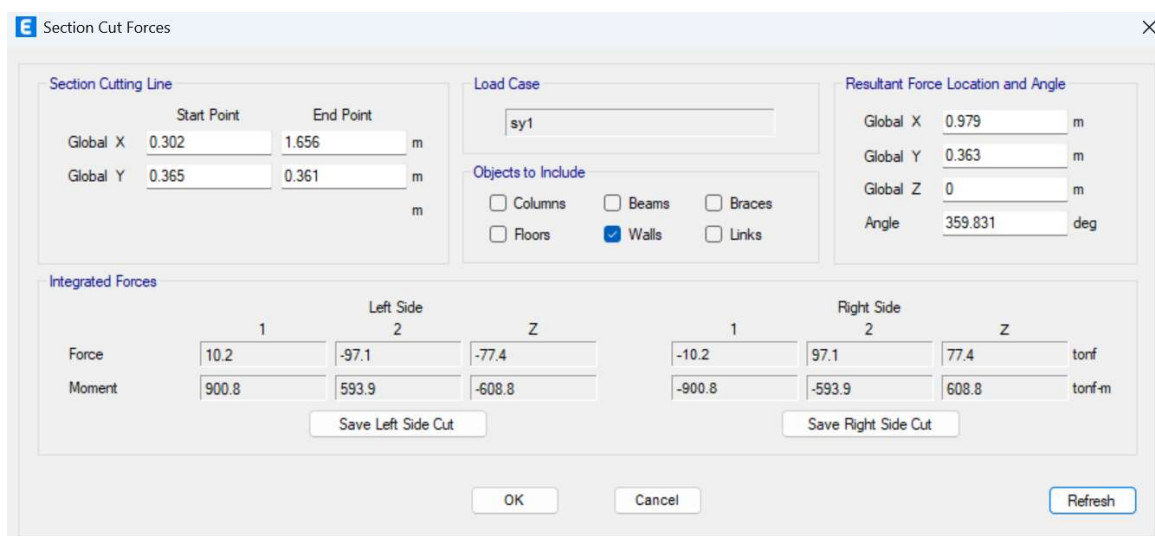
Nota. Elaboración propia.

Se determinó el sistema estructural de la edificación de acuerdo con la *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente*, para el análisis en dirección Y (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Se tiene como cortante en los muros estructurales de 97.1 tonf, esto representa el 72% respecto al 134.0 tonf de la cortante basal y se considera como sistema estructural de Muros Estructurales.

Figura 31:

Determinación de la fuerza cortante en los muros estructurales respecto al sismo en Y.



Section Cut Forces

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	0.302	1.656	m
Global Y	0.365	0.361	m

Load Case

sy1

Objects to Include

☐ Columns ☐ Beams ☐ Braces
☐ Floors ☒ Walls ☐ Links

Resultant Force Location and Angle

Global X	0.979	m
Global Y	0.363	m
Global Z	0	m
Angle	359.831	deg

Integrated Forces

	Left Side			Right Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	10.2	-97.1	-77.4	-10.2	97.1	77.4	tonf
Moment	900.8	593.9	-608.8	-900.8	-593.9	608.8	tonf-m

Save Left Side Cut Save Right Side Cut

OK Cancel Refresh

Nota. Elaboración propia.

Se considera el Coeficiente Básico de Reducción $R_0 = 6$ de acuerdo a la clasificación del sistema estructural de muros estructurales de acuerdo a la Norma E.030 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Los factores de irregularidad en altura (I_a) reducen la capacidad de disipación de energía de la edificación, De acuerdo a la norma E.030 *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente* (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Irregularidad de Rigidez – Piso Blando: Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, en un entrepiso la rigidez lateral es menor que 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediato superior, o es menor al 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 7:
Determinación de la Irregularidad por Altura – Piso Blando en “X”

Story	Ki Tonf/m	0.7(Ki+1) Tonf/m	Verificación	0.8(Ki1+Ki2+Ki3) Tonf/m	Verificación
8	8017.96	-	-	-	-
7	15203.99	5612.6	Regular	-	-
6	19962.62	10642.8	Regular	-	-
5	23669.44	13973.8	Regular	11515.9	Regular
4	27133.37	16568.6	Regular	15689.6	Regular
3	32140.00	18993.4	Regular	18870.8	Regular
2	41424.22	22498.0	Regular	22118.1	Regular
1	66642.56	28997.0	Regular	26852.7	Regular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 8:
Determinación de la Irregularidad por Altura – Piso Blando en “Y”

Story	Ki Tonf/m	0.7(Ki+1) Tonf/m	Verificación	0.8(Ki1+Ki2+Ki3) Tonf/m	Verificación
8	13600.89	-	-	-	-
7	23153.54	9520.6	Regular	-	-
6	28132.37	16207.5	Regular	-	-
5	31396.25	19692.7	Regular	17303.1	Regular
4	33999.87	21977.4	Regular	22048.6	Regular
3	38557.79	23799.9	Regular	24940.9	Regular
2	46834.55	26990.5	Regular	27721.0	Regular
1	78661.68	32784.2	Regular	31837.9	Regular

Nota. Elaboración propia.

Irregularidad de Resistencia – Piso Débil: Existe irregularidad de resistencia cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la resistencia de un entrepiso frente a fuerzas cortantes es inferior a 80% de la resistencia del entrepiso inmediato superior (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 9:
Determinación de la Irregularidad de Resistencia – Piso Débil en “X”

Story	V _x Tonf	0.8 (V _x +1) Tonf/m	Verificación
Story8	25.8	-	-
Story7	54.4	20.6	Regular
Story6	78	43.5	Regular
Story5	97.4	62.4	Regular
Story4	112.4	77.9	Regular
Story3	123.4	89.9	Regular
Story2	130.5	98.7	Regular
Story1	134	104.4	Regular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 10:
Determinación de la Irregularidad de Resistencia – Piso Débil en “Y”

Story	V _y Tonf	0.8 (V _y +1) Tonf/m	Verificación
Story8	25.8	-	-
Story7	54.4	20.6	Regular
Story6	78	43.5	Regular
Story5	97.4	62.4	Regular
Story4	112.4	77.9	Regular
Story3	123.4	89.9	Regular
Story2	130.5	98.7	Regular
Story1	134	104.4	Regular

Nota. Elaboración propia.

Irregularidad de Masa o Peso: Se tiene irregularidad de masa (o peso) cuando la masa (o peso) de un piso determinado, es mayor que 1,5 veces el peso de un piso adyacente. Este criterio no se aplica en azoteas ni en sótanos (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 11:
Determinación de la Irregularidad de Peso o Masa en “X”

Story	Mass Tonf-s ² //m	1.5 (Mass x+1) Tonf-s ² //m	Verificación
Story8	7.78	-	-
Story7	10.07	11.7	Regular
Story6	9.83	15.1	Regular
Story5	9.89	14.7	Regular
Story4	9.85	14.8	Regular
Story3	9.83	14.8	Regular
Story2	9.89	14.7	Regular
Story1	10.07	14.8	Regular

Nota. Elaboración propia.

Tabla 12:
Determinación de la Irregularidad de Peso o Masa en “Y”

Story	Mass Tonf-s ² //m	1.5 (Mass y+1) Tonf-s ² //m	Verificación
Story8	7.78	-	-
Story7	10.07	11.7	Regular
Story6	9.83	15.1	Regular
Story5	9.89	14.7	Regular
Story4	9.85	14.8	Regular
Story3	9.83	14.8	Regular
Story2	9.89	14.7	Regular
Story1	10.07	14.8	Regular

Nota. Elaboración propia.

No presenta irregularidad Geométrica Vertical en dirección “X” y ni en “Y” debido a que las dimensiones en planta desde el 1er nivel hasta el nivel 8 son las mismas.

No presenta discontinuidades en los sistemas resistentes, ya que columnas y placas mantienen alineación y orientación constante del nivel 1 al 8.

Los factores de irregularidad en planta (I_p) reducen la capacidad de disipación de energía de la edificación, De acuerdo a la *Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente* (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Irregularidad torsional: Existe cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}), calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible (0.0035), si es irregular se considerará el factor de 0.75 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 13:

Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión Derivas

Story	Deriva x-x	Deriva y-y	Deriva x-x	Deriva y-y	Deriva x-x	Deriva y-y
	Extremo 1	Extremo 1	Extremo 2	Extremo 2	Promedio	Promedio
Story8	0.00295	0.00065	0.00201	0.00009	0.0025	0.0004
Story7	0.00370	0.00117	0.00198	0.00007	0.0028	0.0006
Story6	0.00443	0.00173	0.00190	0.00003	0.0032	0.0009
Story5	0.00501	0.00221	0.00179	0.00002	0.0034	0.0011
Story4	0.00538	0.00262	0.00183	0.00006	0.0036	0.0013
Story3	0.00528	0.00277	0.00181	0.00010	0.0035	0.0014
Story2	0.00465	0.00262	0.00163	0.00010	0.0031	0.0014
Story1	0.00267	0.00157	0.00087	0.00001	0.0018	0.0008

Nota. Elaboración propia.

Tabla 14:
Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión Relación de Derivas

Story	>50%	>50%	>1.3	>1.3	Verificación
	0.035	0.035	Relación	Relación	
	x-x	y-y	Derivas	Derivas	
			x-x	y-y	
Story8	42%	9%	-	-	Regular
Story7	53%	17%	1.302	-	Regular
Story6	63%	25%	1.399	-	Irregular
Story5	72%	32%	1.474	-	Irregular
Story4	77%	37%	1.492	-	Irregular
Story3	75%	40%	1.490	-	Irregular
Story2	66%	37%	1.481	-	Irregular
Story1	38%	22%	-	-	Regular

Nota. Elaboración propia.

Irregularidad torsional extrema: Existe cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio (Δ_{max}), calculado incluyendo excentricidad accidental, es mayor que 1.5 veces el desplazamiento relativo promedio de los extremos del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{prom}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50% del desplazamiento permisible (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 15:
Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión extrema Derivas

Story	Deriva x-x	Deriva y-y	Deriva x-	Deriva	Deriva	Deriva y-
			x	y-y	x-x	y
	Extremo 1	Extremo 1	Extremo	Extremo	Promedi	Promedio
			2	2	o	
Story8	0.00295	0.00065	0.00201	0.00009	0.0025	0.0004
Story7	0.00370	0.00117	0.00198	0.00007	0.0028	0.0006
Story6	0.00443	0.00173	0.00190	0.00003	0.0032	0.0009
Story5	0.00501	0.00221	0.00179	0.00002	0.0034	0.0011
Story4	0.00538	0.00262	0.00183	0.00006	0.0036	0.0013

Story3	0.00528	0.00277	0.00181	0.00010	0.0035	0.0014
Story2	0.00465	0.00262	0.00163	0.00010	0.0031	0.0014
Story1	0.00267	0.00157	0.00087	0.00001	0.0018	0.0008

Nota. Elaboración propia.

Tabla 16:

Determinación de la irregularidad por Planta – Torsión extrema Relación de Derivas

Story	>50%	>50%	>1.5	>1.5	Verificación
	0.035 x-x	0.035 y-y	Relación Derivas x-x	Relación Derivas y-y	
Story8	42%	9%	-	-	Regular
Story7	53%	17%	1.302	-	Regular
Story6	63%	25%	1.399	-	Regular
Story5	72%	32%	1.474	-	Regular
Story4	77%	37%	1.492	-	Regular
Story3	75%	40%	1.490	-	Regular
Story2	66%	37%	1.481	-	Regular
Story1	38%	22%	-	-	Regular

Nota. Elaboración propia.

Irregularidad Esquinas Entrantes: La estructura se califica como irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 17:

Determinación de Irregularidad Esquinas Entrantes

D	L_e	L_t	$0.2 L_t$	Verificación
	m	m	m	
D_x	4.05	7.9	1.58	Irregular
D_y	1.42	12.95	2.59	Regular

Nota. Elaboración propia.

Discontinuidad de Diafragma: La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50% del área bruta del diafragma (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Tabla 18:

Determinación de Irregularidad Discontinuidad de Diafragma

ÁREA	Á. Abertura m ²	Á. Bruta m ²	0.5 Á. Bruta m ²	Verificación
1	10.69	92.3	46.15	Regular
2	4.81	92.3	46.15	Regular

Nota. Elaboración propia.

El factor de reducción total (R) se determina como el producto del coeficiente básico R₀ con los factores I_a, I_p obtenidos en los pasos anteriores.

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

$$R = 6 * 1 * 0.75$$

$$R = 4.5$$

Tabla 19:

Parámetros de respuesta sísmica definidas por la Norma E.030

Z	0.35	Factor de zona
S	1.15	Factor de suelo
T _p	0.60	Periodo corto
T _l	2.00	Periodo largo
U	1.00	Factor de uso
C	1.96	Factor de Amplificación Sísmica
R ₀	6.00	Factor de reducción básico
I _a	1.00	Irregularidad en altura
I _p	0.75	Irregularidad en planta
R	4.5	Factor de reducción R=R ₀ .I _a .I _b

Nota. Los parámetros de respuesta sísmica fueron analizados según las condiciones del área de estudio y conforme a lo establecido en la Norma Técnica E.030 – Diseño sismorresistente. Elaboración propia.

El valor de C/R no se considera menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

$$\frac{1.96}{4.5} \geq 0.11$$

$$0.44 \geq 0.11 \text{ OK}$$

Se determina el coeficiente K que es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada:

Para T menor o igual a 0.5 segundos $K = 1.0$

*Para T mayor que 0.5 segundos $K = (0.75 + 0.5 * T) \leq 2.0$*

$$K = (0.75 + 0.5 * 0.766) \leq 2.0$$

$$K = 1.133 \leq 2.0$$

El coeficiente sísmico (C_s) en la dirección X se determina con la expresión:

$$C_s = \frac{Z * U * C * S}{R}$$

$$C_s = \frac{0.35 * 1.00 * 1.96 * 1.15}{4.5}$$

$$C_s = 0.1753$$

Lo que representa la fracción del peso sísmico de la estructura que se usará para calcular las fuerzas sísmicas de diseño.

El coeficiente sísmico (C_s) para la dirección Y se determina de igual forma de la dirección X, tendrá la siguiente expresión:

$$C_s = \frac{0.35 * 1.00 * 1.96 * 1.15}{4.5}$$

$$C_s = 0.1753$$

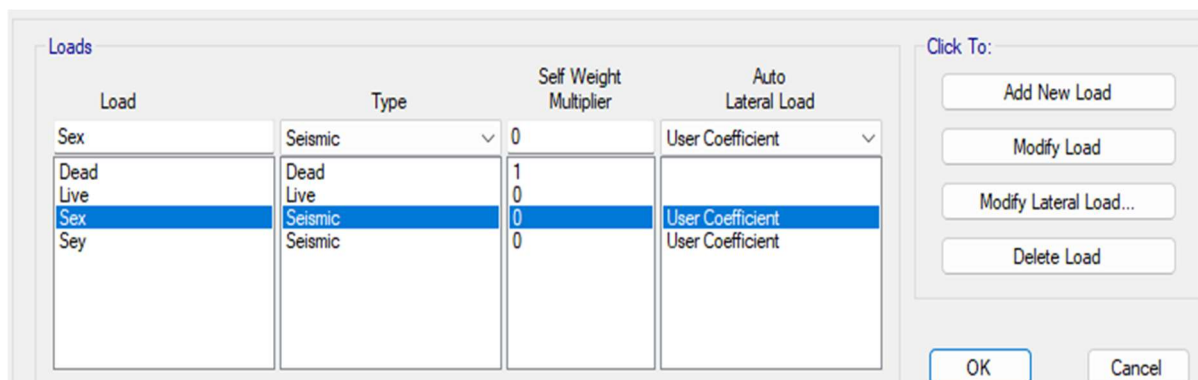
Un C_s de 0.1753 indica que la estructura deberá ser diseñada para resistir fuerzas equivalentes al 17.5 % de su peso total, distribuidas conforme al análisis estructural. En conclusión, los parámetros definidos reflejan el diseño de una estructura en una zona de alta sismicidad sobre suelo intermedio, con un comportamiento moderadamente dúctil debido a la presencia de irregularidades. El coeficiente sísmico obtenido guiará el diseño estructural, asegurando que la edificación pueda resistir las demandas sísmicas esperadas conforme a la normativa vigente.

En la figura 32 se muestra la configuración de parámetros sísmicos en el software ETABS para realizar un análisis estático en dirección X e Y, de acuerdo con la *Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030* (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

Se define el caso de carga sísmica en las direcciones X e Y, asignando cargas Dead, Live y Seismic, con coeficientes laterales ingresados manualmente por el usuario.

Figura 32:

Definición del caso de análisis sísmico estático en dirección X e Y.

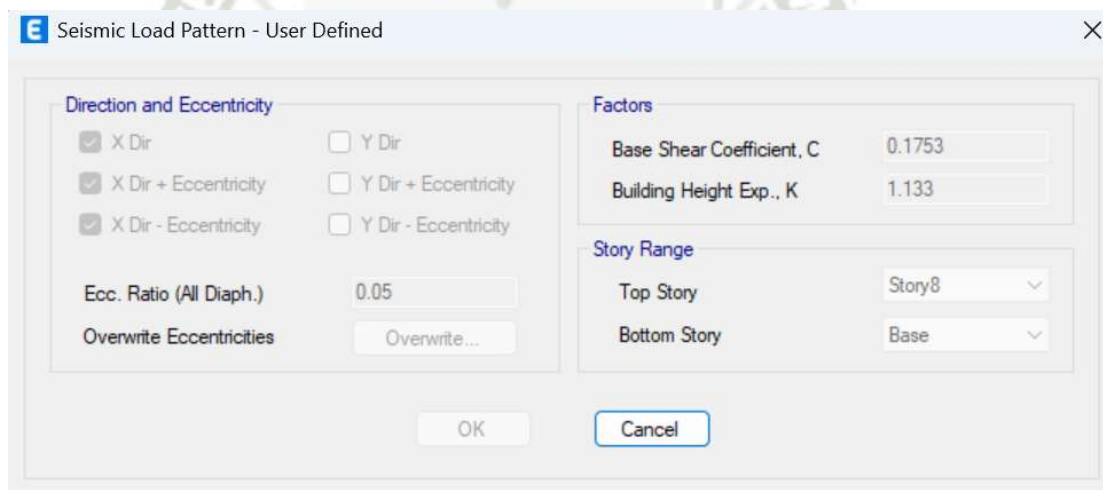


Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Lateral Load
Sex	Seismic	0	User Coefficient
Dead	Dead	1	
Live	Live	0	
Sex	Seismic	0	User Coefficient
Sey	Seismic	0	User Coefficient

Nota. Elaboración propia.

Figura 33:

Ingresa del coeficiente de corte, excentricidad y parámetros sísmicos en dirección X.



Direction and Eccentricity

☒ X Dir ☐ Y Dir

☒ X Dir + Eccentricity ☐ Y Dir + Eccentricity

☒ X Dir - Eccentricity ☐ Y Dir - Eccentricity

Ecc. Ratio (All Diaph.) 0.05

Overwrite Eccentricities Overwrite...

Factors

Base Shear Coefficient, C 0.1753

Building Height Exp., K 1.133

Story Range

Top Story Story8

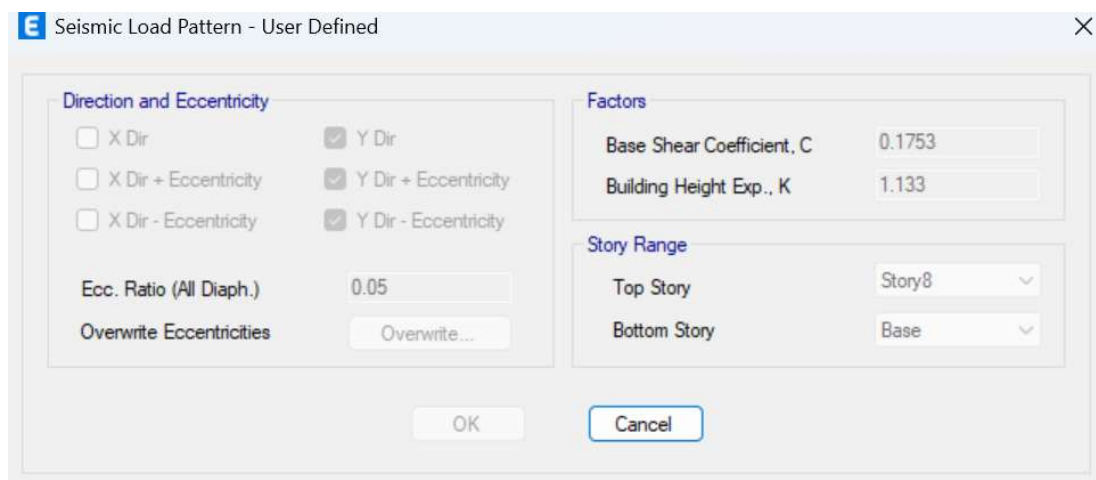
Bottom Story Base

OK Cancel

Nota. Se ingresa la configuración de los parámetros sísmicos en dirección **X**, donde se activa la opción de considerar la excentricidad accidental mediante el coeficiente de excentricidad de 0.05. En la sección de factores, se ingresa un **coeficiente de corte basal (C)** de 0.1753, calculado en base a los parámetros normativos. Además, el **exponente de altura del edificio (K)** se establece en 1.133, lo que indica la distribución de las fuerzas sísmicas a lo largo de la altura de la edificación. Finalmente, se define el rango de pisos considerados en el análisis, estableciendo el **piso superior en Story8** y el **inferior en la base**. Elaboración propia.

Figura 34:

Ingreso del coeficiente de corte, excentricidad y parámetros sísmicos en dirección Y.



Nota. Se configura el análisis sísmico en dirección Y, con parámetros análogos a los definidos en la dirección X. Se activa la opción de considerar la excentricidad en Y con el mismo coeficiente de 0.05 y se mantiene el coeficiente de **corte basal** ($C = 0.1753$) y el **exponente de altura** ($K = 1.133$). También se conserva el mismo rango de niveles estructurales. Elaboración propia.

Este procedimiento es clave para garantizar un adecuado modelado de la acción sísmica en ETABS, permitiendo que la estructura sea evaluada bajo las condiciones establecidas por la normativa vigente y refleje de manera precisa la distribución de fuerzas sísmicas, considerando las irregularidades de excentricidad en ambas direcciones principales.

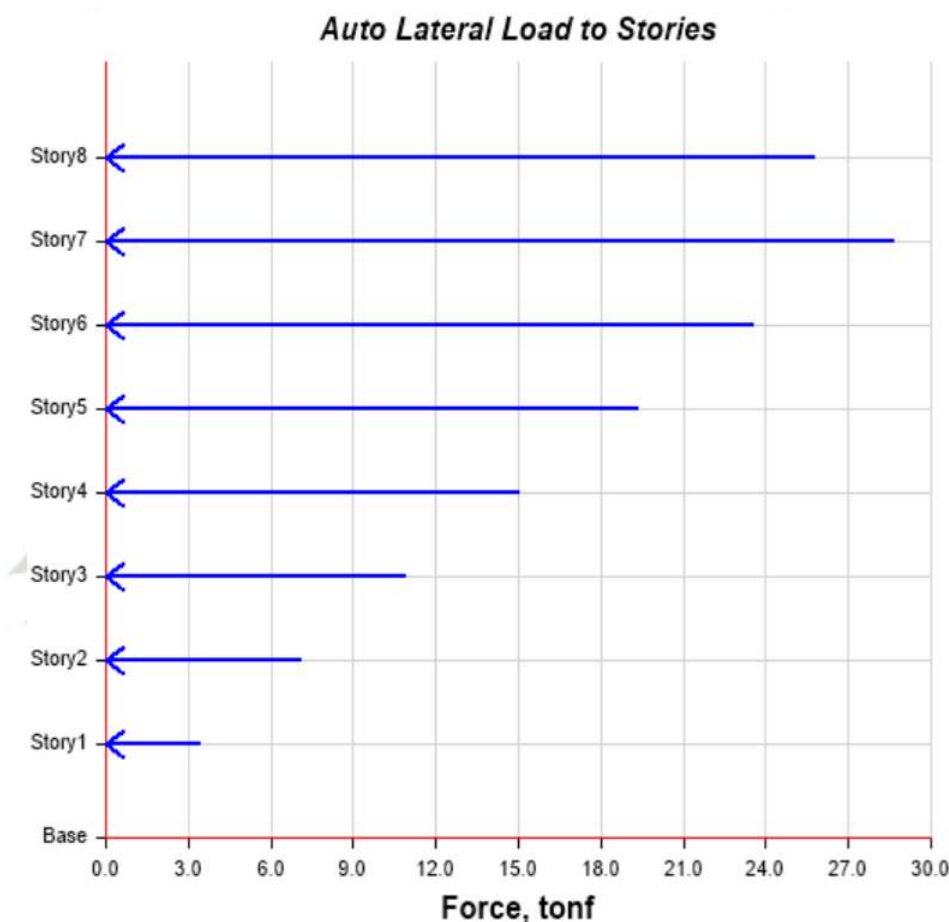
4.2.2 Distribución de las cargas estáticas laterales equivalentes

La distribución de cargas sísmicas estáticamente equivalentes se presenta mediante un diagrama de fuerzas laterales aplicadas en cada nivel de la estructura. En el gráfico se observa que la magnitud de las fuerzas incrementa conforme se asciende en la edificación, alcanzando su valor máximo en los niveles superiores. Esto se debe a que, según la *Norma Técnica E.030* (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), la distribución

de fuerzas sísmicas en un análisis estático sigue un patrón basado en la elevación y la masa de cada nivel, aplicando mayores esfuerzos en los pisos superiores debido a su mayor participación en la respuesta dinámica de la estructura.

Figura 35:

Distribución de las cargas laterales estáticamente equivalentes.



Nota. Elaboración propia.

En la tabla 20 adjunta se detallan las fuerzas cortantes aplicadas en el centro de masa de la edificación en las direcciones **X** e **Y**. Se evidencia que los valores de corte sísmico son equivalentes en ambas direcciones, lo que sugiere que la estructura presenta una distribución simétrica de masas y rigideces. Los valores de corte van en aumento desde los niveles inferiores hasta el **Story 7**, donde se registra el mayor valor de **28.7 tonf**, para luego disminuir ligeramente en el **Story 8** con **25.8 tonf**. Este comportamiento es típico en

estructuras de múltiples niveles donde la inercia y la acumulación de esfuerzos generan un incremento progresivo de la fuerza sísmica hasta alcanzar un punto máximo antes del último nivel.

Tabla 20:

Distribución de las fuerzas cortantes aplicadas al centro de masa de la estructura en dirección X e Y.

Story	Elevation m	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
Story8	21.9	25.8	0
Story7	19.2	28.7	0
Story6	16.5	23.6	0
Story5	13.8	19.4	0
Story4	11.1	15.1	0
Story3	8.4	11	0
Story2	5.7	7.1	0
Story1	3	3.5	0
Base	0	0	0

Nota. Se detalla las fuerzas cortantes aplicadas en el centro de masa de la edificación en las direcciones X e Y. Elaboración propia.

La base de la estructura, como es de esperarse, no presenta fuerzas laterales ya que es el punto de referencia fijo del sistema. En general, la distribución de cargas y esfuerzos sigue los criterios establecidos por la normativa vigente, asegurando un adecuado diseño estructural para resistir la acción sísmica mediante la aplicación de fuerzas equivalentes en cada nivel.

4.2.3 Fuerzas cortantes

4.2.3.1 Fuerzas cortantes en dirección X

El análisis de las fuerzas cortantes inducidas por el sismo en la dirección X muestra una distribución progresiva de los esfuerzos a lo largo de la altura de la estructura. Se observa

que la cortante en la base es 0 tonf, lo cual es esperado ya que no existen fuerzas de corte por debajo de la cimentación. A medida que se asciende en la estructura, las fuerzas cortantes aumentan, alcanzando un valor máximo de 134.0 tonf en el nivel inferior del primer piso, lo que indica que la mayor demanda de corte se concentra en este nivel, reflejando la acumulación de esfuerzos desde los pisos superiores. Este comportamiento es característico de estructuras sometidas a cargas sísmicas, donde la fuerza cortante total se distribuye de manera acumulativa, incrementándose conforme se desciende en la edificación. La distribución sigue una tendencia lógica, donde los niveles superiores presentan menores valores de cortante, como los -25.8 tonf en el nivel 8, debido a que soportan una menor cantidad de carga lateral en comparación con los niveles inferiores.

Tabla 21:

Fuerzas cortantes inducidas por el sismo en dirección X.

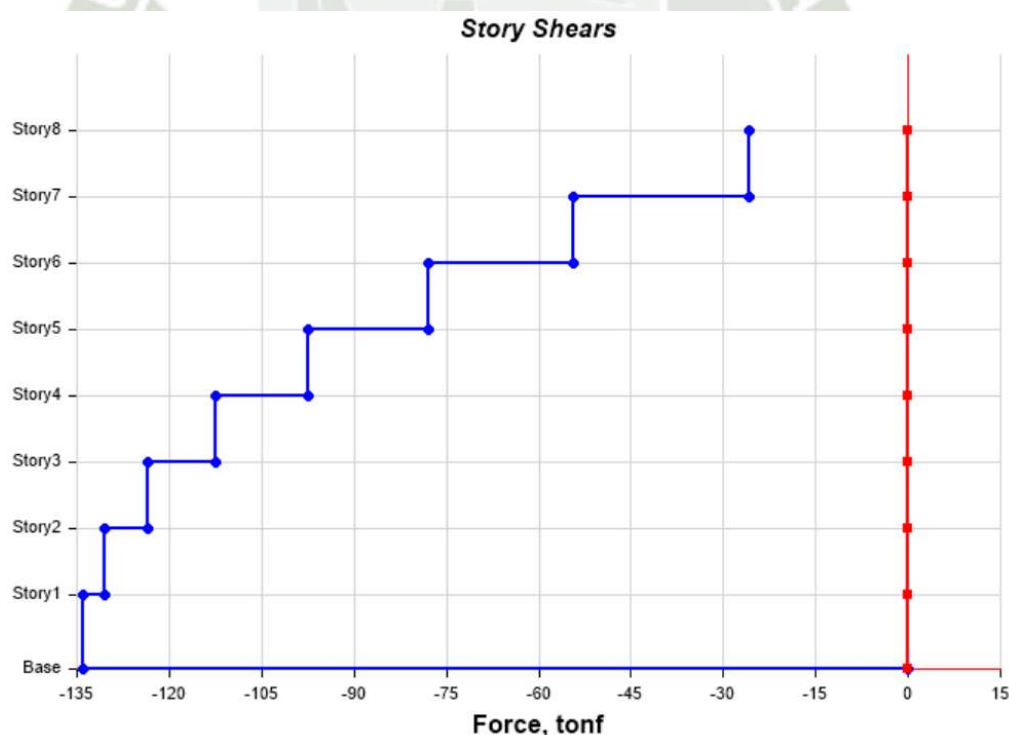
Story	Elevation m	Location	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
Story8	21.9	Top	-25.8	0
		Bottom	-25.8	0
Story7	19.2	Top	-54.4	0
		Bottom	-54.4	0
Story6	16.5	Top	-78.0	0
		Bottom	-78.0	0
Story5	13.8	Top	-97.4	0
		Bottom	-97.4	0
Story4	11.1	Top	-112.4	0
		Bottom	-112.4	0
Story3	8.4	Top	-123.4	0
		Bottom	-123.4	0
Story2	5.7	Top	-130.5	0
		Bottom	-130.5	0
Story1	3	Top	-134.0	0
		Bottom	-134.0	0
Base	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Nota. Elaboración propia.

Desde el punto de vista estructural, esta distribución implica que los niveles inferiores estarán sometidos a mayores esfuerzos internos, lo que demanda el uso de elementos estructurales más robustos en esta zona, como columnas y muros de corte con mayor capacidad de absorción de esfuerzos. La acumulación de esfuerzos en los primeros niveles sugiere la posibilidad de un mecanismo de colapso por piso débil si no se cuenta con suficiente rigidez y resistencia, lo cual es un aspecto crítico en el diseño estructural. Además, es fundamental verificar que los elementos estructurales sean capaces de resistir estas fuerzas cortantes sin exceder los límites de capacidad establecidos en la normativa, por lo que se recomienda un análisis detallado para garantizar que los refuerzos en vigas, columnas y conexiones sean adecuados.

Figura 36:

Máximas fuerzas cortantes provocadas por la acción del sismo en dirección X



Nota. Se evidencia la acumulación de un posible mecanismo de colapso debido a un piso débil si no se cuenta con suficiente rigidez y resistencia. Elaboración propia.

4.2.3.2 Fuerzas cortantes en dirección Y

El análisis de las fuerzas cortantes inducidas por la acción del sismo en la dirección Y muestra un comportamiento acumulativo similar al observado en la dirección X. En la base de la estructura, la fuerza cortante es 0 tonf, lo cual es consistente con la ausencia de esfuerzos por debajo de la cimentación. A medida que se asciende en la estructura, las fuerzas cortantes aumentan progresivamente, alcanzando su valor máximo de 134.0 tonf en el nivel inferior del primer piso. Esto indica que la mayor demanda de corte se encuentra en este nivel, lo que sugiere que las columnas y muros de corte de los primeros niveles deben diseñarse para resistir estos esfuerzos de manera eficiente.

En los niveles superiores, los valores de fuerza cortante son menores, con -25.8 tonf en el último piso (nivel 8), debido a que estos pisos soportan una menor acumulación de cargas sísmicas laterales. La progresión de valores sigue una tendencia esperada, con un incremento conforme se desciende en la estructura, lo que confirma que la mayor exigencia estructural en términos de cortante se encuentra en los niveles inferiores.

Tabla 22:

Fuerzas cortantes inducidas por el sismo en dirección Y.

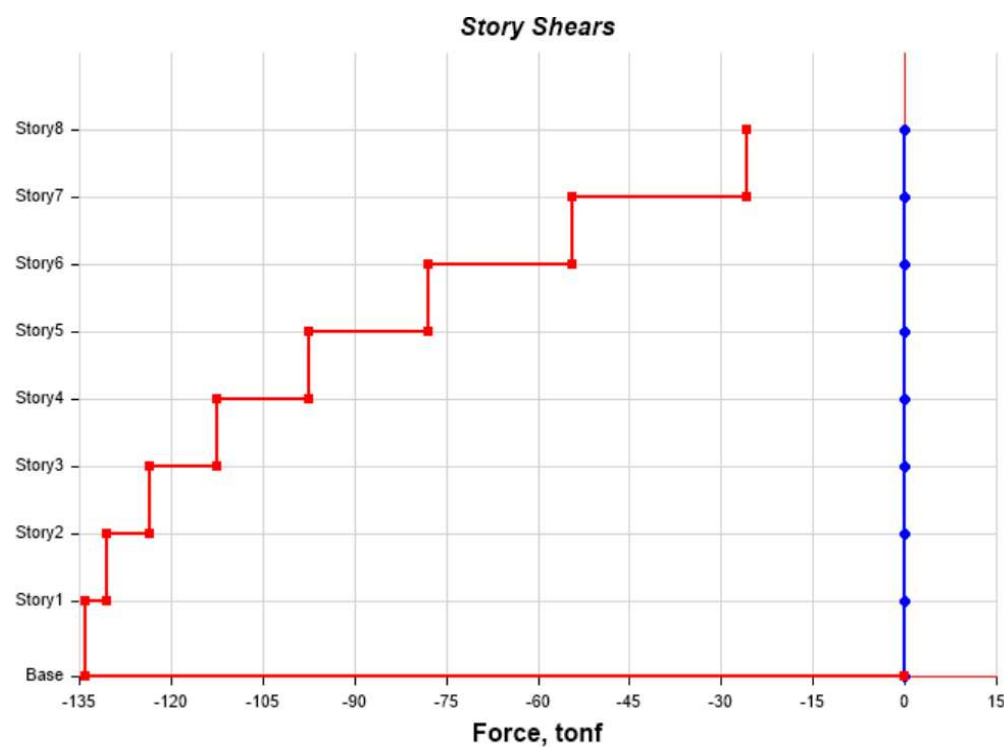
Story	Elevation m	Location	X-Dir tonf	Y-Dir tonf
Story8	21.9	Top	0	-25.8
		Bottom	0	-25.8
Story7	19.2	Top	0	-54.4
		Bottom	0	-54.4
Story6	16.5	Top	0	-78.0
		Bottom	0	-78.0
Story5	13.8	Top	0	-97.4
		Bottom	0	-97.4
Story4	11.1	Top	0	-112.4
		Bottom	0	-112.4
Story3	8.4	Top	0	-123.4
		Bottom	0	-123.4
Story2	5.7	Top	0	-130.5
		Bottom	0	-130.5

Story1	3	Top	0	-134.0
		Bottom	0	-134.0
Base	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Nota. En la tabla se muestra que, en los niveles superiores, los valores de fuerza cortante son menores, con -25.8 tonf en el último piso (nivel 8), debido a que estos pisos soportan una menor acumulación de cargas sísmicas laterales. La progresión de valores sigue una tendencia esperada, con un incremento conforme se desciende en la estructura, lo que confirma que la mayor exigencia estructural en términos de cortante se encuentra en los niveles inferiores. Elaboración propia.

Desde el punto de vista del diseño estructural, esta distribución implica que los pisos bajos están sometidos a las mayores demandas de resistencia al corte, por lo que es crucial asegurar la rigidez lateral mediante muros estructurales o sistemas de arriostramiento adecuados. Además, se debe evaluar la capacidad de disipación de energía de la estructura para evitar concentraciones excesivas de esfuerzos que puedan derivar en daños prematuros o fallas localizadas.

Otro aspecto importante para considerar es la posible formación de un mecanismo de piso blando en los primeros niveles si la rigidez no es suficiente para soportar las demandas de corte inducidas por el sismo. Para mitigar este riesgo, es recomendable analizar la distribución de la rigidez en toda la altura del edificio y, si es necesario, reforzar los niveles inferiores con elementos adicionales que incrementen su capacidad de absorción de esfuerzos laterales.

Figura 37:
Máximas fuerzas cortantes inducidas por la acción del sismo en dirección Y


Nota. Elaboración propia.

4.2.4 Máximas distorsiones laterales

4.2.4.1 Máximas distorsiones laterales producidas por el sismo en dirección

X

El análisis de los desplazamientos laterales inducidos por el sismo en dirección X muestra que la estructura experimenta un incremento progresivo de deformaciones desde la base hasta el nivel intermedio, alcanzando un valor máximo de 0.00899 en el cuarto nivel, para luego disminuir ligeramente en los pisos superiores. Comparando estos desplazamientos con los valores máximos normativos permitidos (0.007 en todos los niveles), se evidencia que la estructura excede los límites reglamentarios desde el nivel 6 hasta el nivel 2, siendo el nivel 4 el que presenta la mayor distorsión relativa.

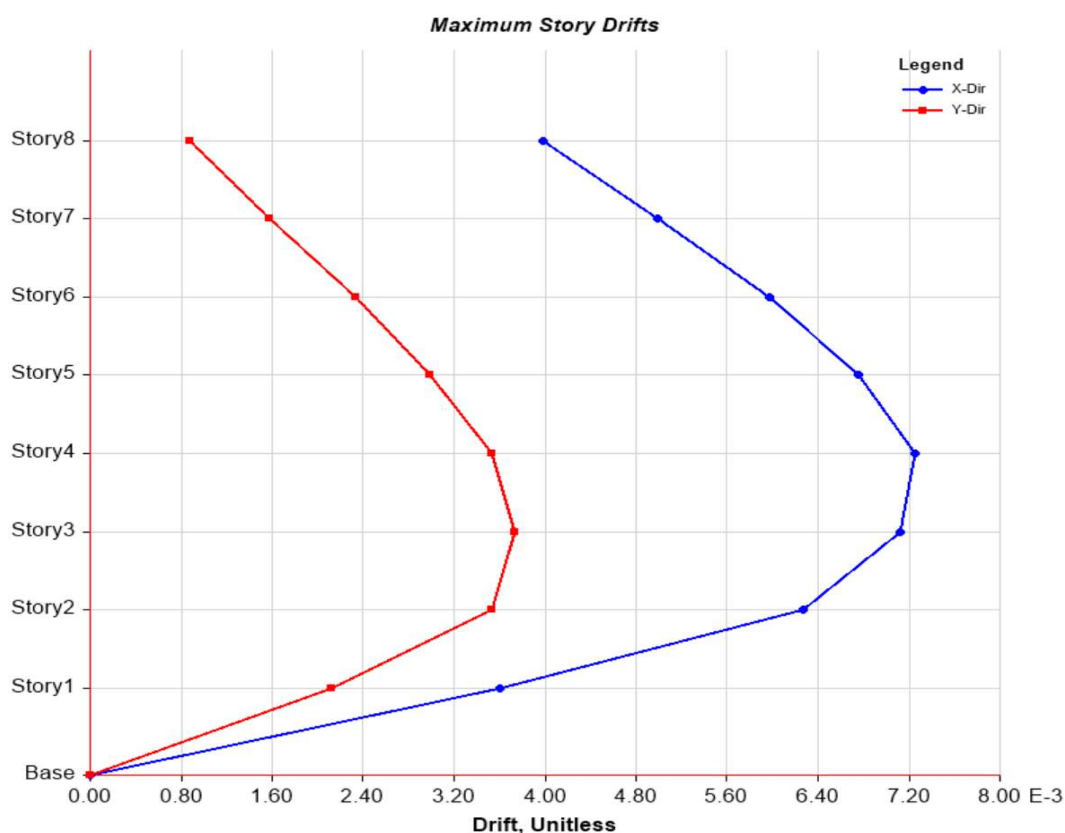
Tabla 23:
Máximas distorsiones laterales por el sismo en dirección X y los máximos normativos.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir	X-Dir max	Y-Dir max
Story8	21.9	0.00398	0.00087	0.007	0.007
Story7	19.2	0.00499	0.00158	0.007	0.007
Story6	16.5	0.00598	0.00233	0.007	0.007
Story5	13.8	0.00675	0.00299	0.007	0.007
Story4	11.1	0.00725	0.00353	0.007	0.007
Story3	8.4	0.00712	0.00374	0.007	0.007
Story2	5.7	0.00628	0.00353	0.007	0.007
Story1	3	0.00360	0.00212	0.007	0.007
Base	0	0	0	0	0

Nota. Se evidencia que se supera los límites reglamentarios desde el nivel 3 al 4.

Elaboración propia.

El hecho de que los desplazamientos superen los valores normativos en varios niveles indica una flexibilidad estructural mayor a la permitida en esos sectores, lo que podría derivar en problemas de confort, daños en elementos no estructurales y, en casos más severos, inestabilidad en la edificación. La reducción de desplazamientos en los niveles superiores sugiere que la rigidez de la estructura aumenta en esas zonas, posiblemente debido a la distribución de elementos estructurales o la configuración geométrica de la edificación.

Figura 38:
Máximas distorsiones laterales por la acción del sismo en dirección X


Nota. Se evidencia que las máximas distorsiones en X superan el límite reglamentario de 0.007. Elaboración propia.

Para mitigar los efectos de máximas distorsiones laterales, se recomienda una revisión detallada de los elementos estructurales en los niveles donde se exceden los límites normativos, considerando opciones como el refuerzo de muros de corte, la optimización de la distribución de rigidez o la incorporación de sistemas de disipación de energía. Además, un análisis dinámico más detallado permitiría evaluar si estos desplazamientos generan efectos de segundo orden significativos, como la amplificación de esfuerzos en columnas debido a la inestabilidad lateral de la estructura.

4.2.4.2 Máximas distorsiones laterales producidas por el sismo en dirección

Y

El análisis de las máximas distorsiones laterales inducidas por el sismo en la dirección Y muestra un comportamiento progresivo, donde los valores aumentan desde la base hasta alcanzar un máximo de 0.0065 en el nivel 3, para luego presentar una ligera disminución en los niveles inferiores. Comparando estos valores con el límite normativo permitido de 0.007 en todos los niveles, se observa que ningún nivel de la estructura excede los valores reglamentarios, lo que indica que el edificio cumple con los requisitos de deformabilidad establecidos en la normativa.

Tabla 24:

Máximas distorsiones laterales por el sismo en dirección Y y los máximos normativos.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir	X-Dir max	Y-Dir Max
Story8	21.9	0.00119	0.00241	0.007	0.007
Story7	19.2	0.00201	0.00319	0.007	0.007
Story6	16.5	0.00283	0.00394	0.007	0.007
Story5	13.8	0.00356	0.00455	0.007	0.007
Story4	11.1	0.00416	0.00499	0.007	0.007
Story3	8.4	0.00432	0.00493	0.007	0.007
Story2	5.7	0.00402	0.00439	0.007	0.007
Story1	3	0.00230	0.00244	0.007	0.007
Base	0	0	0	0	0

Nota. Se muestra que los valores de máximas distorsiones no superar el límite permitido.

Elaboración propia.

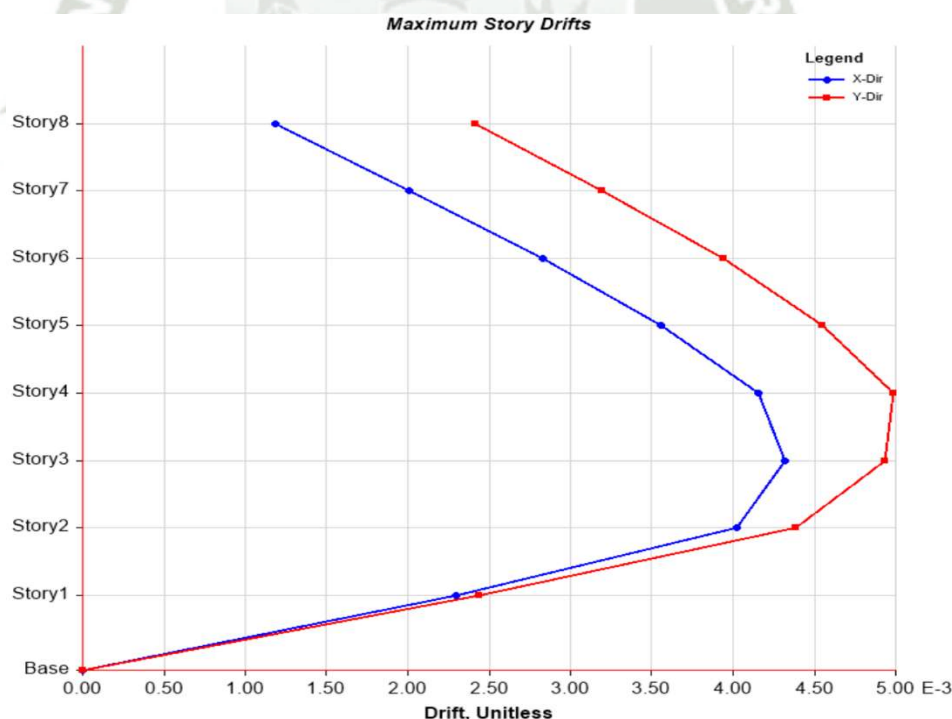
Este comportamiento sugiere que la estructura tiene una adecuada distribución de rigidez en la dirección Y, permitiendo que los desplazamientos permanezcan dentro de los rangos de seguridad sin comprometer la estabilidad global. Sin embargo, se debe notar que la distorsión relativa más alta ocurre en el nivel 3, lo que puede ser un punto crítico en el

análisis del comportamiento estructural, ya que podría indicar una zona de menor rigidez o concentración de esfuerzos en dicho nivel.

Dado que los valores se mantienen dentro del límite normativo, no es estrictamente necesario implementar refuerzos. No obstante, sería recomendable realizar un análisis detallado de la distribución de esfuerzos y deformaciones en los niveles intermedios para confirmar que no existen efectos de concentración de esfuerzos que puedan afectar el desempeño estructural ante eventos sísmicos más severos. Además, un análisis dinámico complementario permitiría verificar si estas deformaciones afectan el confort de los ocupantes o generan respuestas inesperadas en la estructura.

Figura 39:

Máximas distorsiones laterales por la acción del sismo en dirección Y



Nota. Se muestra que las máximas distorsiones están dentro del límite del límite permitido de 0.007. Elaboración propia.

4.3 ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL

4.3.1 Demanda sísmica

El espectro de aceleraciones característico de la zona de estudio, representado en la Figura 40, describe la variación de la aceleración espectral en función del período de vibración de una estructura. Se observa que, para períodos cortos, cercanos a 0 segundos, la aceleración espectral alcanza valores máximos superiores a 2.2 m/s^2 , lo que indica que estructuras rígidas y de baja altura estarán sometidas a altas demandas de aceleración, aumentando su susceptibilidad a fuerzas inerciales significativas.

A medida que el período incrementa, la aceleración espectral disminuye de forma exponencial, alcanzando valores menores a 0.3 m/s^2 para períodos superiores a 3 segundos. Esto implica que estructuras más flexibles, como edificios altos con períodos superiores a este umbral, experimentarán menores demandas de aceleración, aunque podrían verse más afectadas por desplazamientos amplificados debido a su flexibilidad.

Tabla 25:

Parámetros de respuesta sísmica de la edificación analizada

Z	0.35	Factor de zona
S	1.15	Factor de suelo
Tp	0.60	Periodo corto
Tl	2.00	Periodo largo
U	1.00	Factor de uso
C	1.96	Factor de Amplificación Sísmica
Ro	6.00	Factor de reducción básico
Ia	1.00	Irregularidad en altura
Ip	0.75	Irregularidad en planta
R	4.5	Factor de reducción $R=Ro.Ia.Ib$

Nota. Los parámetros de respuesta sísmica se analizan de acuerdo con las condiciones del área de estudio y conforme a lo establecido en la Norma E.030. Elaboración propia.

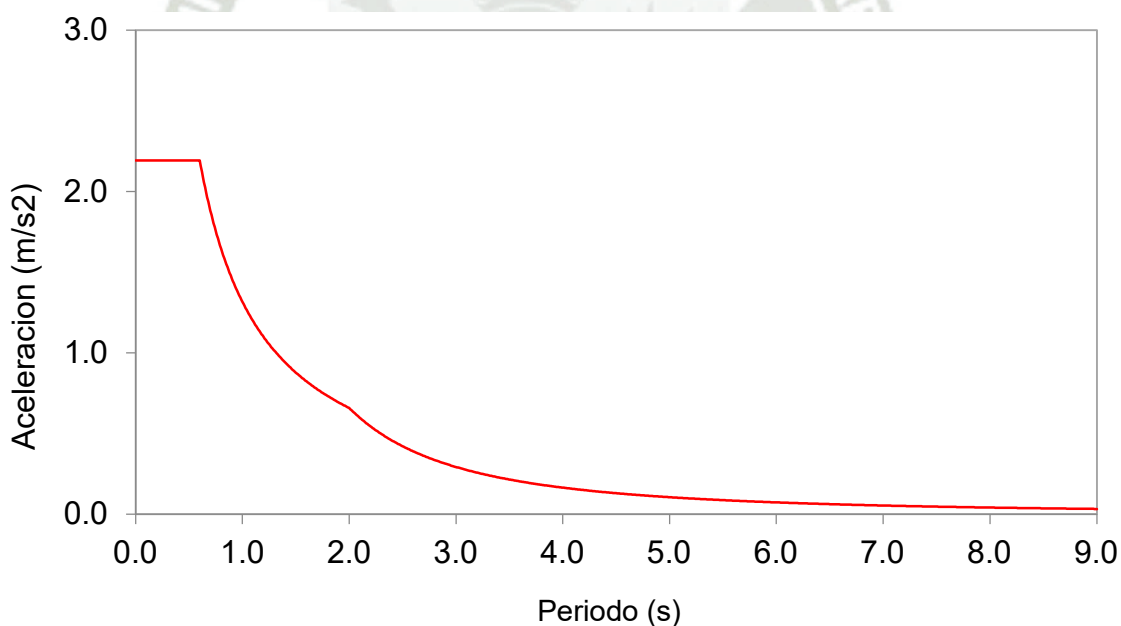
En relación con los parámetros dinámicos de la estructura analizada, se puede inferir que la edificación se encuentra en la zona de mayor demanda sísmica del espectro. Esto significa que la estructura experimentará fuerzas sísmicas considerables, por lo que es crucial evaluar su resistencia lateral y su capacidad de disipación de energía para mitigar posibles daños.

Para determinar la aceleración espectral en cada una de las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

Figura 40:

Espectro de aceleraciones característico de la zona de estudio



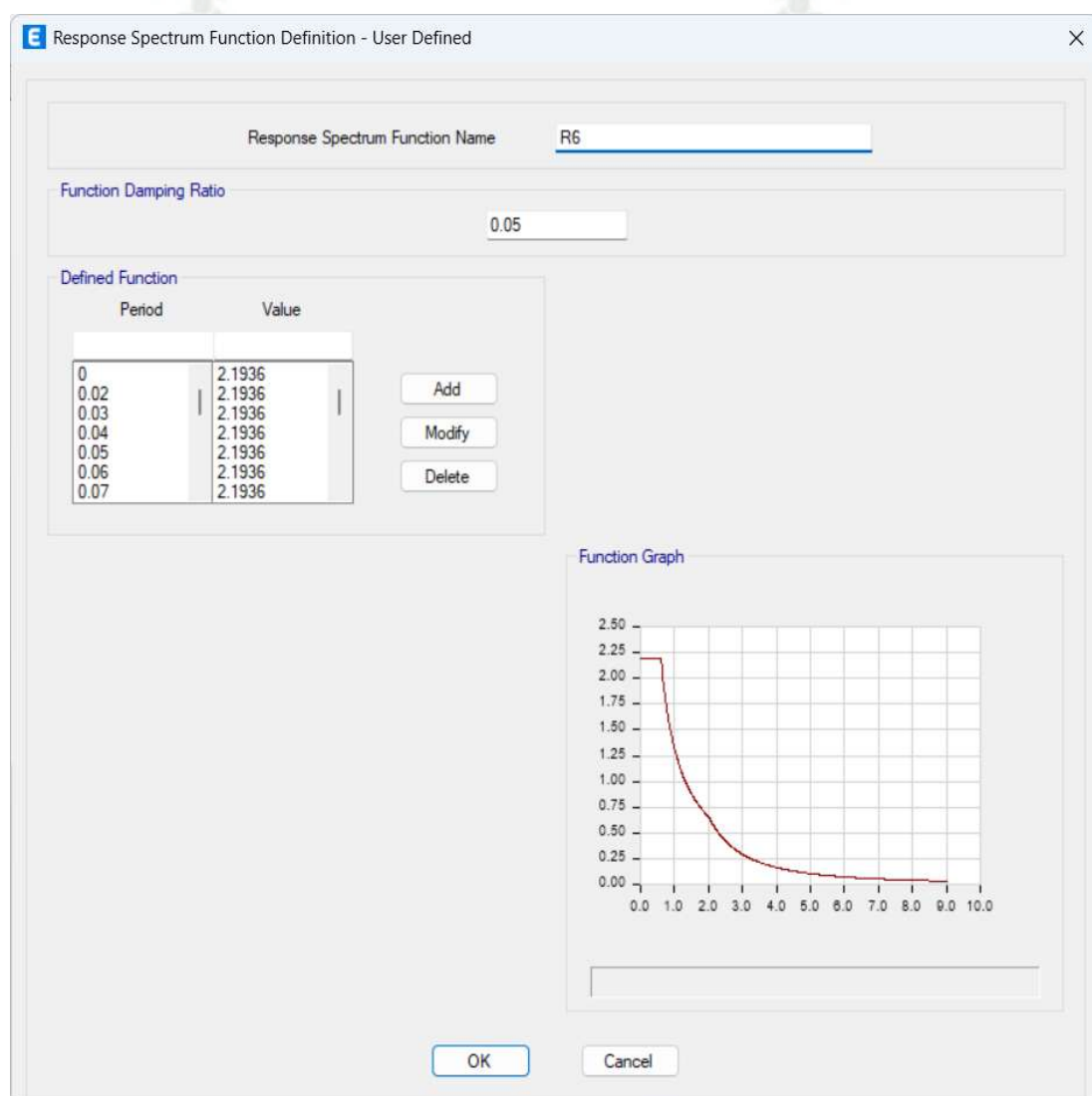
Nota. Elaboración propia.

En este contexto, la interacción entre la aceleración espectral y la respuesta modal indica que la estructura podría experimentar fuerzas sísmicas dominadas por movimientos laterales, lo que resalta la importancia de un adecuado diseño sísmico que incluya disipadores de energía o refuerzos estructurales. Además, la progresiva reducción de la

aceleración espectral para períodos mayores sugiere que, si bien la estructura podría beneficiarse de una mayor flexibilidad, un diseño excesivamente flexible también podría inducir desplazamientos excesivos que comprometan la funcionalidad y seguridad del edificio.

Figura 41:

Definición de la Función de Espectro de respuesta



Nota. Elaboración propia.

4.3.2 Respuesta sísmica modal espectral

4.3.2.1 Desplazamiento obtenido por la aplicación del sismo en dirección X

Los desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y para cada nivel de la edificación (desde la base hasta el octavo piso), bajo la acción de un sismo en dirección X. Se puede observar que los desplazamientos aumentan conforme se asciende en la altura del edificio, siendo mayores en la dirección X, con un valor máximo de 122.82 mm en el octavo piso, en comparación con 95.50 mm en la dirección Y para el mismo nivel.

Tabla 26:

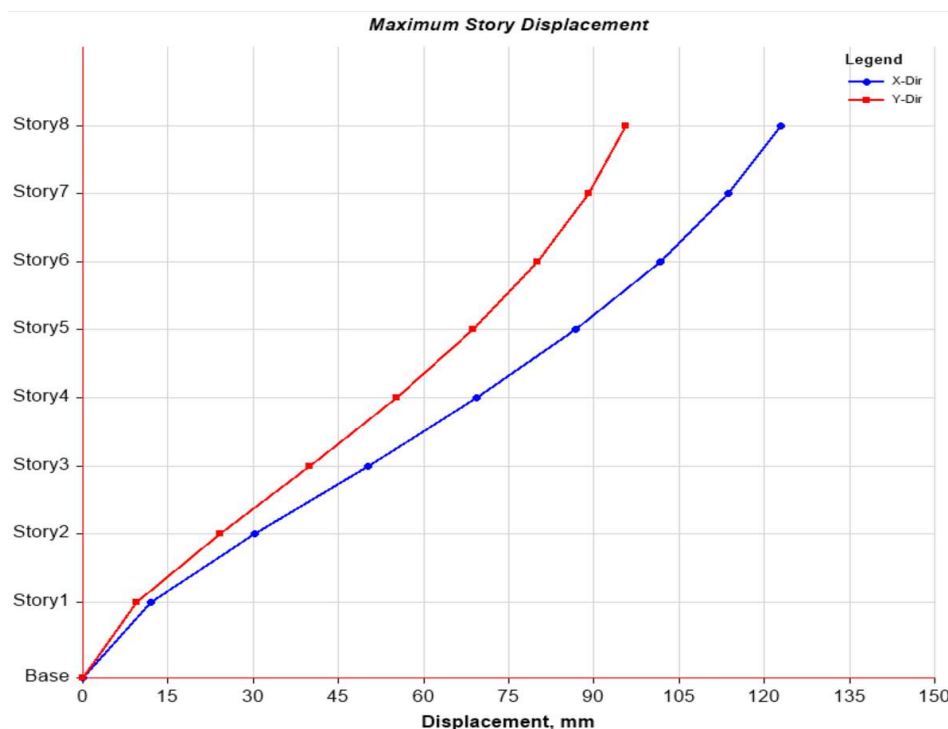
Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	122.815	95.497
Story7	19.2	113.693	88.996
Story6	16.5	101.693	80.117
Story5	13.8	86.77	68.748
Story4	11.1	69.33	55.175
Story3	8.4	50.124	39.992
Story2	5.7	30.346	24.188
Story1	3	12.037	9.482
Base	0	0	0

Nota. Se muestra que los desplazamientos laterales incrementan conforme aumenta la altura de la estructura. Elaboración propia.

Figura 42:

Máximos desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.



Nota. Estos desplazamientos laterales máximos en ambas direcciones para cada nivel de la estructura. La curva roja corresponde a la dirección X y la azul a la dirección Y. Ambas curvas muestran un comportamiento típico de desplazamiento lateral en edificios sometidos a cargas sísmicas, donde los pisos superiores presentan mayores desplazamientos debido a la acumulación de deformaciones en los niveles inferiores. Elaboración propia.

El comportamiento observado indica que la estructura se desplaza más en la dirección X, que es la dirección del sismo aplicado, lo cual es consistente con los resultados de la tabla. Además, se aprecia que las diferencias entre los desplazamientos en las direcciones X e Y son más pronunciadas en los pisos superiores, lo que sugiere que el sistema estructural ofrece mayor rigidez en la dirección Y.

Este análisis revela una respuesta estructural típica de edificios altos sometidos a fuerzas sísmicas, donde la flexibilidad en la dirección del sismo provoca mayores

desplazamientos. Estos resultados son cruciales para evaluar el comportamiento lateral y la estabilidad de la estructura frente a eventos sísmicos.

4.3.2.2 Desplazamiento obtenido por la aplicación del sismo en dirección Y

Los desplazamientos laterales de la estructura en las direcciones X e Y, bajo la acción de un sismo aplicado en la dirección Y. Similar al caso anterior, En la dirección X, el desplazamiento máximo en el octavo piso es de 95.96 mm, aunque es un poco menor en comparación con el desplazamiento en la dirección Y registrado en la misma tabla.

Tabla 27:

Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.

Story	Elevation m	X-Dir mm	Y-Dir mm
Story8	21.9	95.956	76.930
Story7	19.2	88.911	71.586
Story6	16.5	79.626	64.363
Story5	13.8	68.068	55.187
Story4	11.1	54.529	44.286
Story3	8.4	39.551	32.114
Story2	5.7	24.04	19.441
Story1	3	9.587	7.627
Base	0	0	0

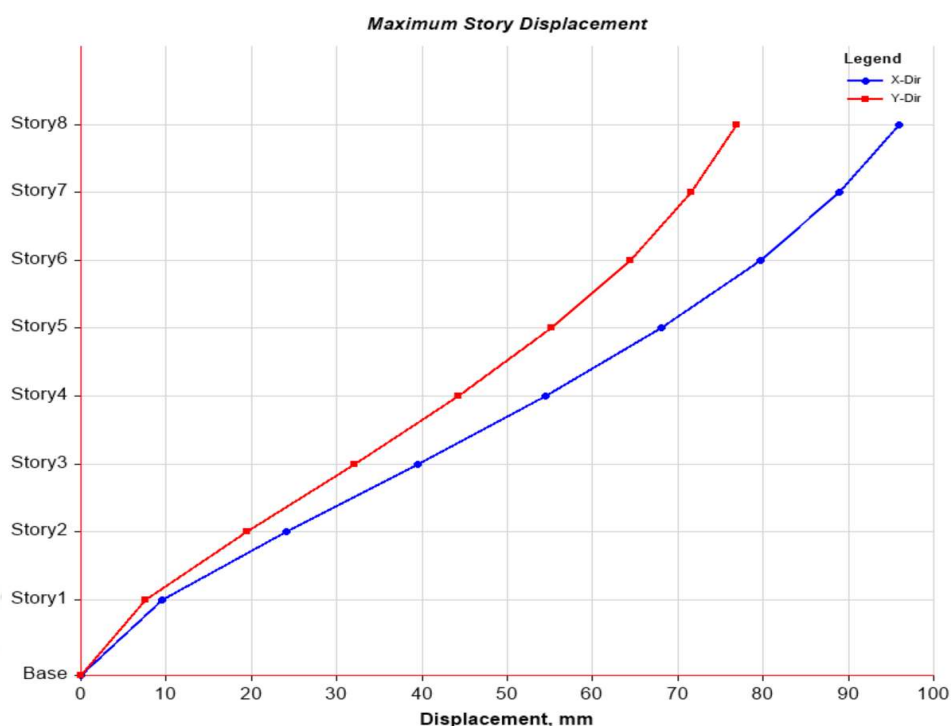
Nota. Se muestra que los desplazamientos laterales incrementan conforme aumenta la altura de la estructura. Elaboración propia.

En la Figura 43, se grafica la relación entre los desplazamientos laterales máximos de la estructura en ambas direcciones para cada nivel del edificio. La curva roja representa la dirección Y, mientras que la curva azul corresponde a la dirección X. Es evidente que los desplazamientos en la dirección Y son mayores que los de la dirección X, lo que corresponde a la dirección del sismo en este análisis. Al igual que en el gráfico anterior,

los desplazamientos laterales incrementan conforme aumenta la altura de la estructura, destacando los mayores desplazamientos en los niveles superiores.

Figura 43:

Desplazamientos laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.



Nota. Estos desplazamientos laterales máximos en ambas direcciones para cada nivel de la estructura. La curva roja corresponde a la dirección Y y la azul a la dirección X. Ambas curvas muestran un comportamiento típico de desplazamiento lateral en edificios sometidos a cargas sísmicas, donde los pisos superiores presentan mayores desplazamientos debido a la acumulación de deformaciones en los niveles inferiores. Elaboración propia.

Este comportamiento muestra una respuesta predecible, ya que el sismo en dirección Y induce mayores desplazamientos en esa misma dirección, con la estructura mostrando mayor rigidez en la dirección X. Este análisis es fundamental para evaluar el comportamiento dinámico de la estructura frente a un sismo, lo que permite verificar si las

deformaciones laterales se encuentran dentro de los límites aceptables para garantizar la seguridad y funcionalidad del edificio.

4.3.2.3 Máximas distorsiones laterales producidas por el sismo en dirección

X

Las máximas distorsiones laterales (deriva) producidas por el sismo en las direcciones X e Y, calculadas considerando el análisis dinámico modal espectral.

Tabla 28:

Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.

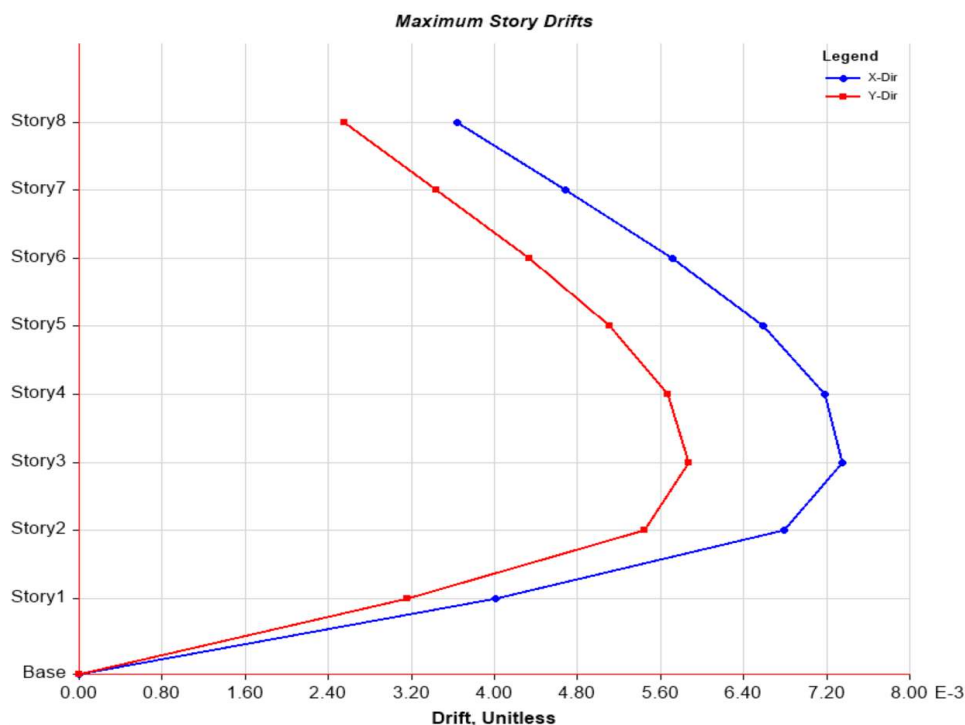
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0036	0.0026
Story7	19.2	0.0047	0.0034
Story6	16.5	0.0057	0.0043
Story5	13.8	0.0066	0.0051
Story4	11.1	0.0072	0.0057
Story3	8.4	0.0074	0.0059
Story2	5.7	0.0068	0.0055
Story1	3	0.0040	0.0032
Base	0	0	0

Nota. Se muestra que en ambas direcciones X y Y supera el límite permitido de 0.007.

Elaboración propia.

Figura 44:

Máximas distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.



Nota. En esta figura se muestra gráficamente la deriva de la estructura en ambas direcciones. La curva roja corresponde a la dirección X y la azul a la dirección Y. Las distorsiones laterales tienden a aumentar conforme se asciende en la altura del edificio, con la mayor deriva observada en el piso seis en ambas direcciones, la deriva es mayor en la dirección X, lo que sugiere que la estructura es más flexible en esa dirección. Elaboración propia.

Este análisis es fundamental, ya que la deriva o distorsión lateral es un indicador clave del comportamiento sísmico de un edificio. Un valor excesivo de deriva puede comprometer la estabilidad y funcionalidad de la estructura, por lo que es necesario asegurarse de que los valores observados estén dentro de los límites normativos permitidos. Los resultados obtenidos permiten evaluar la capacidad de la estructura para soportar desplazamientos laterales inducidos por un sismo, siendo esencial para el diseño y optimización de su comportamiento sísmico.

4.3.2.4 Máximas distorsiones laterales producidas por el sismo en dirección Y

Las máximas distorsiones laterales de una estructura sometida a la acción de un sismo en dirección Y, se presentará dividido en dos partes: una tabla con los valores numéricos de las distorsiones en cada nivel de la estructura y un gráfico que representa visualmente dichas distorsiones.

En la siguiente tabla 29 de distorsiones laterales en las direcciones X e Y, producto del sismo en dirección Y, para cada nivel de la estructura, desde la Base hasta el Story 8, cada nivel o piso tiene asociada una elevación en metros, y los valores de distorsión aumentan conforme se asciende en la estructura. En la dirección X, las distorsiones son mayores que en la dirección Y, alcanzando un valor máximo en el Story 3 con 0.0058 en la dirección X y 0.0047 en la dirección Y. A medida que se desciende a niveles más bajos, las distorsiones disminuyen, siendo mínimas en la base, donde se registran valores nulos.

Tabla 29:

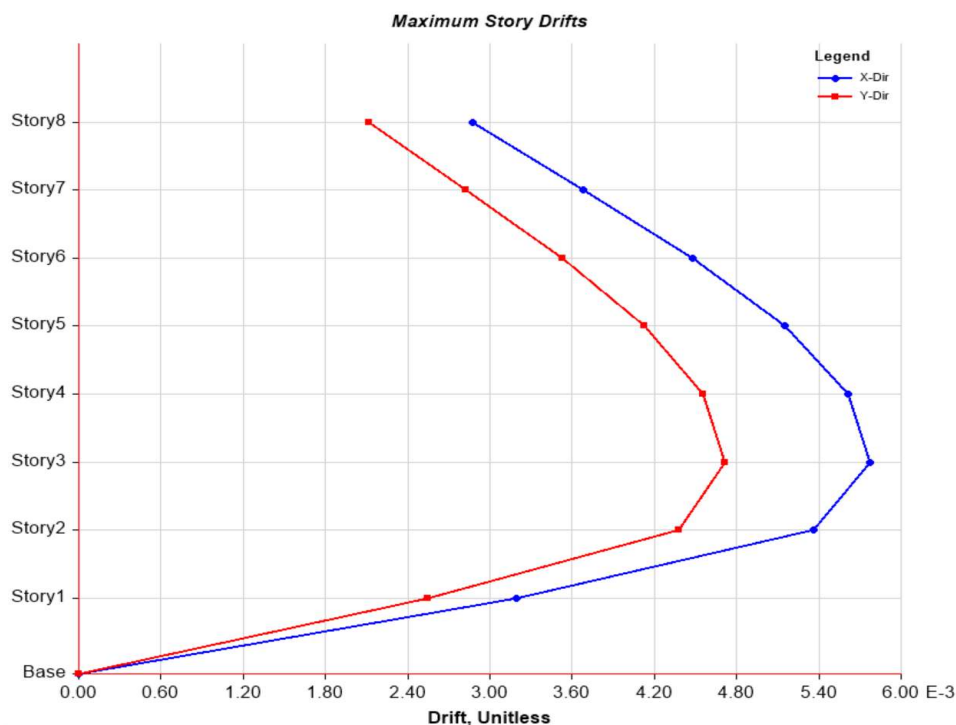
Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0029	0.0021
Story7	19.2	0.0037	0.0028
Story6	16.5	0.0045	0.0035
Story5	13.8	0.0051	0.0041
Story4	11.1	0.0056	0.0046
Story3	8.4	0.0058	0.0047
Story2	5.7	0.0054	0.0044
Story1	3	0.0032	0.0025
Base	0	0	0

Nota. Las distorsiones laterales en las direcciones X e Y, producto del sismo en dirección Y, para cada nivel de la estructura, desde la Base hasta el Story 8. Elaboración propia.

Figura 45:

Distorsiones laterales de la estructura en dirección X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.



Nota. En esta figura se muestra las distorsiones laterales en función del desplazamiento o drift. Se trazan dos curvas: una en rojo que representa las distorsiones en la dirección X y otra en azul para las distorsiones en la dirección Y. Se observa que la curva de la dirección X se encuentra más alejada del eje vertical, confirmando que las distorsiones son mayores en esta dirección. Ambas curvas comienzan en cero en la base, donde no hay desplazamiento lateral, y aumentan a medida que se avanza hacia los pisos superiores. Elaboración propia.

El comportamiento que muestra tanto la tabla como el gráfico es típico de estructuras sometidas a sismos. Las distorsiones tienden a aumentar en los pisos superiores debido a los desplazamientos acumulados, lo que es común en edificios de varias plantas. Estos resultados son fundamentales para evaluar la seguridad de la estructura y asegurar que los desplazamientos laterales se mantengan dentro de límites aceptables para evitar daños graves o incluso el colapso. Además, el hecho de que las distorsiones sean mayores en la

dirección X sugiere que la estructura podría requerir mayor rigidez o refuerzo en esa dirección para resistir adecuadamente los efectos sísmicos.

4.4 DEFINICIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA

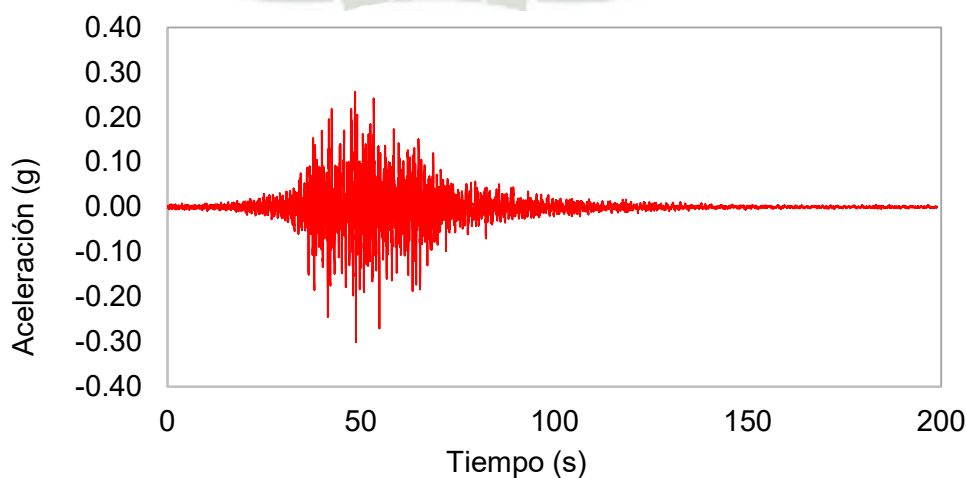
Para evaluar la respuesta sísmica de los diseños obtenidos según la versión de la Norma E.030 2018 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), se requiere realizar análisis tiempo-historia utilizando registros sísmicos representativos. La principal característica de estos registros es el PGA (*Peak Ground Acceleration*), el cual debe ser al menos 0.10g para garantizar su confiabilidad y permitir su escalamiento.

Sin embargo, los registros obtenidos por el CISMID-UNI en la zona de estudio presentan valores de PGA en torno a 0.01g, lo que los hace poco confiables al estar influenciados por ruido ambiental. Por esta razón, en este estudio se utilizarán registros sísmicos históricos de otras regiones del país, dado que provienen de las mismas fuentes sismo-génicas y siguen leyes de atenuación similares (CISMID, 2015).

4.4.1 Registro sísmico de Atico-Arequipa 2001

Figura 46:

Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente EW.

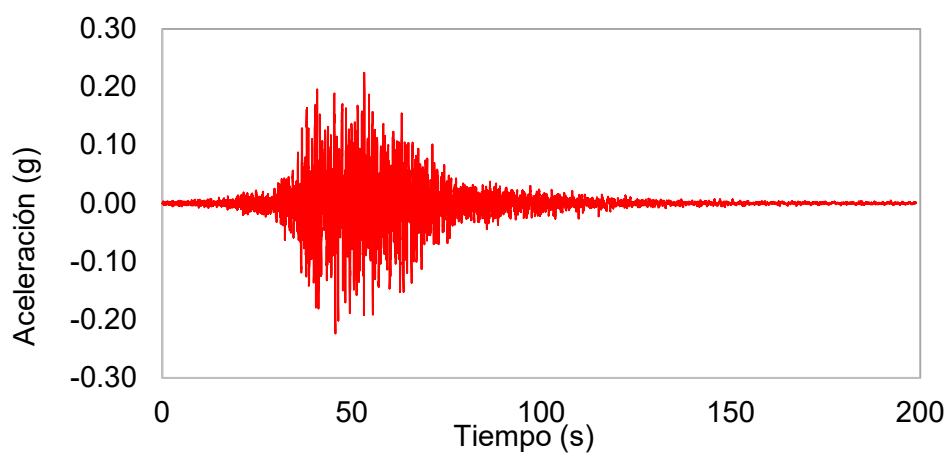


Nota. Adaptado de CISMID (2001), Base de datos de registros sísmicos,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 47:

Registro de aceleración del sismo de Arequipa, componente NS.

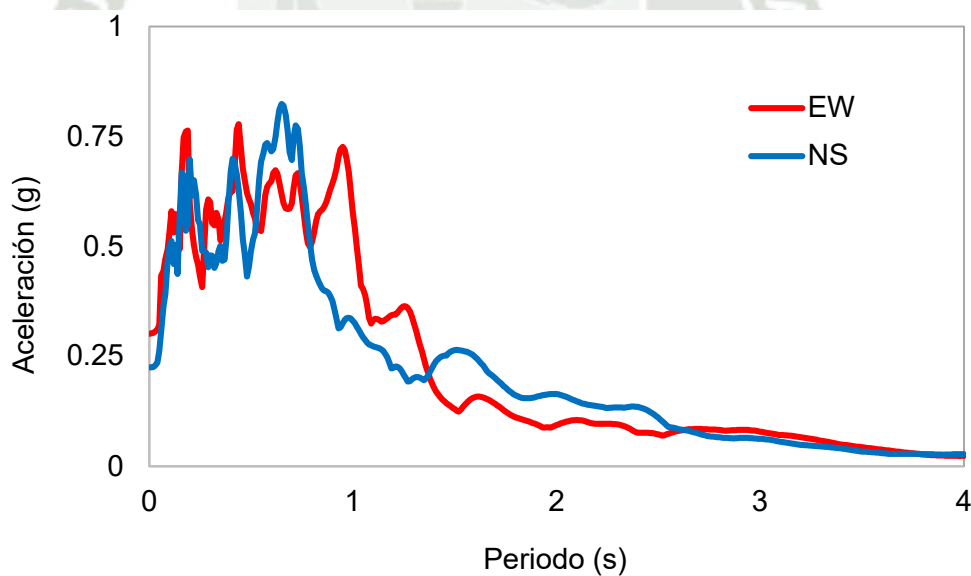


Nota. Adaptado de CISMID (2001), Base de datos de registros sísmicos,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 48:

Espectro de aceleraciones del sismo de Arequipa, componentes EW y NS.



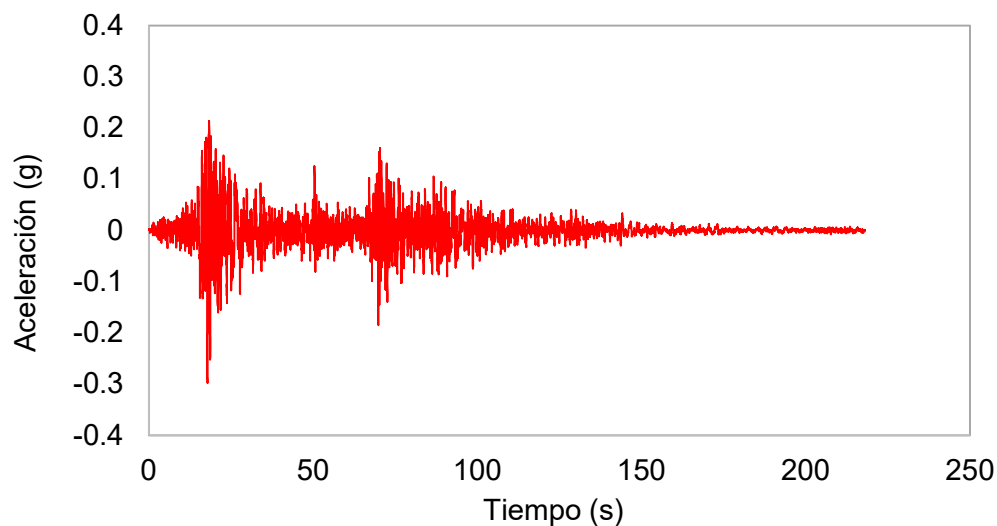
Nota. Adaptado de CISMID (2001), Base de datos de registros sísmicos,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

4.4.2 Registro sísmico de Ica del 2007

Figura 49:

Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente EW.

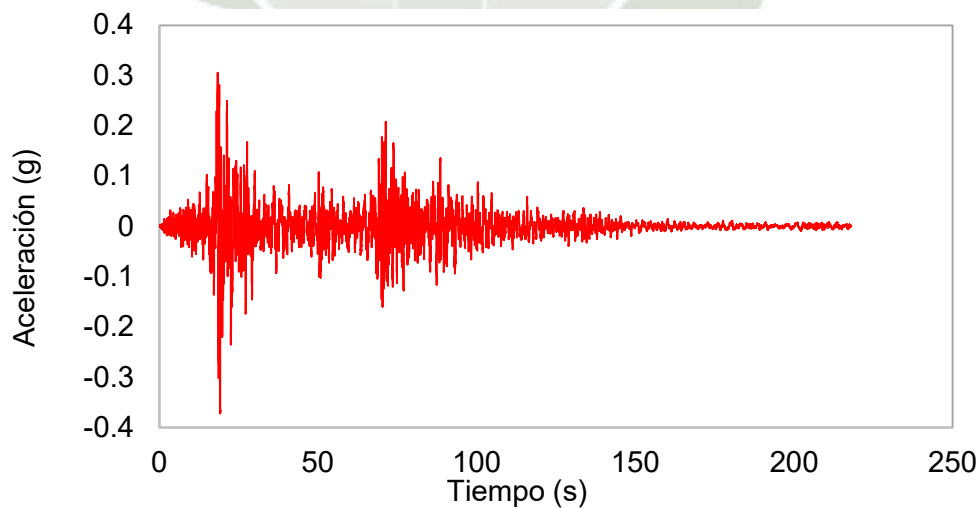


Nota. Adaptado de CISMID (2007), *Base de datos de registros sísmicos*,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 50:

Registro de aceleración del sismo de ICA del 2007, componente NS.

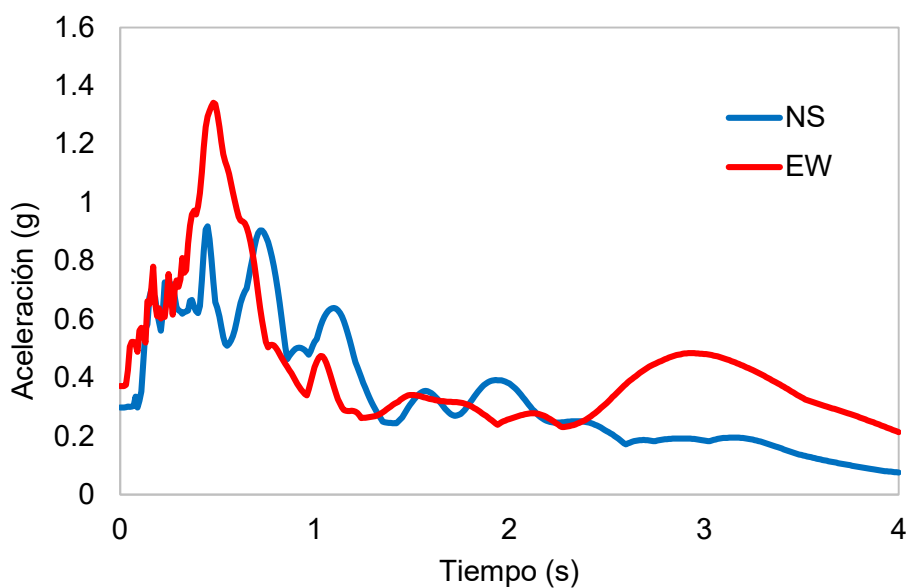


Nota. Adaptado de CISMID (2007), *Base de datos de registros sísmicos*,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 51:

Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de Ica del 2007.



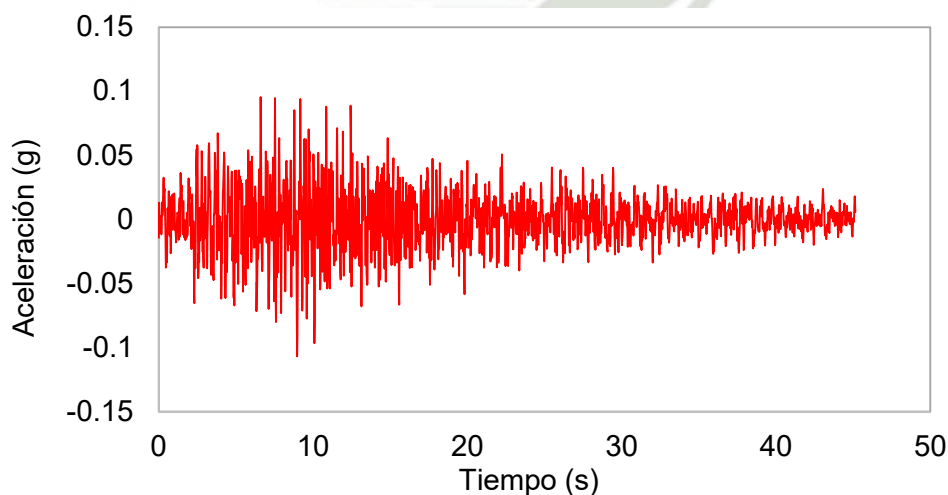
Nota. Adaptado de CISMID (2007), *Base de datos de registros sísmicos*,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

4.4.3 Registro sísmico de Huaraz 1970

Figura 52:

Registro de aceleración del sismo de 1970, componente EW.

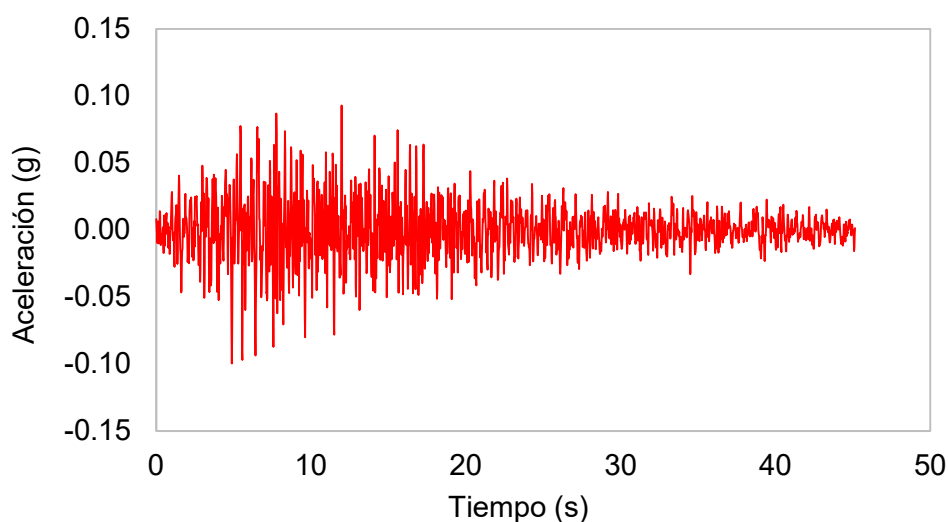


Nota. Adaptado de CISMID (1970), *Base de datos de registros sísmicos*,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 53:

Registro de aceleración del sismo de 1970, componente NS.

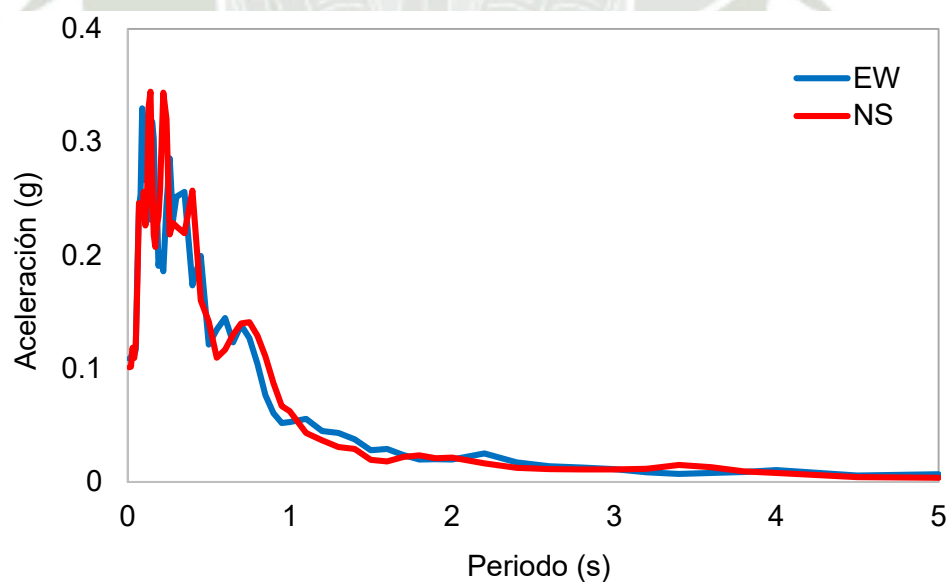


Nota. Adaptado de CISMID (1970), *Base de datos de registros sísmicos*,

<https://cismid.uni.edu.pe/>

Figura 54:

Espectros de aceleración de las componentes NS, EW, del sismo de 1970.



Nota. Adaptado de CISMID (1970), *Base de datos de registros sísmicos*,

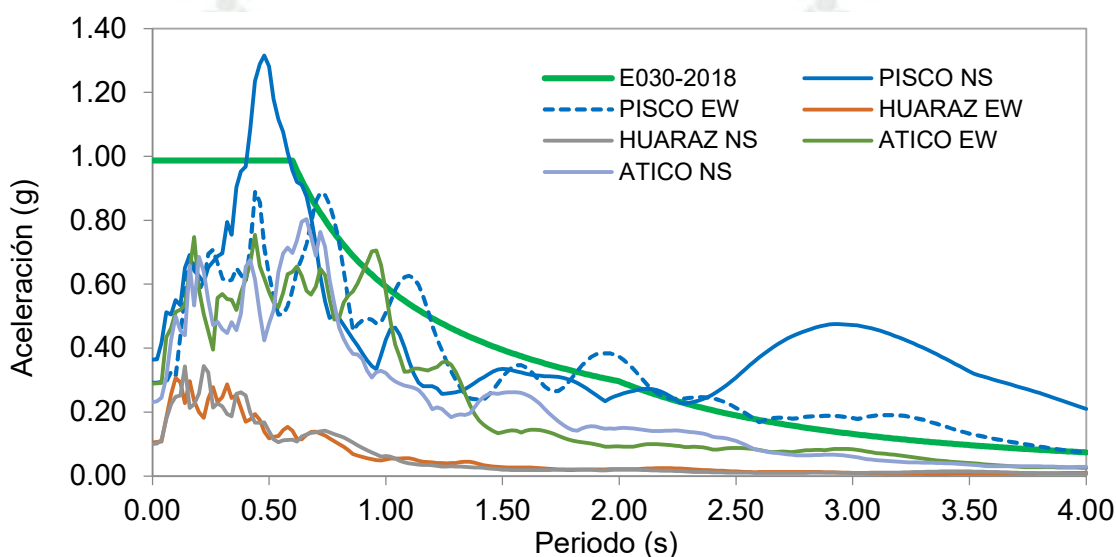
<https://cismid.uni.edu.pe/>

4.4.4 Escalamiento de los registros sísmicos

El escalamiento de registros sísmicos es un proceso matemático que incrementa la magnitud de aceleración de los registros para alcanzar un nivel de peligro sísmico específico.

Figura 55:

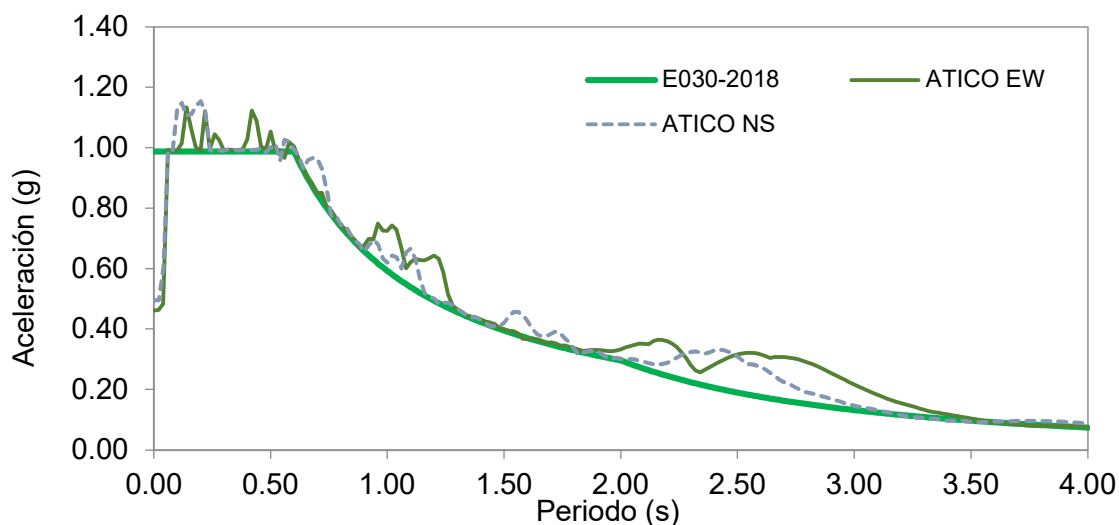
Relación de magnitud de aceleración entre el espectro de la norma E030 del 2018 y registros sísmicos naturales.



Nota. Adaptado de Comentarios a la Norma Peruana E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020, https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISE%C3%91O_SISMORRESISTENTE.pdf

Figura 56:

Escalamiento del registro sísmico de Atico 2001.

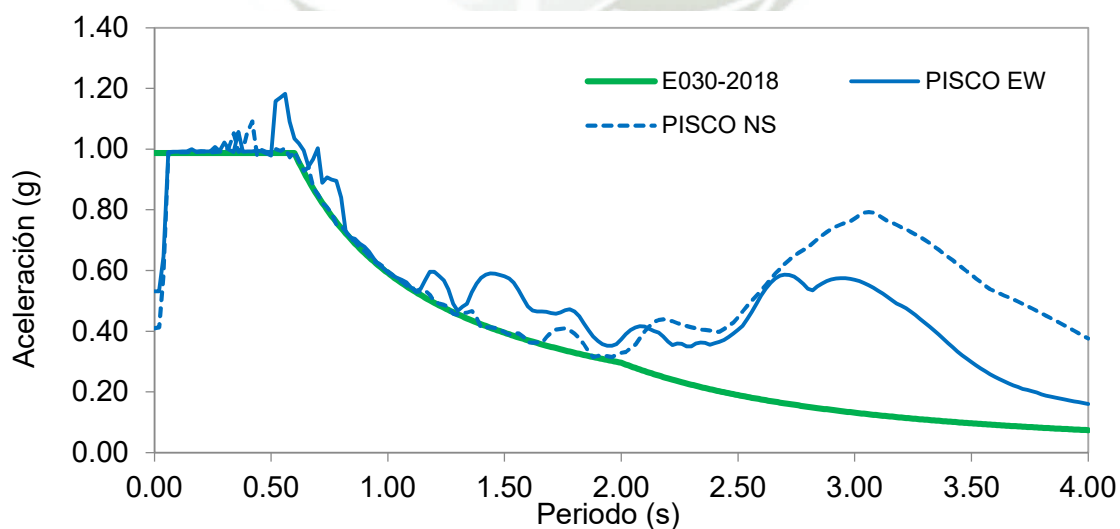


Nota. Adaptado de Comentarios a la Norma Peruana E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020,

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISEÑO_SISMORRESISTENTE.pdf

Figura 57:

Escalamiento del registro sísmico de Pisco 2007.

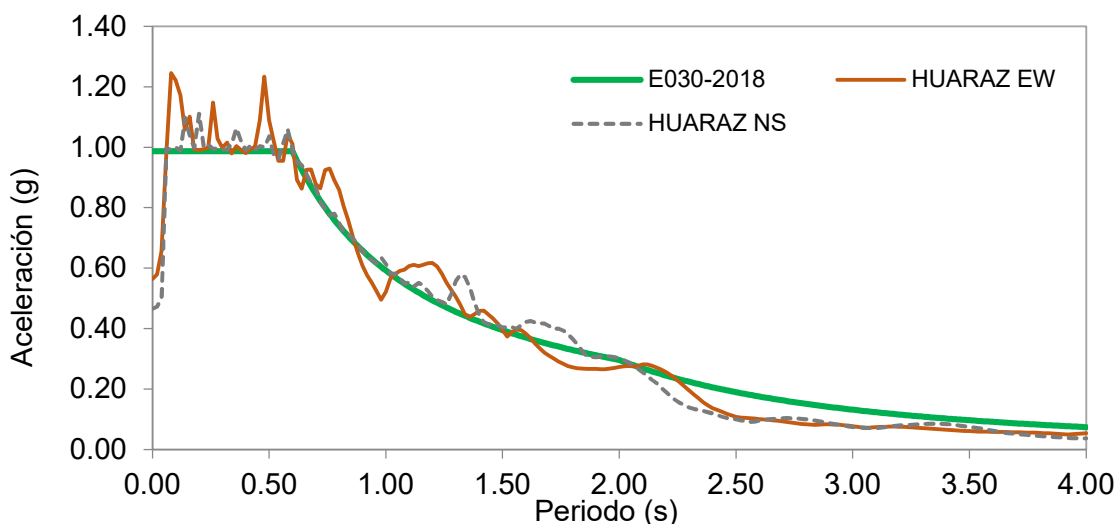


Nota. Adaptado de Comentarios a la Norma Peruana E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020,

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISEÑO_SISMORRESISTENTE.pdf

Figura 58:

Escalamiento del registro sísmico de 1970.



Nota. Adaptado de Comentarios a la Norma Peruana E.030: Diseño sismorresistente, por Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2020,

https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISEÑO_SISMORRESISTENTE.pdf

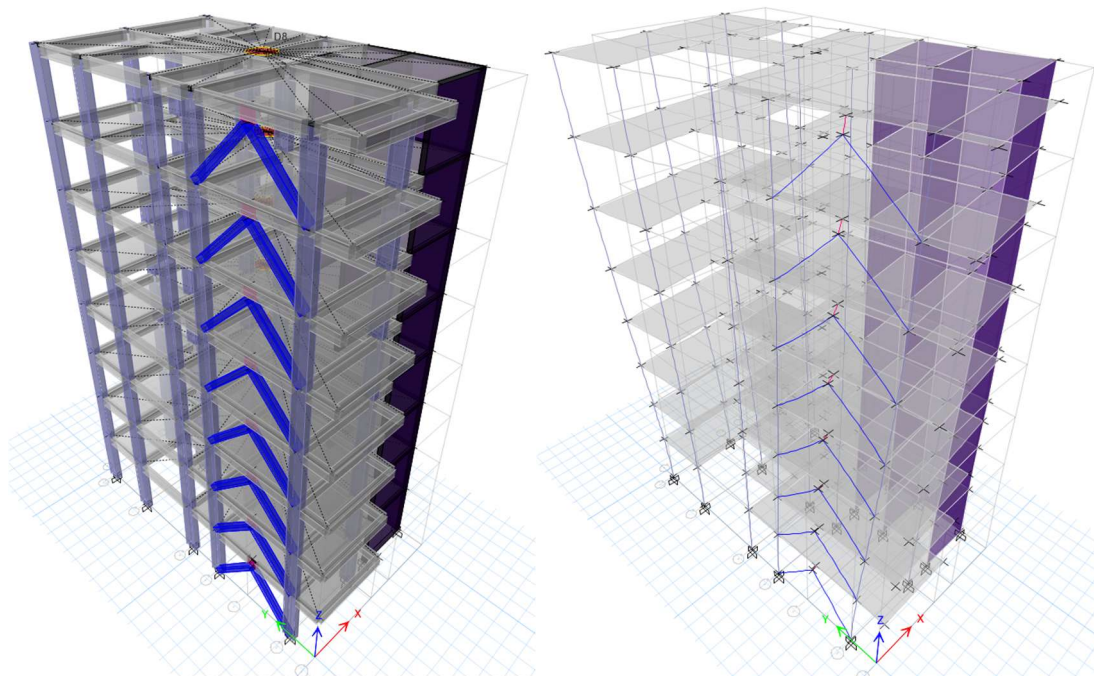
4.5 DISEÑO DE LOS SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA SLB

4.5.1 Colocación de una línea de los dispositivos de disipación SLB

La imagen muestra el diseño y la respuesta estructural de un edificio con la incorporación de sistemas de disipación de energía tipo SLB. Estos sistemas son esenciales en estructuras sismorresistentes, ya que ayudan a mitigar los efectos de las fuerzas sísmicas mediante la disipación de la energía que la estructura absorbe durante un terremoto. Los sistemas de disipación SLB (Shear Link Bozzo) son dispositivos que incrementan la capacidad de deformación de la estructura sin comprometer su estabilidad, permitiendo que se reduzcan las fuerzas internas que podrían causar daños o colapso.

Figura 59:

Modelo estructural de la edificación considerando disipadores de energía SLB en una dirección.



Nota. En esta figura se muestra la colocación de estos dispositivos en el modelo estructural, se muestran dos vistas tridimensionales de la estructura, donde se destaca la ubicación de los disipadores de energía SLB. Estos se presentan con coloraciones distintivas que permiten identificar su posición a lo largo de varios niveles del edificio. Los SLB se muestran como elementos en forma de "V" invertida, integrados dentro de los pórticos de la estructura. Elaboración propia.

La inclusión de estos dispositivos en una dirección específica en la estructura, sugiere que la dirección del sismo o las características del diseño estructural requieren reforzar solo una de las dos direcciones principales del edificio.

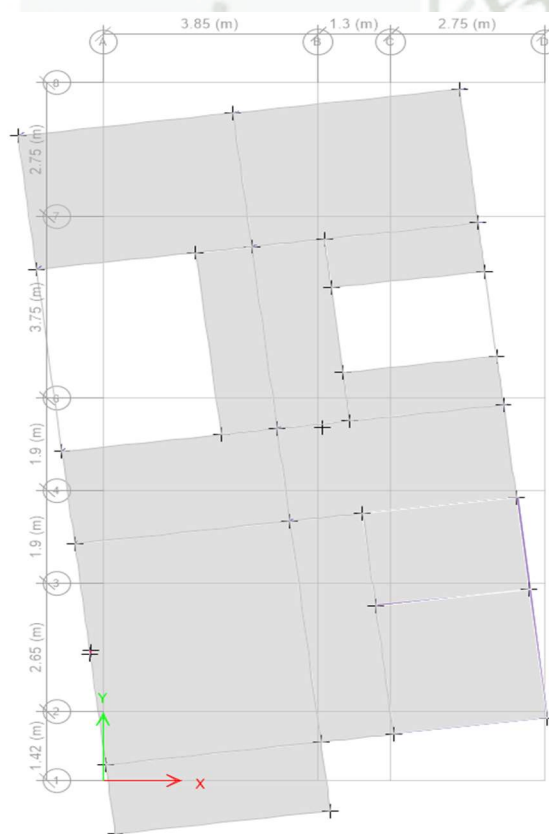
El propósito de los disipadores SLB es reducir las deformaciones excesivas y evitar que la estructura sufra daños severos durante un evento sísmico. Además, su colocación estratégica ayuda a controlar los desplazamientos laterales, protegiendo tanto la integridad

de la estructura como la de sus ocupantes. Es importante destacar que estos sistemas permiten que la estructura disipe energía sin necesidad de experimentar fallas estructurales graves.

La siguiente figura se enfoca en la respuesta dinámica de la estructura ante las vibraciones inducidas por el sismo, se muestra una representación de la respuesta modal en planta, es decir, cómo se deforma la estructura en su plano horizontal al vibrar bajo la acción sísmica.

Figura 60:

Forma fundamental de vibrar de la estructura con la incorporación de los sistemas de disipación de energía SLB.



Nota. La representación modal de la planta nos muestra los desplazamientos de cada uno de los puntos nodales de la estructura. Elaboración propia.

Estos desplazamientos modales se amplifican para visualizar la forma en que la estructura oscila. Es común que este tipo de análisis modal se utilice para entender las características fundamentales de vibración de una estructura, y en este caso, la forma de vibrar revela cómo la incorporación de los disipadores SLB afecta la dinámica global del edificio. El análisis modal es crucial, ya que identifica los modos de vibración más críticos y permite diseñar medidas de protección, como los disipadores, para mitigar los efectos de estos modos.

En la planta modal representada, se aprecia una inclinación de la estructura, lo cual indica una deformación torsional. Esta torsión es un comportamiento típico en edificios que no son completamente simétricos o que experimentan asimetrías en las rigideces de los diferentes elementos estructurales. La incorporación de los disipadores SLB probablemente está diseñada para reducir estos efectos torsionales, mejorando la estabilidad lateral del edificio.

El uso de disipadores de energía SLB es una estrategia clave en el diseño de estructuras sismorresistentes modernas. Al disipar la energía sísmica, estos dispositivos permiten que la estructura soporte eventos sísmicos fuertes sin sufrir daños severos, lo que prolonga la vida útil del edificio y protege a sus ocupantes. La representación gráfica de los sistemas SLB en las Figuras N° 59 muestra claramente cómo se integran estos dispositivos dentro del sistema estructural, mientras que la Figura N° 60 permite evaluar el impacto que estos disipadores tienen en el comportamiento dinámico del edificio.

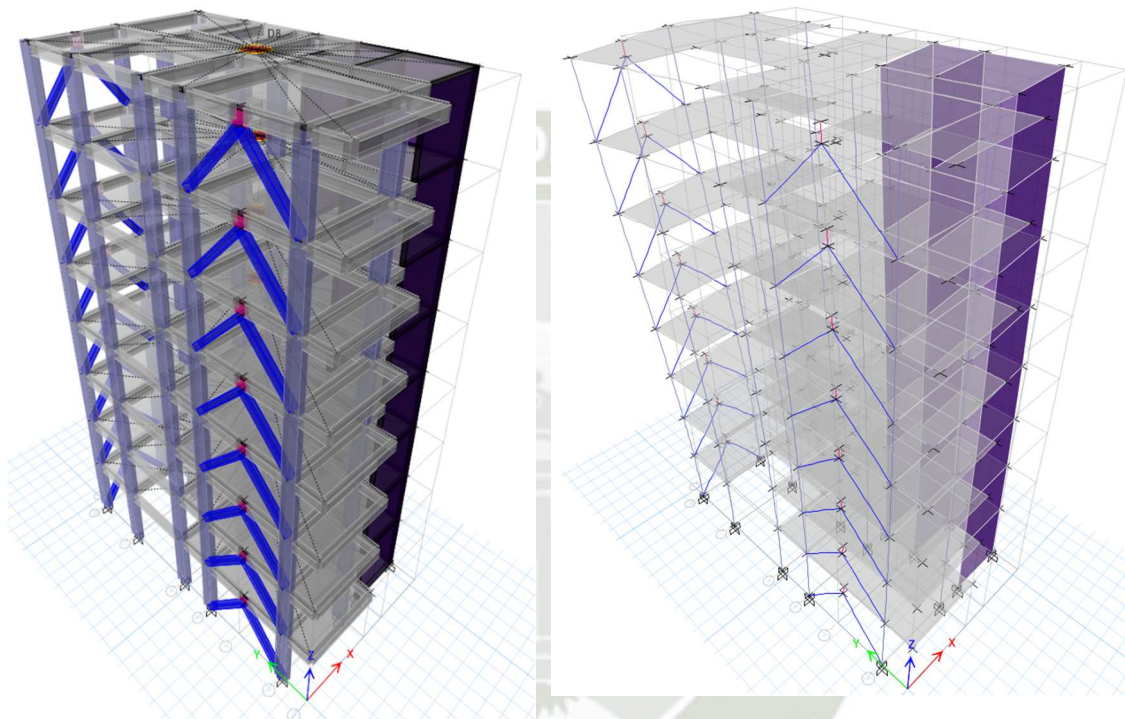
4.5.2 Colocación de dos líneas de disipación en dirección X e Y

La imagen muestra el modelo estructural de un edificio con la incorporación de dos líneas de disipadores de energía SLB (Shear Link Bozzo) en las direcciones X y Y, lo cual es ilustrado en la Figura N° 61. Estos disipadores, representados en azul, están integrados a

lo largo de la altura de la estructura en ambos sentidos, proporcionando resistencia lateral y mejorando la capacidad de disipación de energía durante un evento sísmico.

Figura 61:

Modelo estructural con dos líneas de disipadores de energía SLB en dirección X y en dirección Y.



Nota. En esta vista tridimensional de la estructura se pueden observar los disipadores SLB como elementos diagonales dispuestos en forma de "V" invertida en los pórticos perimetrales de los edificios, tanto en las fachadas que corresponden a la dirección X como en las que pertenecen a la dirección Y. Elaboración propia.

Esta configuración asegura que la estructura sea capaz de resistir los efectos de las fuerzas sísmicas provenientes de múltiples direcciones, lo que es esencial para garantizar la seguridad y estabilidad del edificio.

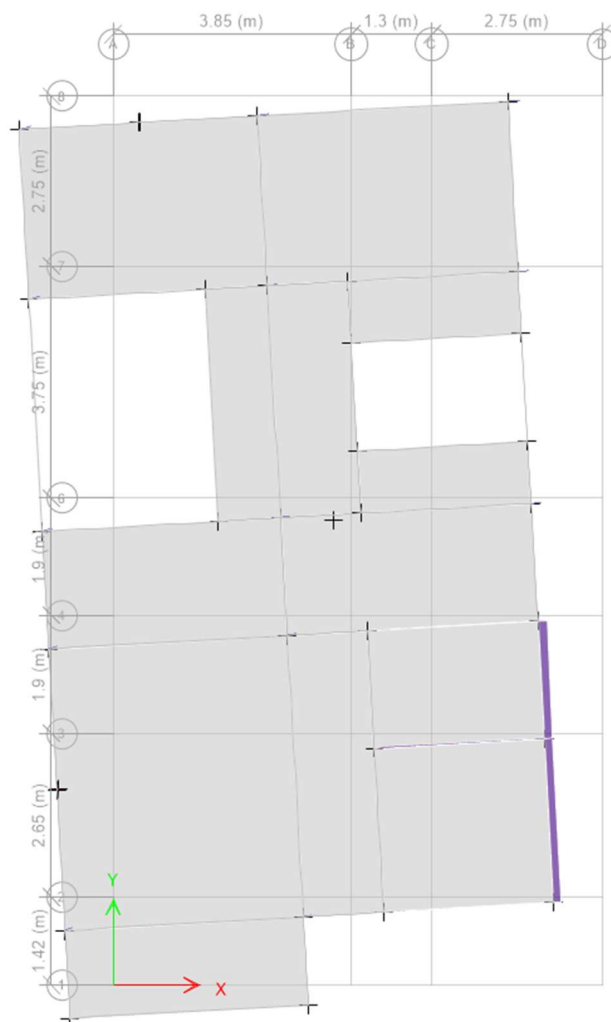
La función principal de estos disipadores es absorber y disipar la energía que la estructura recibe durante un sismo, lo que reduce significativamente las deformaciones excesivas y los daños que podrían ocurrir sin estos dispositivos. Al contar con dos líneas de

disipadores, una en cada dirección principal del edificio, se mejora considerablemente el comportamiento dinámico y sismorresistente del edificio. Esto no solo minimiza los desplazamientos laterales y el riesgo de colapso, sino que también reduce la posibilidad de daños severos en los componentes estructurales y no estructurales.

La incorporación de disipadores en ambas direcciones refleja un diseño que tiene en cuenta la acción de fuerzas sísmicas multidireccionales, lo que es esencial para estructuras ubicadas en zonas sísmicamente activas. La distribución de los SLB en los pórticos garantiza que la carga sísmica se distribuya de manera más uniforme en toda la estructura, previniendo concentraciones excesivas de esfuerzos en puntos específicos que podrían llevar al fallo estructural.

Figura 62:

Respuesta modal del sistema estructural considerando las dos líneas de disipación de energía SLB en direcciones X e Y.



Nota. Esta figura nos ofrece una visión clara de un edificio con disipadores de energía SLB en dos direcciones principales, lo que asegura un comportamiento más controlado y eficiente frente a las fuerzas sísmicas. Este tipo de diseño estructural es fundamental en áreas de alta sismicidad, ya que permite que el edificio resista y disipe mejor la energía de un terremoto, reduciendo el riesgo de daños graves y protegiendo a sus ocupantes. Elaboración propia.

En términos de diseño, la decisión de colocar disipadores tanto en dirección X como en dirección Y busca un equilibrio en la resistencia lateral del edificio, evitando asimetrías

que puedan generar efectos torsionales indeseados durante un sismo. El modelo que se presenta visualiza claramente la interacción entre los diferentes elementos estructurales, y cómo los disipadores juegan un papel crucial en la estabilidad global del edificio.

4.5.3 *Diseño de los dispositivos de disipación SLB en X*

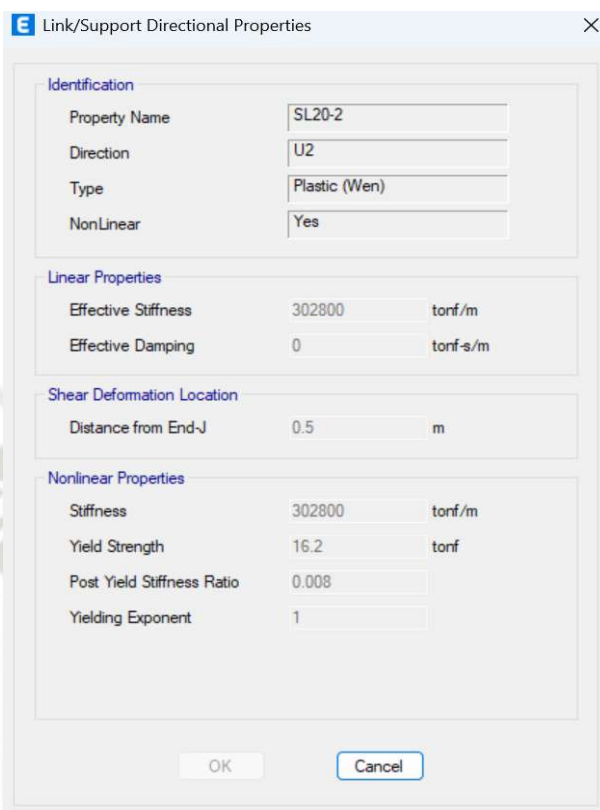
Se analizará el diseño de los dispositivos de disipación SLB (Sistemas de Disipación de Energía) en la dirección X de un edificio con varios niveles. En el lado izquierdo de la imagen, se puede observar un diagrama de elevación del edificio donde se muestran las masas sísmicas que intervienen en el análisis estructural, considerando un 100% de la carga muerta y un 25% de la carga viva. En la parte derecha, se adjunta una tabla titulada "Definición de las masas sísmicas de análisis considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva", que contiene los resultados de corte por dispositivo en los diferentes niveles del edificio.

El esquema estructural muestra un edificio con ocho niveles (Story 1 a Story 8). En cada uno de estos niveles, se ha asignado una masa sísmica específica que participa en el análisis. Las masas varían en cada nivel, como se puede observar en las etiquetas que indican valores en la parte superior de las diagonales de los dispositivos SLB. Estos valores están en la escala de toneladas (o en unidades de masa equivalente), y parecen seguir una tendencia decreciente conforme se avanza desde la planta baja hasta el último piso.

Además, los dispositivos SLB se representan por medio de diagonales inclinadas que conectan los nodos de la estructura. Estos dispositivos están ubicados en la zona central de la estructura, lo que sugiere que son elementos críticos para disipar la energía sísmica en esta dirección. Es probable que estén diseñados para absorber la mayor parte de la deformación producida por el sismo, protegiendo así los elementos estructurales principales.

Figura 63:

Definición de las propiedades mecánicas del disipador de fricción.



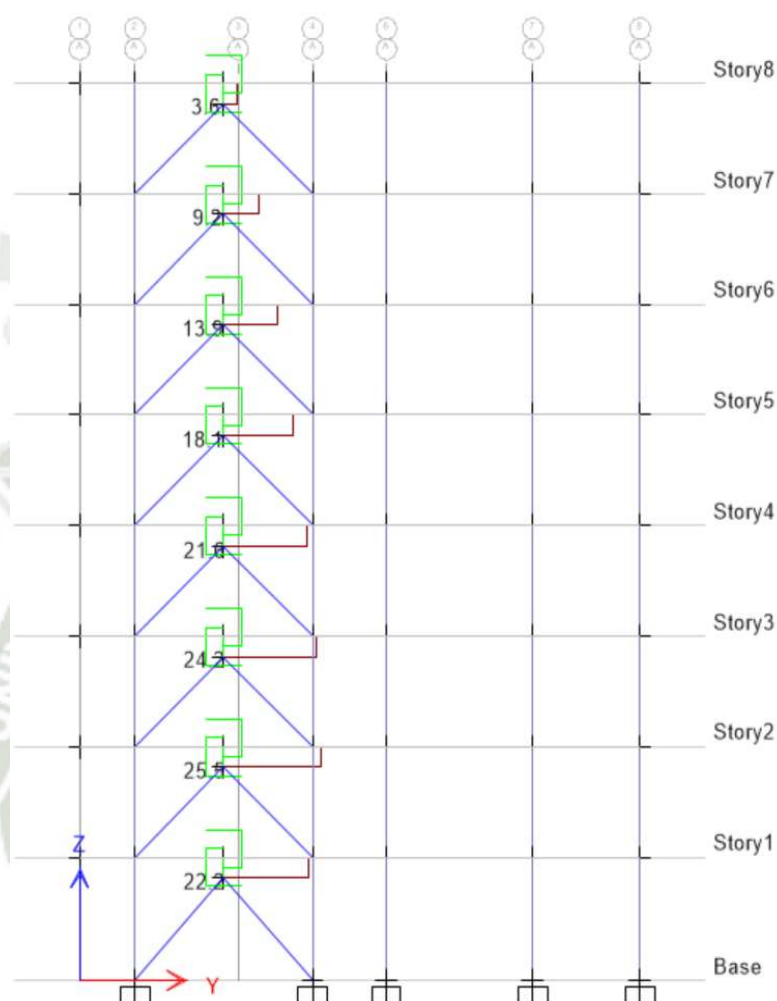
Link/Support Directional Properties		
Identification		
Property Name	SL20-2	
Direction	U2	
Type	Plastic (Wen)	
NonLinear	Yes	
Linear Properties		
Effective Stiffness	302800	tonf/m
Effective Damping	0	tonf-s/m
Shear Deformation Location		
Distance from End-J	0.5	m
Nonlinear Properties		
Stiffness	302800	tonf/m
Yield Strength	16.2	tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.008	
Yielding Exponent	1	
OK Cancel		

Nota. Se muestra la definición de las propiedades mecánicas del disipador SLB modelado como un enlace no lineal en la dirección U2, utilizando la formulación "Plastic (Wen)".

Elaboración propia.

Figura 64:

Fuerzas cortantes actuantes en los disipadores de energía.



Nota. Se muestra la distribución de la fuerza cortante en los disipadores de energía SLB en la dirección X de la estructura desde el nivel 1 hasta el 8. Elaboración propia.

La primera columna indica el número del dispositivo, que corresponde a su ubicación en los diferentes niveles (del 1 al 8).

La segunda columna proporciona el corte de análisis (V_d) en unidades de toneladas, que representa el esfuerzo cortante que experimenta cada dispositivo durante un evento sísmico.

La tercera columna ofrece el corte de diseño (V_t), un valor ajustado según los factores de seguridad y criterios de diseño normativos.

Adicionalmente, se presentan las proporciones geométricas y resistencias específicas de cada dispositivo, incluidas las áreas transversales (A_s) y los coeficientes de amortiguamiento o rigidez asociados.

Tabla 30:

Fuerza cortante de análisis y cortantes de diseño y las propiedades.

Dispositivo	Corte análisis (t)	Corte diseño (t)	K1 (t/mm)	K2 (t/mm)	Fy (t)
1	22.2	15	302.80	2.46	16.23
2	25.5	15	302.80	2.46	16.23
3	24.2	15	302.80	2.46	16.23
4	21.6	15	302.80	2.46	16.23
5	18.1	7.5	167.58	2.15	8.71
6	13.9	7.5	167.58	2.15	8.71
7	9.2	7.5	167.58	2.15	8.71
8	3.6	2.5	55.04	1.47	2.58

Nota. En esta tabla se muestra un resumen del análisis de corte sísmico y de diseño para cada uno de los dispositivos de disipación SLB instalados en la estructura. Cada fila de la tabla corresponde a un dispositivo de disipación ubicado en un nivel del edificio. Elaboración propia.

El diseño de los dispositivos de disipación SLB, según lo que se observa en la imagen, sigue un enfoque riguroso para la distribución de fuerzas sísmicas en cada nivel de la estructura. La colocación de estos elementos en forma de diagonales, típicamente empleados en sistemas de contraviento o disipación, refleja una estrategia orientada a mitigar las deformaciones inducidas por eventos sísmicos. Además, al analizar la tabla, se puede apreciar cómo las fuerzas de corte disminuyen progresivamente desde los niveles

inferiores hacia los superiores, lo cual es esperable dado que la acumulación de masa y de carga sísmica es mayor en los primeros niveles de la estructura.

Es notable que los valores de corte de análisis (V_d) y corte de diseño (V_t) son bastante cercanos en magnitud, lo que sugiere que los dispositivos están dimensionados de manera eficiente. Los ajustes de diseño no muestran variaciones drásticas, lo que podría indicar que los dispositivos han sido seleccionados cuidadosamente para cumplir con los requisitos sísmicos sin incurrir en sobredimensionamiento.

En términos prácticos, este tipo de análisis y diseño es esencial para garantizar que los sistemas de disipación de energía, como los SLB, funcionen adecuadamente bajo cargas dinámicas. La distribución uniforme de las fuerzas de corte también puede indicar que la estructura ha sido diseñada para evitar concentraciones de esfuerzos excesivos en puntos específicos, lo cual es crucial para evitar daños localizados en un evento sísmico severo.

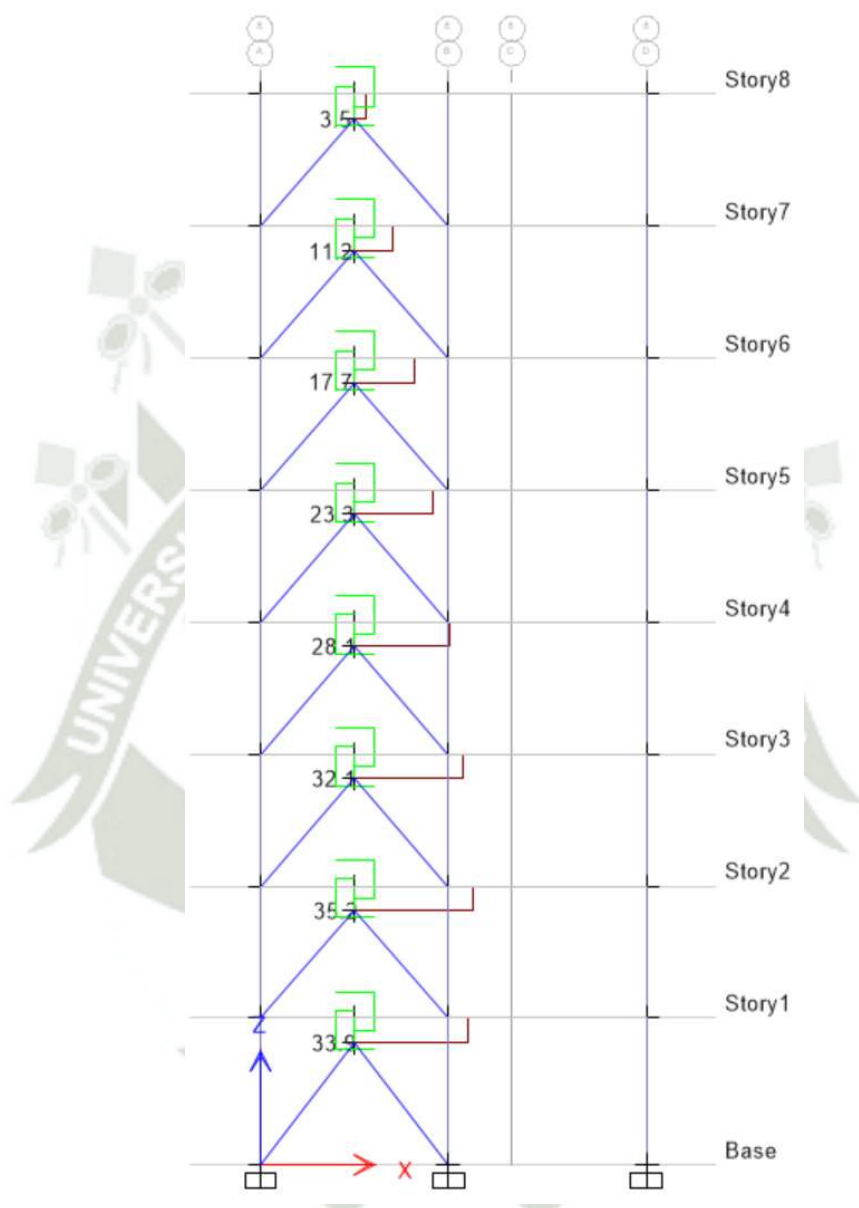
Finalmente, la combinación del diagrama estructural y la tabla de resultados proporciona una visión integral del diseño de estos dispositivos. Esto asegura que la estructura no solo cumpla con los requisitos normativos, sino que también esté preparada para resistir y disipar la energía de un sismo de manera eficiente, contribuyendo a la seguridad global del edificio y de sus ocupantes.

4.5.4 Diseño de los dispositivos de disipación SLB en Y

Las fuerzas cortantes en los dispositivos de disipación SLB en Y son significativamente mayores en los niveles inferiores y disminuyen conforme se asciende en la edificación, lo que es característico del comportamiento sísmico de estructuras con disipadores de energía. Los dispositivos de los primeros niveles absorben la mayor parte de la demanda de corte, contribuyendo a la disipación de energía sísmica y reduciendo las deformaciones estructurales.

Figura 65:

Fuerza cortante en disipadores de energía SLB en dirección Y.



Nota. Se muestra la distribución de la fuerza cortante en los disipadores de energía SLB en la dirección Y de la estructura desde el nivel 1 hasta el 8. Elaboración propia.

Tabla 31:

Fuerza cortante de análisis y cortantes de diseño y las propiedades.

Dispositivo	Corte análisis (t)	Corte diseño (t)	K1 (t/mm)	K2 (t/mm)	Fy (t)
1	33.5	15	302.80	2.46	16.23
2	35.2	15	302.80	2.46	16.23
3	32.1	15	302.80	2.46	16.23
4	28.1	15	302.80	2.46	16.23
5	23.3	7.5	167.58	2.15	8.71
6	17.7	7.5	167.58	2.15	8.71
7	11.2	7.5	167.58	2.15	8.71
8	3.5	2.5	55.04	1.47	2.58

Nota. Se presenta los valores de fuerza cortante obtenidos en el análisis, las fuerzas de diseño y las propiedades mecánicas de los disipadores. Se evidencia que los dispositivos de los niveles inferiores (dispositivos 1 a 5) presentan mayores fuerzas de análisis, con valores entre 23.30 t y 35.20 t, mientras que los niveles superiores tienen valores menores, debido a la menor demanda sísmica en esas alturas. Sin embargo, en el diseño se ha optado por asignar una fuerza cortante uniforme de 15 t en los primeros cuatro dispositivos, lo que sugiere una optimización en la distribución de los esfuerzos para garantizar una respuesta estructural eficiente. Elaboración propia

El parámetro **K1** (rigidez efectiva del disipador) se mantiene constante en 302.80 t/m para los primeros cuatro dispositivos, mientras que para los últimos tres disminuye a 167.58 t/m. Esta reducción es coherente con la menor demanda sísmica en los niveles superiores, lo que permite el uso de disipadores con menor rigidez sin comprometer la estabilidad de la estructura. El coeficiente **Fv/t** refleja la relación entre la fuerza cortante y la rigidez, manteniéndose en 2.46 para los dispositivos inferiores y reduciéndose a 1.47 en los superiores, lo que indica una menor participación de estos últimos en la disipación de energía.

Se observa que los disipadores con denominaciones más altas (SL10, SL20) poseen mayores valores de rigidez K1 y K2, lo que indica una mayor resistencia a la deformación.

Esto se refleja en sus fuerzas de fluencia, que llegan hasta 44.40 t en el caso del SL50-5, con una máxima capacidad de disipación de energía de 11,600 t·m.

Tabla 32:

Propiedades de diseño de los disipadores de energía SLB.

Device e	K1 (t/mm)	K2 (t/mm)	dy (mm)	fy (t)	Dy (mm)	Fy (t)	Fmax (t)	Dm (mm)	Ed (t·mm)
SL5-2 2	55.04	1.47	0.250	1.39	0.463	2.58	4.82	1.40	550
SL5-3 3	66.59	1.16	0.250	1.69	0.549	3.32	6.25	1.83	720
SL5-4 4	77.86	1.20	0.357	2.78	0.628	4.89	6.69	2.49	840
SL5-5 5	85.03	0.90	0.357	3.10	0.716	6.09	8.12	3.32	970
SL10-2 2	111.23	2.20	0.250	2.78	0.437	5.68	8.96	1.49	1,090
SL10-3 3	167.58	2.15	0.250	4.19	0.433	8.71	13.10	2.02	1,460
SL10-4 4	201.90	1.12	0.357	6.13	0.540	10.90	13.96	3.16	1,800
SL10-5 5	222.34	1.77	0.321	8.06	0.550	13.46	19.18	4.00	2,160
SL15-2 2	233.10	2.28	0.250	5.82	0.567	13.21	16.61	2.09	1,910
SL15-3 3	298.84	2.38	0.286	8.00	0.565	16.87	20.42	2.64	2,710
SL15-4 4	356.01	2.33	0.286	10.18	0.575	20.41	24.08	3.31	3,250
SL15-5 5	393.07	2.27	0.321	12.61	0.618	24.29	27.68	4.12	3,770
SL20-2 2	302.80	2.46	0.250	7.57	0.536	16.23	19.91	2.30	1,920
SL20-3 3	378.32	2.55	0.268	10.56	0.547	20.94	25.41	2.97	2,820
SL20-4 4	438.10	2.45	0.286	12.95	0.553	26.60	31.53	3.78	3,620
SL20-5 5	469.14	2.50	0.321	17.23	0.553	31.95	35.59	4.69	4,890
SL25-2 2	373.15	2.48	0.250	9.32	0.514	19.18	22.91	2.44	3,050
SL25-3 3	467.98	2.38	0.268	13.28	0.524	25.93	29.76	3.02	4,040
SL25-4 4	556.44	2.55	0.286	17.15	0.542	31.83	37.69	3.83	5,010
SL25-5 5	673.68	2.50	0.321	21.64	0.588	39.64	43.15	4.90	5,970
SL30-2 2	443.78	2.45	0.250	11.09	0.497	22.08	25.88	2.61	3,480
SL30-3 3	590.91	2.58	0.268	15.82	0.513	30.32	35.48	3.22	4,560
SL30-4 4	710.06	2.55	0.286	20.14	0.531	37.82	42.49	4.04	5,630
SL30-5 5	814.97	2.57	0.321	26.13	0.575	46.81	50.62	5.09	7,040
SL40-2 2	593.95	3.15	0.250	14.83	0.490	29.07	33.77	2.89	4,590
SL40-3 3	731.89	3.21	0.268	19.85	0.512	37.93	42.64	3.57	6,150
SL40-4 4	867.55	3.23	0.286	25.14	0.523	51.30	56.45	4.44	7,710
SL40-5 5	981.45	3.17	0.321	32.47	0.553	57.52	62.05	5.55	9,140
SL50-2 2	735.69	3.35	0.250	18.40	0.473	34.87	39.86	3.13	5,420

Device e	K1 (t/mm)	K2 (t/mm)	dy (mm)	fy (t)	Dy (mm)	Fy (t)	Fmax (t)	Dm (mm)	Ed (t·mm)
SL50-3 3	988.89	3.66	0.268	26.52	0.495	48.98	54.40	3.86	7,040
SL50-4 4	1,156.40	3.67	0.286	34.21	0.495	60.25	66.12	4.76	8,650
SL50-5 5	1,392.16	3.77	0.321	44.40	0.563	77.85	82.63	5.96	11,600

Nota. En esta tabla se presentan las propiedades de diseño de los disipadores de energía SLB, proporcionando parámetros fundamentales para evaluar su comportamiento estructural y su capacidad de disipación de energía. Entre los valores más relevantes se encuentran las rigideces K1 y K2, los desplazamientos de fluencia Dy, las fuerzas de fluencia Fv, las deformaciones máximas Dm y la energía disipada. Adaptado de Bozzo, Ramírez, Bairan, Bozzo y Muñoz (2020). https://slbdevices.com/wp-content/uploads/2022/02/17WCEE_Precast-Buildings-equipped-with-SLB-seismic-devices-1.pdf

Por otro lado, los disipadores de menor denominación (SL5, SL10) presentan valores significativamente menores, como el SL5-2, que tiene una rigidez de 55.04 t/mm, una fuerza de fluencia de 1.39 t y una energía disipada de 550 t·mm. Estos valores indican que estos dispositivos están diseñados para estructuras con menores demandas sísmicas o para zonas con menores exigencias estructurales.

Un punto relevante es la variabilidad de los valores de Fmax y Dm, que representan la capacidad máxima de carga y desplazamiento de los disipadores. Se observa que los dispositivos de mayor capacidad pueden alcanzar valores de 82.63 t y desplazamientos superiores a 5.96 mm, mientras que los de menor capacidad tienen valores que oscilan entre 2.58 t y 1.40 mm.

El parámetro Ed (energía disipada) es un indicador clave del desempeño de cada disipador. Dispositivos con mayores valores en esta columna serán más efectivos para reducir la respuesta sísmica en una estructura. En general, la tabla muestra que, a mayor

capacidad y rigidez del disipador, mayor será su energía disipada, confirmando su efectividad en estructuras de gran envergadura.

Finalmente, se destaca el dispositivo SL20-2, resaltado en la tabla, con una rigidez de 302.80 t/mm, una fuerza de fluencia de 7.57 t, una deformación máxima de 19.91 mm y una energía disipada de 1,920 t·mm, lo que lo sitúa en un rango intermedio dentro de los disipadores analizados.

4.5.5 Respuesta sísmica con disipadores de energía

4.5.5.1 Máximos desplazamientos laterales en dirección X

La tabla muestra los máximos desplazamientos laterales en las direcciones X e Y de un edificio de ocho niveles con dispositivos de disipación sísmica, considerando el 100 % de la carga muerta y el 25 % de la carga viva. Se presentan los resultados estructurados por dirección, evidenciando el comportamiento bajo cargas sísmicas.

Tabla 33:

Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	77.833	35.761
Story7	19.2	68.737	32.342
Story6	16.5	58.473	28.148
Story5	13.8	47.392	23.377
Story4	11.1	35.926	18.23
Story3	8.4	24.659	12.96
Story2	5.7	14.298	7.86
Story1	3	5.673	3.29
Base	0	0	0

Nota. Elaboración propia.

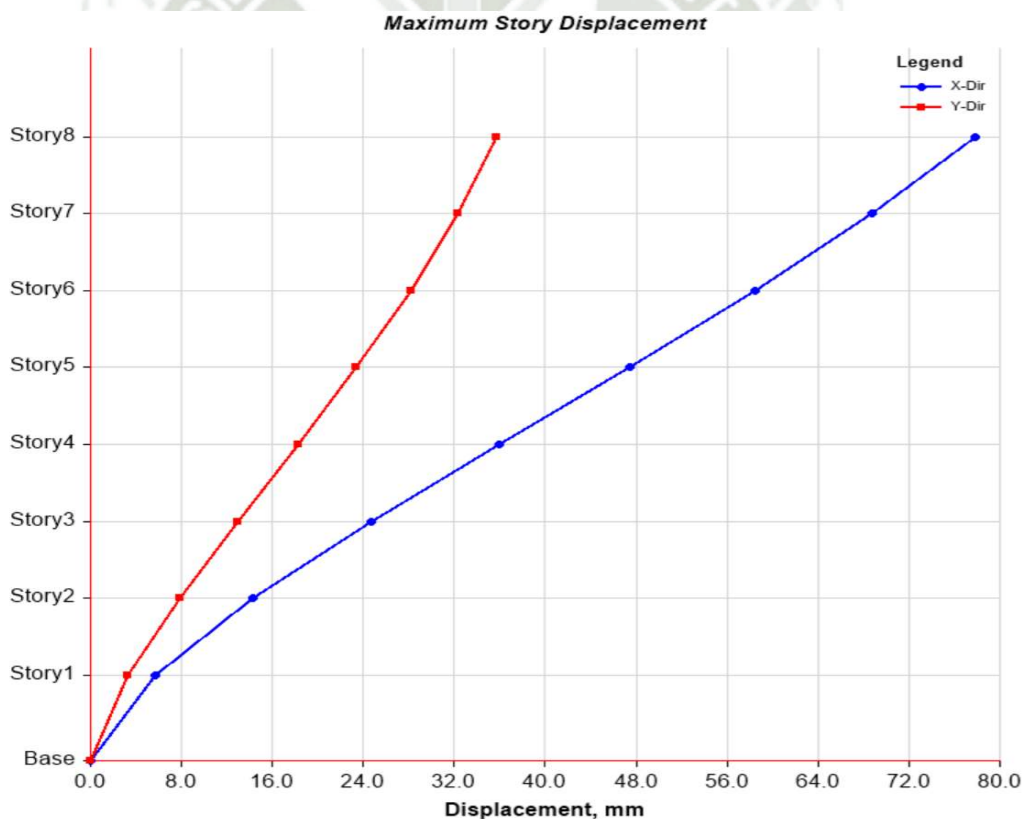
Los valores de la Tabla 33 muestran que el máximo desplazamiento en la dirección X ocurre en el nivel más alto (Story 8) con un valor de 77.833 mm. Conforme se desciende

hacia los niveles inferiores, el desplazamiento disminuye hasta alcanzar 5.673 mm en el primer nivel (Story 1), mientras que en la base (Base), como es esperable, el desplazamiento es nulo.

En la dirección Y, los desplazamientos también siguen un patrón similar, aunque son menores que los valores en la dirección X. El desplazamiento máximo en la dirección Y es de 35.761 mm en el nivel más alto (Story 8).

Figura 66:

Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.



Nota. En esta figura se presenta gráficamente los desplazamientos máximos en la dirección X y Y. El gráfico muestra dos curvas: la curva en color rojo corresponde a los desplazamientos en la dirección X, y la curva en color azul a los desplazamientos en la dirección Y. En ambos casos, los desplazamientos aumentan progresivamente a medida que

se avanza hacia los niveles superiores. El gráfico revela una tendencia más pronunciada en la dirección X, lo que concuerda con los valores tabulados. Elaboración propia.

La mayor pendiente de la curva roja indica mayores desplazamientos en la dirección X, posiblemente debido a la configuración estructural o a una disposición de disipadores más efectiva en la dirección Y.

4.5.5.2 Máximos desplazamientos laterales en dirección Y

En la parte derecha de la imagen se incluye la Tabla 34, que detalla los desplazamientos laterales en la dirección X y Y para cada nivel, pero con un enfoque en los máximos desplazamientos laterales en la dirección Y.

Los valores de la tabla muestran que el máximo desplazamiento en la dirección Y ocurre nuevamente en el nivel superior (Story 8) con un valor de 44.814 mm, mientras que en la dirección X para el mismo nivel el desplazamiento es de 41.724 mm. A medida que se descende hacia los niveles inferiores, el desplazamiento se reduce, alcanzando 14.938 mm en el nivel 3 (Story 3) y valores menores conforme se aproxima a la base.

Tabla 34:

Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.

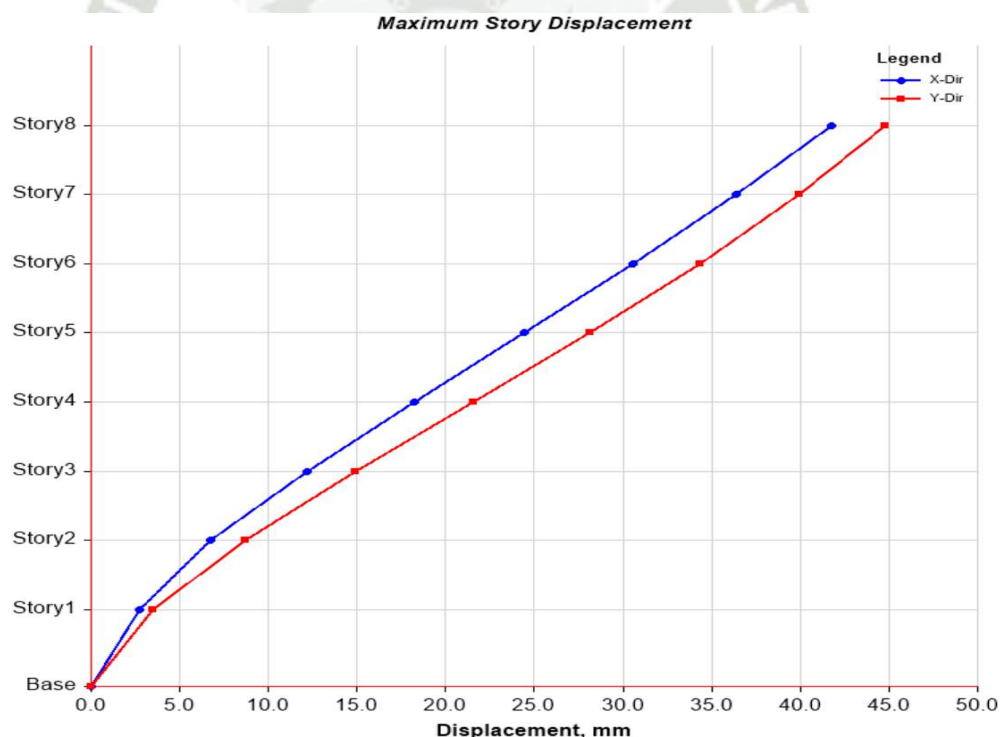
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	41.724	44.814
Story7	19.2	36.366	39.951
Story6	16.5	30.582	34.322
Story5	13.8	24.467	28.107
Story4	11.1	18.221	21.536
Story3	8.4	12.163	14.938
Story2	5.7	6.715	8.734
Story1	3	2.705	3.444
Base	0	0	0

Nota. Se detalla los desplazamientos laterales en la dirección X y Y para cada nivel, como los desplazamientos en la dirección Y tienden a ser mayores que los de la dirección X en los niveles inferiores, lo cual podría ser un indicio de una mayor rigidez lateral en la dirección X en estos niveles. Elaboración propia.

La Figura N°67 muestra gráficamente los desplazamientos máximos en las direcciones Y y X. La curva roja representa la dirección Y y la azul la dirección X. Se observa que en los niveles inferiores, la curva roja es más inclinada, indicando mayores desplazamientos en la dirección Y.

Figura 67:

Máximos desplazamientos laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.



Nota. La curva en color rojo representa los desplazamientos en la dirección Y, mientras que la curva en color azul representa los desplazamientos en la dirección X. Elaboración propia.

El análisis de desplazamientos laterales es un componente crucial en el diseño de estructuras resistentes a sismos, ya que los desplazamientos excesivos pueden comprometer

la estabilidad de la estructura y la seguridad de sus ocupantes. En este caso, los valores presentados en ambas tablas y gráficas reflejan que la estructura presenta desplazamientos significativos en los niveles superiores, especialmente en la dirección X. Sin embargo, estos desplazamientos están dentro de rangos aceptables según las normativas sísmicas, lo que sugiere que los dispositivos de disipación de energía están cumpliendo su función.

Es interesante notar que, aunque los dispositivos de disipación parecen estar más optimizados para reducir los desplazamientos en la dirección Y, la diferencia en los desplazamientos entre las dos direcciones no es demasiado pronunciada. Esto puede ser indicativo de un diseño estructural balanceado, que busca mantener una distribución uniforme de la rigidez lateral en ambas direcciones.

En resumen, los gráficos y tablas presentados en la imagen brindan una visión clara del comportamiento sísmico de la estructura en términos de desplazamientos laterales. Estos datos permiten validar el diseño de los sistemas de disipación de energía y garantizan que la estructura esté preparada para resistir los efectos de un evento sísmico significativo.

4.5.5.3 Máximas distorsiones laterales en dirección X

En la imagen 68, se observan los resultados de un análisis sísmico, específicamente las máximas distorsiones laterales en dos direcciones principales: X e Y, considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva. La imagen está organizada en dos secciones que abordan los desplazamientos y distorsiones laterales en ambas direcciones. El análisis incluye las Tablas 21 y 22, donde se detallan los valores de distorsión lateral para cada nivel de la estructura, y las Figuras N°65 y N°66, que presentan los desplazamientos lateralmente en gráficos, tanto en la dirección X como en la dirección Y.

Tabla 35:

Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m		
Story8	21.9	0.00339	0.00130
Story7	19.2	0.00383	0.00160
Story6	16.5	0.00413	0.00181
Story5	13.8	0.00427	0.00194
Story4	11.1	0.00419	0.00197
Story3	8.4	0.00385	0.00190
Story2	5.7	0.00320	0.00170
Story1	3	0.00189	0.00110
Base	0	0	0

Nota. En esta tabla se describe los valores de distorsión lateral en la dirección X (X-Dix) y en la dirección Y (Y-Dix) para cada uno de los ocho niveles de la estructura. Elaboración propia.

Los valores tabulados indican que la máxima distorsión lateral en la dirección X ocurre en el nivel (Story 5), con un valor de 0.00427 radianes. Conforme se desciende en la estructura, estos valores de distorsión disminuyen significativamente. Por ejemplo, en el primer nivel (Story 1), la distorsión alcanza 0.0019 radianes. En la base, como es esperable, la distorsión es cero.

En cuanto a la distorsión lateral en la dirección Y para estos mismos niveles, los valores son generalmente menores. La distorsión en esta dirección es de 0.0013 radianes en el nivel más alto, disminuyendo de manera similar a medida que se baja a niveles inferiores, donde en el primer nivel es de 0.0011 radianes.

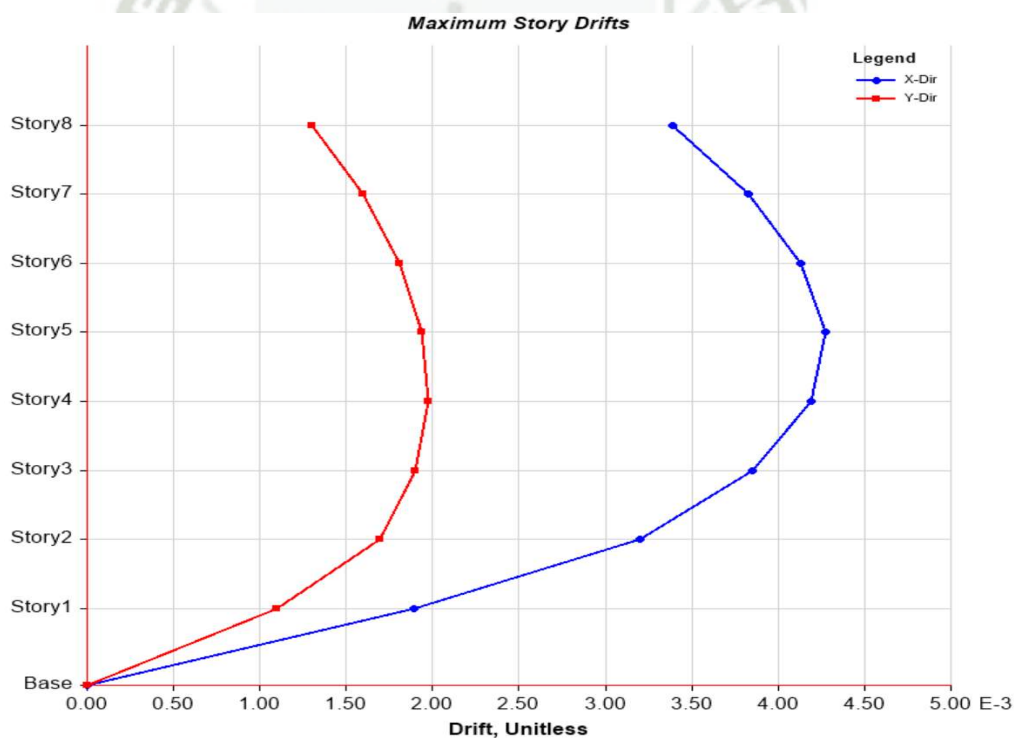
La Figura N°68 muestra gráficamente el comportamiento de las distorsiones en la dirección X y Y. El gráfico representa dos curvas: la curva en color rojo corresponde a la

distorsión en la dirección X, y la curva en color azul representa la distorsión en la dirección Y.

En el gráfico 68, se puede observar que la distorsión lateral es mayor en la dirección X, especialmente en los niveles superiores, lo que coincide con los valores tabulados en la Tabla 35. La curva roja muestra una inclinación más pronunciada, lo que sugiere que la estructura experimenta una mayor deformación en la dirección X bajo las mismas condiciones de carga.

Figura 68:

Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección X.



Nota. La curva azul de la dirección Y es más plana, lo que indica que los valores de distorsión en esta dirección son menores. Esto podría deberse a una mayor rigidez lateral en la dirección Y, tal vez debido a la configuración de los elementos estructurales o la disposición de los dispositivos de disipación. Elaboración propia.

4.5.5.4 Máximas distorsiones laterales en dirección Y

En la sección derecha de la imagen, se encuentra la Tabla 36, que presenta los valores de distorsión lateral en la dirección Y (Y-Dix) y en la dirección X (X-Dix) para cada nivel de la estructura.

En la dirección Y, los valores de distorsión son mayores en comparación con los de la dirección X. La máxima distorsión lateral ocurre en el nivel superior (Story 5), con un valor de 0.0023 radianes, mientras que en los niveles inferiores los valores disminuyen de manera considerable.

Tabla 36:

Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.00200	0.00182
Story7	19.2	0.00216	0.00210
Story6	16.5	0.00228	0.00232
Story5	13.8	0.00232	0.00245
Story4	11.1	0.00225	0.00245
Story3	8.4	0.00202	0.00230
Story2	5.7	0.00160	0.00196
Story1	3	0.00090	0.00115
Base	0	0	0

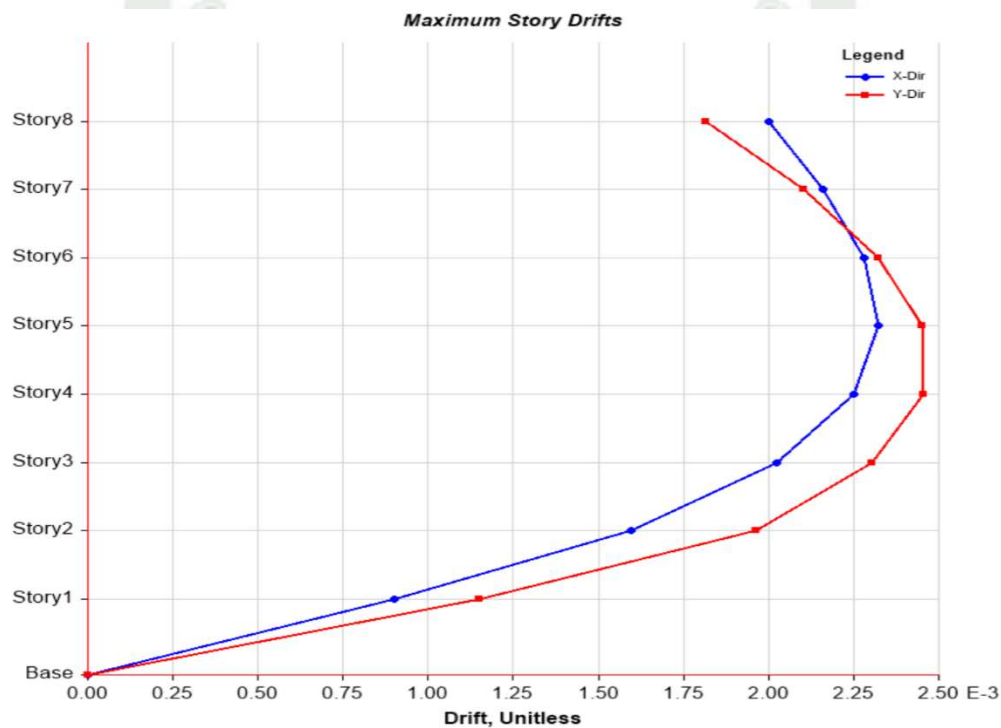
Nota. En la dirección X, los valores son similares a los observados en la Tabla 21, con la mayor distorsión ocurriendo en el nivel 5 con 0.0023 radianes, disminuyendo hasta 0.0009 radianes en el nivel más bajo. Elaboración propia.

En el gráfico 69, las distorsiones en la dirección Y son nuevamente más pronunciadas en los niveles superiores, pero los valores siguen siendo más bajos en comparación con la dirección X. La curva azul, que representa la dirección Y, muestra un comportamiento

menos inclinado, lo que implica que la estructura tiene un mejor desempeño en términos de deformación en esta dirección.

Figura 69:

Máximas distorsiones laterales obtenidos en direcciones X e Y debido a la acción del sismo en dirección Y.



Nota. Se muestra las distorsiones laterales en la dirección Y y en la dirección X, se presentan dos curvas, una curva roja que representa la dirección X y una curva azul que representa la dirección Y. Elaboración propia.

La curva roja para la dirección X es más inclinada, lo que sugiere que, aunque los valores de distorsión en la dirección X son más elevados, siguen siendo manejables y dentro de los límites aceptables de diseño estructural.

Los resultados obtenidos tanto en las tablas como en los gráficos muestran que la estructura experimenta mayores distorsiones laterales en la dirección X que en la dirección Y, lo cual puede estar relacionado con una mayor flexibilidad en la dirección X o con la

disposición de los elementos estructurales y dispositivos de disipación de energía. Sin embargo, los valores observados están dentro de los rangos típicamente aceptables para estructuras sometidas a cargas sísmicas.

Es importante resaltar que las distorsiones laterales, también conocidas como drift, son un factor crítico en el diseño sismorresistente. Los valores excesivos pueden comprometer no solo la estabilidad de la estructura, sino también la seguridad de los ocupantes y el mobiliario interior. En este análisis, los desplazamientos y distorsiones observados, aunque mayores en la dirección X, son controlables mediante los dispositivos de disipación de energía empleados.

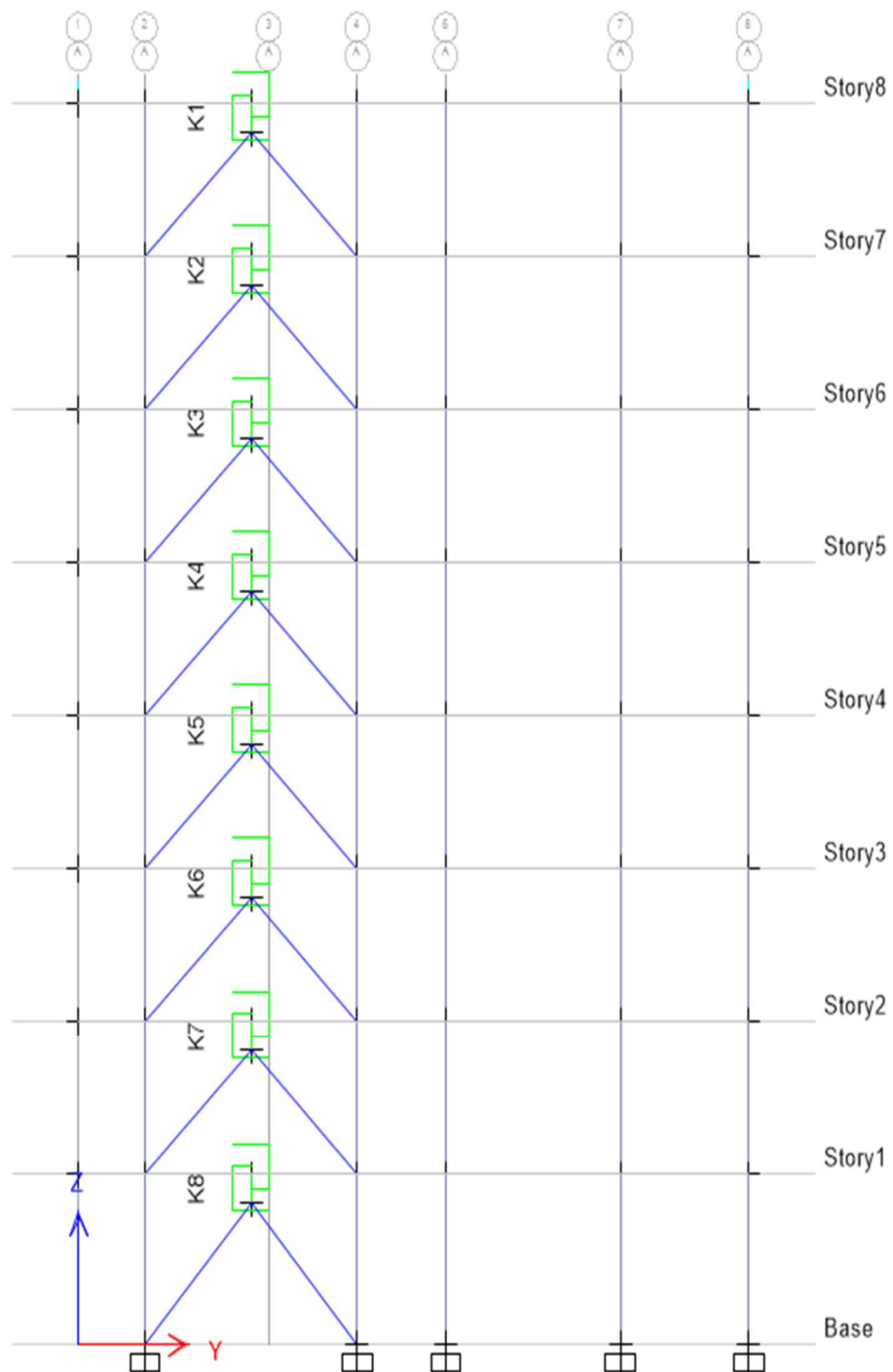
Por lo tanto, los resultados reflejan un comportamiento estructural adecuado bajo las condiciones de carga consideradas, garantizando un buen desempeño ante eventos sísmicos y cumpliendo con los requisitos normativos de desplazamiento y distorsión.

4.5.6 Respuesta no lineal tiempo historia

4.5.6.1 Ubicación de los disipadores de energía

Figura 70:

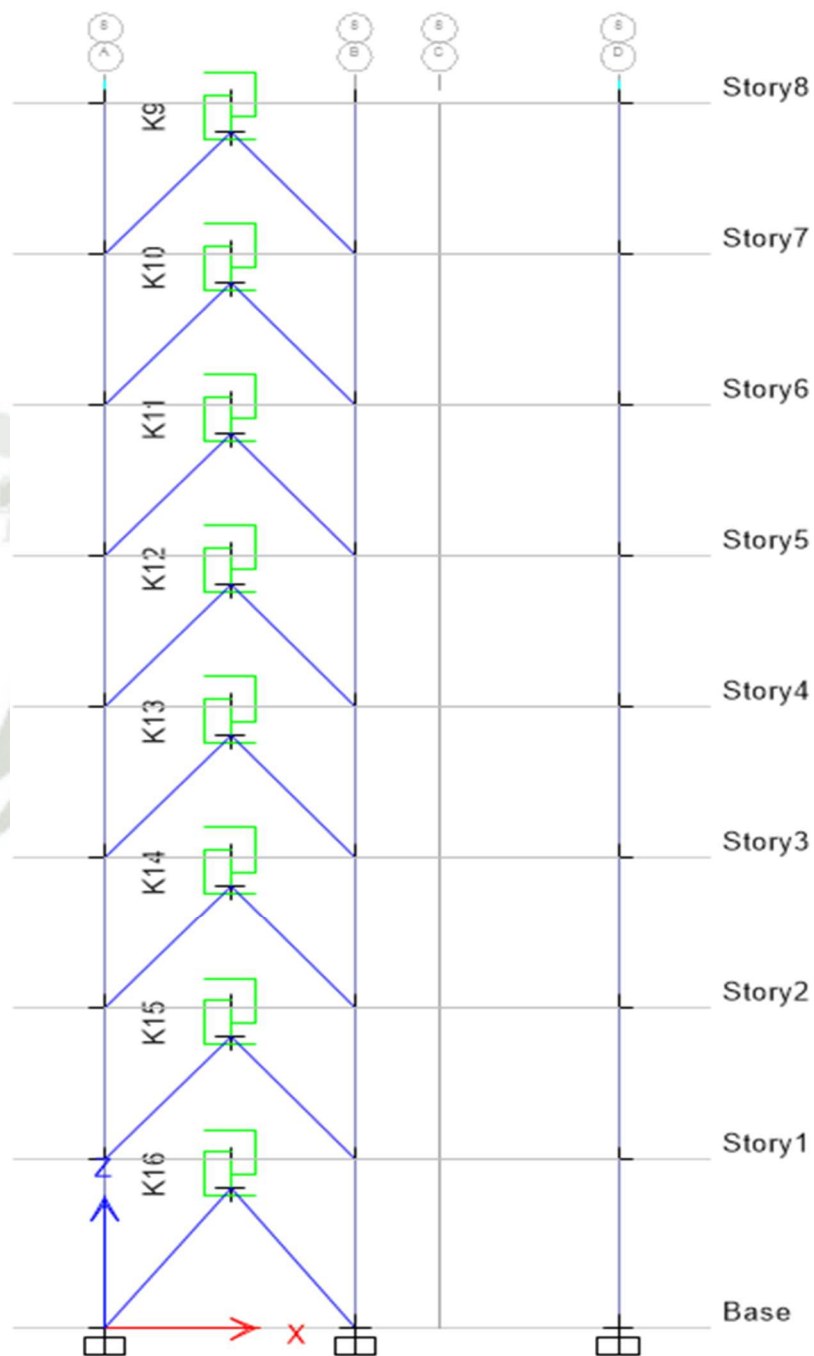
Nombre de los disipadores de energía ubicados en el eje A



Nota. Elaboración propia.

Figura 71:

Nombre de los dispositivos de disipación de energía ubicados en el eje 8.

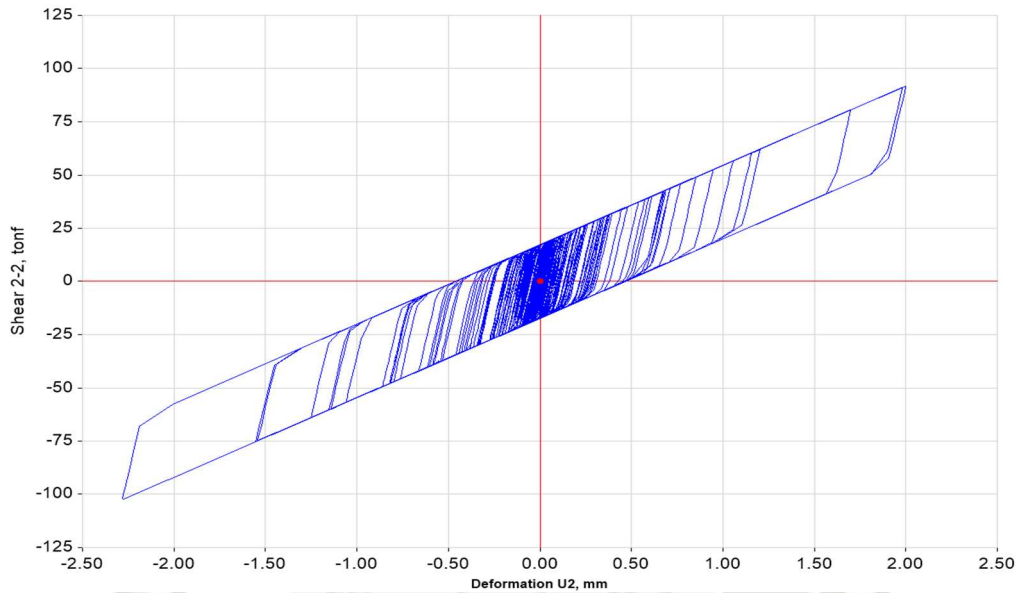


Nota. Elaboración propia.

4.5.6.2 Respuesta no lineal de los dispositivos

Figura 72:

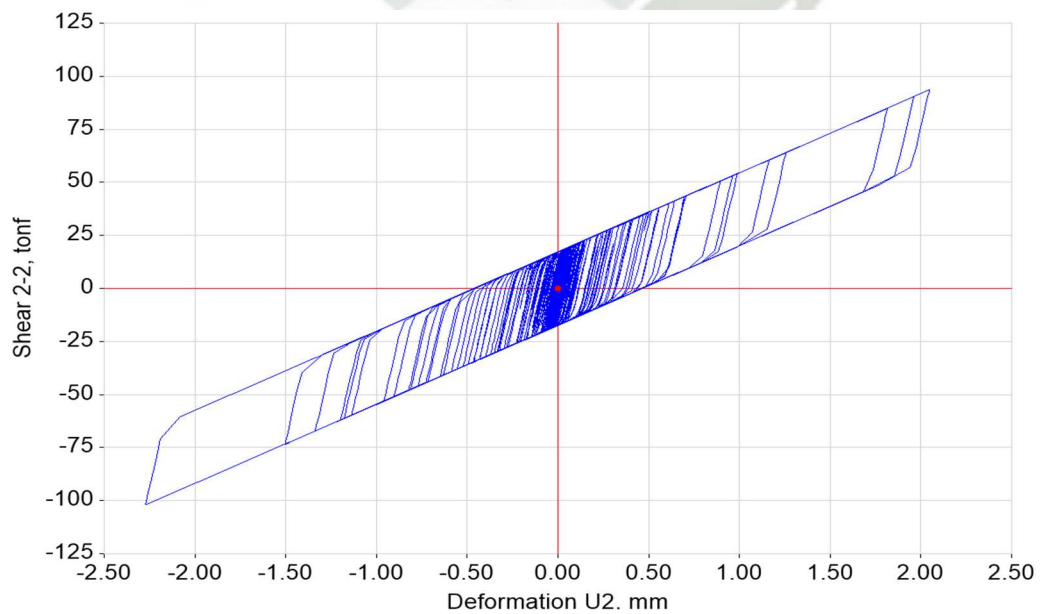
Comportamiento histérico del disipador K16 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 73:

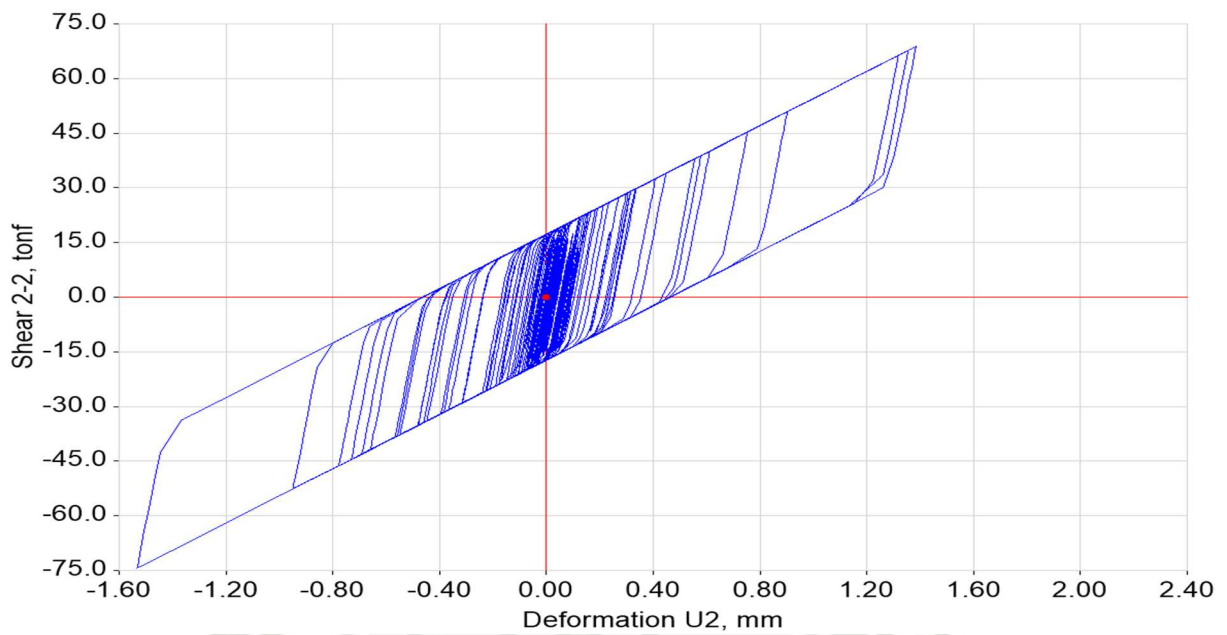
Comportamiento histérico del disipador K14 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 74:

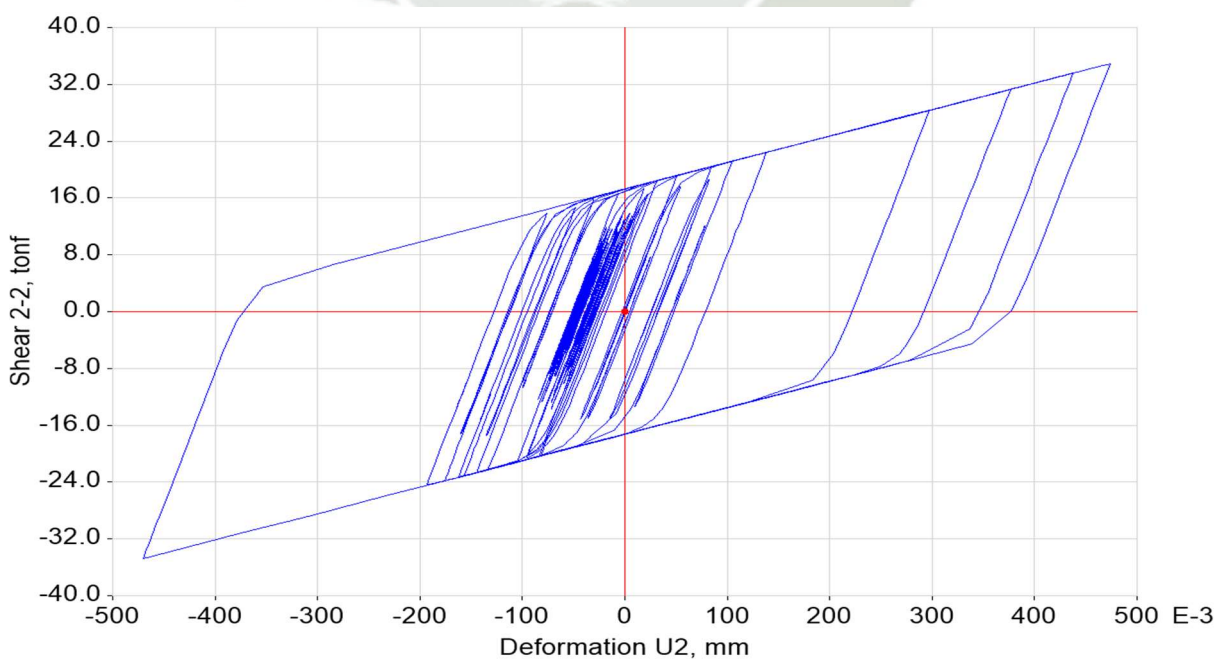
Comportamiento histórico del disipador K12 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 75:

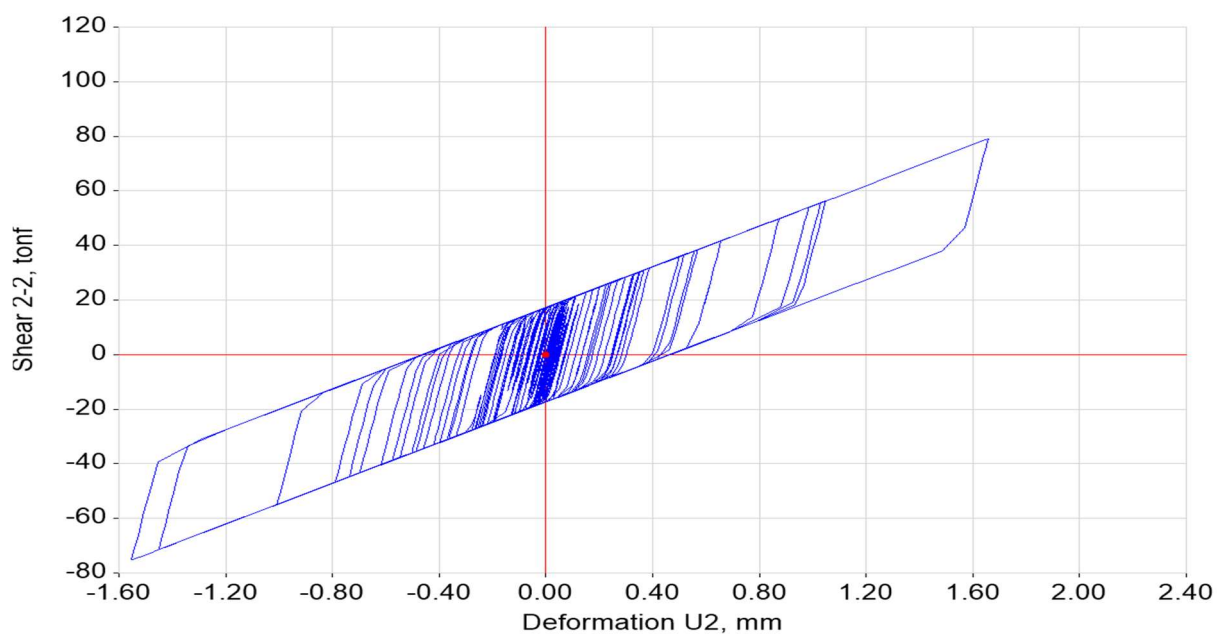
Comportamiento histórico del disipador K10 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 76:

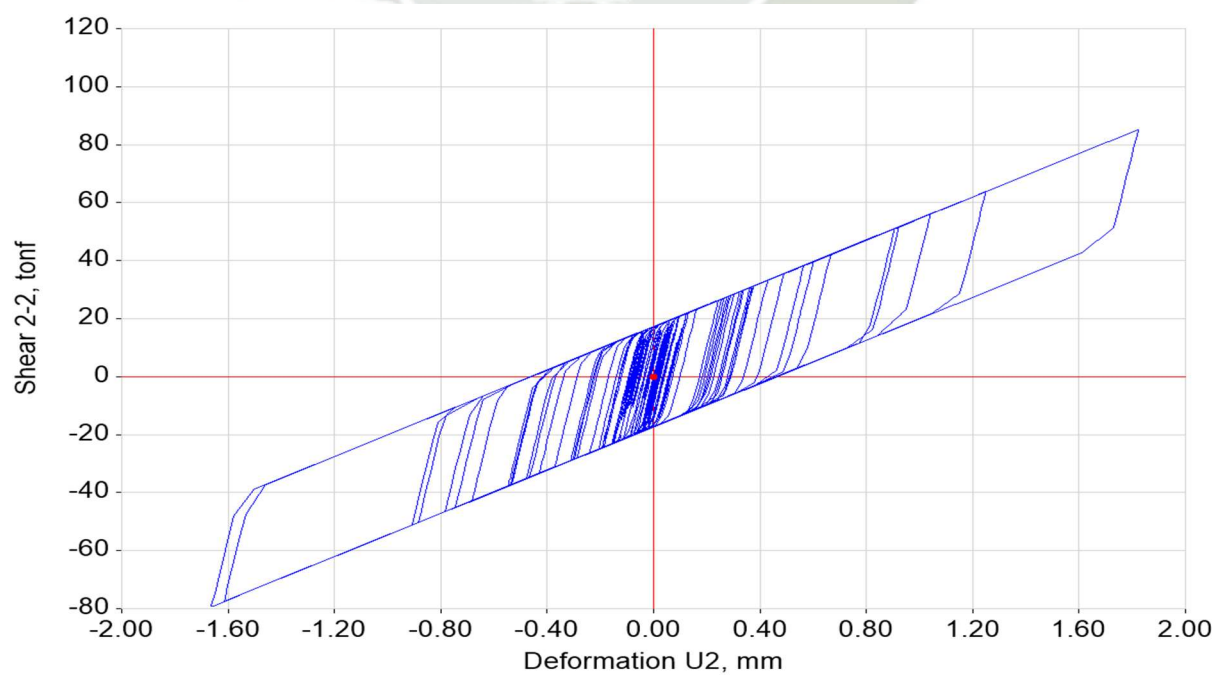
Comportamiento histórico del disipador K8 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 77:

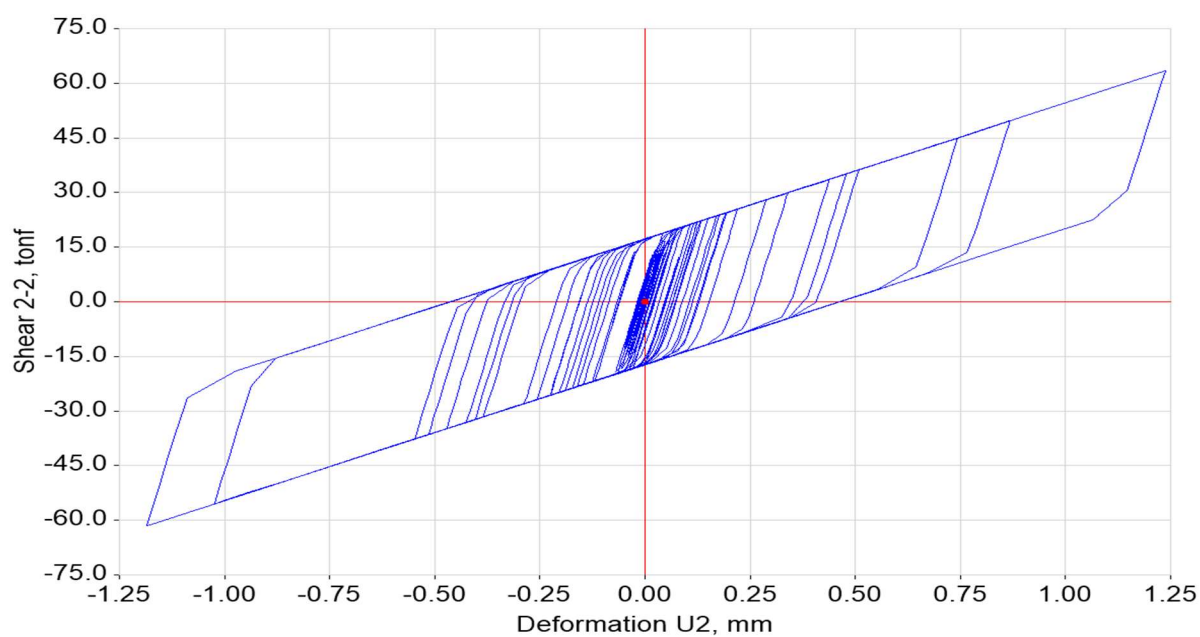
Comportamiento histórico del disipador K6 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 78:

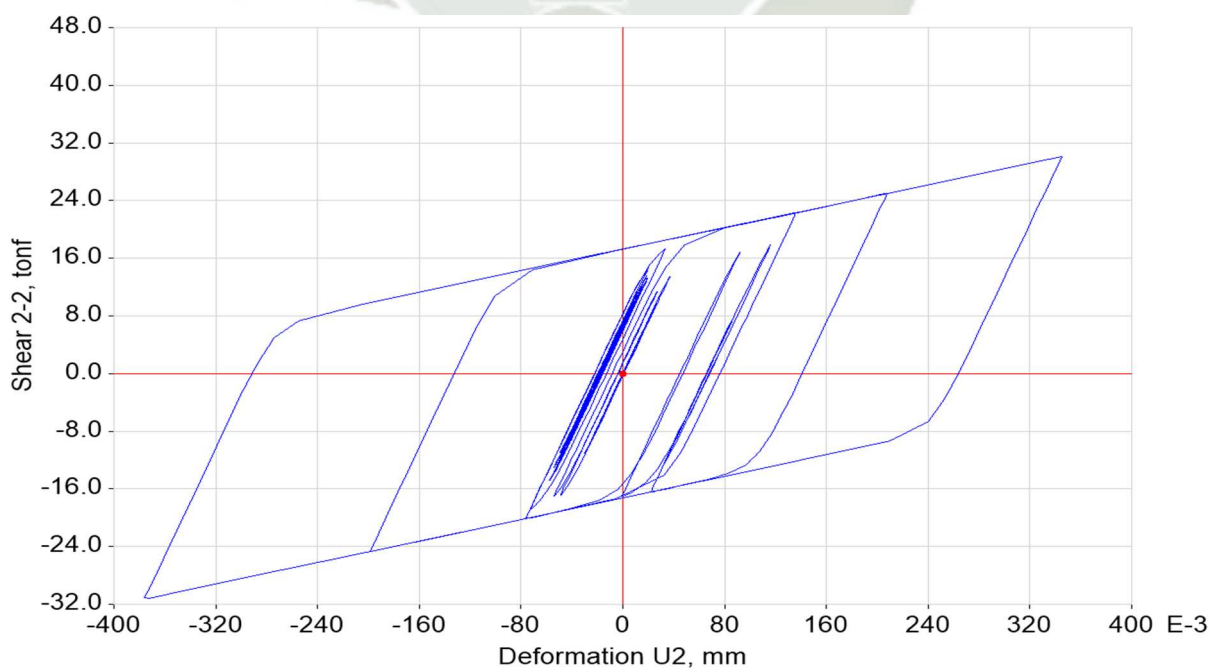
Comportamiento histórico del disipador K4 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

Figura 79:

Comportamiento histórico del disipador K2 ante el sismo de Pisco 2007



Nota. Elaboración propia.

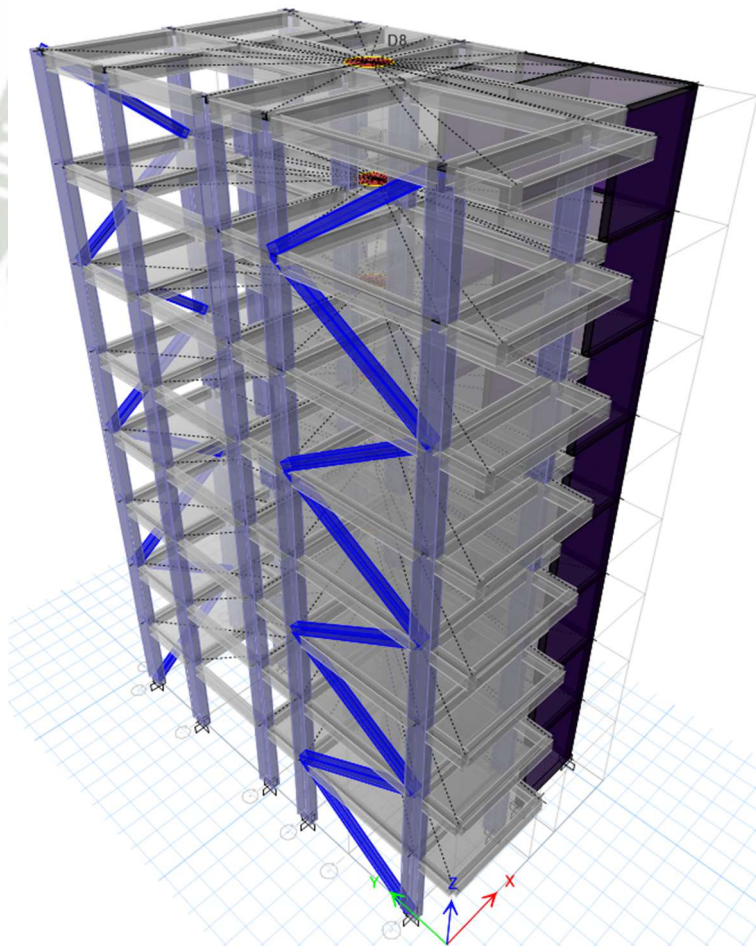
4.6 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS QUAKETEK

4.6.1 Modelamiento estructural del sistema con disipadores de fricción

La Figura 80 muestra el modelamiento estructural de un edificio de varios niveles, en el cual se han incorporado disipadores de energía tipo Quaketek en ambas direcciones principales (X e Y). Los disipadores, representados en color azul, se encuentran ubicados en los pórticos laterales de la edificación, formando configuraciones en diagonal.

Figura 80:

Modelamiento estructural de la edificación analizada con los disipadores de energía SLB en dos direcciones X e Y.



Nota. Se incorpora disipadores de energía tipo SLB en ambas direcciones principales (X y Y). Elaboración propia.

El uso de estos dispositivos sugiere que la edificación ha sido diseñada con el objetivo de **mejorar su desempeño sísmico**, ya que los disipadores de fricción SLB contribuyen a la disipación de energía inducida por cargas dinámicas, como las generadas por un sismo. Al estar distribuidos en ambas direcciones, se espera que la estructura tenga un mejor control de desplazamientos y una reducción significativa en las fuerzas internas de los elementos estructurales principales, como columnas y vigas.

El modelamiento ha sido realizado en un software de análisis estructural avanzado, que permite evaluar la interacción entre los disipadores y la estructura principal. Además, se observa una representación tridimensional con un mallado en el suelo, lo que indica que el análisis incluye restricciones de apoyo y posibles condiciones de frontera.

En cuanto a las propiedades direccionales, se presentan opciones para definir rigideces en tres direcciones de traslación (U_1 , U_2 , U_3) y tres direcciones de rotación (R_1 , R_2 , R_3). Actualmente, no se han marcado restricciones fijas ni no lineales, lo que indica que aún no se han asignado completamente las propiedades direccionales del disipador. En la sección de opciones de rigidez, se especifica la rigidez efectiva desde cero, lo que implica que el modelo considera el disipador con un comportamiento elástico inicial antes de entrar en régimen no lineal, y se define la rigidez inicial como K_0 , que representa la pendiente inicial de la curva de fuerza-desplazamiento del disipador.

Figura 81:

Definición de los disipadores de fricción Quaketek

General

Link Property Name: Link1

Link Type: Plastic (Wen)

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...

None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 tonf-s²/m

Weight: 0 tonf

Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 0.001 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 0 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties
☒ U1	☐	☒	Modify/Show for U1...
☐ U2	☐	☐	Modify/Show for U2...
☐ U3	☐	☐	Modify/Show for U3...

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

Nota. Se muestra la interfaz de configuración de una propiedad de enlace no lineal (Link) en un software de análisis estructural, utilizada para modelar disipadores de fricción Quaketek. En la sección general, se define el nombre del enlace como "Link1" y se selecciona el tipo de enlace "Plastic (Wen)". Elaboración propia.

La Figura 82 indica que se está modelando un comportamiento histerético basado en la regla de Wen-Bouc, comúnmente utilizada para representar sistemas de disipación de energía. También se incluyen opciones para definir notas y criterios de aceptación, aunque no se ha especificado ninguno. En la sección de masa y peso, se observa que ambos valores se han definido en cero, lo que sugiere que el disipador se modela sin considerar efectos inerciales adicionales.

Desde un punto de vista técnico, la configuración mostrada corresponde a la definición de un disipador de fricción Quaketek, que se comportara de manera histerética al disipar energía mediante ciclos de carga y descarga. El uso del modelo "Plastic (Wen)" es adecuado para representar dispositivos con fricción controlada, permitiendo evaluar su efecto en la reducción de desplazamientos y fuerzas internas en la estructura. Para completar el modelo, se debería especificar los valores de rigidez y resistencia del disipador en cada dirección relevante (U1, U2, U3), los parámetros de amortiguamiento viscoso si se requiere evaluar disipación de energía dependiente de la velocidad, y las restricciones o condiciones de frontera que definen cómo interactúa el disipador con la estructura principal. En general, esta configuración permite evaluar el desempeño sísmico del disipador Quaketek en un modelo estructural, ayudando a optimizar su ubicación y calibrar su efectividad en la reducción de demandas sísmicas sobre la edificación.

Figura 82:

Definición de las propiedades mecánicas del disipador de fricción.

Link/Support Directional Properties		
Identification		
Property Name	Link 1	
Direction	U1	
Type	Plastic (Wen)	
NonLinear	Yes	
Linear Properties		
Effective Stiffness	58580	tonf/m
Effective Damping	0	tonf-s/m
Nonlinear Properties		
Stiffness	58580	tonf/m
Yield Strength	15	tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.0001	
Yielding Exponent	10	
OK Cancel		

Nota. Se muestra la definición de las propiedades mecánicas del disipador de fricción modelado como un enlace no lineal en la dirección U1, utilizando la formulación "Plastic (Wen)". Este modelo es adecuado para representar el comportamiento histerético del disipador, permitiendo simular la disipación de energía mediante ciclos de carga y descarga. Elaboración propia.

En la sección de **propiedades lineales**, se define una rigidez efectiva de 5,858 tonf/m, lo que representa la rigidez inicial del sistema antes de entrar en el régimen no lineal. Además, el amortiguamiento efectivo se ha establecido en cero, lo que indica que el disipador no está considerando efectos de amortiguamiento viscoso en este modelo específico.

En la sección de **propiedades no lineales**, la rigidez inicial del material se ha definido como 58,580 tonf/m, significativamente mayor que la rigidez efectiva, lo que sugiere que el modelo considera una alta rigidez inicial antes de alcanzar el umbral de fluencia. La resistencia de fluencia (Yield Strength) está fijada en 15 tonf, lo que significa que una vez que la fuerza alcanza este valor, el disipador comenzará a experimentar un comportamiento plástico. El **Post Yield Stiffness Ratio** es de 0.0001, lo que indica que, después de la fluencia, la rigidez del disipador se reduce a un valor prácticamente insignificante, permitiendo que el elemento disipe energía de manera eficiente sin ofrecer una resistencia considerable adicional. Finalmente, el **Yielding Exponent** de 10 sugiere una transición relativamente brusca entre el comportamiento elástico y el plástico, lo que indica que el disipador cambiará de estado con una deformación relativamente baja.

4.6.2 Respuesta modal con disipadores Quaketek

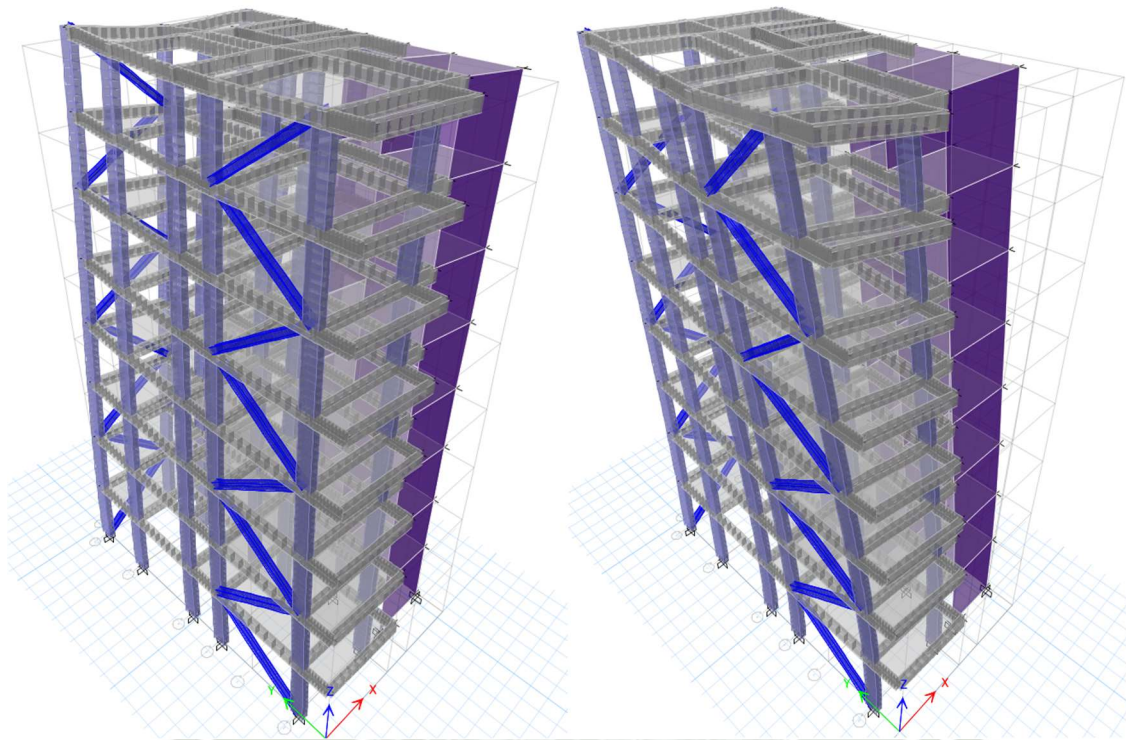
La Figura 83 presenta las dos primeras formas modales de la estructura con disipadores de fricción Quaketek, lo que permite analizar su comportamiento dinámico frente a excitaciones sísmicas. En ambas imágenes, las deformaciones han sido amplificadas

para resaltar la respuesta estructural, destacando en azul las zonas de mayor deformación. Se observa que los disipadores de fricción han sido estratégicamente ubicados en los pórticos, lo que sugiere que su función principal es controlar la respuesta sísmica mediante la disipación de energía en las conexiones estructurales. Este tipo de dispositivos es clave para reducir la demanda de fuerzas en los elementos estructurales principales y limitar desplazamientos excesivos durante eventos sísmicos.

En cuanto al análisis modal, la tabla muestra que el primer modo de vibración tiene un período de 0.484 segundos, con una contribución modal predominante en la dirección UX (0.602), mientras que en UY (0.053) y RZ (0.073) los valores son menores. Esto indica que la estructura tiende a oscilar principalmente en la dirección X en este primer modo. Por otro lado, el segundo modo presenta un período de 0.399 segundos y una contribución modal de 0.444 en la dirección UY, lo que sugiere que este modo es principalmente traslacional en la dirección Y. Además, el valor de RZ (0.184) indica una ligera influencia torsional en este segundo modo, lo que debe considerarse en el diseño estructural para evitar efectos no deseados.

Figura 83:

Primera y segunda de formas de modo del sistema estructural con disipadores de fricción Quaketek.



Nota. Análisis de la estructura con las dos primeras formas modales de la estructura con disipadores de fricción Quaketek. Elaboración propia.

El análisis de los modos superiores revela una reducción progresiva en los períodos modales, desde 0.484 s en el primer modo hasta 0.07 s en el séptimo, lo que indica que la estructura posee una rigidez considerable. A medida que se avanza en los modos superiores, se observa un incremento en la componente torsional RZ, lo que implica que la estructura podría experimentar efectos torsionales significativos en ciertos modos de vibración. Este comportamiento puede ser crítico en estructuras irregulares o asimétricas, ya que la torsión puede amplificar las fuerzas internas y los desplazamientos laterales, incrementando el riesgo de daños estructurales.

Tabla 37:

Características modales de la estructura considerada y los periodos asociados.

Modo	Periodo sec	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ	SumRZ
1	0.484	0.602	0.053	0.602	0.053	0.073	0.073
2	0.399	0.097	0.444	0.699	0.497	0.184	0.257
3	0.281	0.004	0.227	0.704	0.724	0.478	0.735
4	0.133	0.092	0.043	0.795	0.767	0.038	0.773
5	0.103	0.088	0.077	0.883	0.843	0.015	0.788
6	0.075	0.002	0.055	0.885	0.899	0.129	0.917
7	0.07	0.001	0.002	0.886	0.900	0.000	0.917
8	0.067	0.020	0.026	0.906	0.926	0.001	0.918
9	0.064	0.002	0.000	0.908	0.926	0.003	0.920
10	0.057	0.000	0.000	0.908	0.927	0.000	0.920
11	0.053	0.000	0.000	0.908	0.927	0.000	0.920
12	0.052	0.000	0.001	0.908	0.928	0.002	0.923
13	0.051	0.001	0.000	0.909	0.929	0.000	0.923
14	0.048	0.004	0.000	0.912	0.929	0.000	0.923
15	0.048	0.013	0.004	0.925	0.933	0.001	0.923
16	0.048	0.003	0.000	0.929	0.933	0.001	0.924

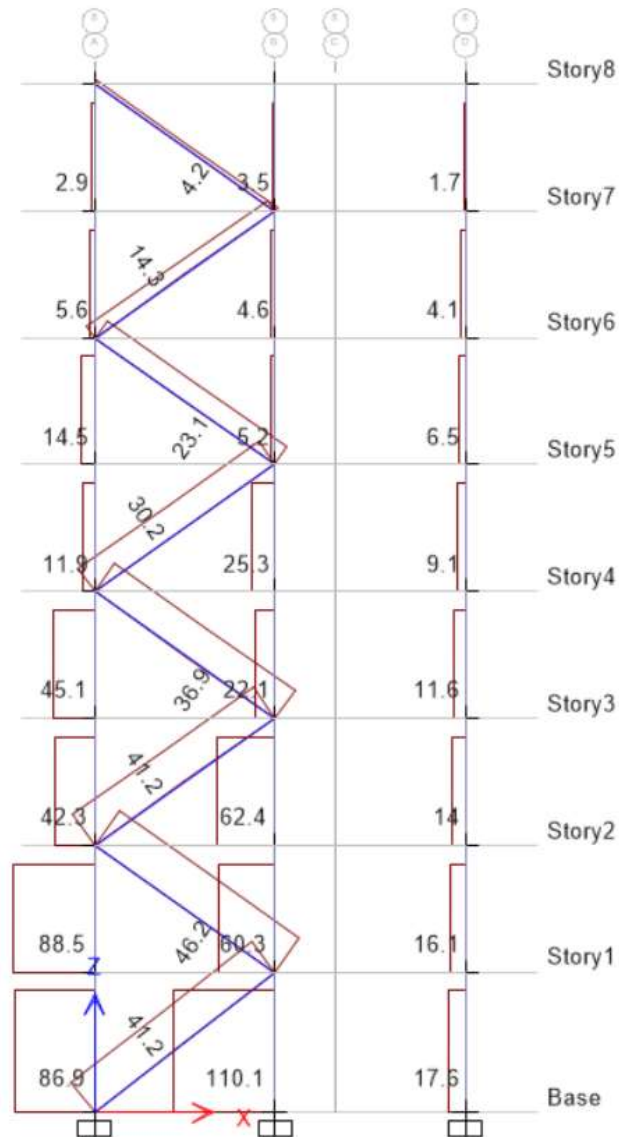
Nota. Elaboración propia.

4.6.3 Diseño de elementos Quaketek por fricción en dirección X

La imagen mostrada corresponde a la **Figura 84**, la cual representa el diseño de los elementos disipadores de fricción **Quaketek** en la dirección **X**, detallando las fuerzas axiales demandadas en cada uno de ellos debido a la acción sísmica en esta dirección.

Figura 84:

Fuerzas axiales demandadas en cada uno de los disipadores de fricción por la acción del sismo en X.



Nota. Se puede observar un sistema estructural compuesto por una serie de disipadores de fricción en disposición tipo diagonal que conectan los diferentes niveles de la estructura. La disposición de los valores numéricos indica las fuerzas axiales que experimenta cada disipador, las cuales varían en función de la altura. Elaboración propia.

Se destaca un **patrón decreciente de las fuerzas axiales conforme se asciende en la estructura**. En la base, los disipadores experimentan las mayores fuerzas axiales, con

valores de **86.9 t y 110.1 t**, lo que indica una concentración significativa de esfuerzos en los niveles inferiores. Conforme se sube en la edificación, los valores se reducen progresivamente hasta alcanzar fuerzas de aproximadamente **2.9 t y 3.5 t en el nivel superior**. Esta tendencia es esperada, ya que las cargas sísmicas tienden a acumularse en los niveles más bajos debido a la transmisión de esfuerzos desde los pisos superiores.

El uso de colores en la figura sugiere una diferenciación entre esfuerzos de tracción y compresión en los disipadores, lo cual es relevante para el diseño y desempeño sísmico de la estructura. Las flechas azules y rojas en la base podrían representar la dirección de las reacciones en la cimentación debido a la acción sísmica.

En términos de **diseño estructural**, la correcta distribución de los disipadores y su capacidad para disipar energía por fricción resulta clave para **reducir los desplazamientos y minimizar daños en la estructura**. La información de la imagen respalda los valores presentados en la **Tabla 38**, donde los disipadores inferiores requieren mayores capacidades de carga y disipación de energía, mientras que los superiores presentan esfuerzos menores.

La **Tabla 38** presenta las fuerzas axiales actuantes en los disipadores de fricción, sus fuerzas de diseño, las áreas requeridas y las cargas transversales asociadas. Se observa que las cargas axiales disminuyen conforme se asciende en la estructura, lo que indica que los disipadores inferiores absorben la mayor parte de la energía sísmica. El disipador 1 en la base soporta 41.2 toneladas, mientras que el disipador 8, ubicado en el nivel superior, solo 4.2 toneladas. Esto es consistente con el comportamiento esperado en sistemas de disipación de energía, donde los niveles inferiores concentran mayores esfuerzos.

Las fuerzas de diseño son aproximadamente el 75% de las cargas axiales actuantes, lo que sugiere la aplicación de un coeficiente de reducción en el diseño estructural para garantizar la seguridad. En función de estas fuerzas, el área requerida de los disipadores

varía, siendo mayor en la base (19.682 cm² para el dispositivo 1) y menor en los niveles superiores (2.006 cm² en el dispositivo 8), lo que indica un dimensionamiento progresivo acorde a los esfuerzos demandados.

Tabla 38:

Fuerzas axiales actuantes, fuerzas de diseño y áreas requeridas.

Dispositivo	Carga Axial (t)	F. Diseño (t)	A. Requerida (cm ²)	Carga transversal (t)
1	41	30.90	19.682	68.89
2	46	34.65	22.070	77.25
3	41	30.90	19.682	68.89
4	37	27.68	17.627	61.69
5	30	22.65	14.427	50.49
6	23	17.33	11.035	38.62
7	14	10.73	6.831	23.91
8	4	3.15	2.006	7.02

Nota. Se presenta las fuerzas axiales actuantes en los disipadores de fricción, sus fuerzas de diseño, las áreas requeridas y las cargas transversales asociadas. Elaboración propia.

La carga transversal también sigue esta tendencia, con valores elevados en los niveles inferiores (68.89 toneladas en el disipador 1) y menores en los superiores (7.02 toneladas en el disipador 8), lo que confirma que las fuerzas sísmicas transmitidas desde los niveles superiores son absorbidas progresivamente por los disipadores inferiores. Comparando con la **Tabla 38**, se observa un incremento en las cargas axiales y áreas requeridas, lo que podría deberse a un análisis bajo un escenario sísmico más severo o a la inclusión de efectos adicionales en el diseño.

4.6.4 Diseño de elementos Quaketek por fricción en dirección Y

La Figura 81 presenta la distribución de las fuerzas axiales en los disipadores de fricción Quaketek dentro de un pórtico estructural, con unidades expresadas en toneladas (t) y metros (m). Se observa una disposición en configuración de contraventeo en zigzag, la

cual permite una disipación eficiente de la energía sísmica mediante la fricción controlada en los nodos de conexión. Los valores de las fuerzas axiales indican la magnitud de la carga transmitida a través de la estructura, mostrando diferencias significativas entre los niveles inferiores y superiores.

En la base del sistema, los disipadores registran las mayores fuerzas axiales, alcanzando valores cercanos a 28.5 t y 30.2 t, lo cual es coherente con la concentración de esfuerzos sísmicos en los niveles más bajos debido a la transferencia de cargas desde los pisos superiores. Conforme se asciende en la estructura, los valores de las fuerzas disminuyen progresivamente, llegando a ser menores a 4 t en los pisos más altos.

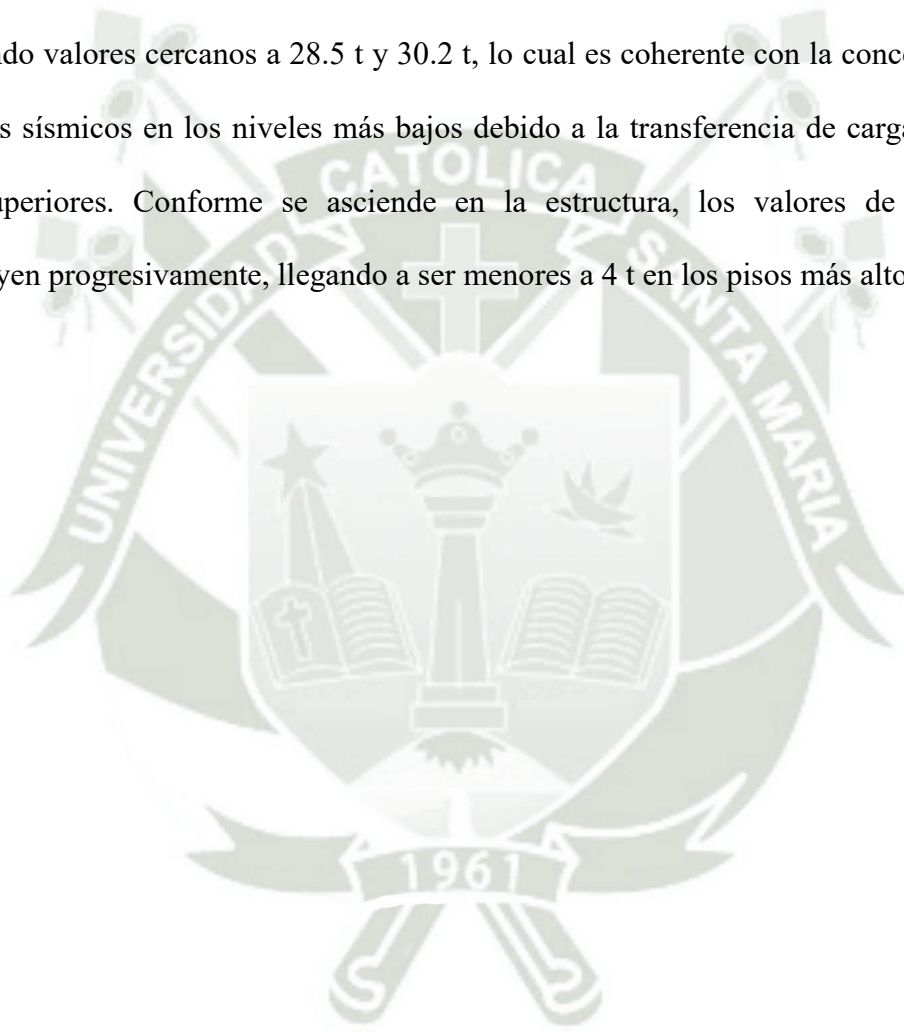
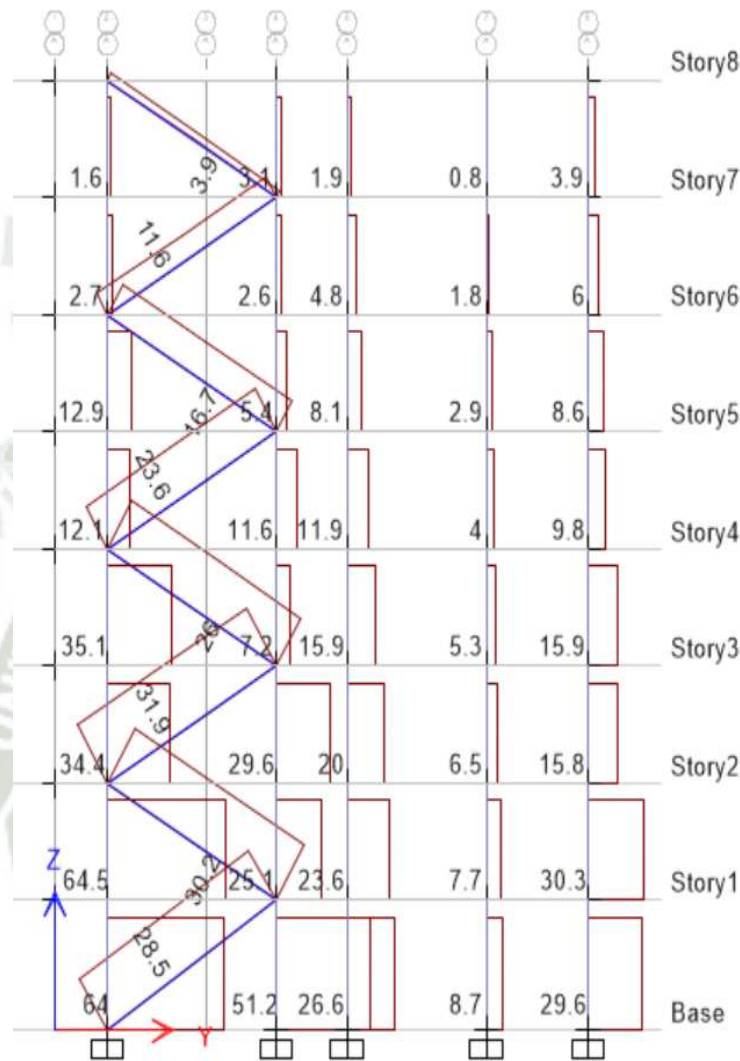


Figura 85:

Fuerzas axiales actuantes en los disipadores de fricción Quaketek.



Nota. Se presenta la distribución de las fuerzas axiales en los disipadores de fricción Quaketek dentro de un pórtico estructural. Esta distribución confirma que los disipadores están funcionando de manera adecuada, absorbiendo y disipando energía en los puntos críticos del edificio. Elaboración propia.

Es importante notar que las fuerzas axiales varían entre los elementos diagonales de cada nivel, lo que puede deberse a la dirección dominante del sismo o a efectos de torsión en la edificación. La presencia de valores asimétricos en algunos pisos sugiere que la respuesta estructural podría estar influenciada por diferencias en la rigidez del pórtico en

ambas direcciones, lo que podría generar concentraciones de esfuerzos en ciertas zonas. Esto debe ser analizado en mayor detalle para garantizar un comportamiento óptimo del sistema y prevenir sobrecargas en los disipadores.

La **Tabla 39** presenta las fuerzas axiales requeridas en los disipadores de fricción existentes en la estructura, expresadas en toneladas (t). Se incluyen además la fuerza de diseño (F. Diseño), el área requerida de los elementos en centímetros cuadrados (A. Requerida) y la carga transversal asociada a cada dispositivo. El análisis de estos datos permite evaluar la demanda de carga en los disipadores y su capacidad para disipar la energía sísmica.

Tabla 39:

Fuerzas axiales requeridas en cada uno de los disipadores de fricción existentes.

Dispositivo	Carga Axial (t)	F. Diseño (t)	A. Requerida (cm ²)	Carga transversal (t)
1	29	21.38	13.615	47.65
2	30	22.65	14.427	50.49
3	32	23.93	15.239	53.34
4	26	19.50	12.420	43.47
5	24	17.70	11.274	39.46
6	17	12.53	7.978	27.92
7	12	8.70	5.541	19.39
8	4	2.93	1.863	6.52

Nota. Se presenta las fuerzas axiales requeridas en los disipadores de fricción existentes en la estructura, Elaboración propia.

Se observa que los dispositivos con mayor carga axial corresponden a los primeros niveles de la estructura, con valores de hasta **32 t** en el disipador 3, seguido por el disipador 2 con **30 t** y el disipador 1 con **29 t**. Esto concuerda con la tendencia esperada en estructuras sometidas a cargas sísmicas, donde los esfuerzos más significativos se concentran en los

niveles inferiores debido a la acumulación de cargas provenientes de los pisos superiores. A medida que se asciende, la carga axial disminuye considerablemente, alcanzando apenas **4 t** en el disipador 8, ubicado en los niveles superiores.

En cuanto a la fuerza de diseño, se verifica que esta es menor que la carga axial en cada dispositivo, lo que sugiere un factor de seguridad adecuado en la selección de los disipadores. El área requerida sigue la misma tendencia de la carga axial, con valores que oscilan entre **1.863 cm²** en el disipador 8 y **15.239 cm²** en el disipador 3. Esto refleja la necesidad de mayores secciones transversales en los elementos que soportan las fuerzas más elevadas, garantizando su adecuado desempeño.

Finalmente, la carga transversal asociada a cada dispositivo muestra que los disipadores más exigidos también presentan las mayores solicitudes en este sentido, con valores de hasta **53.34 t** en el dispositivo 3. Esta carga transversal es clave para el diseño de las conexiones y el dimensionamiento de los componentes estructurales que acompañan a los disipadores. En general, la tabla proporciona información valiosa para la validación del diseño y la optimización de la disposición de los disipadores de fricción en la estructura.

En cuanto a la rigidez, la **rigidez inicial (Ko)** presenta valores elevados en los disipadores ubicados en los niveles inferiores, alcanzando hasta **6,805.953 kN/m** en el disipador 3 y reduciéndose hasta **832.076 kN/m** en el disipador 8. La **rigidez post-deslizamiento (Kp)** sigue la misma tendencia decreciente, con valores de **0.681** en el disipador 3 y **0.083** en el disipador 8, lo que indica que los disipadores en los niveles inferiores deben soportar mayores cargas antes de entrar en la fase de disipación de energía por fricción.

El valor de la Rigidez del brazo metálico se determina con la siguiente expresión:

$$K = \frac{E * A}{L}$$

Donde:

E: Módulo de la elasticidad del acero: 2.1×10^7 Tn/m²

L: longitud del brazo metálico m

A: Área del brazo metálico: m²

Tabla 40:

Propiedades mecánicas requeridas de cada uno de los disipadores de fricción Quaketek.

Dispositivo	Dx (m)	Dy (m)	L (m)	Ko (Tn/m)	Kp	Fy
1	3.850	3.000	4.881	5857.563	0.586	20.658
2	3.850	2.700	4.702	6443.254	0.644	22.724
3	3.850	2.700	4.702	6805.953	0.681	24.003
4	3.850	2.700	4.702	5547.172	0.555	19.564
5	3.850	2.700	4.702	5035.125	0.504	17.758
6	3.850	2.700	4.702	3562.991	0.356	12.566
7	3.850	2.700	4.702	2474.892	0.247	8.728
8	3.850	2.700	4.702	832.076	0.083	2.935

Nota. Se presenta las propiedades mecánicas requeridas de los disipadores de fricción Quaketek, permitiendo analizar su desempeño en términos de desplazamiento, rigidez y capacidad de disipación de energía. Se observa que el desplazamiento en la dirección x es constante en todos los dispositivos con un valor de 3.850 mm, mientras que en la dirección y varía ligeramente entre 2.700 mm y 3.000 mm. La longitud efectiva de los disipadores es prácticamente uniforme, con valores cercanos a 4.702 mm, salvo una ligera variación en el dispositivo 1 (4.881 mm). Elaboración propia.

Esto sugiere que el diseño de los disipadores sigue un patrón homogéneo con algunas adaptaciones según el nivel de instalación.

Por otro lado, la *fuerza de fluencia (Fy)*, que representa el punto en el que los disipadores comienzan a disipar energía, sigue el mismo patrón observado en la *Tabla 40*. Los disipadores de los niveles inferiores tienen valores más altos, alcanzando **24.003 t** en el disipador 3 y disminuyendo hasta **2.935 t** en el disipador 8. Esta tendencia confirma que los disipadores inferiores soportan mayores esfuerzos debido a la acumulación de cargas sísmicas provenientes de los pisos superiores.

4.6.5 Respuesta sísmica de la estructura con disipadores Quaketek

4.6.5.1 Máximos desplazamientos laterales en dirección X

En la imagen proporcionada se presenta un análisis detallado de los máximos desplazamientos laterales de una estructura en las direcciones principales X y Y bajo cargas sísmicas, considerando el uso de disipadores de energía Quaketek. Las tablas y gráficos adjuntos muestran los resultados obtenidos al evaluar la estructura con el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva, lo que proporciona una visión clara del comportamiento lateral de la estructura bajo estas condiciones.

Tabla 41:

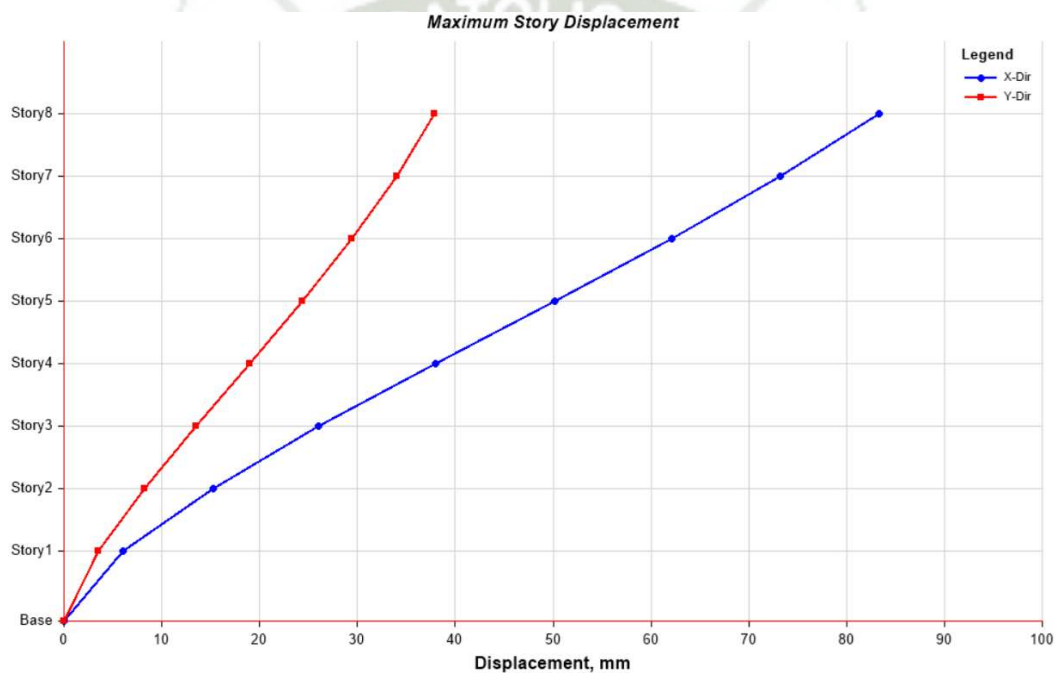
Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	83.299	37.883
Story7	19.2	73.223	34.017
Story6	16.5	62.082	29.457
Story5	13.8	50.165	24.353
Story4	11.1	38.016	18.981
Story3	8.4	26.067	13.468
Story2	5.7	15.224	8.25
Story1	3	6.074	3.463
Base	0	0	0

Nota. En esta Tabla 27 presenta los desplazamientos laterales máximos en las direcciones X y Y para cada uno de los niveles de la estructura, identificados como “Story”. Estos resultados incluyen también la elevación de cada piso en metros, mostrando cómo varía el desplazamiento a lo largo de la altura de la estructura. Elaboración propia.

Figura 86:

Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.



Nota. La Figura 86 proporciona una representación gráfica de los desplazamientos en ambas direcciones. La curva roja, correspondiente a la dirección X, muestra una inclinación más pronunciada, confirmando los desplazamientos más elevados en dicha dirección, mientras que la curva azul (dirección Y) refleja una menor magnitud de desplazamientos. Elaboración propia.

Esta diferencia en las curvas sugiere que la estructura presenta mayor deformación lateral en la dirección X, lo cual puede estar relacionado con diferencias en la rigidez estructural o la disposición de los disipadores de energía en esa dirección.

En la dirección X, el desplazamiento máximo ocurre en el nivel más alto, con un valor de 83.299 mm en el Story 8. A medida que se descende por los pisos inferiores, los desplazamientos se reducen, alcanzando 6.07 mm en el primer nivel (Story 1). Esto evidencia un patrón típico en el que los niveles superiores experimentan mayores desplazamientos debido a la flexibilidad inherente de la estructura en esas alturas. En la dirección Y, se observa un comportamiento similar, aunque con desplazamientos máximos más bajos, registrando 37.883 mm en el Story 8 y 3.463 mm en el Story 1.

4.6.5.2 Máximos desplazamientos laterales en dirección Y

Los valores de desplazamiento en esta dirección son notablemente más altos en los niveles superiores de la estructura. El Story 8 registra un desplazamiento máximo de 47.430 mm, mientras que los desplazamientos en la dirección X en ese mismo nivel alcanzan 43.992 mm. De igual manera, los desplazamientos decrecen progresivamente a medida que se baja en la estructura, siendo más homogéneos en los niveles inferiores, donde los valores entre las dos direcciones tienden a converger.

Tabla 42:

Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.

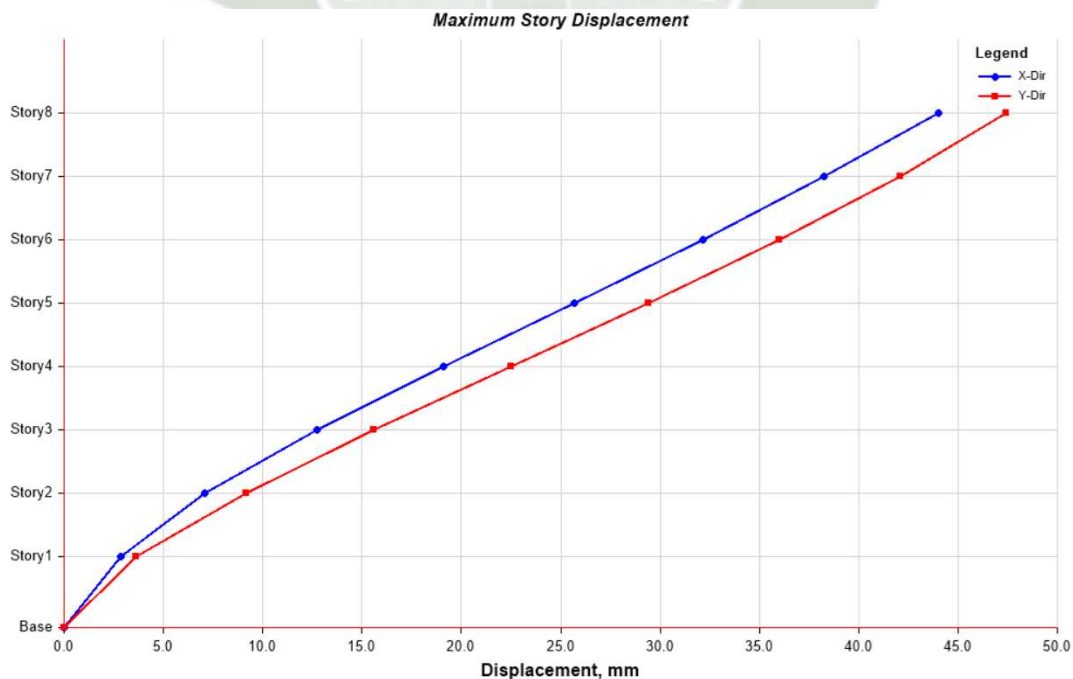
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	43.992	47.43
Story7	19.2	38.274	42.086
Story6	16.5	32.137	36.017
Story5	13.8	25.68	29.407
Story4	11.1	19.109	22.488
Story3	8.4	12.756	15.59
Story2	5.7	7.054	9.145
Story1	3	2.855	3.643
Base	0	0	0

Nota. Esta tabla proporciona información similar a la Tabla 16, pero centrada en los desplazamientos laterales en la dirección Y. Elaboración propia.

El análisis de los desplazamientos laterales en ambas direcciones X y Y revela un comportamiento esperado, en el que los desplazamientos máximos se presentan en los niveles superiores de la estructura, debido a la mayor flexibilidad que se experimenta a estas alturas. Los resultados en las dos direcciones indican que la dirección X presenta desplazamientos mayores en comparación con la dirección Y, especialmente en los niveles superiores, lo que sugiere que la estructura es más vulnerable a la deformación lateral en ese eje la estructura podría estar experimentando una mayor respuesta sísmica. Esto podría ser consecuencia de la interacción entre los elementos disipadores y la rigidez propia de la estructura en dicha dirección.

Figura 87:

Máximos desplazamientos laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.



Nota. Esta figura muestra la comparación gráfica entre los desplazamientos en las dos direcciones. En este gráfico, se observa que la curva correspondiente a la dirección Y (curva azul) tiene valores ligeramente superiores en comparación con la dirección X (curva roja) en los niveles superiores. Elaboración propia.

El uso de disipadores de energía Quaketek contribuye a reducir las demandas de desplazamiento, pero se observan desplazamientos significativos que deben ser considerados en el diseño de la estructura. Aunque en los niveles inferiores los desplazamientos laterales tienden a ser similares entre las dos direcciones, en los niveles superiores se presenta una discrepancia considerable, lo que puede implicar la necesidad de ajustar la rigidez en la dirección X para optimizar el desempeño sísmico de la estructura.

Los resultados obtenidos muestran que, aunque la estructura responde adecuadamente a las cargas sísmicas, existen diferencias en los desplazamientos laterales entre las direcciones X y Y que podrían ser abordadas mediante una distribución más equilibrada de la rigidez estructural o la disposición de los disipadores de energía. Los valores de desplazamiento presentados, aunque significativos, parecen estar dentro de los límites permisibles establecidos por normativas sismorresistentes, garantizando así que la estructura puede resistir los efectos sísmicos sin comprometer su estabilidad o seguridad.

4.6.5.3 Máximas distorsiones laterales en dirección X

En la imagen proporcionada se presentan resultados del análisis de máximos desplazamientos laterales y máximas distorsiones laterales en las direcciones X y Y, respectivamente, bajo la consideración de cargas sísmicas. Este análisis se realiza considerando el análisis dinámico modal espectral, proporcionando información relevante sobre el comportamiento estructural de la edificación evaluada.

Tabla 43:

Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.

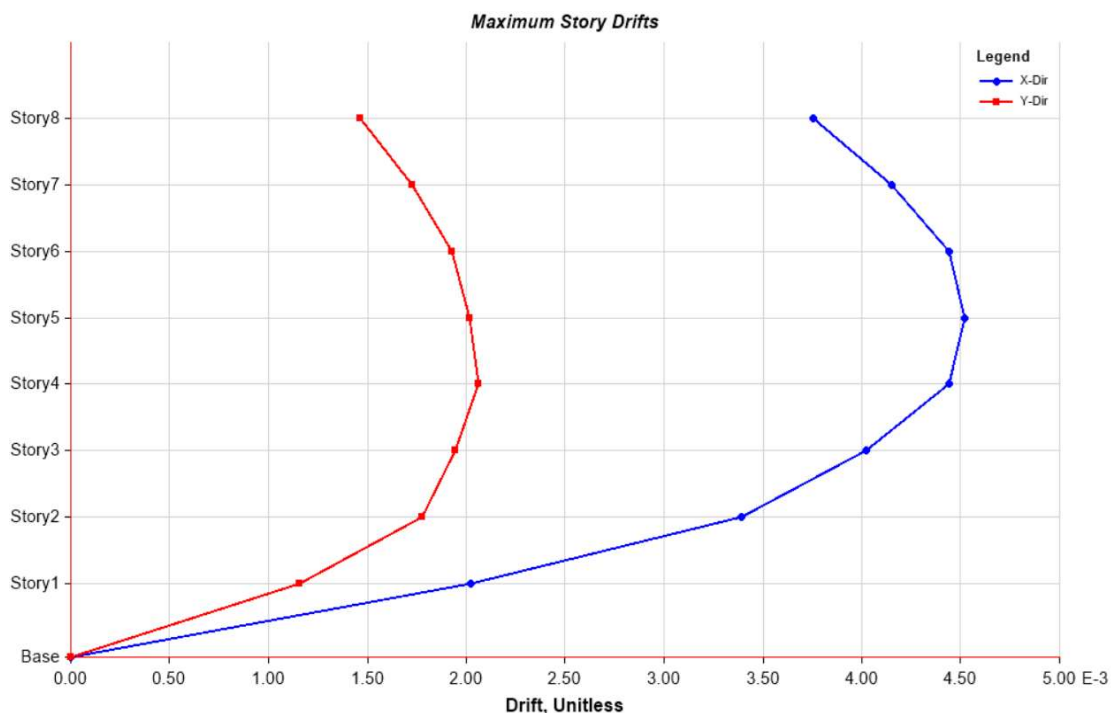
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m	mm	mm
Story8	21.9	0.0038	0.0015
Story7	19.2	0.0042	0.0017
Story6	16.5	0.0044	0.0019
Story5	13.8	0.0045	0.0020
Story4	11.1	0.0044	0.0021
Story3	8.4	0.0040	0.0019
Story2	5.7	0.0034	0.0018
Story1	3	0.0020	0.0012
Base	0	0	0

Nota. La tabla presenta los desplazamientos laterales máximos en las direcciones X y Y para cada nivel de la estructura, con el parámetro de elevación incluido para facilitar la visualización del comportamiento a diferentes alturas. En la dirección X, se observa que el Story 8 (el nivel más alto) presenta la distorsión máxima de 0.0038, mientras que el Story 1 exhibe una distorsión lateral mucho menor de 0.002. Elaboración propia.

En cuanto a la dirección Y, el Story 8 muestra una distorsión lateral menor, alcanzando 0.0015, mientras que el nivel más bajo (Story 1) registra 0.0012, lo que sugiere una respuesta lateral más pronunciada en esta dirección.

Figura 88:

Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en X.



Nota. Esta figura presenta una visualización gráfica de los desplazamientos laterales en ambas direcciones. La curva roja, correspondiente a la dirección X, es más empinada en los niveles superiores, lo que refleja los mayores desplazamientos observados en esa dirección. Por otro lado, la curva azul, que representa la dirección Y, también sigue una tendencia ascendente similar, pero con valores ligeramente más altos en los niveles superiores, confirmando que la estructura sufre más desplazamientos laterales en esa dirección. Elaboración propia.

4.6.5.4 Máximas distorsiones laterales en dirección Y

Las distorsiones laterales, también conocidas como drift, se presentan en valores adimensionales que indican la relación entre el desplazamiento lateral de un piso respecto a la altura de dicho piso. En la dirección X, la mayor distorsión lateral ocurre en el Story 5

con un valor de 0.0024 y disminuye hasta 0.0010 en el Story 1, lo que sigue un comportamiento coherente con lo observado en los desplazamientos.

En la dirección Y, las distorsiones laterales son ligeramente más altas, con un valor máximo de 0.0026 en el Story 5 y un valor mínimo de 0.0012 en el Story 1, lo que concuerda con la tendencia de mayores desplazamientos en esa dirección.

La Figura 89 representa gráficamente las distorsiones laterales. La curva roja representa la dirección X y la curva azul la dirección Y. Se observa que la curva azul muestra distorsiones ligeramente superiores a la roja, lo que confirma una mayor vulnerabilidad de la estructura a las distorsiones laterales en la dirección Y. Ambas curvas muestran un comportamiento creciente en los niveles superiores, lo que sugiere que las mayores distorsiones se producen en los niveles altos, como es esperable debido a la mayor flexibilidad estructural en esos puntos.

Tabla 44:

Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.

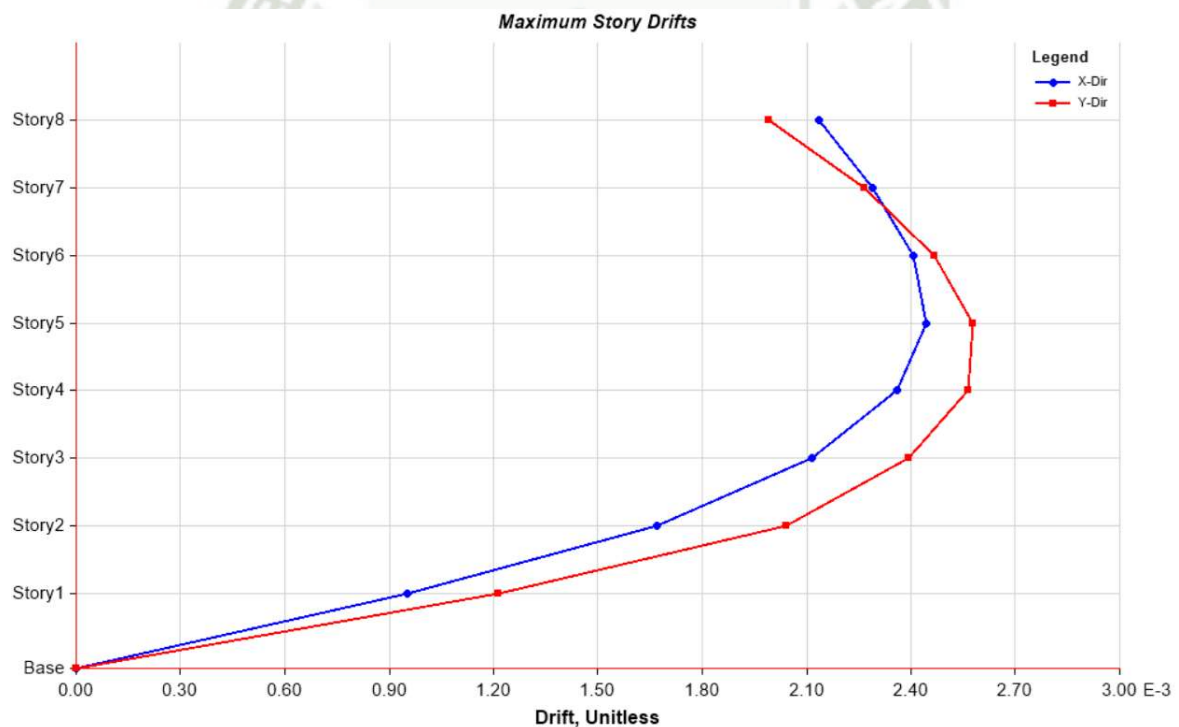
Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0021	0.0020
Story7	19.2	0.0023	0.0023
Story6	16.5	0.0024	0.0025
Story5	13.8	0.0024	0.0026
Story4	11.1	0.0024	0.0026
Story3	8.4	0.0021	0.0024
Story2	5.7	0.0017	0.0020
Story1	3	0.0010	0.0012
Base	0	0.0	0.0

Nota. La Tabla 44 detalla las distorsiones laterales máximas en las direcciones X y Y para cada nivel de la estructura. Elaboración propia.

Los resultados de las tablas y gráficos proporcionan una visión clara del comportamiento de la estructura bajo cargas sísmicas. En cuanto a los desplazamientos laterales, se puede observar que la estructura experimenta desplazamientos más significativos en los niveles superiores, tanto en la dirección X como en la dirección Y, siendo la dirección Y la que presenta los mayores desplazamientos. Este comportamiento puede estar asociado a una menor rigidez en dicha dirección o a una mayor influencia de las fuerzas sísmicas actuantes en ese eje.

Figura 89:

Máximas distorsiones laterales de la estructura en direcciones X e Y por la acción de un sismo en Y.



Nota. Elaboración propia

En cuanto a las distorsiones laterales, las mayores deformaciones también se producen en los niveles superiores, siendo la dirección Y ligeramente más crítica que la dirección X. Las diferencias en las magnitudes de los desplazamientos y distorsiones entre las dos direcciones pueden deberse a variaciones en la rigidez estructural, la distribución de

masas o la ubicación de los elementos disipadores de energía, que afectan la respuesta de la estructura frente a las cargas sísmicas.

Los resultados presentados en las tablas y figuras sugieren que la estructura tiene un comportamiento aceptable ante las cargas sísmicas, pero presenta una mayor vulnerabilidad en la dirección Y, especialmente en los niveles superiores. Estos hallazgos podrían indicar la necesidad de mejorar la rigidez en esa dirección o de revisar la configuración de los disipadores de energía para optimizar la respuesta estructural. Las distorsiones laterales, aunque significativas, parecen estar dentro de los límites permisibles según las normativas sismorresistentes, lo que garantiza que la estructura puede soportar los movimientos sísmicos sin comprometer su estabilidad.

4.7 RESPUESTA TIEMPO HISTORIA NO LINEAL

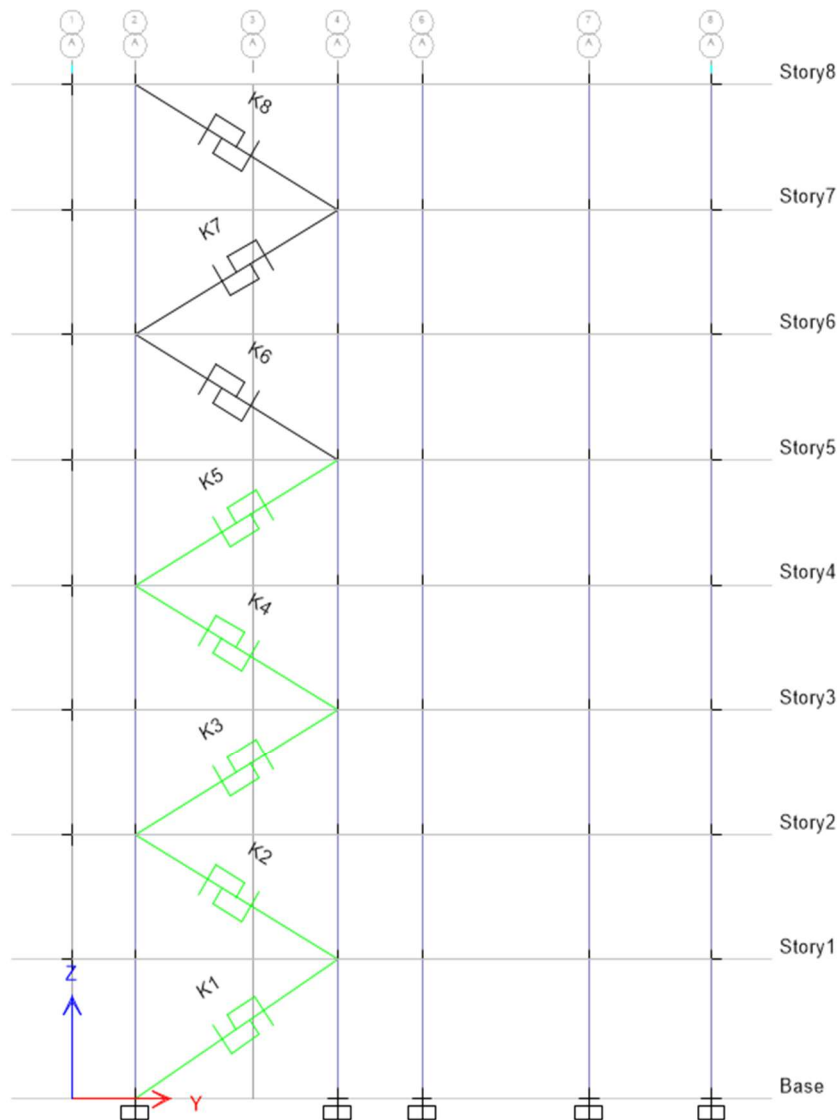
La imagen presentada en la siguiente figura, en la que se muestra la disposición y nomenclatura asignada a los disipadores de energía por fricción **Quaketek** en el eje A de la estructura analizada. Se observa un pórtico con ocho niveles, donde se han colocado disipadores de fricción Quaketek en la estructura.

Los disipadores están distribuidos de manera uniforme a lo largo de la altura del edificio y han sido identificados con las etiquetas **K1, K2, K3, K4, K5, K6, K7 y K8**, comenzando desde el primer nivel hasta el octavo. Cada disipador se encuentra en el centro del vano correspondiente y está conectado a diagonales que transmiten las fuerzas sísmicas disipadas a los elementos estructurales principales.

El color de los disipadores varía en la imagen: los ubicados en los niveles inferiores (**K1 a K5**) están resaltados en **verde**, mientras que los superiores (**K6 a K8**) aparecen en **negro**. Esta diferenciación de color puede estar asociada a distintos tipos de disipadores o a una segmentación de la estructura para un análisis específico del comportamiento sísmico.

Figura 90:

Nombres asignados a los disipadores de energía por fricción Quaketek en el eje A.



Nota. Elaboración propia.

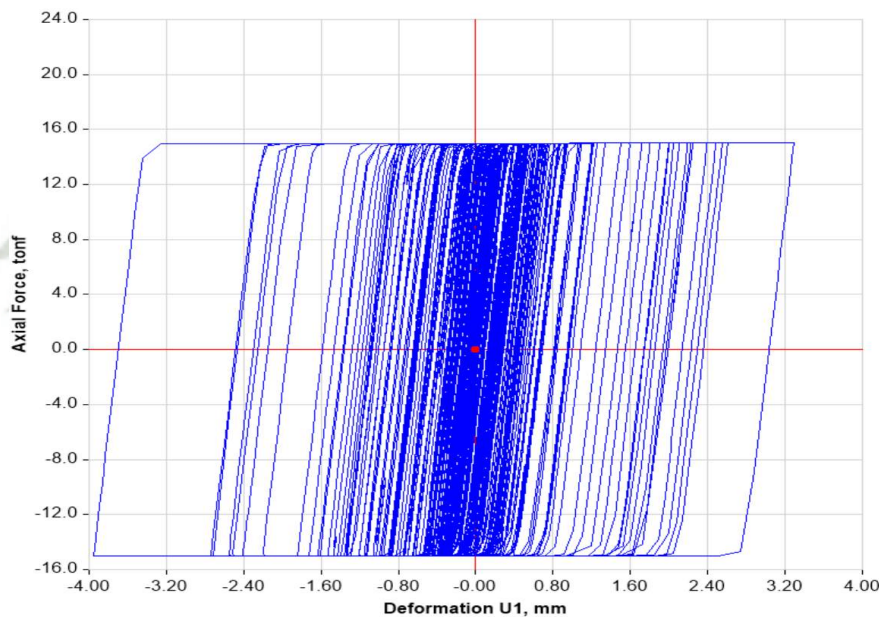
Además, se ha representado el sistema de coordenadas en la parte inferior izquierda, indicando que el eje X está orientado hacia la derecha, el eje Y hacia arriba y el eje Z perpendicular al plano de la imagen. Este sistema de referencia permite ubicar espacialmente la disposición de los disipadores en el modelo estructural.

4.7.1 Comportamiento cíclico de los disipadores sismo de Pisco 2007

Las imágenes presentadas corresponden a las **Figuras 91 y 92**, donde se muestra la respuesta cíclica de los disipadores de energía por fricción **Quaketek**, específicamente de los dispositivos **K2 y K4**, bajo la excitación sísmica del sismo de Pisco 2007. Los gráficos representan curvas histéricas que relacionan la **fuerza axial** (en toneladas) con la **deformación U1** (en milímetros), permitiendo evaluar el comportamiento energético y disipativo de los disipadores frente a cargas cíclicas.

Figura 91:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.



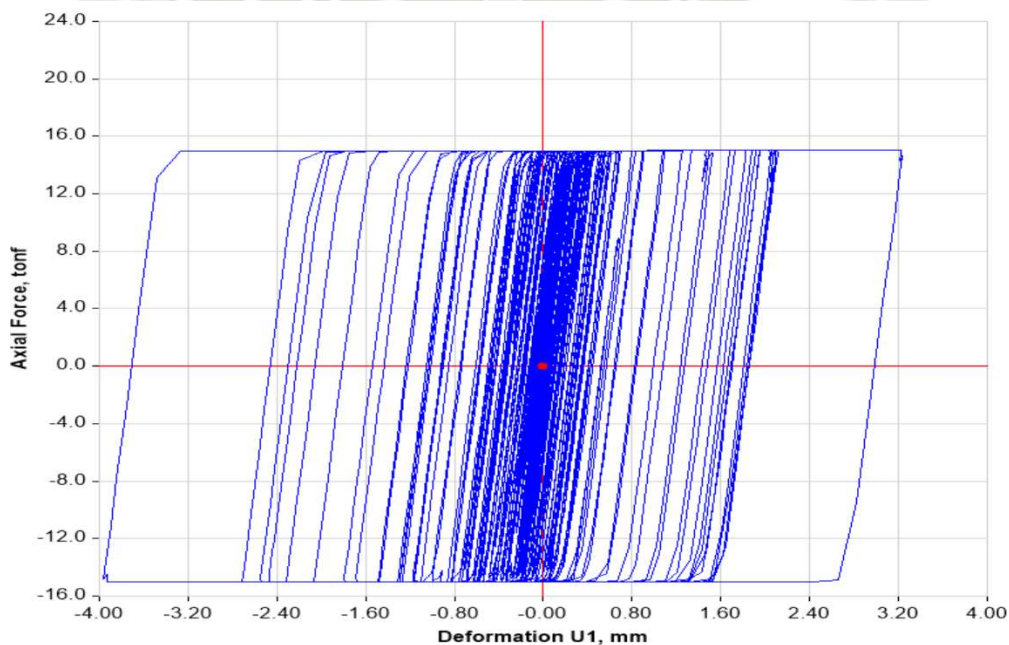
Nota. En esta figura correspondiente al disipador K2, se observa una curva histérica con ciclos bien definidos, lo que indica una adecuada disipación de energía a lo largo del proceso de carga y descarga. Elaboración propia.

El comportamiento evidencia un alto nivel de fricción, con una respuesta estable y sin degradación significativa, lo que sugiere que el disipador mantiene su capacidad de disipación sin pérdida de rigidez apreciable.

Por otro lado, la Figura 92, que muestra el comportamiento del disipador K4, presenta una tendencia similar, con un patrón cíclico estable y sin deformaciones plásticas excesivas. No obstante, se puede notar que la amplitud de deformación es menor en comparación con K2, lo que sugiere que este disipador pudo haber experimentado menores demandas de carga o que su configuración estructural le permite disipar energía con desplazamientos más reducidos.

Figura 92:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.



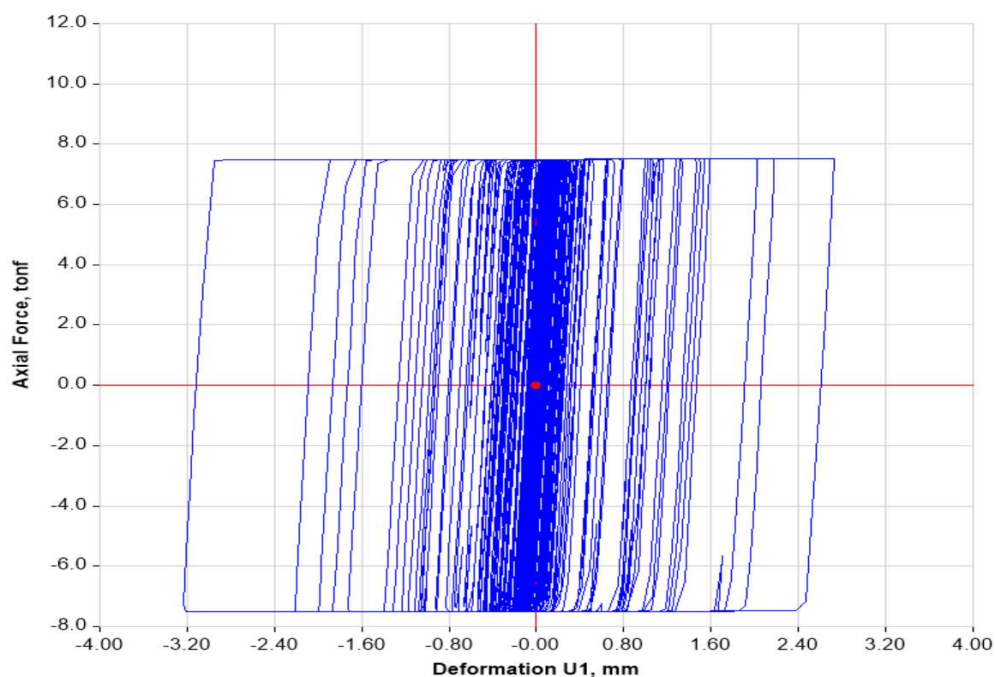
Nota. Se muestra un comportamiento del disipador K4, presenta una tendencia similar, con un patrón cíclico estable y sin deformaciones plásticas excesivas. Elaboración propia.

Ambas gráficas confirman que los disipadores **Quaketek** responden de manera eficiente a cargas cíclicas, asegurando una disipación estable de energía y reduciendo las demandas sobre los elementos estructurales principales. Este comportamiento es fundamental para la protección sísmica de la edificación, ya que minimiza el daño estructural al absorber la energía inducida por movimientos telúricos severos.

Las imágenes presentadas en las **Figuras 93 y 94** muestran la respuesta cíclica de los disipadores de energía por fricción **Quaketek**, específicamente de los dispositivos **K6 y K8**. En ambos casos, las gráficas representan las curvas históricas que describen la relación entre la **fuerza axial** (en toneladas) y la **deformación U1** (en milímetros), permitiendo analizar la capacidad de disipación de energía de estos dispositivos bajo cargas cíclicas.

Figura 93:

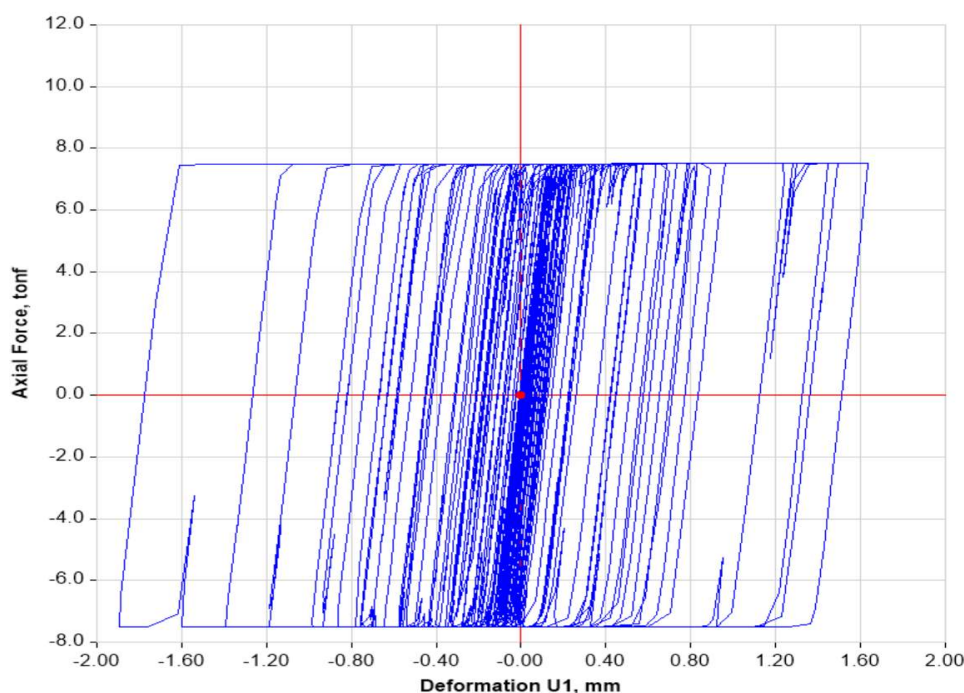
Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6



Nota. En la figura se muestra el comportamiento del disipador K6, se observa un comportamiento cíclico estable con bucles bien definidos, lo que indica una adecuada disipación de energía sin una degradación significativa de la rigidez estructural. La amplitud de deformación es moderada, lo que sugiere que el disipador está funcionando dentro de los parámetros esperados sin presentar daños estructurales visibles. Elaboración propia.

Figura 94:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.



Nota. La Figura 94, que muestra el desempeño del disipador K8, presenta un patrón histérico con mayor dispersión en los ciclos de carga, lo que puede indicar una variabilidad en la respuesta del dispositivo frente a la demanda sísmica. La amplitud de la deformación es menor en comparación con el disipador K6, lo que sugiere que este dispositivo pudo haber experimentado menores exigencias de carga o que su mecanismo de fricción actúa con una configuración más restrictiva en términos de desplazamiento. Elaboración propia.

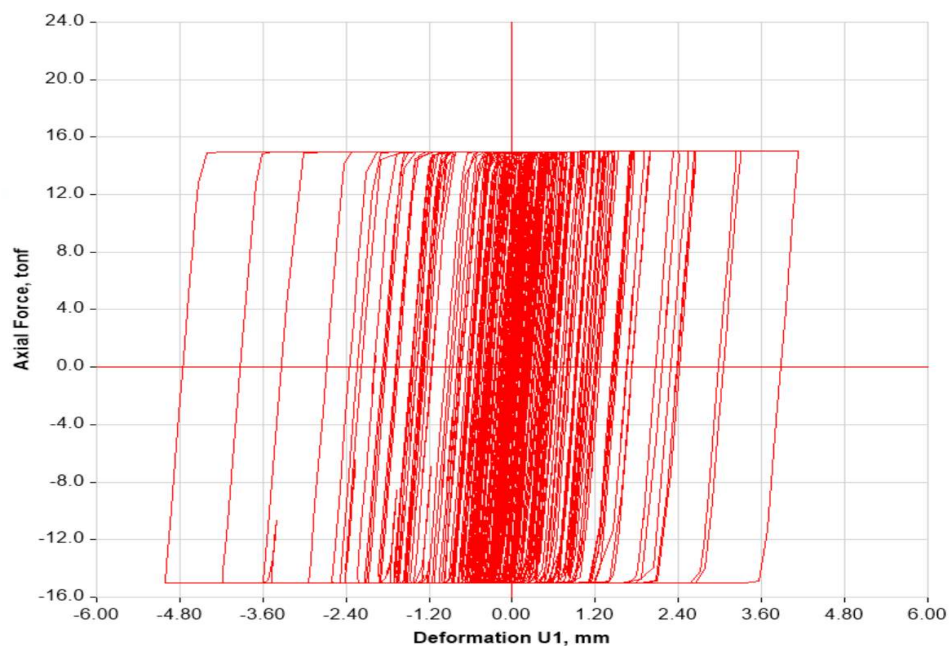
Ambos disipadores **Quaketek** demuestran ser efectivos en la disipación de energía, manteniendo un comportamiento estable y sin signos evidentes de degradación estructural. La respuesta cíclica obtenida confirma que estos dispositivos cumplen su función de absorber la energía sísmica, reduciendo así las demandas sobre la estructura principal y mejorando el desempeño sísmico del edificio en su conjunto.

4.7.2 Comportamiento cíclico de los disipadores ante el sismo de Atico 2001.

En la figura 95 muestra la respuesta cíclica del disipador de energía por fricción Quaketek K2, representada mediante un gráfico de curvas histéricas en el que se observa la relación entre la fuerza axial y la deformación. Se evidencia un comportamiento estable con ciclos de histéresis bien definidos, lo que indica una adecuada disipación de energía bajo cargas cíclicas. No se observan signos de degradación significativa en la rigidez, lo que sugiere que el disipador mantiene su capacidad de disipación a lo largo de las cargas aplicadas.

Figura 95:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.



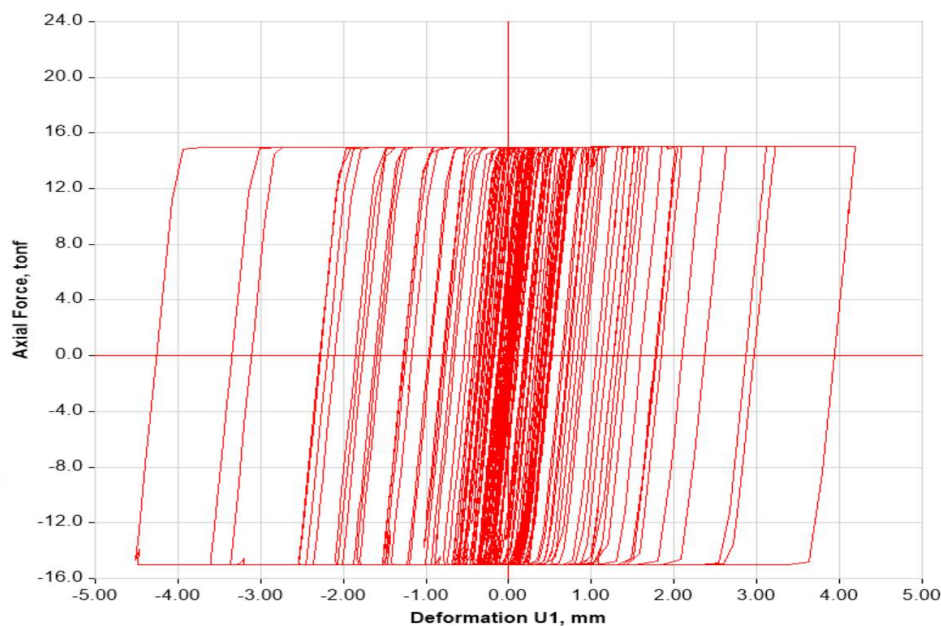
Nota. Se muestra la respuesta cíclica del disipador de energía por fricción Quaketek K2, representada mediante un gráfico de curvas histéricas. Elaboración propia.

En la figura 96, correspondiente al disipador Quaketek K4, se observa un patrón histérico similar, aunque con una distribución de ciclos que sugiere una mayor amplitud en las deformaciones alcanzadas. La mayor dispersión de los bucles podría estar asociada a una variación en la fricción del dispositivo o a diferencias en las demandas de carga

experimentadas por este disipador en particular. Al igual que en el caso anterior, la disipación de energía es eficiente, ya que los ciclos se mantienen sin una reducción notable en su amplitud, lo que indica que el disipador sigue funcionando dentro de los parámetros esperados.

Figura 96:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.

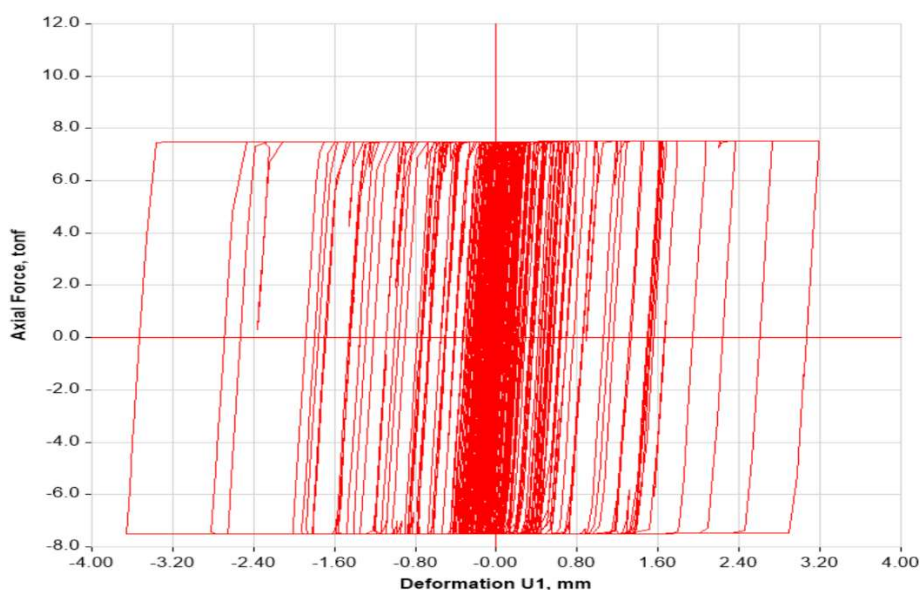


Nota. Se muestra la respuesta cíclica del disipador de energía por fricción Quaketek K4, representada mediante un gráfico de curvas histéricas. Elaboración propia.

En la figura 97, correspondiente al disipador de energía Quaketek K6, se observa un lazo de histéresis con una amplitud moderada y un patrón bien definido, lo que indica un comportamiento estable en términos de disipación de energía. Se puede notar que el disipador entra en fluencia de manera progresiva, sin una reducción drástica en la resistencia, lo que sugiere que el mecanismo de fricción mantiene su capacidad de disipación a lo largo del ciclo. Sin embargo, se observan ligeras irregularidades en algunos tramos del lazo, posiblemente asociadas a cambios en la rigidez o en la estabilidad del mecanismo de disipación.

Figura 97:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6.



Nota. Se muestra la respuesta cíclica del disipador de energía por fricción Quaketek K6, representada mediante un gráfico de curvas histéricas. Elaboración propia.

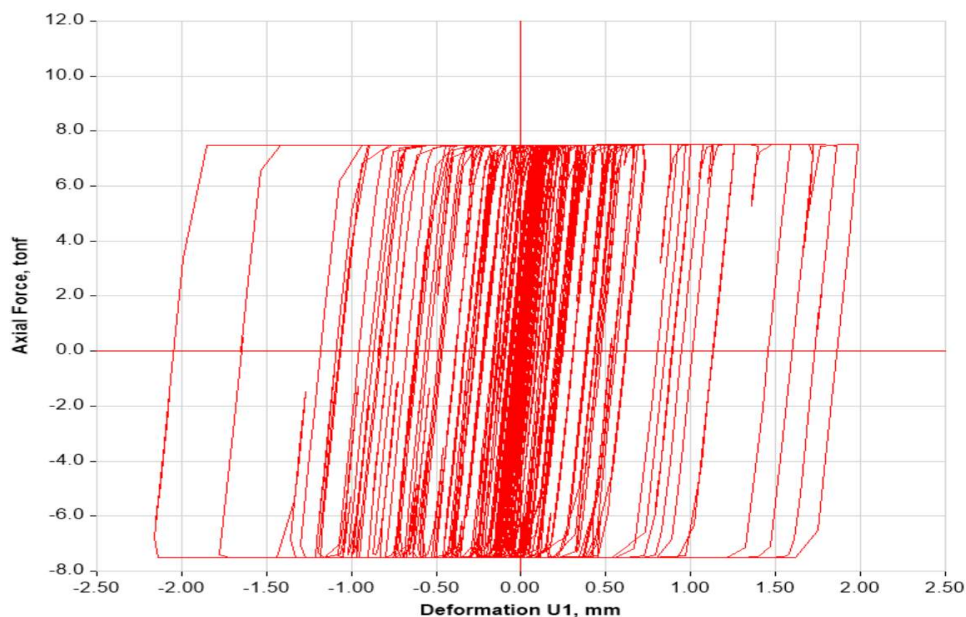
Por otro lado, la figura 98 que representa la respuesta cíclica del disipador Quaketek K8, muestra un lazo de histéresis con una amplitud mayor en comparación con el K6, lo que indica una capacidad superior para disipar energía. En este caso, los ciclos presentan una mayor densidad de curvas internas, lo que puede sugerir un mecanismo de disipación más eficiente o una mayor cantidad de fricción acumulada en el sistema. No se observa una degradación pronunciada en la resistencia, lo que es una señal favorable para su desempeño estructural.

En términos generales, ambos disipadores presentan una buena capacidad de disipación de energía, con ciclos de histéresis relativamente estables y sin pérdidas significativas de resistencia. La fluencia ocurre de manera controlada y no se observan signos evidentes de deterioro estructural en los dispositivos. No obstante, el disipador K8

parece tener un mejor desempeño en términos de disipación energética, lo que podría deberse a diferencias en su diseño, materiales o mecanismos de fricción interna.

Figura 98:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.



Nota. Se muestra la respuesta cíclica del disipador de energía por fricción Quaketek K8, representada mediante un gráfico de curvas histéricas. Elaboración propia.

4.7.3 Comportamiento cíclico de los disipadores ante el sismo de Huaraz 1970

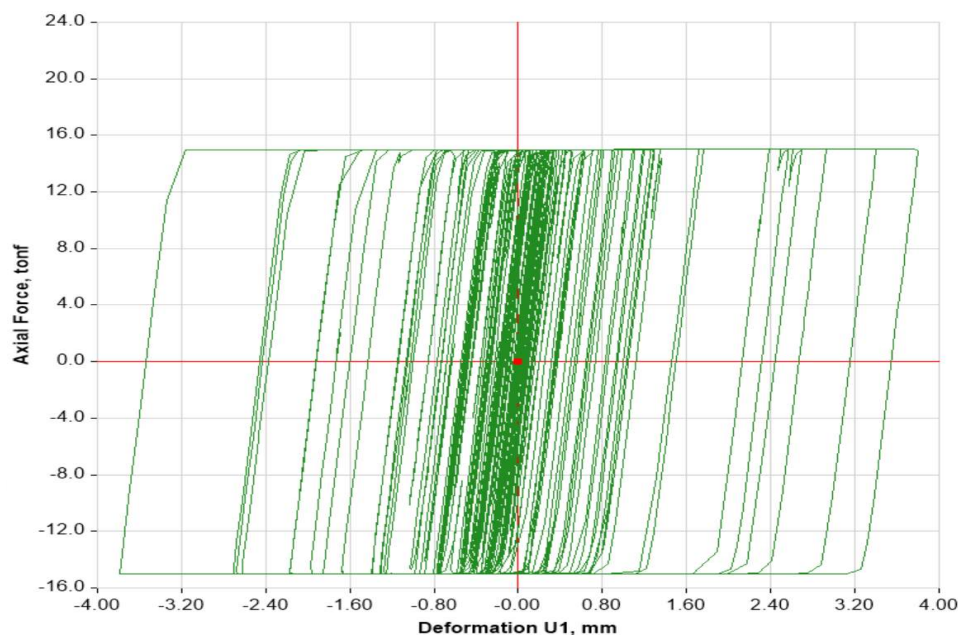
Considerando que las unidades en los gráficos son toneladas (t) para la fuerza axial y milímetros (mm) para la deformación, se pueden realizar algunas observaciones más precisas sobre el comportamiento de los disipadores Quaketek K2 y K4 en términos de resistencia, fluencia y capacidad de disipación de energía.

En la figura 99, correspondiente al disipador Quaketek K2, se observa un lazo de histéresis con fuerzas máximas de aproximadamente ± 15 t y deformaciones que alcanzan valores cercanos a ± 3.6 mm. Esto indica que el disipador es capaz de soportar cargas significativas antes de alcanzar su límite de deformación. La forma del lazo sugiere un buen desempeño en la disipación de energía, con una densidad de curvas notable en la zona

central, lo que implica una fluencia progresiva y una capacidad estable de absorción de esfuerzos cíclicos. La inclinación en los extremos del lazo indica un endurecimiento leve, posiblemente por efectos de endurecimiento por deformación o interacción con el sistema estructural al que está acoplado.

Figura 99:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K2.

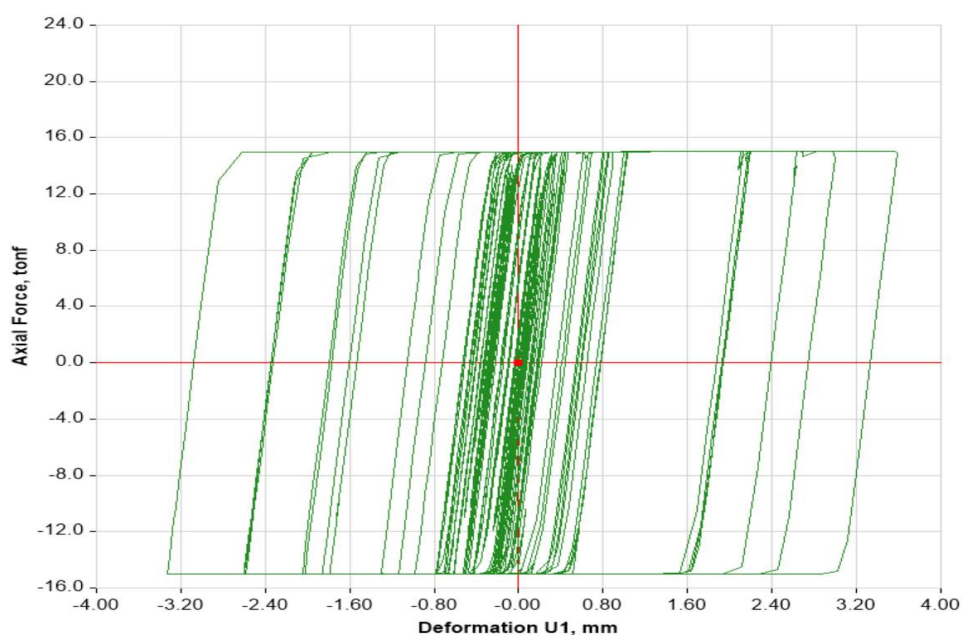


Nota. En la figura se observa un lazo de histéresis correspondiente al disipador Quaketek K2. Elaboración propia.

En la figura 100, que representa la respuesta cíclica del disipador Quaketek K4, se observan fuerzas máximas en torno a ± 15 t y deformaciones cercanas a ± 3.5 mm. En comparación con el disipador K2, este modelo presenta una menor capacidad de resistencia, lo que sugiere que su diseño o material lo hace menos robusto en términos de carga máxima soportada. Sin embargo, la forma del lazo sigue siendo estable y sin signos evidentes de degradación, lo que indica una buena capacidad de disipación de energía. Se observa que la densidad de curvas en la zona central del lazo es menor que en el disipador K2, lo que puede ser un indicio de una menor absorción de energía en cada ciclo de carga.

Figura 100:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K4.



Nota. En la figura se observa un lazo de histéresis correspondiente al disipador Quaketek K4. Elaboración propia.

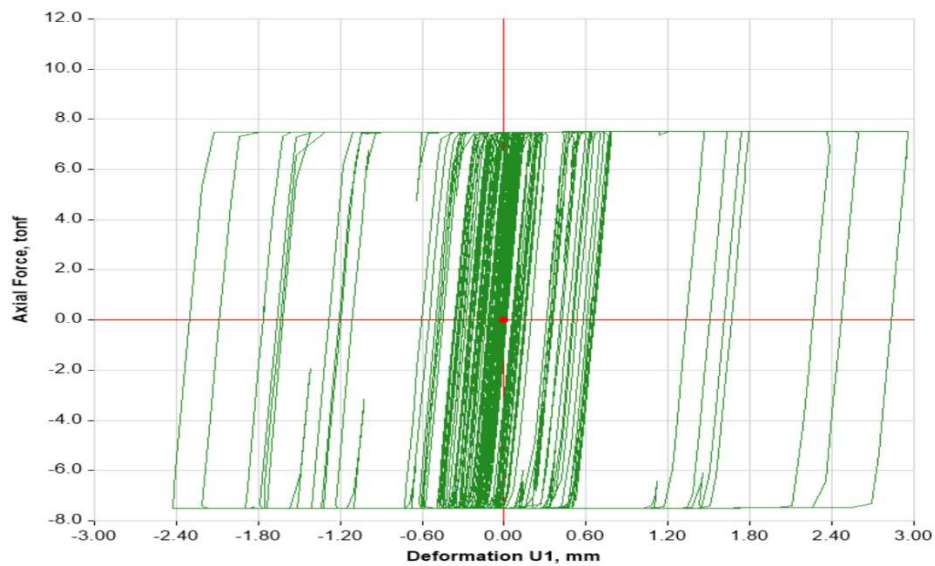
En términos generales, el disipador Quaketek K2 presenta un mejor desempeño en términos de resistencia y disipación de energía en comparación con el modelo K4. Su mayor fuerza máxima y amplitud del lazo sugieren que es más adecuado para estructuras que requieren una mayor capacidad de absorción de esfuerzos sísmicos. No obstante, ambos disipadores presentan un comportamiento estable, lo que indica que pueden ser utilizados eficazmente en el control de respuesta estructural ante cargas cíclicas.

Los lazos de histéresis presentados en las Figuras 83 y 84 corresponden a los disipadores de energía Quaketek K6 y K8, respectivamente. En el caso del disipador K6, se observa un comportamiento cíclico estable, con un lazo bien definido que indica una disipación de energía eficiente. La fuerza axial varía aproximadamente entre ± 7 toneladas, mientras que las deformaciones alcanzan valores cercanos a ± 3 mm. La forma compacta y cerrada del lazo sugiere que este disipador tiene una respuesta elasto-plástica adecuada, con

una buena capacidad de absorción de energía mediante ciclos repetidos de carga. Además, la densidad de los bucles en la zona central indica una fluencia progresiva y un comportamiento estable, lo que es fundamental para su desempeño en eventos sísmicos donde se requiera una atenuación eficaz de las fuerzas aplicadas.

Figura 101:

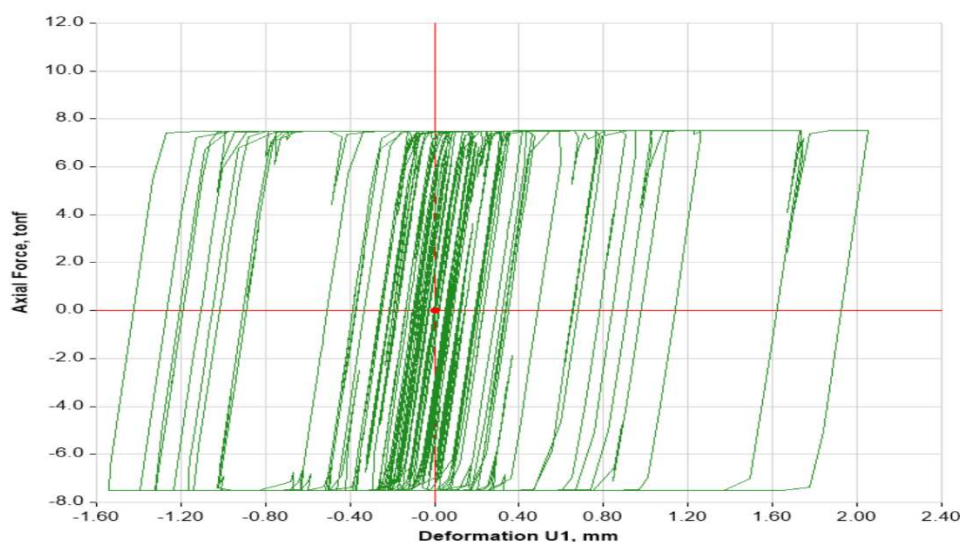
Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K6.



Nota. En la figura se observa un lazo de histéresis correspondiente al disipador Quaketek K6. Elaboración propia.

Figura 102:

Respuesta cíclica de un disipador del disipador de energía Quaketek. K8.



Nota. En la figura se observa un lazo de histéresis correspondiente al disipador Quaketek K8. Elaboración propia.

En este caso, los lazos de histéresis no están bien definidos y la respuesta cíclica se asemeja más a una curva de carga elástica, con una tendencia predominantemente lineal. Elaboración propia.

Se observan valores máximos de fuerza axial cercanos a ± 7 toneladas, mientras que las deformaciones alcanzan hasta ± 2 mm. La falta de lazos cerrados sugiere una menor capacidad de disipación de energía, lo que indica que el dispositivo podría estar funcionando más como un resorte elástico que como un verdadero disipador sísmico. Este comportamiento implica que, aunque el disipador K8 tiene una mayor capacidad de deformación, su efectividad para la absorción de energía y la reducción de daños en la estructura podría ser inferior en comparación con el disipador K6.

Al comparar ambos disipadores, se observa que el K6 es más eficiente en términos de disipación de energía, ya que presenta un mecanismo de fluencia progresiva y acumulación estable de energía cíclica. En contraste, el K8, aunque soporta cargas similares

o incluso superiores, no muestra una disipación de energía significativa debido a su respuesta predominantemente elástica. Esto sugiere que el disipador K6 sería más adecuado para aplicaciones en estructuras donde se requiera una amortiguación eficiente de esfuerzos sísmicos, mientras que el disipador K8 podría ser más útil en situaciones donde la flexibilidad estructural sea prioritaria sobre la disipación de energía.

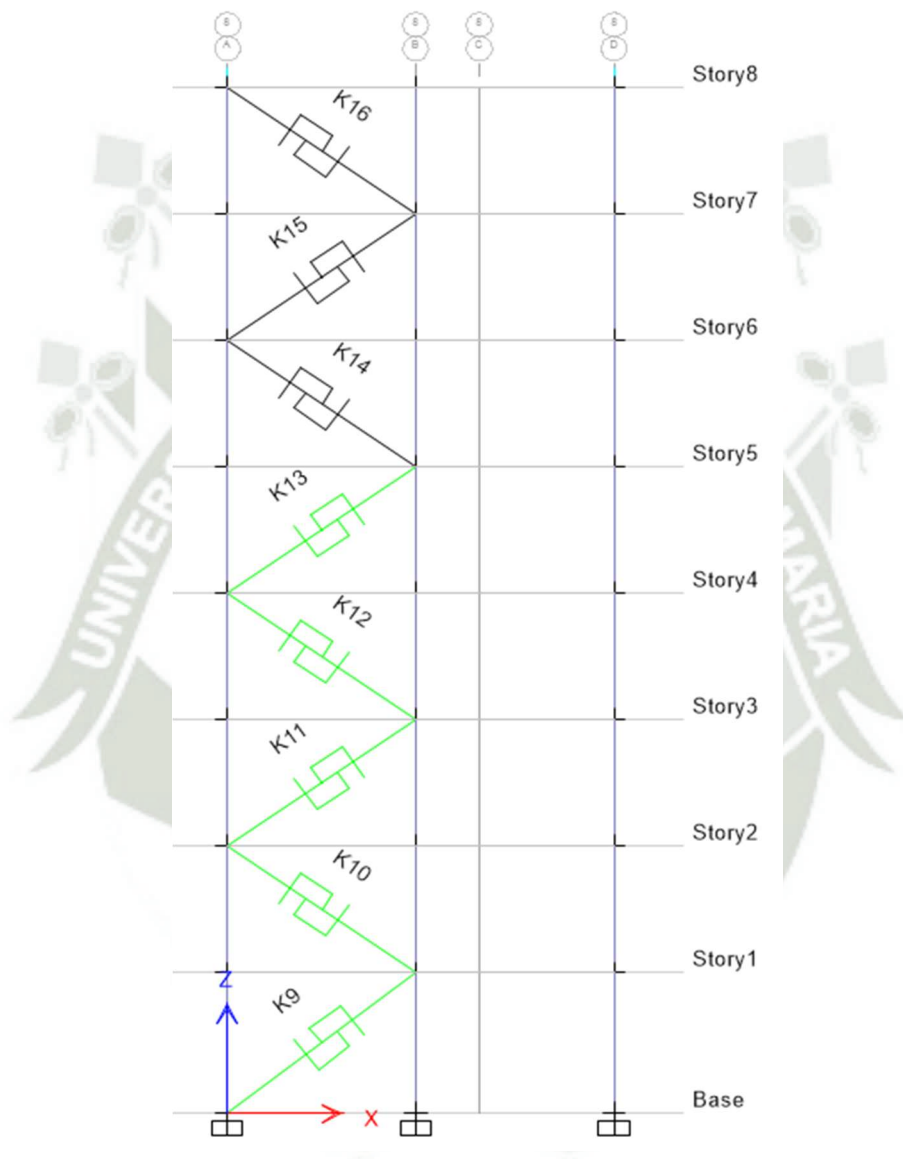
4.7.4 Disipadores de energía colocados en el eje 8

La Figura 103 muestra el modelamiento estructural de un sistema de disipadores de energía por fricción Quaketek dispuestos en la dirección X a lo largo del eje 8 de un edificio de ocho niveles. Se observa que los disipadores están organizados en una configuración diagonal en cada nivel, formando un esquema de contravientos con dispositivos de disipación de energía en los puntos de intersección de las diagonales. Los disipadores están etiquetados desde K9 en la base hasta K16 en el último nivel, lo que sugiere un diseño progresivo para la distribución de la disipación de energía a lo largo de la altura del edificio.

Los disipadores de los primeros niveles (K9 a K13) están resaltados en verde, lo que podría indicar que tienen características distintas en términos de propiedades mecánicas o que han sido modelados con parámetros específicos en el análisis estructural. A medida que se asciende en el edificio, los disipadores de los niveles superiores (K14 a K16) están representados en negro, lo que podría corresponder a una variación en su diseño o en su función dentro del sistema estructural.

Figura 103:

Modelamiento estructural de los disipadores de energía por fricción Quaketek en dirección X.



Nota. Elaboración propia

El esquema empleado en esta modelación sugiere que los disipadores están dispuestos en un sistema de arriostramiento diagonal, que es una configuración efectiva para mejorar la disipación de energía sísmica al permitir la activación de los dispositivos de fricción en ciclos de carga y descarga. Esta disposición ayuda a controlar la deformación

lateral del edificio y a reducir la demanda sísmica sobre los elementos estructurales primarios, como columnas y vigas.

Además, la ubicación de los disipadores en todos los niveles del edificio sugiere un diseño equilibrado, lo que es clave para lograr una distribución homogénea de la disipación de energía. Esto puede ayudar a prevenir concentraciones de esfuerzos excesivos en ciertos niveles y mejorar el desempeño global de la estructura frente a eventos sísmicos.

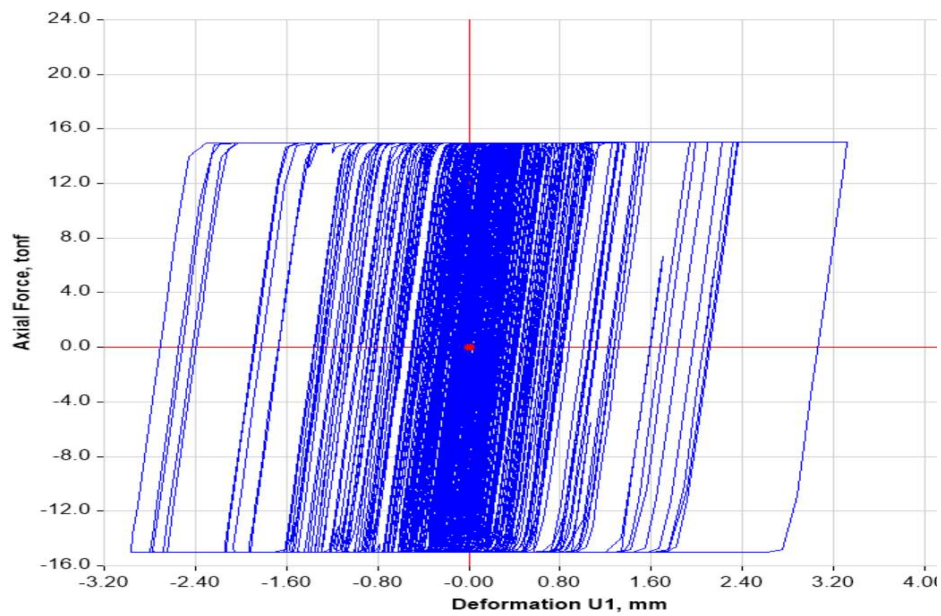
4.7.4.1 Comportamiento cíclico de los disipadores sismo de Pisco 2007

Las Figuras 104 y 105 presentan la respuesta cíclica de los disipadores de energía por fricción Quaketek, específicamente para los elementos K9 y K10. En ambos gráficos, se observa la relación entre la fuerza axial (en toneladas-fuerza) y la deformación (en milímetros), lo que permite evaluar el comportamiento histerético de los disipadores bajo cargas alternantes.

En la Figura 104, correspondiente al disipador K9, la gráfica muestra un comportamiento típicamente histerético con lazo estable y ancho, lo que indica una adecuada capacidad de disipación de energía. Se observan valores máximos de fuerza axial de aproximadamente ± 15 toneladas-fuerza, con desplazamientos que oscilan entre -3.2 mm y +3.2 mm. La densidad de ciclos en la zona central del lazo sugiere una activación efectiva del mecanismo de fricción, lo que contribuye a la disipación de energía en cada ciclo de carga.

Figura 104:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.

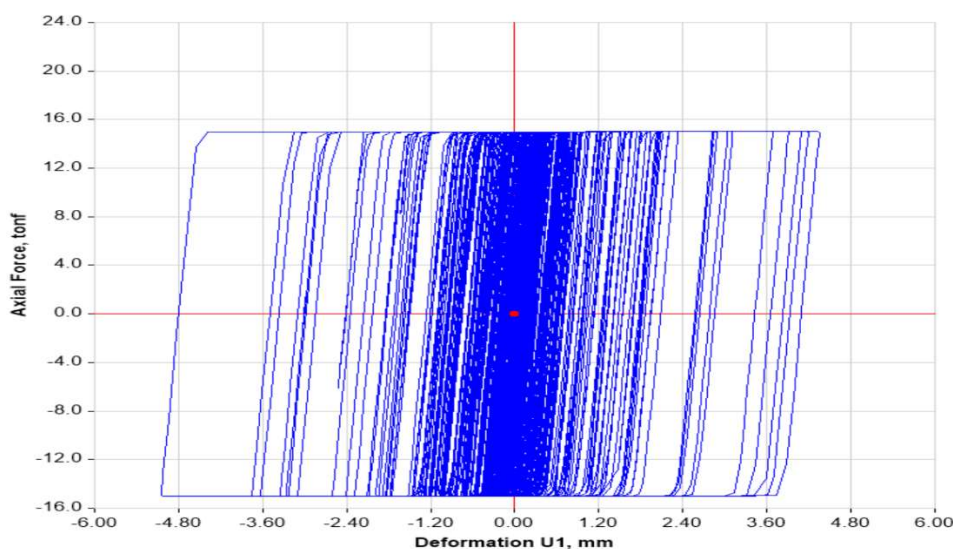


Nota. La figura nos muestra un comportamiento típicamente histerético con lazo estable y ancho disipador K9. Elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 105 muestra la respuesta del disipador K10, cuya curva histerética presenta características similares en términos de amplitud y forma. En este caso, los valores máximos de fuerza axial alcanzan ± 15 toneladas-fuerza, mientras que los desplazamientos varían entre aproximadamente -5 mm y +4 mm. Este mayor rango de deformación sugiere que el disipador K10 experimenta una demanda de desplazamiento superior en comparación con el K9, lo que podría estar relacionado con su ubicación en la estructura y las solicitaciones impuestas.

Figura 105:

Respuesta cíclica del dissipador de energía Quaketek. K10.



Nota. La figura nos muestra un comportamiento similar en términos de amplitud y forma del dissipador K10 respecto al dissipador K9. Elaboración propia.

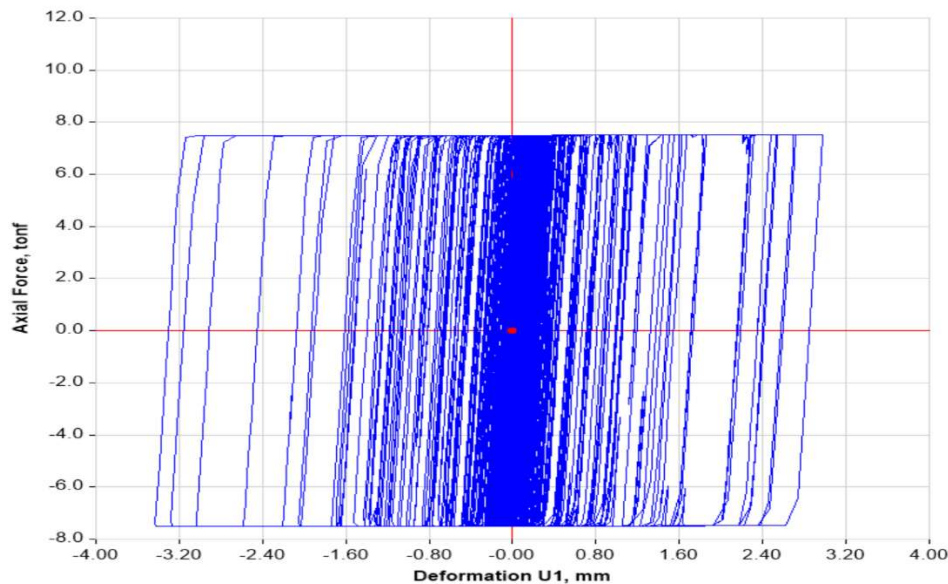
Ambos dissipadores muestran una adecuada disipación de energía, evidenciada por la estabilidad y amplitud de los lazos histeréticos. La presencia de múltiples ciclos indica que el mecanismo de fricción está operando correctamente sin signos de degradación significativa, lo que es fundamental para garantizar un desempeño sísmico eficiente en la estructura. Estos resultados destacan la importancia de la configuración y ubicación de los dissipadores en el modelo estructural, ya que influyen en la distribución de esfuerzos y deformaciones durante eventos sísmicos.

En la Figura 106, correspondiente al dissipador K14, se observan valores máximos de fuerza axial cercanos a ± 7 toneladas-fuerza, con desplazamientos que oscilan entre aproximadamente -3.5 mm y +2.8 mm. La curva presenta un lazo histerético estable, aunque con una leve asimetría en los desplazamientos, lo que podría deberse a condiciones específicas de carga en la estructura o diferencias en la activación del mecanismo de fricción. La densidad de ciclos en la zona central indica que el dissipador ha experimentado múltiples

ciclos de carga, lo que sugiere una adecuada disipación de energía sin una degradación significativa del material.

Figura 106:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.

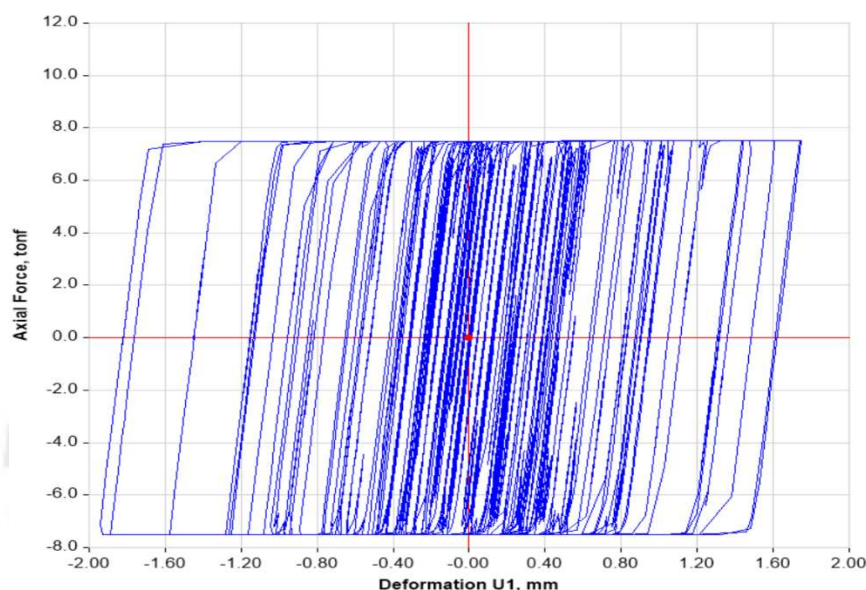


Nota. La figura nos muestra el comportamiento cíclico del disipador K14, un lazo histerético estable, aunque con una leve asimetría en los desplazamientos. Elaboración propia.

Por otro lado, la Figura 107, correspondiente al disipador K16, muestra un comportamiento similar, con valores máximos de fuerza axial de aproximadamente ± 7 toneladas-fuerza y desplazamientos entre -2 mm y +1.8 mm. El lazo histerético es amplio y bien definido, lo que indica una respuesta eficaz del disipador ante las demandas sísmicas. Sin embargo, se observa una mayor compactación de ciclos en la parte central del lazo, lo que puede estar relacionado con la activación repetida del mecanismo de fricción en un rango de desplazamiento reducido.

Figura 107:

Respuesta cíclica del dissipador de energía Quaketek. K16.



Nota. La figura nos muestra el comportamiento cíclico del dissipador K16 que es similar al del dissipador K14. Elaboración propia.

Las Figuras 106 y 107 muestran la respuesta cíclica de los dissipadores de energía por fricción Quaketek K14 y K16 ante cargas alternantes, posiblemente generadas por el sismo de Pisco de 2007. En ambas curvas histeréticas se puede observar el comportamiento característico de los dissipadores de fricción, donde la disipación de energía se refleja en la amplitud y estabilidad de los lazos.

Comparando ambos dissipadores, se aprecia que el K16 ha experimentado fuerzas máximas ligeramente superiores al K14, pero con un rango de desplazamiento menor. Esto podría deberse a diferencias en la configuración estructural o en la magnitud de la excitación sísmica experimentada en sus respectivas posiciones dentro de la edificación.

En general, ambos dissipadores han mostrado un desempeño adecuado frente a las demandas sísmicas impuestas por el terremoto de Pisco 2007, disipando energía mediante la fricción y reduciendo la transmisión de fuerzas a la estructura principal. La forma y

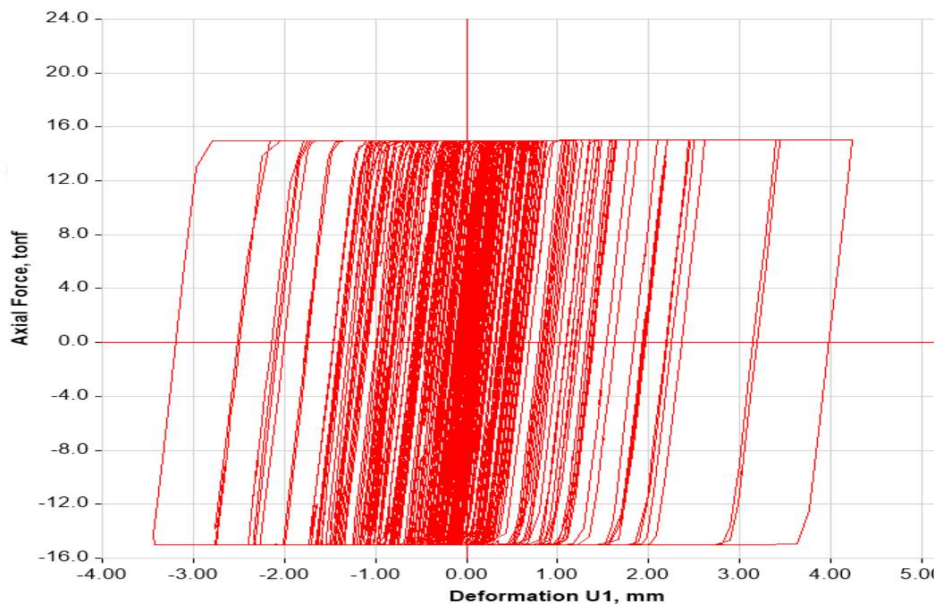
estabilidad de los lazos sugieren que estos dispositivos han cumplido su función de limitar deformaciones excesivas y mejorar el comportamiento sísmico del sistema estructural.

4.7.4.2 Comportamiento cíclico de los disipadores sismo de Atico 2001

Los disipadores de energía por fricción Quaketek K9 y K10, sometidos a la excitación sísmica del terremoto de Atico 2001, muestran un comportamiento histerético estable con una adecuada capacidad de disipación de energía. En el caso del disipador K9, los lazos de histéresis alcanzan fuerzas máximas en el rango de ± 15 toneladas-fuerza y desplazamientos entre -4 mm y +5 mm.

Figura 108:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.



Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek. K9 muestra una adecuada capacidad de disipación de energía. Elaboración propia.

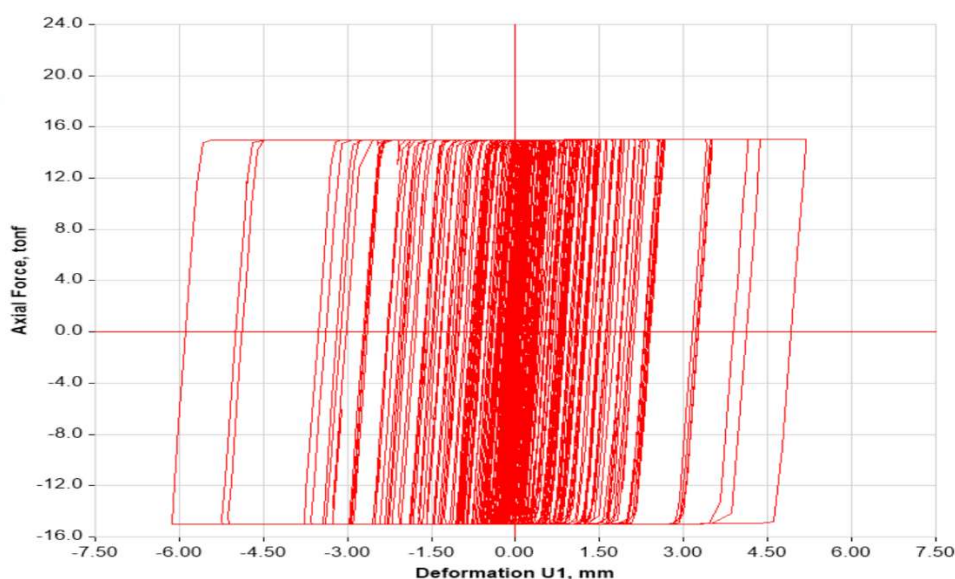
La alta densidad de ciclos en la zona central indica una activación repetitiva del mecanismo de fricción en rangos de desplazamiento relativamente pequeños, lo que sugiere un comportamiento estable sin pérdida significativa de disipación de energía. No obstante,

la ligera asimetría en los desplazamientos podría deberse a variaciones en la presión de contacto de los elementos de fricción.

Por otro lado, el disipador K10 presenta una respuesta similar, con lazos bien definidos y amplios, alcanzando desplazamientos entre -5 mm y +5 mm, lo que sugiere una mayor capacidad de deformación respecto al K9. La forma estable de sus lazos y la alta densidad de ciclos en la parte central confirman una activación continua del mecanismo de fricción sin degradación apreciable. Comparando ambos disipadores, se observa que el K10 tiene una mayor capacidad de deformación, lo que podría indicar que fue sometido a mayores demandas estructurales o diseñado para absorber desplazamientos más amplios.

Figura 109:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K10.



Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K10 muestra una adecuada capacidad de disipación de energía. Elaboración propia.

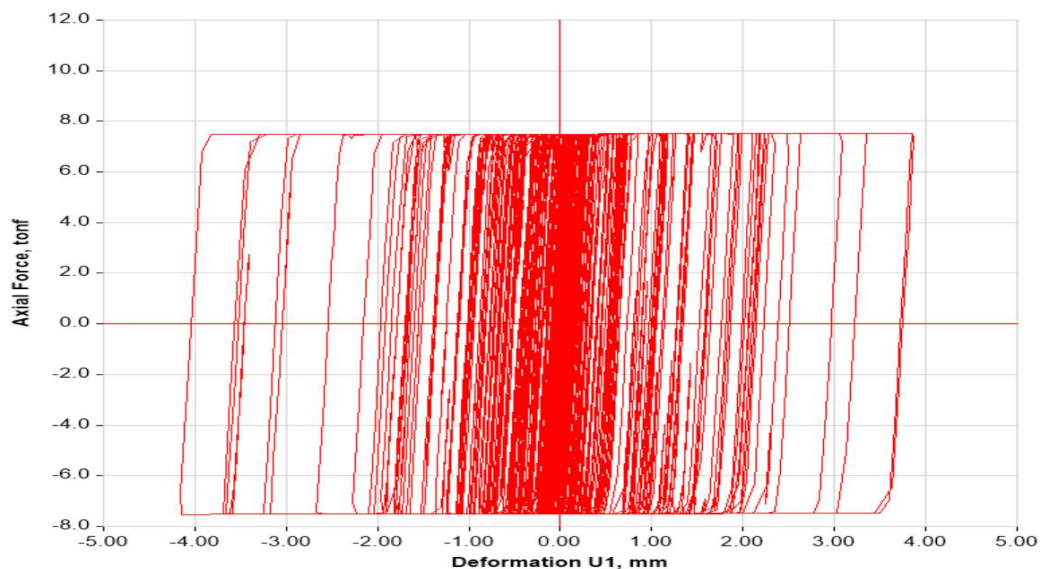
En general, la respuesta sísmica de ambos disipadores es positiva, ya que sus lazos de histéresis estables demuestran una eficiente disipación de energía sin signos evidentes de deterioro. Esto sugiere que su desempeño ha sido satisfactorio frente a un evento sísmico

severo como el de Atico 2001, lo que valida su efectividad en la reducción de la demanda estructural en edificaciones sometidas a movimientos telúricos de gran intensidad.

Los disipadores de fricción Quaketek K14 y K16 han sido sometidos a la acción del terremoto de Atico 2001, evidenciando respuestas histeréticas con características distintivas. En el caso del disipador K14, se observan lazos bien definidos y relativamente amplios, alcanzando fuerzas máximas en el rango de ± 7 toneladas-fuerza y desplazamientos entre -5 mm y +5 mm. La elevada densidad de ciclos en la región central sugiere un mecanismo de fricción que se activa de manera repetitiva, disipando energía de forma estable y sin pérdida significativa de capacidad. Sin embargo, la ligera inclinación de los lazos indica una posible degradación en la resistencia del material de contacto o una variación en las condiciones de fricción a lo largo del ensayo.

Figura 110:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.

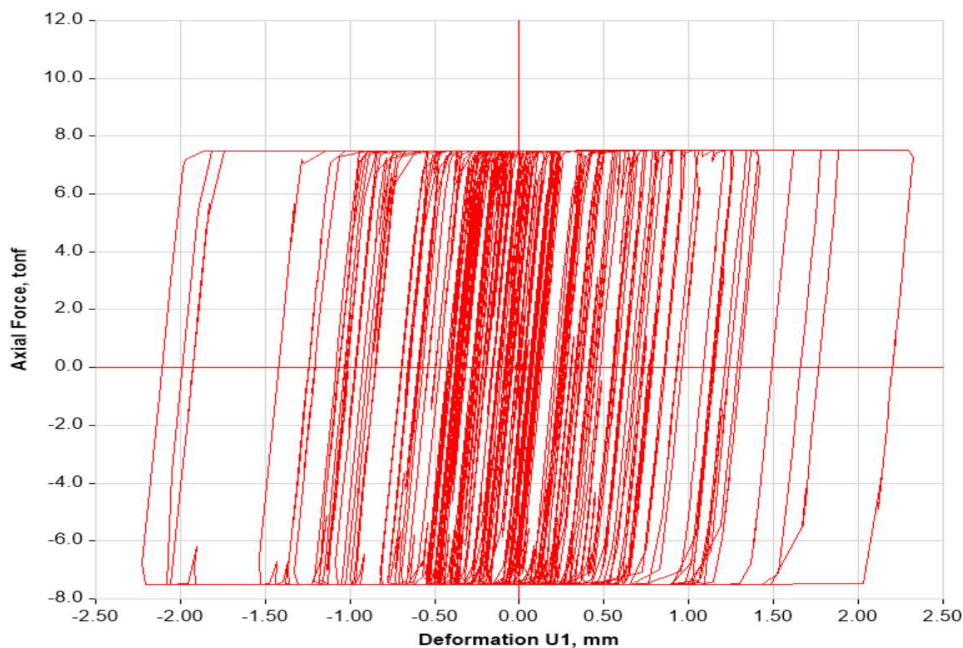


Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K14 muestra lazos bien definidos y relativamente amplios. Elaboración propia.

Por otro lado, el dissipador K16 presenta una respuesta similar, aunque con una reducción en la amplitud de los desplazamientos, situándose entre -2.5 mm y +2.5 mm. Este comportamiento podría indicar una menor flexibilidad del sistema o una mayor restricción en los desplazamientos impuestos por la estructura donde fue instalado. No obstante, los lazos de histéresis siguen mostrando una disipación de energía efectiva, aunque con una ligera reducción en la fuerza máxima alcanzada en comparación con el dissipador K14. Esto sugiere que el K16 podría estar diseñado para cargas más moderadas o que ha experimentado una leve degradación de su mecanismo de fricción.

Figura 111:

Respuesta cíclica del dissipador de energía Quaketek. K16.



Nota. El comportamiento cíclico del dissipador Quaketek K16 es similar al dissipador Quaketek K14. Elaboración propia.

La comparación entre ambos dissipadores indica que, si bien ambos han disipado energía de manera eficiente, el K14 ha permitido mayores deformaciones antes de alcanzar sus límites de fricción. Esto es relevante en la evaluación del desempeño sísmico, ya que sugiere que el K14 podría ofrecer una mayor capacidad de absorción de energía en eventos

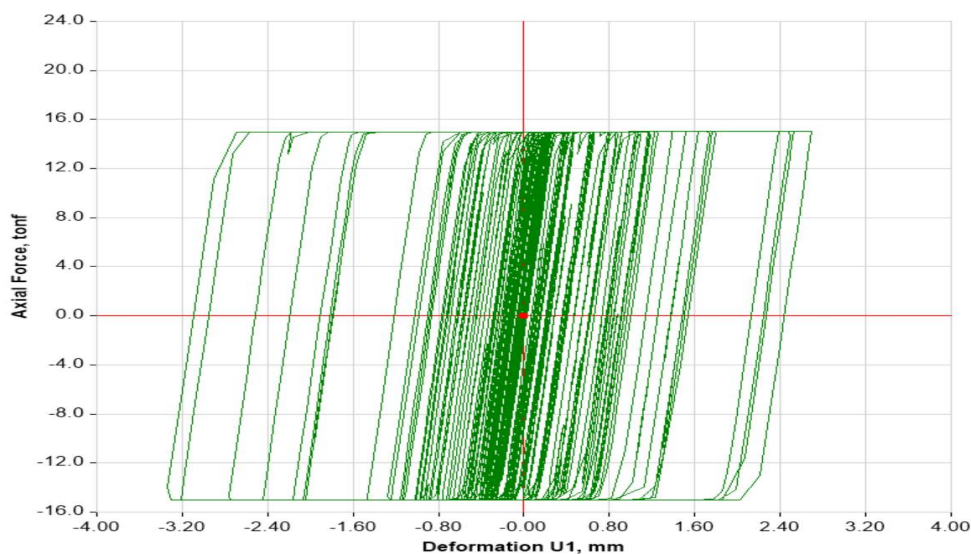
sísmicos severos. No obstante, el K16, al presentar lazos con una pendiente más inclinada, podría haber experimentado una menor pérdida de rigidez, lo que indicaría un mejor control de los desplazamientos en la estructura.

4.7.4.3 Comportamiento cíclico de los disipadores sismo de Huaraz 1970

Los disipadores de fricción Quaketek K9 y K10 han sido sometidos a la acción del terremoto de Huaraz 1970, mostrando respuestas histeréticas que evidencian su capacidad de disipación de energía. En el caso del disipador K9, los lazos de histéresis presentan una configuración estable con una amplitud de fuerza axial de aproximadamente ± 15 toneladas-fuerza y desplazamientos dentro del rango de ± 4 mm. La geometría de los lazos sugiere un mecanismo de fricción efectivo, caracterizado por una disipación de energía sostenida y sin una degradación significativa de la resistencia. Sin embargo, la densidad de ciclos en la zona central indica una posible variación en la activación del mecanismo de fricción, lo que podría estar asociado con la variabilidad en la carga impuesta por la acción sísmica.

Figura 112:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K9.



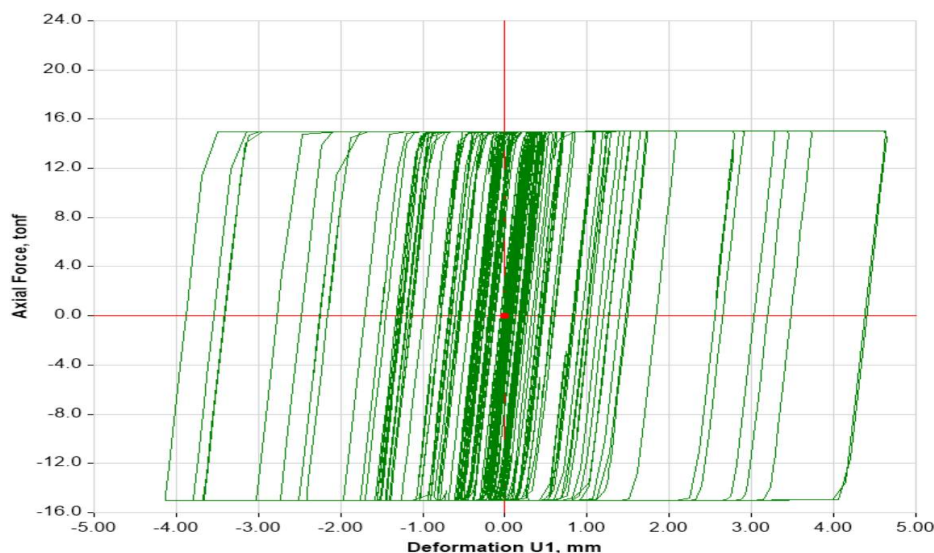
Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K9 presenta una configuración estable con una amplitud de fuerza axial. Elaboración propia.

En el caso del disipador K10, los lazos de histéresis presentan una respuesta similar en términos de disipación de energía, pero con una reducción en la amplitud de los desplazamientos, que se encuentran dentro del rango de ± 5 mm. La forma más cerrada de los lazos en comparación con el disipador K9 sugiere un comportamiento más controlado, con una menor dispersión en la energía disipada por ciclo. Además, la inclinación de los lazos indica una mayor estabilidad en la respuesta del disipador, lo que podría estar relacionado con una mejor configuración del sistema de fricción o con una menor degradación del material de contacto durante el evento sísmico.

La comparación muestra que ambos disipadores respondieron adecuadamente al sismo de Huaraz de 1970; sin embargo, el K9 presenta mayores desplazamientos, indicando una mayor capacidad de deformación, mientras que el K10 ofrece un control más preciso con disipación uniforme.

Figura 113:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek K10.

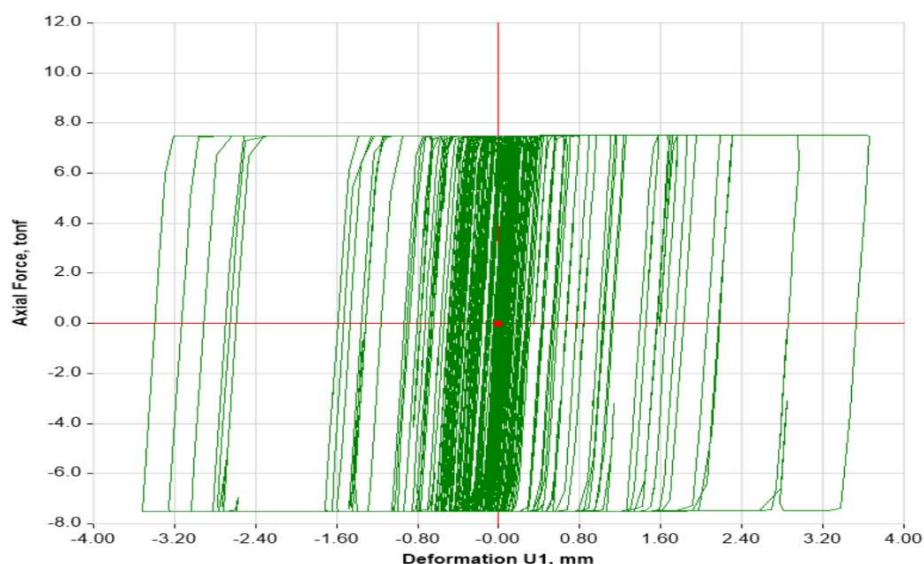


Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K10 presenta lazos con una geometría más cerrada y una disipación más uniforme. Elaboración propia.

Los disipadores de fricción Quaketek K14 y K16 han sido evaluados bajo la acción del terremoto de Huaraz 1970, mostrando respuestas histeréticas que evidencian diferencias en su comportamiento de disipación de energía. El disipador K14 presenta lazos de histéresis con una amplitud de fuerza axial de aproximadamente ± 7 toneladas-fuerza y desplazamientos en el rango de ± 4 mm. Su respuesta muestra una disipación de energía estable y una gran cantidad de ciclos bien definidos, lo que indica que el mecanismo de fricción ha operado de manera continua y efectiva sin signos evidentes de degradación. Sin embargo, la densidad de ciclos en la zona central sugiere que el disipador ha estado sometido a pequeñas variaciones en el coeficiente de fricción, lo que puede influir en la eficiencia del sistema. En general, el disipador K14 muestra una buena capacidad de disipación, adecuada para estructuras con demandas sísmicas moderadas.

Figura 114:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K14.



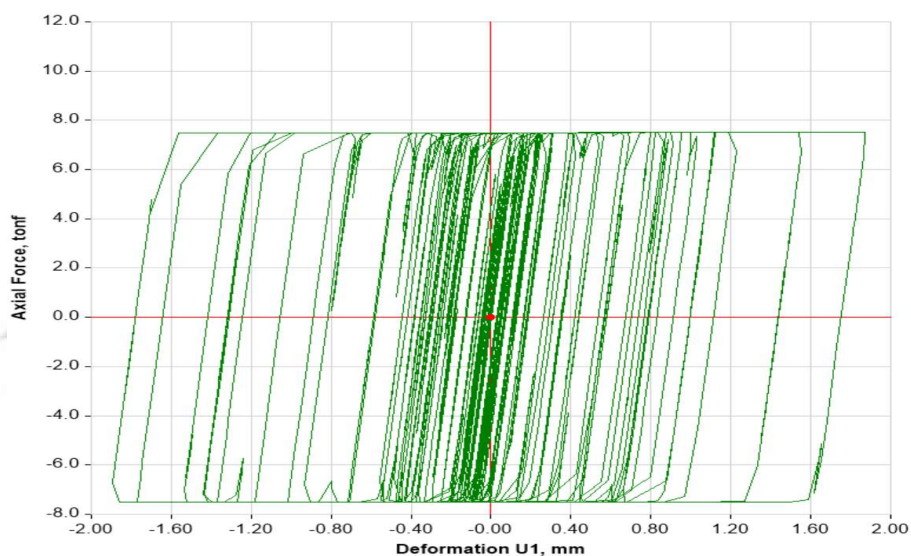
Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K14 presenta lazos de histéresis con una amplitud de fuerza axial. Elaboración propia.

En contraste, el disipador K16 presenta lazos de histéresis con una menor cantidad de ciclos y un comportamiento más irregular. Se observa una degradación parcial de la

disipación de energía, evidenciada por la disminución en la densidad de los ciclos y una respuesta menos uniforme. Además, la amplitud de desplazamientos está reducida a aproximadamente ± 2 mm, lo que indica que este disipador ha experimentado una menor deformación en comparación con el K14. La inclinación de los lazos sugiere que la fuerza de fricción se ha mantenido estable en los ciclos iniciales, pero con una posible pérdida de efectividad en los ciclos posteriores.

Figura 115:

Respuesta cíclica del disipador de energía Quaketek. K16.



Nota. El comportamiento cíclico del disipador Quaketek K16 presenta lazos con una menor cantidad de ciclos y un comportamiento más irregular. Elaboración propia.

En términos comparativos, el disipador K14 ha mostrado un mejor desempeño en disipación de energía, con lazos de histéresis más densos y bien definidos, manteniendo su capacidad de disipación estable durante toda la historia sísmica, lo que lo hace adecuado para estructuras con alta demanda de amortiguamiento. Por otro lado, el disipador K16 presenta una menor eficiencia en la disipación de energía, posiblemente debido a una degradación en el mecanismo de fricción o a una menor capacidad de deformación, lo que sugiere que este modelo es más adecuado para estructuras donde se priorice el control de

desplazamientos sobre la disipación de energía. Ambos disipadores han mostrado un comportamiento funcional, pero con diferencias significativas en su respuesta ante la acción sísmica, por lo que la elección entre estos modelos debe considerar las necesidades específicas de la estructura en términos de disipación de energía y control de desplazamientos.

4.7.5 Máximas distorsiones Análisis no lineal tiempo historia

La Tabla 45 presenta los valores de las distorsiones máximas (drift) en la dirección X para una estructura sometida a un análisis sísmico, considerando el 100% de la carga muerta y el 25% de la carga viva. Los valores de distorsión lateral indican cuánto se desplazan lateralmente los pisos en relación con su altura total. Este parámetro es crucial para evaluar la respuesta estructural ante un evento sísmico, ya que las distorsiones excesivas pueden comprometer tanto la seguridad como la funcionalidad de la estructura.

Tabla 45:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 100%EW+30%NS.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m		
Story8	21.9	0.0015	0.0009
Story7	19.2	0.0017	0.0013
Story6	16.5	0.0020	0.0016
Story5	13.8	0.0022	0.0018
Story4	11.1	0.0024	0.0019
Story3	8.4	0.0027	0.0020
Story2	5.7	0.0025	0.0018
Story1	3	0.0015	0.0011
Base	0	0	0

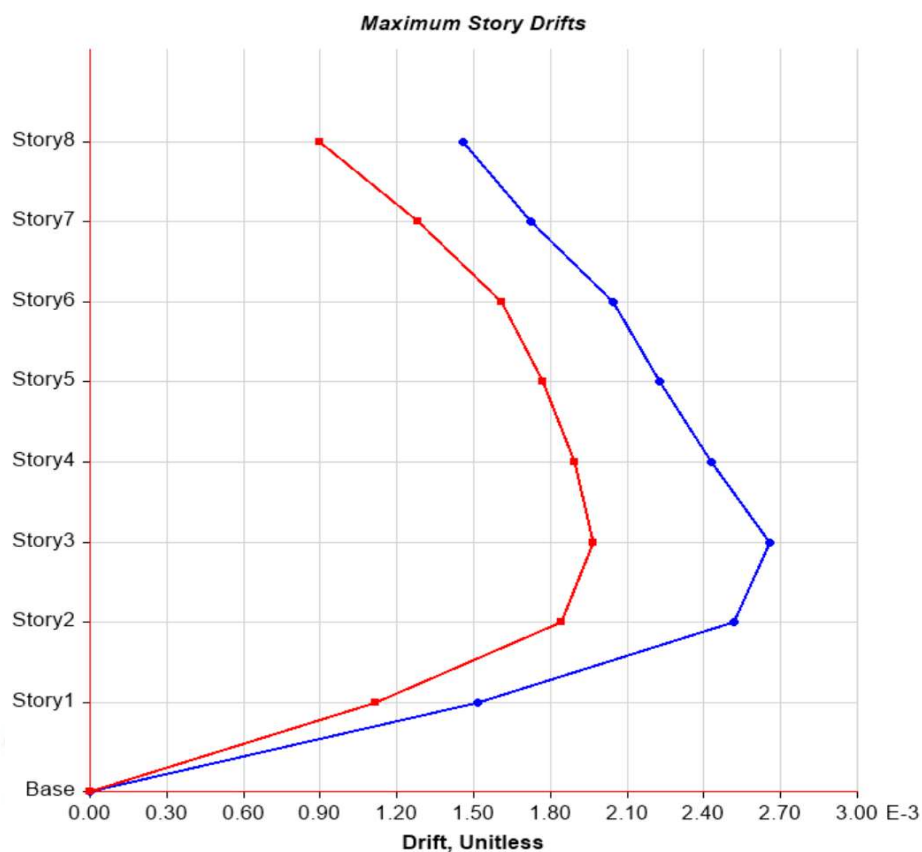
Nota. La Tabla muestra que la distorsión lateral máxima en dirección X varía con la altura de la estructura, siendo mayor en los pisos superiores. En el piso más alto (Story 8, con una elevación de 21.9 m), la distorsión es de 0.0015, mientras que en el piso inferior (Story 1, con una elevación de 3 m), la distorsión es de 0.0015. Elaboración propia.

Este comportamiento es típico de una estructura flexible, donde los pisos superiores tienden a desplazarse más bajo fuerzas laterales, ya que los desplazamientos acumulados son mayores hacia la parte superior. Sin embargo, es interesante notar que los valores de distorsión en los pisos intermedios no siguen una progresión estrictamente lineal. Por ejemplo, el Story 6 (16.5 m de altura) presenta una distorsión de 0.0020, que es mayor que en el Story 7 (19.2 m, con 0.0017). Esto puede ser indicativo de ciertas características locales de rigidez estructural que afectan el comportamiento en esos niveles.

La Figura 116 representa gráficamente las distorsiones laterales máximas (drift) para cada nivel de la estructura en la dirección X. Se muestra un comportamiento típico de un edificio de varios pisos donde, bajo una excitación sísmica, los pisos superiores experimentan mayores desplazamientos acumulativos en comparación con los inferiores.

Figura 116:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.



Nota. La curva roja, correspondiente a la dirección X, muestra una tendencia creciente con la altura. La pendiente de la curva es más pronunciada en los niveles superiores, lo que refuerza la observación de que las distorsiones son mayores a mayor altura. Elaboración propia.

Otro aspecto relevante de la Figura 116 es la suavidad de la curva. Aunque la distorsión varía entre los pisos, no hay cambios bruscos en la pendiente, lo cual sugiere que la estructura no tiene discontinuidades significativas en su rigidez lateral en la dirección X. Esto podría indicar que el diseño estructural es uniforme en términos de resistencia lateral, aunque se observan pequeñas variaciones en los valores de drift entre pisos.

La Tabla 46 muestra las distorsiones máximas (drift) en la dirección Y bajo carga sísmica, considerando el 100 % de la carga muerta y el 25 % de la carga viva. Estos valores son clave para evaluar la seguridad estructural, ya que una distorsión excesiva puede afectar la integridad del edificio.

Los datos en la Tabla 46 revelan que los valores de distorsión en la dirección Y son menores que en la dirección X, como se puede observar comparando con la tabla anterior. En el piso más alto (Story 8, con una altura de 21.9 m), la distorsión lateral máxima es de 0.0014 en la dirección X y de 0.0011 en la dirección Y. A medida que se descende en la estructura, los valores de drift disminuyen gradualmente, con el Story 1 (a 3 m de altura) mostrando distorsiones de 0.0011 en la dirección X y 0.0012 en la dirección Y. Este comportamiento indica que la estructura es más rígida en la dirección Y, ya que las distorsiones son menores para las mismas condiciones de carga.

Tabla 46:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.

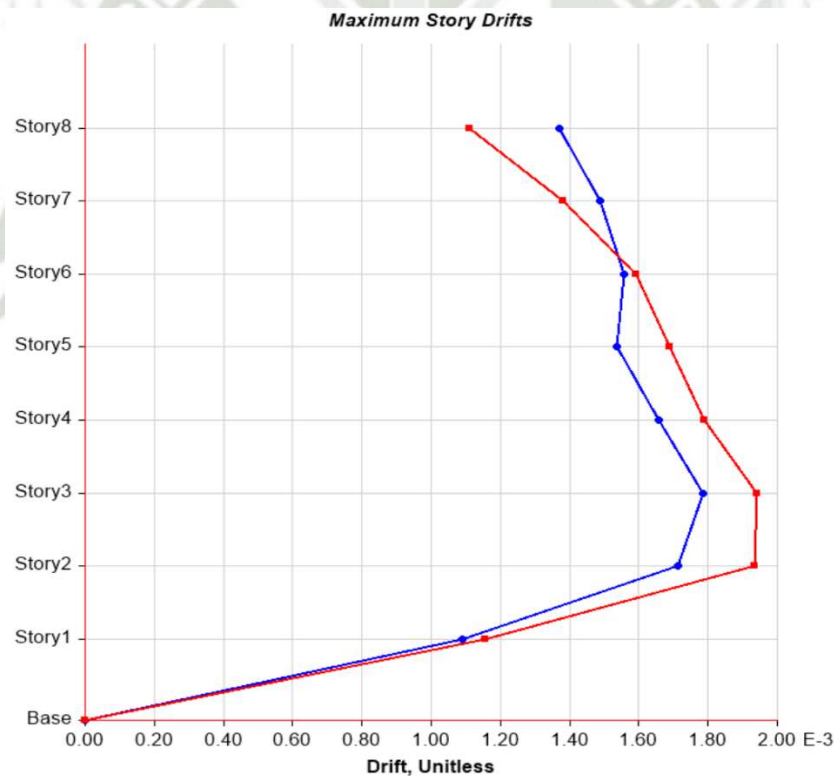
Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m		
Story8	21.9	0.0014	0.0011
Story7	19.2	0.0015	0.0014
Story6	16.5	0.0016	0.0016
Story5	13.8	0.0015	0.0017
Story4	11.1	0.0017	0.0018
Story3	8.4	0.0018	0.0019
Story2	5.7	0.0017	0.0019
Story1	3	0.0011	0.0012
Base	0	0	0

Nota. Se muestra que los valores de distorsión en la dirección Y son menores que en la dirección X. Elaboración propia.

La Figura 117 nos permite observar claramente cómo la distorsión varía en función de la altura, y resalta que la estructura se comporta de manera diferente en ambas direcciones. La curva de la dirección X muestra una pendiente más pronunciada, lo que indica mayores deformaciones laterales, especialmente en los pisos superiores. En contraste, la curva en la dirección Y es más suave, reflejando un comportamiento más rígido, con menores desplazamientos laterales en la misma altura.

Figura 117:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Pisco 2007, 30%EW+100%NS.



Nota. Se representa gráficamente la relación de drift para cada nivel de la estructura en ambas direcciones, X (curva roja) y Y (curva azul). Elaboración propia.

En términos de comportamiento sísmico, la estructura parece más flexible en la dirección X, lo que sugiere que esta dirección podría ser más vulnerable a las fuerzas laterales inducidas por el sismo. Esto puede deberse a diferencias en la disposición de los

elementos estructurales, como muros de corte o marcos rígidos, que proporcionan mayor rigidez en la dirección Y.

Es interesante notar que en ambos casos, las distorsiones laterales siguen un patrón de aumento gradual hacia los pisos superiores, lo cual es esperado en estructuras sometidas a cargas sísmicas, ya que los desplazamientos se acumulan con la altura. Sin embargo, la diferencia en el comportamiento entre ambas direcciones, aunque no drástica, es significativa y debe ser tomada en cuenta al evaluar la capacidad de la estructura para resistir movimientos sísmicos en ambas direcciones.

El análisis de las máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001 (100%EW + 30%NS) permite evaluar el comportamiento estructural de la edificación ante un evento sísmico y su susceptibilidad a daños por deformaciones excesivas.

Tabla 47:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 100%EW+30%NS.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0017	0.0011
Story7	19.2	0.0019	0.0015
Story6	16.5	0.0023	0.0018
Story5	13.8	0.0026	0.0019
Story4	11.1	0.0028	0.0021
Story3	8.4	0.0029	0.0023
Story2	5.7	0.0029	0.0023
Story1	3	0.0019	0.0014
Base	0	0	0

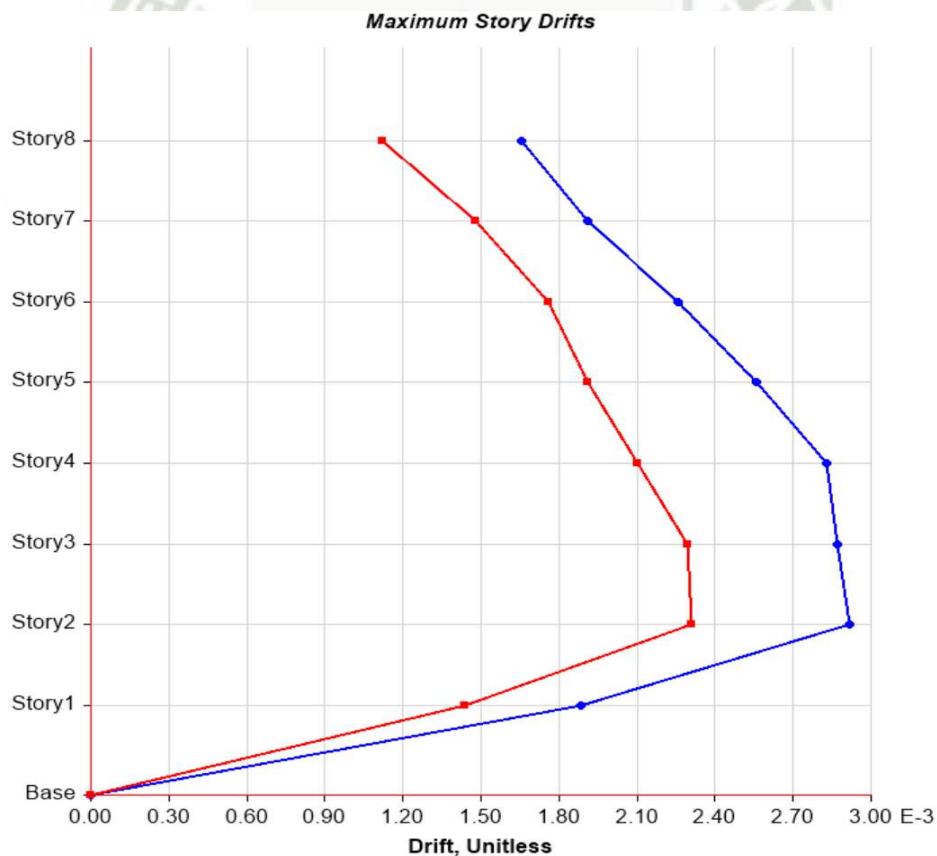
Nota. Se observa que la distorsión lateral es mayor en la dirección X que en la dirección Y, lo que indica que la estructura es más flexible o está sometida a mayores esfuerzos en la

dirección este-oeste (EW), probablemente debido a la orientación del sismo y a la distribución de la rigidez lateral de la edificación. Elaboración propia.

La distorsión máxima en la dirección X se alcanza en el tercer nivel (8.4 m) con un valor de **0.0029**, mientras que en la dirección Y el valor máximo es **0.0023**, también en el tercer nivel. Estos valores representan la relación entre el desplazamiento relativo entre pisos y la altura de cada nivel, lo que indica la deformación de la estructura debido a la acción sísmica.

Figura 118:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 100%EW+30%NS.



Nota. En la figura se muestra que desde el nivel base hasta el tercer piso, las distorsiones aumentan progresivamente, alcanzando su punto máximo en el tercer nivel. Luego, a

medida que se asciende, las distorsiones decrecen, lo que sugiere una mayor participación de los modos inferiores en la respuesta sísmica. Elaboración propia.

En términos de diseño sísmico, es importante verificar que estas distorsiones no superen los límites establecidos en normativas como la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del Perú, donde el límite de distorsión para edificaciones esenciales o con importancia normal generalmente se establece entre 0.005 y 0.007. Dado que los valores obtenidos son menores a estos umbrales, la estructura no presentaría un riesgo inmediato de colapso por distorsión excesiva. Sin embargo, si la estructura posee muros de mampostería no reforzada, elementos no estructurales frágiles o sistemas de tabiquería no diseñados para grandes deformaciones, podrían generarse daños significativos que afecten la funcionalidad del edificio.

Tabla 48:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 30%EW+100%NS.

Story	Elevation	X-Dir	Y-Dir
	m		
Story8	21.9	0.0013	0.0010
Story7	19.2	0.0014	0.0011
Story6	16.5	0.0015	0.0014
Story5	13.8	0.0015	0.0015
Story4	11.1	0.0016	0.0018
Story3	8.4	0.0018	0.0019
Story2	5.7	0.0018	0.0018
Story1	3	0.0011	0.0011
Base	0	0	0

Nota. Esta tabla muestra las máximas distorsiones laterales experimentadas por la estructura debido al registro sísmico de Atico 2001, considerando una combinación del 100% en la dirección este-oeste (EW) y el 30% en la dirección norte-sur (NS). Estos valores

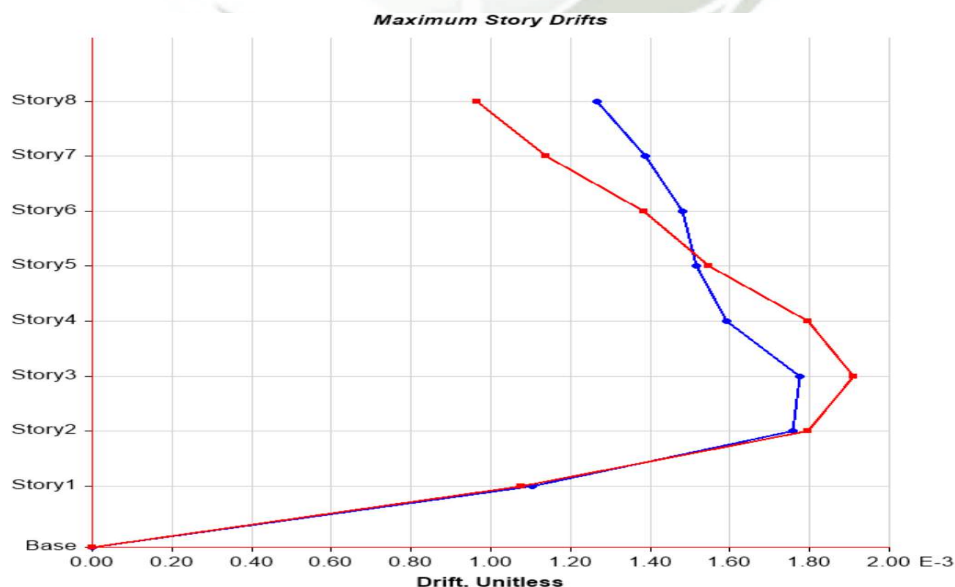
reflejan la deformación relativa entre pisos y permiten evaluar la respuesta estructural frente a esta excitación sísmica particular. Elaboración propia.

Se observa que la respuesta en la dirección X (EW) presenta valores de distorsión lateral más elevados en comparación con la dirección Y (NS) en todos los niveles de la estructura. Esto indica que la edificación es más flexible en la dirección este-oeste, probablemente debido a la disposición estructural de los elementos resistentes. Las máximas distorsiones se concentran en los niveles intermedios de la edificación, alcanzando un valor pico de 0.0018 tanto en el tercer como en el segundo nivel en la dirección X. En la dirección Y, el mayor valor de distorsión se presenta en los mismos niveles con un valor de 0.0019.

El patrón de la siguiente imagen sugiere que la mayor demanda de deformación se produce en la zona media de la edificación, lo que podría estar relacionado con una distribución no uniforme de la rigidez estructural.

Figura 119:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Atico 2001, 30%EW+100%NS.



Nota. El comportamiento de la distorsión lateral muestra una tendencia creciente desde la base hasta el tercer nivel, manteniéndose relativamente constante en los niveles inferiores y luego reduciéndose hacia los pisos superiores. Elaboración propia.

Desde una perspectiva normativa, comparando estos valores con los límites establecidos en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del Perú, que generalmente considera valores máximos de distorsión entre pisos entre 0.005 y 0.007 para edificaciones de uso convencional (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), se concluye que las deformaciones obtenidas se encuentran dentro de los límites aceptables. Sin embargo, es importante considerar que, si bien las distorsiones son relativamente bajas, pueden existir efectos adicionales, como amplificaciones de aceleraciones o concentraciones de esfuerzos que podrían afectar la seguridad y funcionalidad de la estructura.

La tabla 49 presenta valores que representan la deformación relativa entre pisos debido a la excitación sísmica y permiten evaluar la respuesta estructural ante esta condición de carga. Se observa que las distorsiones en la dirección X (EW) son mayores que en la dirección Y (NS) en todos los niveles, a pesar de que la demanda sísmica en este análisis es predominante en la dirección norte-sur. Esto sugiere que la estructura tiene una mayor rigidez en la dirección Y y una mayor flexibilidad en la dirección X, lo que puede estar relacionado con la distribución de los elementos estructurales, como muros o pórticos.

Tabla 49:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz, 100%EW+30%NS.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0015	0.0010
Story7	19.2	0.0018	0.0013
Story6	16.5	0.0022	0.0015
Story5	13.8	0.0023	0.0016

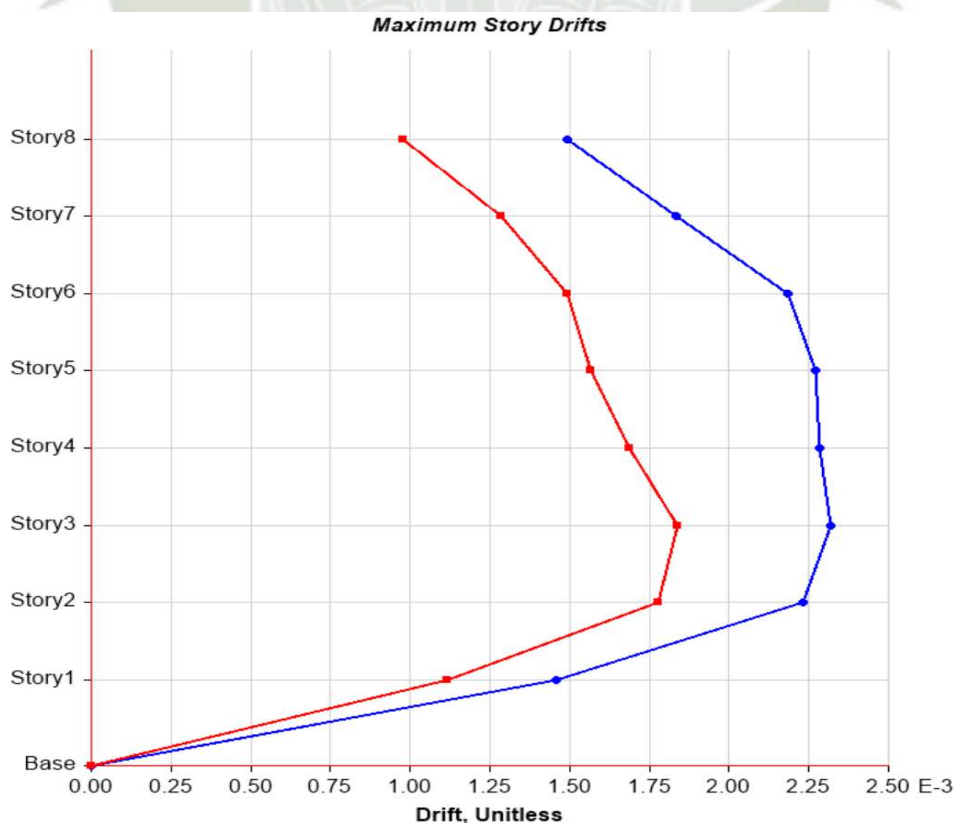
Story4	11.1	0.0023	0.0017
Story3	8.4	0.0023	0.0018
Story2	5.7	0.0022	0.0018
Story1	3	0.0015	0.0011
Base	0	0	0

Nota. Esta tabla presenta las máximas distorsiones laterales generadas por el registro sísmico de Atico 2001, considerando una combinación del 30% en la dirección este-oeste (EW) y el 100% en la dirección norte-sur (NS). Elaboración propia.

En cuanto a la distribución de las distorsiones a lo largo de la altura de la edificación, se evidencia que en la dirección X (EW), los valores aumentan progresivamente hasta el sexto nivel (16.5 m), donde se alcanza la máxima distorsión de 0.0022, mientras que en los niveles superiores la distorsión se mantiene relativamente constante o disminuye.

Figura 120:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 100%EW+30%NS.



Nota. Se muestra que en la dirección Y (NS), los valores de distorsión son mucho menores y se mantienen en un rango reducido sin presentar un pico significativo, con una máxima distorsión de 0.0018 en el tercer nivel. En los niveles inferiores, las distorsiones son considerablemente menores, especialmente en la base, lo que indica una buena restricción estructural en la zona de cimentación. Elaboración propia.

Comparando estos resultados con los límites normativos establecidos en la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del Perú, que típicamente considera valores máximos de distorsión entre pisos entre 0.005 y 0.007 para edificaciones convencionales (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018), se observa que las distorsiones obtenidas están muy por debajo de estos valores. Esto indica que la estructura se comporta de manera estable y que no presenta deformaciones excesivas que puedan comprometer su seguridad estructural. Sin embargo, una respuesta con distorsiones tan reducidas podría sugerir que la estructura es demasiado rígida, lo que podría generar concentraciones de esfuerzos en ciertos elementos estructurales y afectar componentes frágiles como muros de mampostería o tabiquería no estructural.

Tabla 50:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 30%EW + 100%NS.

Story	Elevation m	X-Dir	Y-Dir
Story8	21.9	0.0012	0.0010
Story7	19.2	0.0013	0.0012
Story6	16.5	0.0015	0.0014
Story5	13.8	0.0016	0.0016
Story4	11.1	0.0017	0.0018
Story3	8.4	0.0019	0.0020
Story2	5.7	0.0019	0.0019
Story1	3	0.0012	0.0011
Base	0	0	0

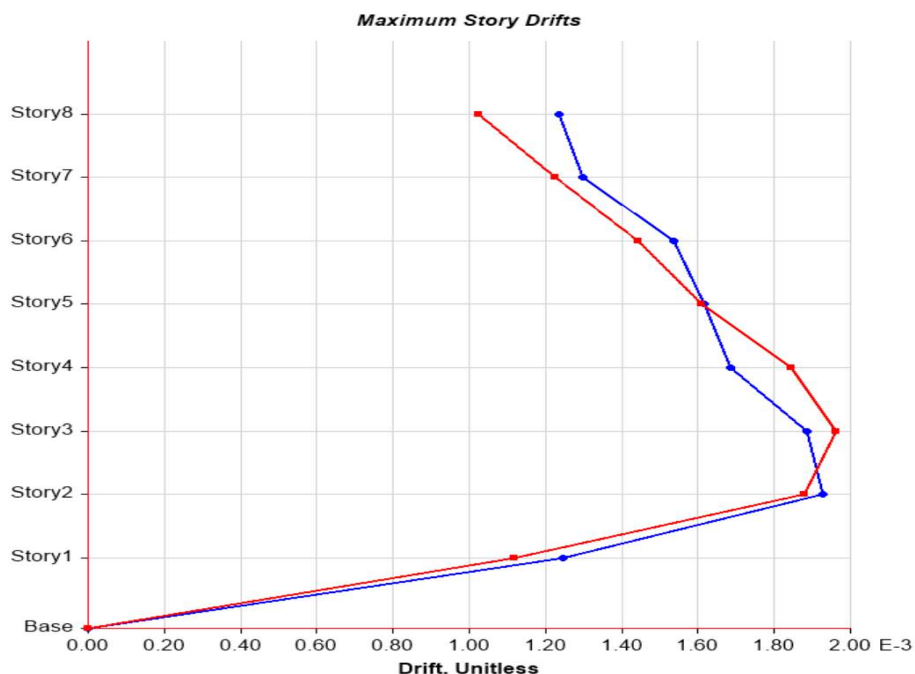
Nota. La siguiente tabla 36 presenta las máximas distorsiones laterales experimentadas por la estructura ante la acción del sismo de Huaraz 1970, considerando una combinación del 30% en la dirección este-oeste (EW) y el 100% en la dirección norte-sur (NS). Estos valores reflejan la deformación relativa entre pisos y son un indicador clave del desempeño estructural frente a esta excitación sísmica. Elaboración propia.

Se observa que la respuesta en la dirección Y (NS) es mayor en comparación con la dirección X (EW) en todos los niveles de la edificación. Este comportamiento indica que la estructura presenta una menor rigidez en la dirección norte-sur, lo que la hace más susceptible a deformaciones bajo la acción de un movimiento sísmico predominante en esa dirección. En particular, las máximas distorsiones en la dirección Y alcanzan su punto más alto en el tercer nivel con un valor de 0.002, mientras que en la dirección X, la mayor distorsión se presenta en el mismo nivel con un valor de 0.0019.

A diferencia del caso anterior, donde el sismo tenía su mayor componente en la dirección EW, en este escenario las deformaciones laterales son significativamente menores. Esto sugiere que la estructura responde de manera más rígida ante movimientos sísmicos predominantes en la dirección NS, lo cual podría estar asociado a una mayor cantidad de elementos estructurales o configuraciones que proporcionan mayor resistencia en esta dirección.

Figura 121:

Máximas distorsiones laterales producidas por el registro de aceleraciones del terreno de Huaraz 1970, 30%EW+100%NS.



Nota. Se muestra que las deformaciones laterales son significativamente menores respecto al caso anterior. Elaboración propia.

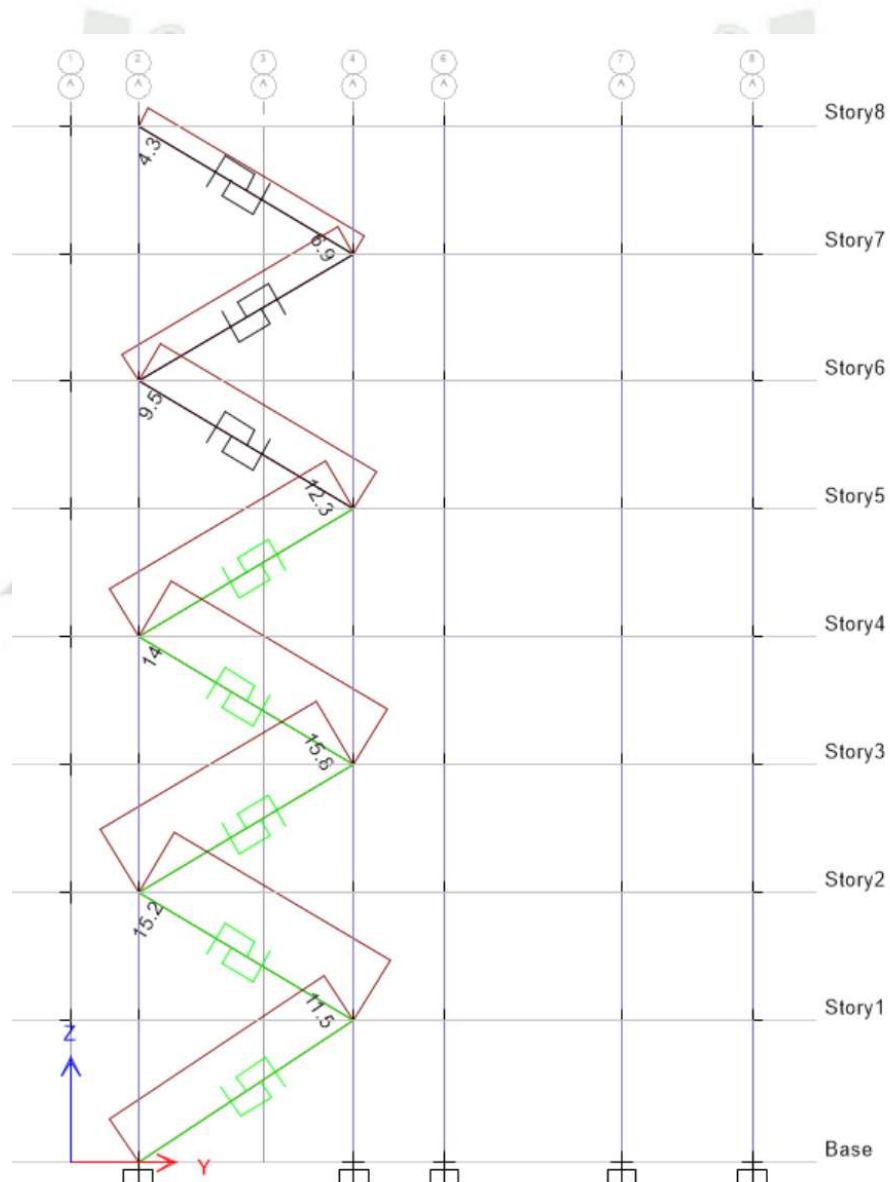
En términos de distribución de las deformaciones, se observa que las distorsiones laterales crecen gradualmente desde la base hasta el cuarto cinco, alcanzando su punto máximo en dicho nivel, para luego disminuir levemente en los niveles superiores. Este comportamiento indica que la demanda de deformación se concentra en la parte media de la estructura, aunque con valores considerablemente bajos en comparación con los límites normativos. De acuerdo con la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente del Perú, que establece valores máximos de distorsión de entre 0.005 y 0.007 para edificaciones convencionales, los valores obtenidos en este análisis son significativamente inferiores, lo que sugiere que la estructura no estaría en riesgo de sufrir daños severos por grandes deformaciones relativas.

4.8 DISEÑO POR CAPACIDAD

La imagen 122 muestra el desplazamiento lateral de un edificio de 8 niveles, con disipadores de energía representados en verde, bajo la acción del terremoto de Pisco 2007.

Figura 122:

Fuerzas axiales máximas actuantes sobre los disipadores de energía.



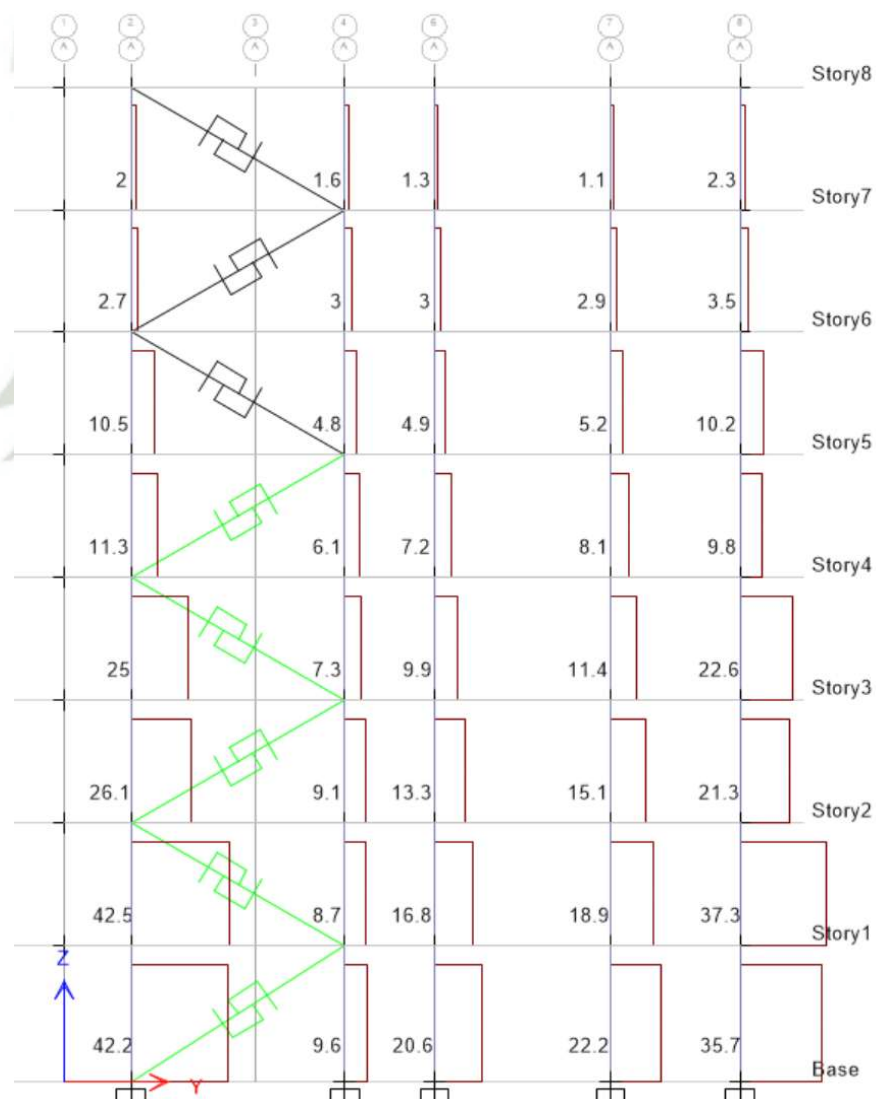
Nota. Se observan las deformaciones y las fuerzas axiales máximas actuantes sobre los disipadores, con valores de aproximadamente ± 5 kN y ± 12 kN en distintos niveles.

Elaboración propia.

El comportamiento estructural sugiere una distribución progresiva de esfuerzos, donde los niveles inferiores soportan mayores cargas axiales en los disipadores. La inclinación de los pisos indica una respuesta dinámica significativa, resaltando la importancia del uso de disipadores en la reducción de deformaciones y fuerzas internas.

Figura 123:

Fuerzas de compresión actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.



Nota. La imagen muestra las fuerzas de compresión en las columnas de un edificio de 8 niveles, obtenidas mediante un análisis modal espectral. Los valores de compresión

están indicados en kN y varían en cada nivel, con valores más altos en los pisos inferiores debido a la acumulación de cargas gravitacionales y sísmicas. Elaboración propia.

También se observan disipadores de energía en color verde, los cuales ayudan a reducir las fuerzas inducidas por el sismo. Se destaca que las columnas de la base presentan las mayores fuerzas de compresión, alcanzando valores superiores a **-42.2 kN**.

La imagen 124 presenta los **momentos flectores** actuantes en las columnas del sistema estructural, obtenidos mediante un **análisis modal espectral**. Se observa la distribución de momentos a lo largo de la altura del edificio, con valores mayores en la base y disminuyendo progresivamente hacia los niveles superiores.

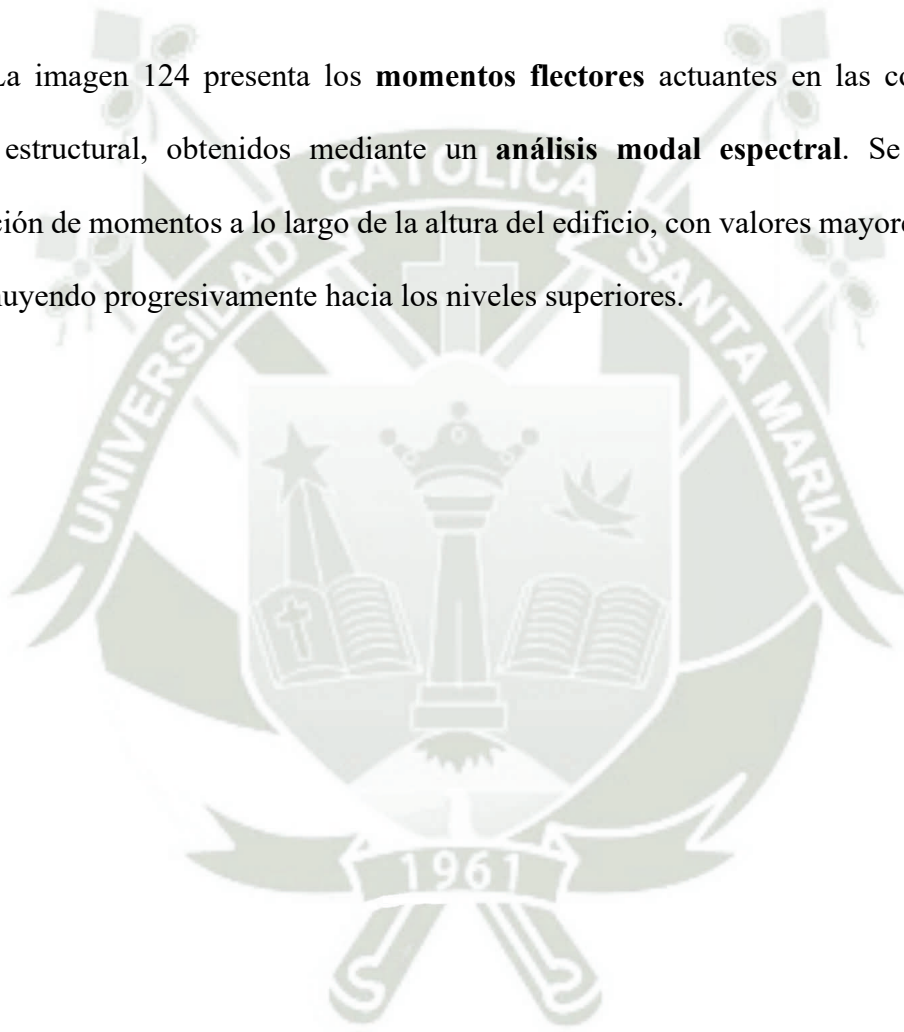
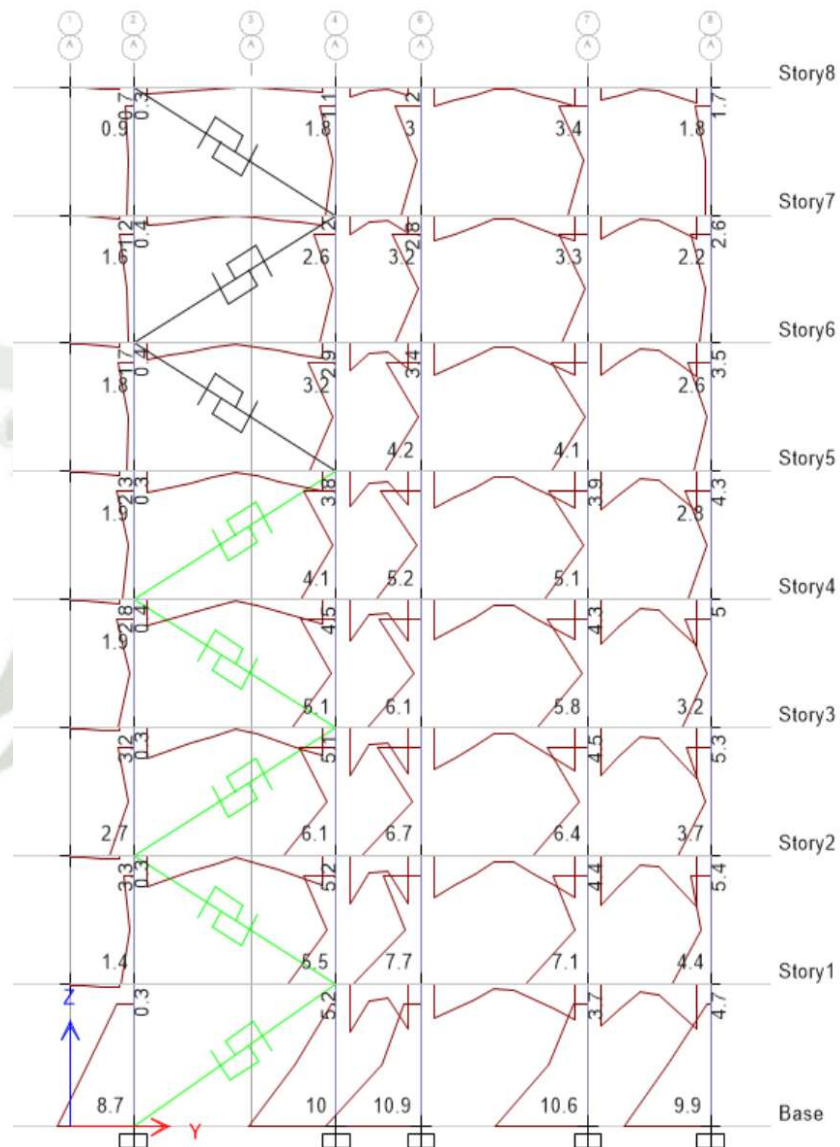


Figura 124:

Momentos flectores actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.



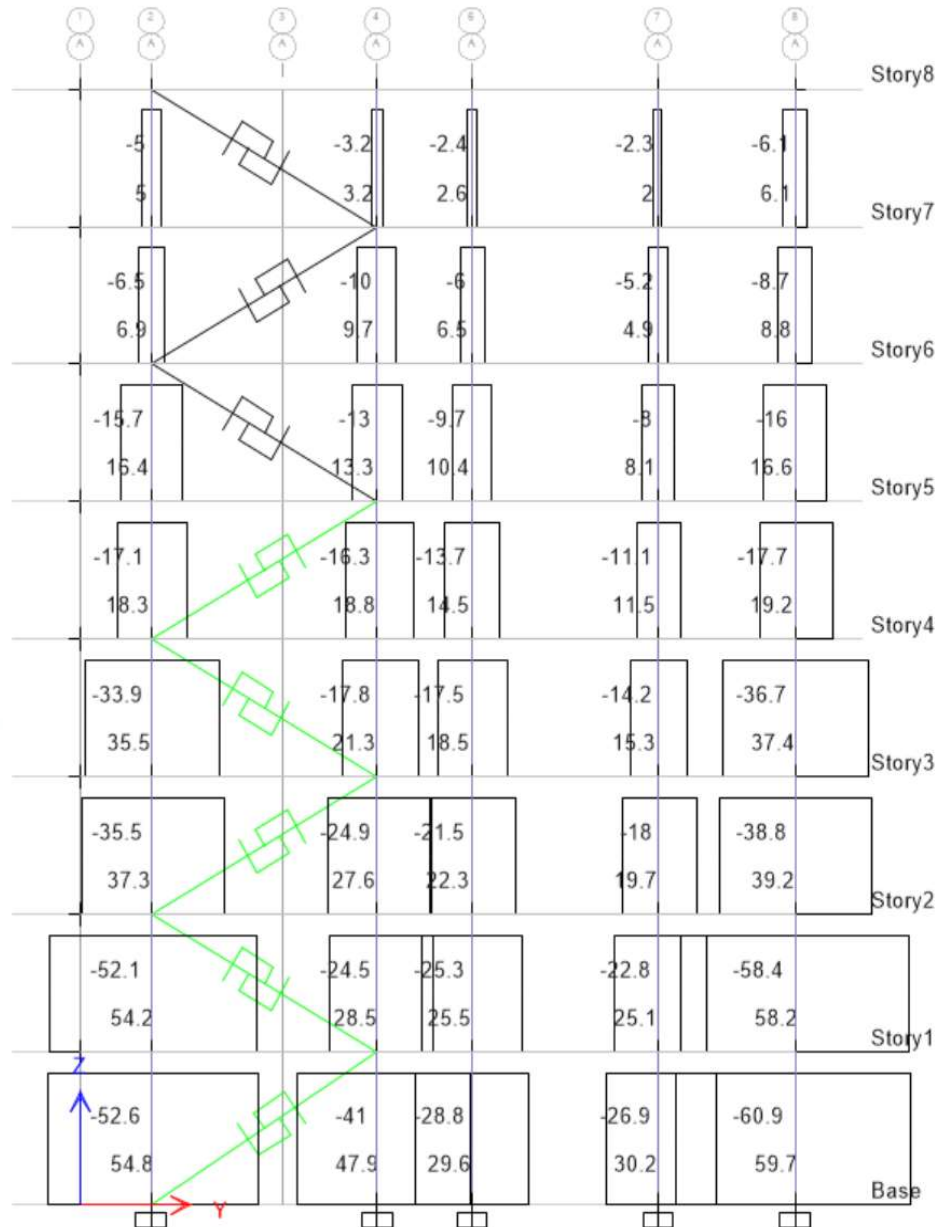
Nota. Los momentos están representados con diagramas de momento en color rojo, los cuales muestran la curvatura de las columnas bajo la acción de cargas sísmicas. También se aprecian disipadores de energía en color verde, que influyen en la distribución de los esfuerzos en la estructura. Elaboración propia.

Fuerzas cortantes actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos del análisis modal espectral.

Elaboración propia.

Figura 126:

Fuerzas de compresión actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.

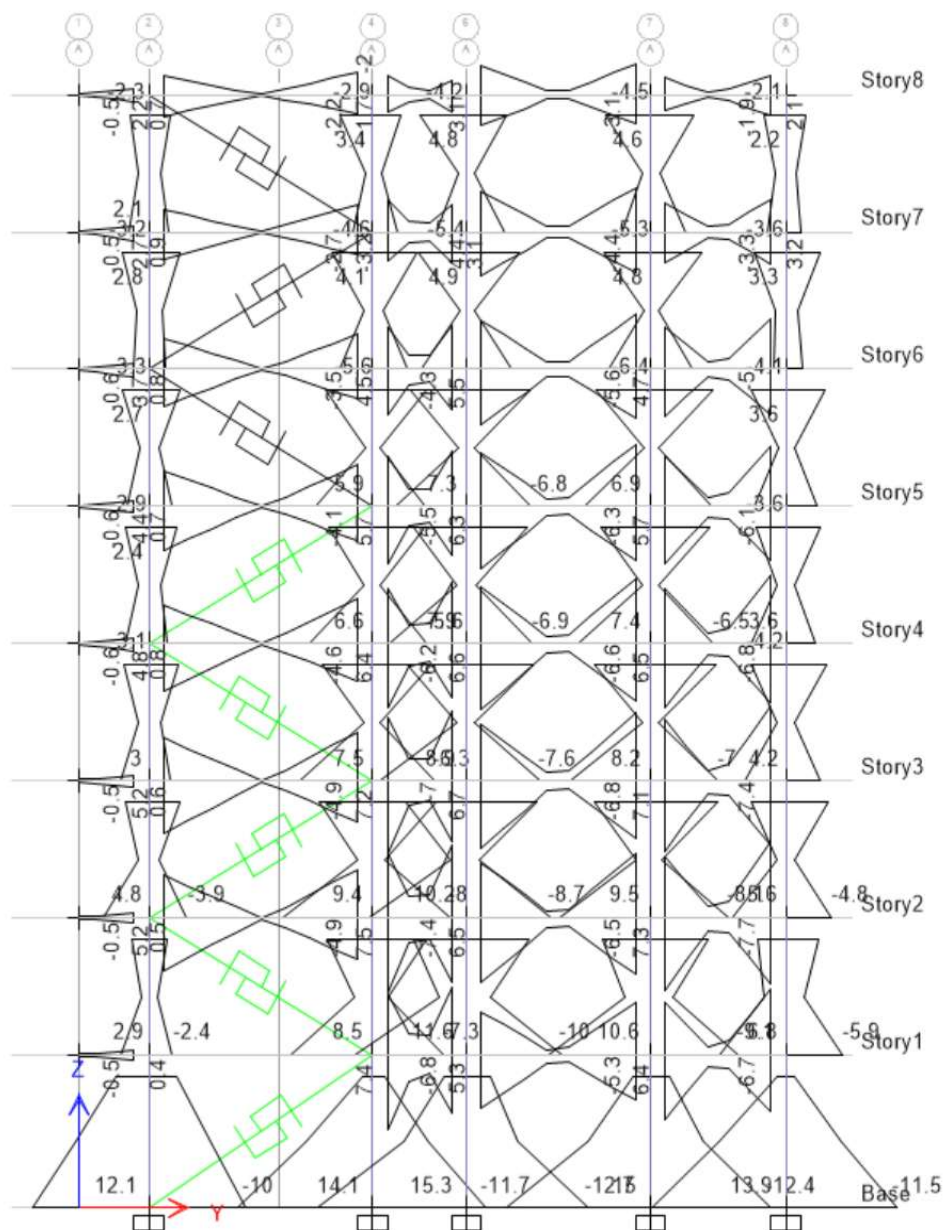


Nota. Las fuerzas cortantes están representadas en color negro desde la base hasta el nivel

8. Elaboración propia.

Figura 127:

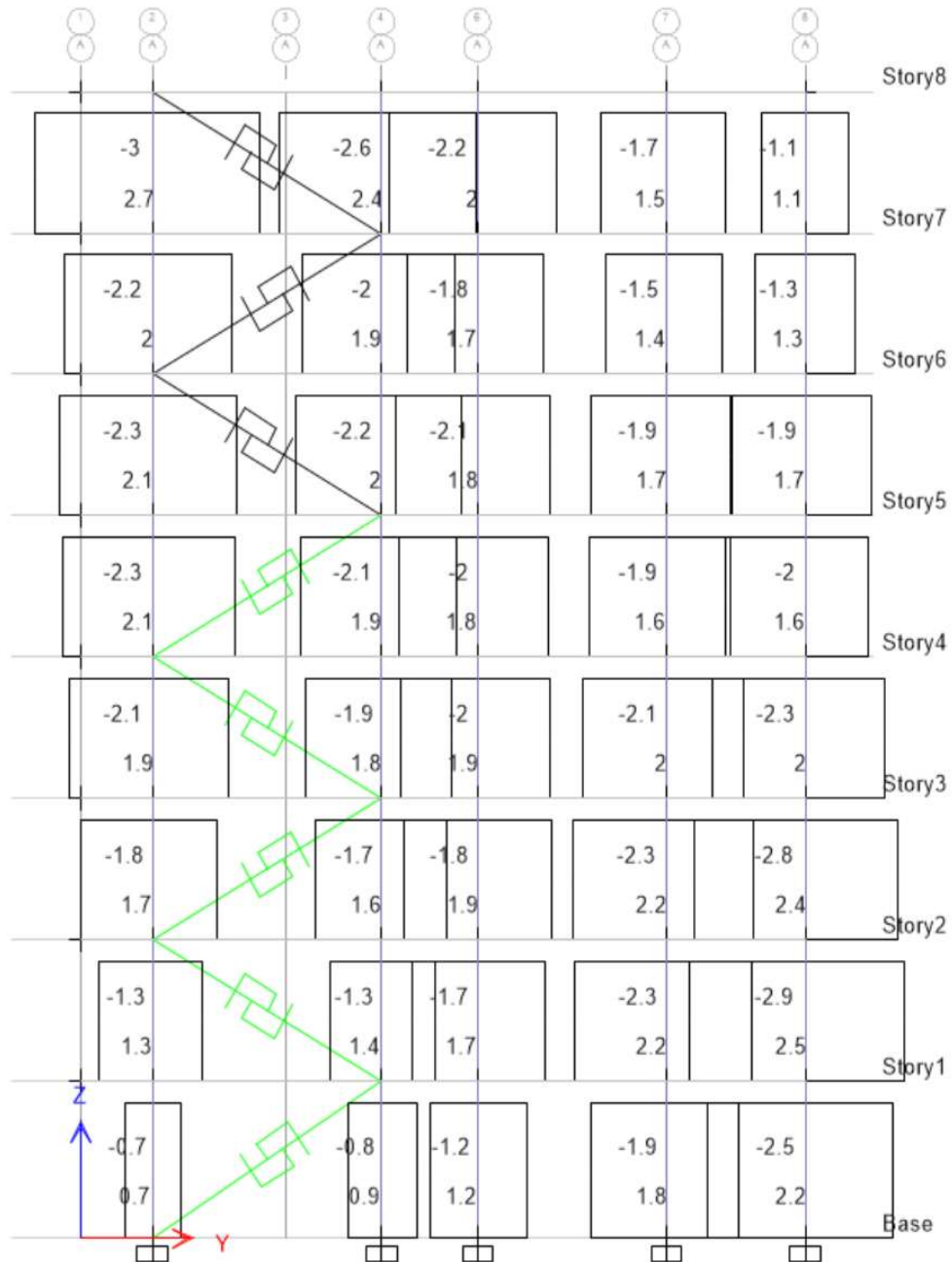
Momentos flectores actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.



Nota. Los momentos flectores están representadas en color negro desde la base hasta el nivel 8. Elaboración propia.

Figura 128:

Fuerzas cortantes actuantes en las columnas del sistema estructura obtenidos producto del análisis tiempo historia sismo Pisco 2007.



Nota. Las fuerzas cortantes están representadas en color negro desde la base hasta el nivel

8. Elaboración propia.

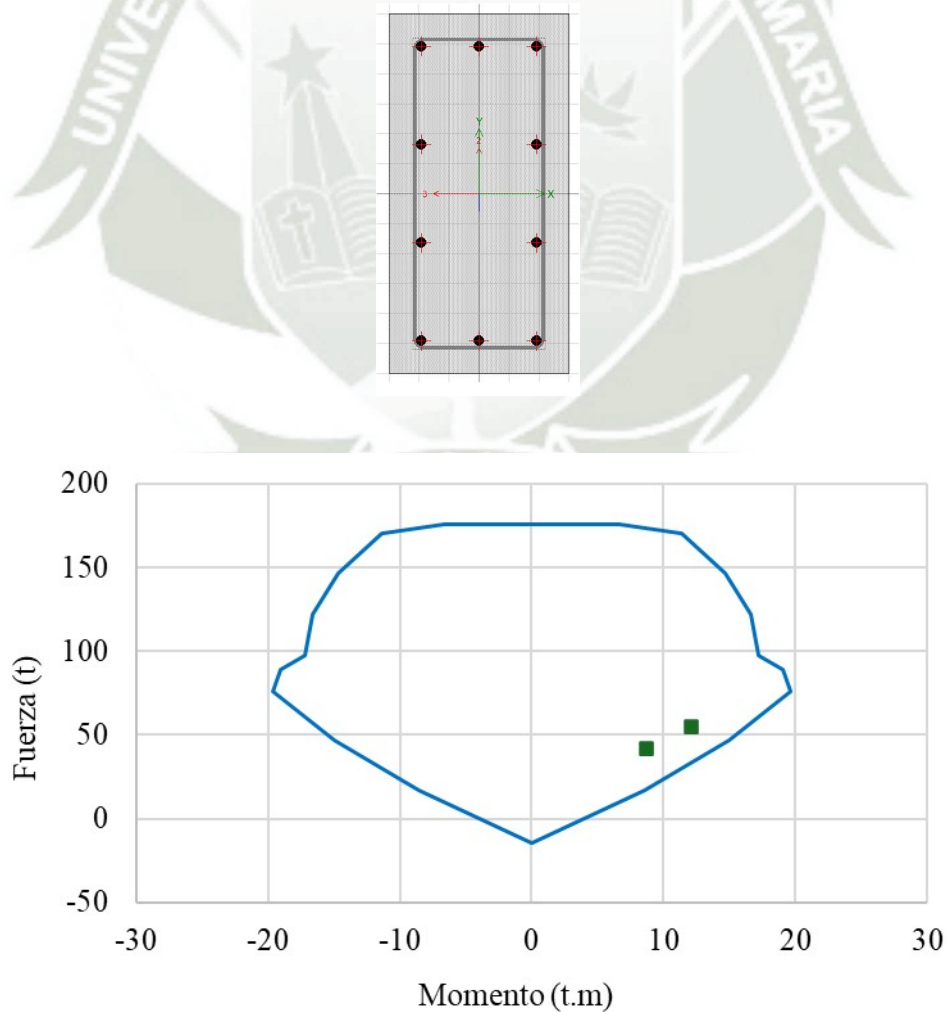
4.9 EVALUACIÓN DEL REFUERZO COLOCADO

4.9.1 Evaluación del diagrama de interacción

La siguiente figura 129 muestra un diagrama de interacción de la columna de 30x60, que es utilizado para evaluar la relación entre el momento flector y la fuerza axial, considerando la demanda de carga y la capacidad de la viga para soportar cargas. Este tipo de análisis permitirá evaluar si el diseño estructural existente es adecuado para resistir las cargas inducidas por los disipadores de energía.

Figura 129:

Evaluación del diagrama de interacción carga axial momento flector y la demanda producida por la incorporación de los disipadores de energía.



Nota. En la figura se observa una curva cerrada que representa los límites de capacidad de la columna para resistir diferentes combinaciones de momento flector y fuerza axial. Los puntos rojos en el gráfico indican combinaciones específicas de momento y fuerza que están siendo evaluadas. Elaboración propia.

El hecho de que estos puntos se encuentren dentro del área delimitada por la curva sugiere que estas combinaciones de carga son seguras y están dentro de la capacidad de la columna.



CONCLUSIONES

Como conclusión general del análisis comparativo entre los disipadores histéricos Shear Link Bozzo (SLB) y los de fricción Quaketek, se puede afirmar que el desempeño sísmico de ambos sistemas ha mostrado ser significativo en la reducción de daños estructurales y en la mejora de la seguridad de edificaciones en Arequipa durante eventos sísmicos. Los resultados obtenidos a través de simulaciones numéricas y análisis estructurales bajo diversos escenarios sísmicos revelan diferencias claras en cuanto a su capacidad de disipación de energía y su efectividad en la reducción de desplazamientos y derivas máximas. El disipador SLB, de tipo histórico, ha mostrado una alta capacidad para absorber energía a través de deformaciones plásticas controladas, lo que contribuye a una respuesta estructural estable y eficiente. Esto se traduce en una reducción considerable de las demandas de desplazamiento en las estructuras, especialmente en aquellos eventos sísmicos de mayor magnitud. Por otro lado, el disipador de fricción Quaketek ha demostrado una destacada efectividad en la reducción de derivas máximas, proporcionando una ventaja en términos de confort y seguridad para los ocupantes de las edificaciones, sobre todo en movimientos sísmicos de mediana intensidad.

De acuerdo con los resultados obtenidos de las simulaciones, los disipadores SLB lograron reducir los desplazamientos laterales en un 43% en promedio en comparación con el modelo estructural sin disipadores, mientras que los disipadores de fricción Quaketek proporcionaron una reducción del 39 % en promedio. Estos datos indican que los disipadores SLB presentan una mayor efectividad en términos de control de desplazamientos bajo cargas sísmicas severas. Esto sugiere que los disipadores de fricción son más efectivos en la disminución de las fuerzas de inercia transmitidas a la estructura, lo que mejora el confort de los ocupantes durante un evento sísmico. Los escenarios sísmicos considerados, con

niveles de aceleración base entre 0.2g, mostraron que en eventos sísmicos moderados (0.2g), los disipadores SLB redujeron los desplazamientos en un 43%, y los Quaketek en un 39%.

Los disipadores histéricos SLB demostraron una capacidad superior de disipación de energía en comparación con los disipadores de fricción Quaketek. En promedio, los SLB lograron disipar aproximadamente el 52% de la energía total introducida por los movimientos sísmicos, mientras que los disipadores Quaketek disiparon alrededor del 47 %. Esta diferencia es notable, especialmente en eventos sísmicos de alta magnitud, donde la capacidad de disipar energía es crucial para evitar daños estructurales severos. En términos de reducción de desplazamientos, los disipadores SLB, al disipar una mayor cantidad de energía, redujeron los desplazamientos laterales en un 43% en promedio, mientras que los disipadores Quaketek proporcionaron una reducción de aproximadamente el 39%. Este comportamiento se debe a que los SLB permiten un ciclo histérico más amplio, lo que les permite absorber más energía a medida que la estructura se deforma.

Dada la superioridad demostrada de los disipadores SLB en términos de capacidad de disipación de energía y reducción de desplazamientos, se recomienda su implementación en edificaciones que se encuentran en zonas sísmicas de alta vulnerabilidad. Los resultados indican que su uso puede permitir una disminución de desplazamientos laterales de hasta un 43%, lo que se traduce en un mejor desempeño estructural y una reducción significativa de los riesgos de daño en la infraestructura durante eventos sísmicos. Por otro lado, para estructuras donde se prioriza el confort de los ocupantes y la limitación de las aceleraciones, se sugiere considerar la incorporación de los disipadores de fricción Quaketek. Aunque su eficiencia en la disipación de energía es menor (aproximadamente 43%), su funcionamiento es crucial para minimizar el impacto de los movimientos sísmicos en los habitantes.

RECOMENDACIONES

Se sugiere implementar un estudio de casos que permita evaluar el desempeño real de los disipadores SLB y Quaketek en edificaciones existentes en Arequipa. Esta evaluación debe incluir el monitoreo post-sismo para validar los resultados de las simulaciones numéricas y ajustar las estrategias de diseño de acuerdo a la experiencia práctica. Además, es esencial fomentar la capacitación de ingenieros y arquitectos en la selección y aplicación de estos dispositivos, garantizando un uso eficiente de los sistemas de disipación de energía en futuras construcciones.

- A partir de los resultados obtenidos, se recomienda utilizar los disipadores SLB en edificaciones ubicadas en zonas sísmicas de alta vulnerabilidad, ya que su capacidad para reducir desplazamientos laterales en un 43% en condiciones severas representa una solución efectiva para proteger la integridad estructural. Para maximizar esta efectividad, se aconseja realizar un análisis geotécnico detallado y estudios sísmicos específicos de la zona antes de su implementación, lo que permitirá personalizar los sistemas de disipación a las condiciones locales y a las características específicas de cada edificación.
- Se recomienda el uso de disipadores Quaketek en edificaciones donde el confort de los ocupantes sea una prioridad, especialmente en áreas con alta actividad sísmica. Es crucial realizar simulaciones y análisis que evalúen no solo la reducción de aceleraciones, sino también la respuesta global de la estructura ante diferentes escenarios sísmicos, de modo que se garantice la seguridad y comodidad de los usuarios durante eventos de menor intensidad.
- Se recomienda establecer pautas de diseño y especificaciones técnicas para la implementación de ambos tipos de disipadores en proyectos de construcción y

rehabilitación en Arequipa. Estas pautas deben incluir criterios de selección basados en la tipología de la estructura, la ubicación geográfica y el análisis de riesgos sísmicos. Además, se sugiere la creación de un protocolo para evaluar el rendimiento de los sistemas de disipación instalados, lo que permitirá mejorar continuamente las prácticas constructivas y la selección de tecnologías apropiadas para el contexto sísmico de Arequipa.



REFERENCIAS

- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2017). *Minimum design loads for buildings and other structures (ASCE/SEI 7-16)*. <https://doi.org/10.1061/9780784414248>
- American Society of Civil Engineers (ASCE). (2018). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings (ASCE/SEI 41-17)*. Reston, VA: American Society of Civil Engineers. <https://doi.org/10.1061/9780784414859>
- Andina. (2022, agosto 15). *A 15 años del terremoto de Pisco: conoce las cifras del desastre natural de 2007*. <https://andina.pe/agencia/noticia-a-15-anos-una-tragedia-paso-pisco-15-agosto-del-2007-905304.aspx>
- Bardales, Z., & Hurtado, A. (2016). *Actualización del programa de cómputo orientado a la determinación del peligro sísmico en el país*. SENCICO. <https://es.scribd.com/document/444152142/Sencico-pdf>
- Boza Farfan, Z. E. & Galán Tirapo, D. (2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/4518>
- Bozzo, L., Gonzales, H., Pantoja, M., Muñoz, E., & Ramírez, J. (2019). *Modeling, analysis and seismic design of structures using energy dissipators SLB*. *Revista TECNIA*, 29(2), 81–94. <https://doi.org/10.21754/tecnia.v29i2.713>
- Bozzo, L., Ramírez, J., Gonzales, H., & Pantoja, M. (2019). *Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB*. https://www.researchgate.net/publication/338140078_Manual_SLB_Devices_Dic19
- Bozzo, L., Ramirez, J., Bairan, J., Bozzo, G., & Muñoz, E. (2020, septiembre 13-18). *Precast buildings equipped with SLB seismic devices*. 17th World Conference on Earthquake Engineering, 17WCEE. <https://slbdevices.com/wp->

content/uploads/2022/02/17WCEE_Precast-Buildings-equipped-with-SLB-seismic-devices-1.pdf

Brito-Tapia, J. A., Terán Coloma, R. A., & Guerrero Cuasapaz, D. P. (2022). Influencia estructural de disipadores SLB para muros desacoplados en estructuras de concreto armado y arriostramientos en estructuras metálicas. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 45(3), 185–200.

<https://doi.org/10.22209/rt.v45n3a05>

Carhuamaca Guerrero, J. P. (2020). *Análisis comparativo de la capacidad de restricción de irregularidades estructurales, entre placas de concreto y disipadores de energía SLB, en una edificación esencial (A2) sismorresistente de baja altura*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Continental].

<https://hdl.handle.net/20.500.12394/8411>

CDV Ingeniería Antisísmica. (s.f.). *Disipadores/amortiguadores sísmicos Taylor*.

<https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>

Cervantes, F. R., & Albrizzio, Y. O. M. (2020). *Desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores 'SLB' Shear Link Bozzo en la zona sísmica 4*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Ricardo Palma].

<https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/74324443-6230-4dcc-bf00-38e0630f0589>

Chanduví Nuñez, E. F., Santillán Plaza, R. J., Villar Quiroz, J. C., Cárdenas Rodríguez, K. J., & Calvanapón-Alva, F. A. (2023). Comparative analysis of the seismic performance between a hysteretic energy dissipation system and an elastomeric isolation system in reinforced concrete buildings. *LACCEI Journal of Engineering & Technology*, 1(8), 1–10. <https://doi.org/10.18687/LACCEI2023.1.1.372>

- Chirme Hanco, D. (2023, junio 22). *Arequipa a 22 años de un terremoto del que se aprendió poco*. El Búho. <https://elbuho.pe/2023/06/arequipa-a-22-anos-de-un-terremoto-del-que-se-aprendio-poco/>
- CISMID. (1970). *Base de datos de registros sísmicos: Sismo de Huaraz*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – UNI.
<https://cismid.uni.edu.pe/>
- CISMID. (2001). *Base de datos de registros sísmicos: Sismo de Atico–Arequipa*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – UNI.
<https://cismid.uni.edu.pe/>
- CISMID. (2007). *Base de datos de registros sísmicos: Sismo de Ica*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – UNI.
<https://cismid.uni.edu.pe/>
- CISMID. (2015). *Base de datos de registros sísmicos para análisis estructural*. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres – UNI.
<https://cismid.uni.edu.pe/>
- Congreso de la República del Perú. (2018). *Ley N° 30831, Ley que modifica la Ley N° 29664, Ley que crea el Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD)*. Diario Oficial El Peruano.
<https://ww3.vivienda.gob.pe/grd/documentos/Ley%2030831%20Ley%20que%20modifica%20el%20SINAGERD.pdf>
- Corporación de Desarrollo Tecnológico - Cámara Chilena de la Construcción. (2012). *Protección sísmica de estructuras*. Documento Técnico CDT N° 29.
http://descargas.coreduc.cl/Proteccion_Sismica_de_Estructuras_-_Febrero_2012_CLR_v4.1.pdf

Disipa Ingeniería. (s.f.). *Disipadores histeréticos tipo “ADAS” o “TADAS”*.

http://www.disipaing.com/adas_tadas/

EFE PRIMA CE. (2017). *Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones*.

<https://www.efeprimace.co/sistemas-control-respuesta-sismica-edificaciones/>

Enríquez Castillo, P., & Granda Charahua, N. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica estructural de la vivienda del distrito de Vitor de la región Arequipa*.

[Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional de San Agustín]. <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/6515>

Fuentes Espinoza, M. A., & Corazi Maqui, R. A. (2023). *Análisis comparativo de sistemas de protección sísmica entre aisladores sísmicos y disipadores SLB en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna-2023*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Privada de Tacna].

<https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/3196>

Gamarra Dávila, L. E. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico y del presupuesto entre el diseño tradicional y el diseño con la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso del edificio “Residencial Santa Rosa”*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Andina del Cusco].

<https://hdl.handle.net/20.500.12557/3693>

Gashi, F., Petrini, F., & Bontempi, F. (2023). Experimental study of hysteretic steel damper for energy dissipation capacity. *UBT International Conference*.

<https://knowledgecenter.ubt-uni.net/conference/IC/civil/24>

Henriques, J., Calado, L., & Castiglioni, C. A. (2019). Dissipative connections with U-shaped steel plate for braces of concentrically braced frames. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(11), 6203–6237. <https://doi.org/10.1007/s10518-019-00689-y>

International Code Council (ICC). (2024). *International Building Code*.

<https://www.iccsafe.org/>

Llacua Escobar, K. A. (2021). *Mejora de la respuesta sísmica de la IE N° 2093 Santa Rosa mediante la aplicación de disipadores de energía metálicos según Etabs en el distrito del Callao*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Peruana Unión]. <http://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/4978>

Luque Luque, O. M. (2020). *Niveles de desempeño sísmico del edificio de ciencias físico matemáticas, según las normas E.030, FEMA 440 y ASCE 41* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Nacional del Altiplano]. <https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16756>

Marra, M., Palermo, M., & Silvestri, S. (2023). The “direct five-step procedure” for the design of added viscous dampers to be inserted into existing buildings: Formulation and case study. *Frontiers in Built Environment*, 9, 1289851. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2023.1289851>

Martínez-Martínez, J., Blandón-Valencia, J. A., & Lara-Valencia, F. (2022). *Amortiguadores de masa sintonizada: Una revisión general*. *Revista Politécnica*, 18(35), 1-12. <https://doi.org/10.33571/RPOLITEC.V18N35A10>

Ministerio de Transportes, Movilidad y Agenda Urbana. (2008). *Norma de construcción sismorresistente: Puentes (NCSP-07)*. Centro de Publicaciones. https://iisee.kenken.go.jp/worldlist/49_Spain/NCSP-07.pdf

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones, Decreto Supremo N.º 011-2006-VIVIENDA*. <https://ww3.vivienda.gob.pe/ejes/vivienda-y-urbanismo/documentos/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones: Título E.020 – Cargas*. Lima, Perú.
- <https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2366640/50%20E.020%20CARGAS.pdf>
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2020). *Comentarios a la Norma Peruana E.030 – Diseño Sismorresistente*.
- https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/1129512/COMENTARIOS_A_LA_NORMA_PERUANA_E.030_DISE%C3%91O_SISMORRESISTENTE.pdf
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento del Perú. (2018). *Norma técnica E.030: Diseño sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones*. Diario Oficial El Peruano.
- https://cdn-web.construccion.org/normas/rne2012/rne2006/files/titulo3/02_E/2018_E030_RM-355-2018-VIVIENDA_Peruano.pdf
- Miranda Monrroy, Y. H., & Ontiveros Beltrán, Y. G. (2020). *Análisis comparativo del desempeño sísmico y costo entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados a una edificación multifamiliar, Trujillo*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo].
- <https://hdl.handle.net/20.500.12692/49777>
- Montgomery, M., Ardila, L., & Christopoulos, C. (2021). Applications of Solid Viscoelastic Coupling Dampers (VCDs) in Wind and Earthquake Sensitive Tall Buildings. *International Journal of High-Rise Buildings*, 10(2), 123–135.
- <https://doi.org/10.21022/IJHRB.2021.10.2.123>
- Neyra-Torres, J. L., Campos-Vásquez, N., Manturano-Chipana, R. K., Lizana-Gamarra, E., Guerra-Quispe, D. A., & López-Lau, L. A. (2023). *Análisis del desempeño de disipadores de energía implementados en edificaciones*. En Actas de la 21ª

Conferencia Internacional LACCEI, Buenos Aires, Argentina.

https://laccei.org/LACCEI2023-BuenosAires/papers/Contribution_556_a.pdf

Orocollo Cauna, H. G. P. (2024). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico de disipadores histeréticos SLB, TADAS y disipadores Sísmicos de Fluido-Viscoso aplicados en la Infraestructura de la Universidad Tecnológica del Perú de Tacna – 2024*. [Tesis para optar el grado de maestro en Ingeniería Civil con mención en Estructuras, Universidad Privada de Tacna].

<http://hdl.handle.net/20.500.12969/3717>

Palma Romero, A. D. (2020). *Estudio comparativo de respuesta sísmica utilizando disipadores de energía de fluido viscoso en la municipalidad provincial de Oyón- 2020*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Cesar Vallejo].

<https://hdl.handle.net/20.500.12692/53224>

Peralta Tafur, D. A. (2021). *Respuesta Sísmica con la Implementación de Amortiguadores de Fluido Viscoso y Disipadores Metálicos SLB en el Edificio San Borja Amp, Lima -2020*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte (UPN)]. <https://hdl.handle.net/11537/29104>

Poma de la Cruz, J. L. (2019). *Software educativo para la automatización del análisis no lineal estático pushover en estructuras de concreto armado*. [Tesis para optar el grado de Magíster en Ingeniería Civil, Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP)]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/13221>

Puma Gonzales, A. (2021). *Disipadores*. [Trabajo Monográfico para la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Universidad Tecnológica de los Andes)].

<https://es.scribd.com/document/519194272/Disipadores-de-Energia>

Quiroz Gordillo, C. D. (2020). *Evaluación del desempeño sísmico con disipadores a fricción en dos edificios bajos en el centro poblado El Milagro, Trujillo 2020*.

[Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte]

<https://hdl.handle.net/11537/23396>

Quispe Huamán, C. K., & García Urrutia, P. A. (2019). *Reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima*. [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma].

<https://repositorio.urp.edu.pe/entities/publication/b9e5ca58-1871-4996-bed2-a9a6534316f5>

Quaglini, V., Pettoruso, C., & Bruschi, E. (2022). Design and experimental assessment of a prestressed lead damper with straight shaft for seismic protection of structures.

Geosciences, 12(5), 182. <https://doi.org/10.3390/geosciences12050182>

Quaketek. (s.f.). *Disipadores Sísmicos – Disipadores a fricción*.

<https://quaketek.com/es/disipadores-sismicos-disipadores-a-friccion/>

Quaketek. (s. f.). *Preguntas frecuentes*. <https://quaketek.com/es/preguntas-mas-frecuentes/>

Ramírez Machado, B. J. (2020). *Estudio comparativo para edificación de 5 plantas empleando solución prefabricada y disipadores SLB y solución convencional en zona de sismicidad alta de Perú*. [Trabajo Final de Máster, Universitat Politècnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/340783>

Rivera Rojas, M. A. (2024). *Evaluación probabilística del peligro sísmico de la región Amazonas, Perú*. [Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas]. <https://hdl.handle.net/20.500.14077/3912>

Rodríguez-Castellanos, A., Niño Lázaro, M., Ruiz Gómez, S. E., & Santos-Santiago, M. (2022). *Diseño sísmico sustentable de estructuras equipadas con disipadores viscosos*. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 11(2), 638.

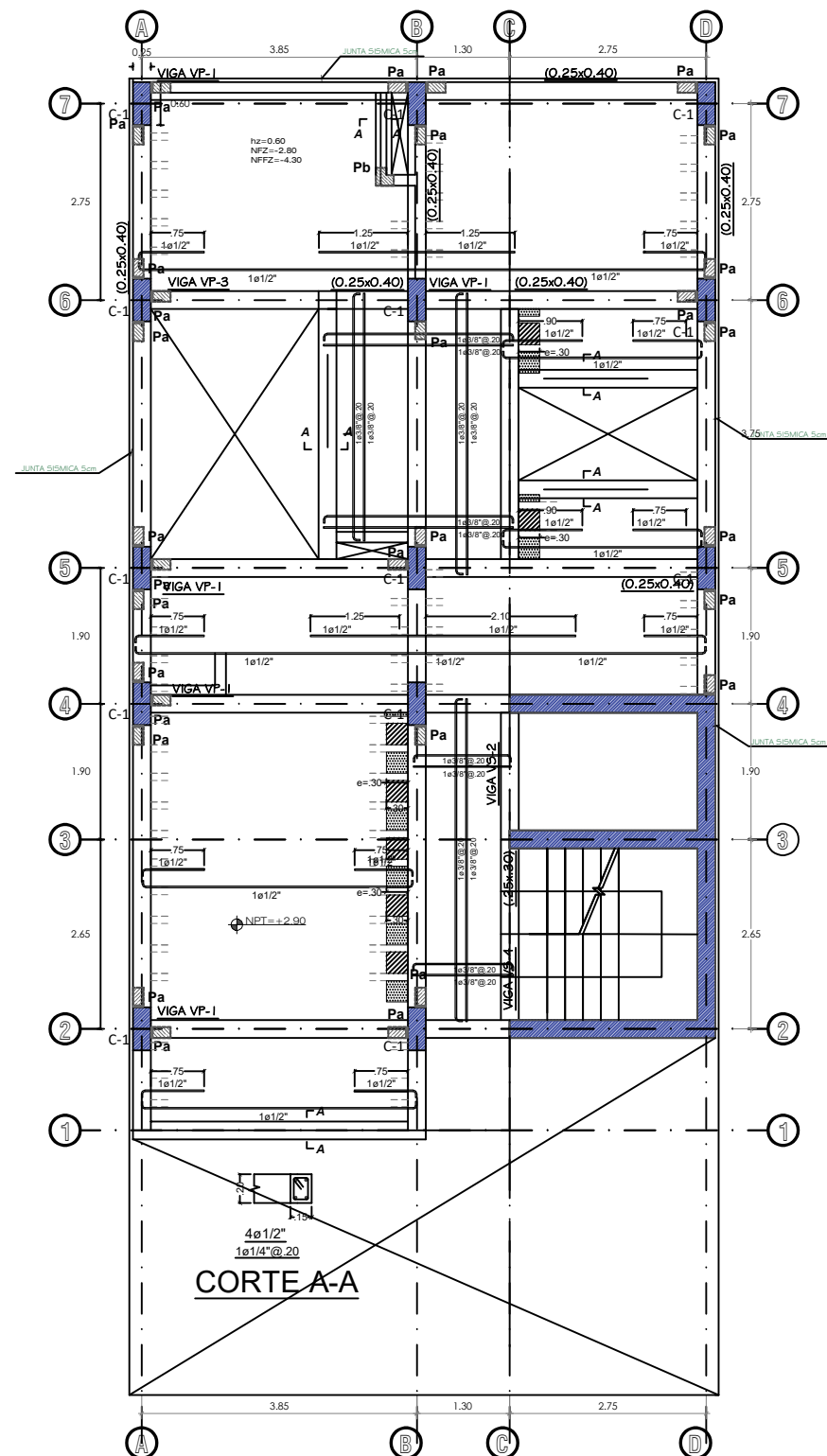
<https://doi.org/10.18867/ris.112.638>

- Rodriguez, D. E., & Tejada, J. C. (2023). *Comportamiento estructural de una edificación común de concreto armado de 12 niveles, mediante el análisis dinámico modal espectral, en el sector El Molino, Trujillo 2022* [Tesis para optar al título profesional de Ingeniero Civil, Universidad Privada del Norte].
<https://hdl.handle.net/11537/33665>
- Salazar Mejía, J. A. (2022). *Huaraz a 52 años del terremoto de 1970: lecciones no aprendidas. Desde el Sur*, 14(1), e0006.
<http://dx.doi.org/10.21142/des-1401-2022-0006>
- Saldaña Vasquez, K. Y., & Scaletti Farina, H. V. L. (2022). *Eficiencia de los disipadores de energía en la respuesta sísmica de los edificios. TECNIA*, 32(2).
<https://doi.org/10.21754/tecnica.v32i2.1379>
- Shao, D., Soli, B., Pall, R. (T.), & Pall, A. (2007). *Friction dampers for seismic upgrade of patient tower, St. Joseph Hospital, Tacoma, WA*. En *Proceedings of the Ninth Canadian Conference on Earthquake Engineering* (artículo n.º 1029). Ottawa, Canadá. https://www.caee.ca/9CCEEpdf/1029_EJ.pdf
- Silva Silva, K. (2023). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico del centro de salud de Samegua empleando dos propuestas de protección sísmica: disipadores SLB y HADAS*. Universidad Católica San Pablo. Recuperado de <https://hdl.handle.net/20.500.12590/17818>
- Symans, M. D., Charney, F. A., Whittaker, A. S., Constantinou, M. C., Kircher, C. A., Johnson, M. W., & McNamara, R. J. (2008). *Energy dissipation systems for seismic applications: Current practice and recent developments*. *Journal of Structural Engineering*, 134(1), 3–21. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9445\(2008\)134:1\(3\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9445(2008)134:1(3))

- Tapia Quispe, B. L. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico de un edificio con reforzamiento convencional y reforzamiento con disipadores Shear Link Bozzo, Juliaca, 2020*. [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad César Vallejo]. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/60858>
- Tello, M., & Yacsavilca, E. (2023). *Análisis de la respuesta sísmica de un edificio de usos mixtos de 5 pisos de muros estructurales sin y con disipadores SLB en el distrito de San Juan de Miraflores – Lima* [Tesis para optar el grado de Ingeniero Civil, Universidad Tecnológica del Perú]. https://repositorio.utp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12867/7273/M.Tello_E.Yacsavilca_Tesis_Titulo_Profesional_2023.pdf
- Tuñoque Zela, W. A. (2021). *Informe N°01 – PGG*. Universidad Nacional de Ingeniería. <https://es.scribd.com/document/537462531/INFORME-N01-PGG-WILMER-ALBERTO-TUNOQUE-ZELA>
- Vilca Zapana, D. C. (2022). *Desempeño sísmico de edificios multifamiliares insertando disipadores de energía, Edificio Díaz Cuenta, Juliaca, Puno 2022*. Universidad César Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/26370>
- Villarreal Castro, G., & Oviedo Sarmiento, R. (2009). *Edificaciones con disipadores de energía*. Premio Nacional ANR 2008.
- Villarreal Castro, G., & Díaz la Rosa Sánchez, M. (2016). *Edificaciones con disipadores viscosos*. Lima: Gráfica Norte S.R.L.

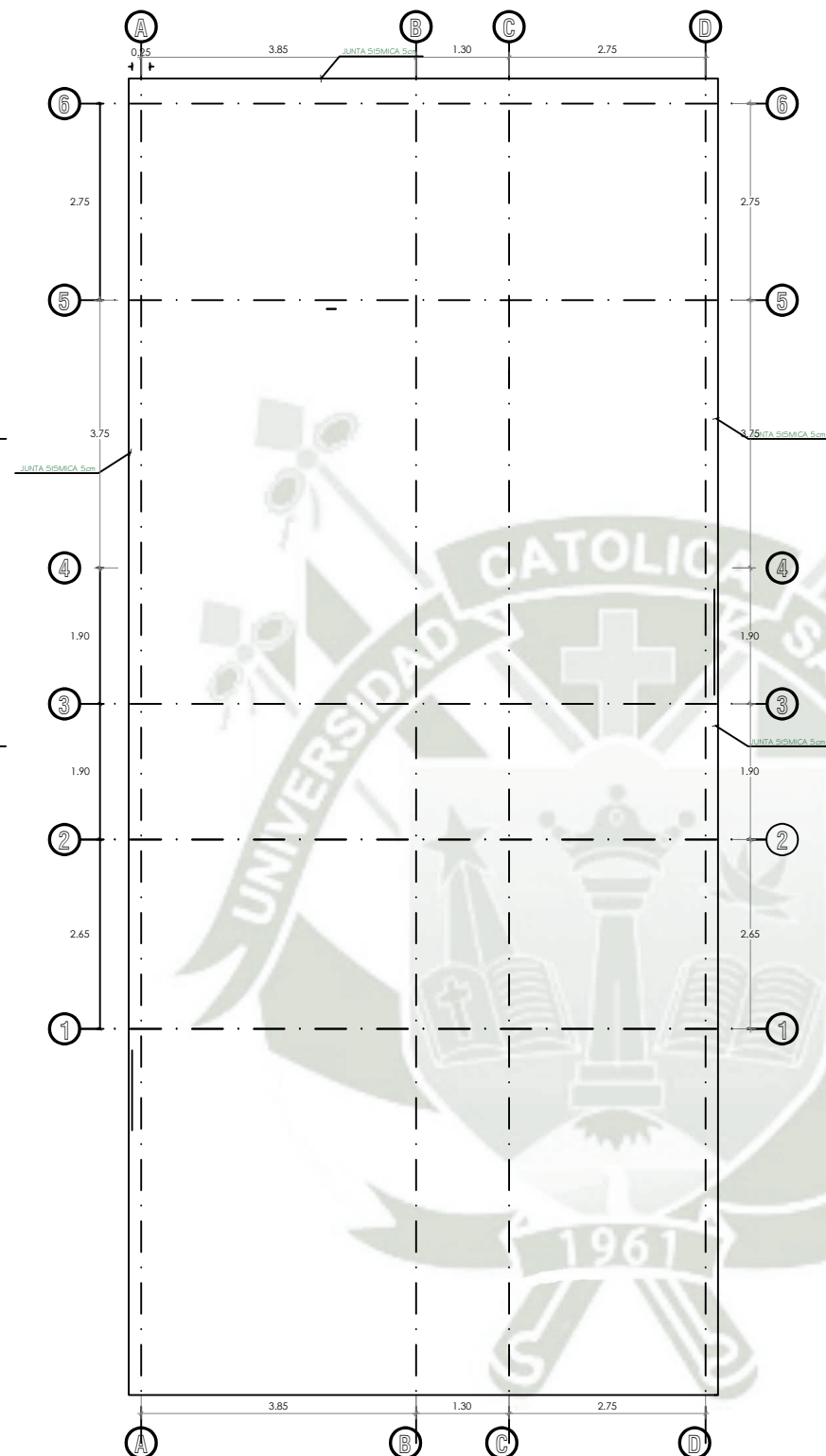


ANEXOS



CORTE A-A

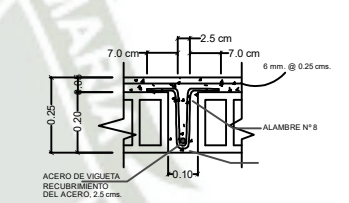
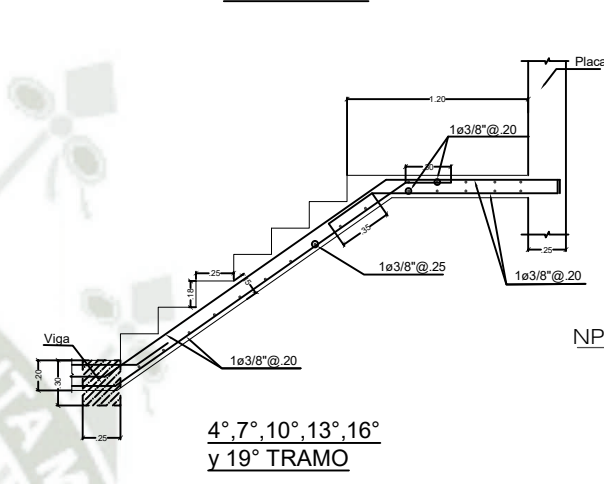
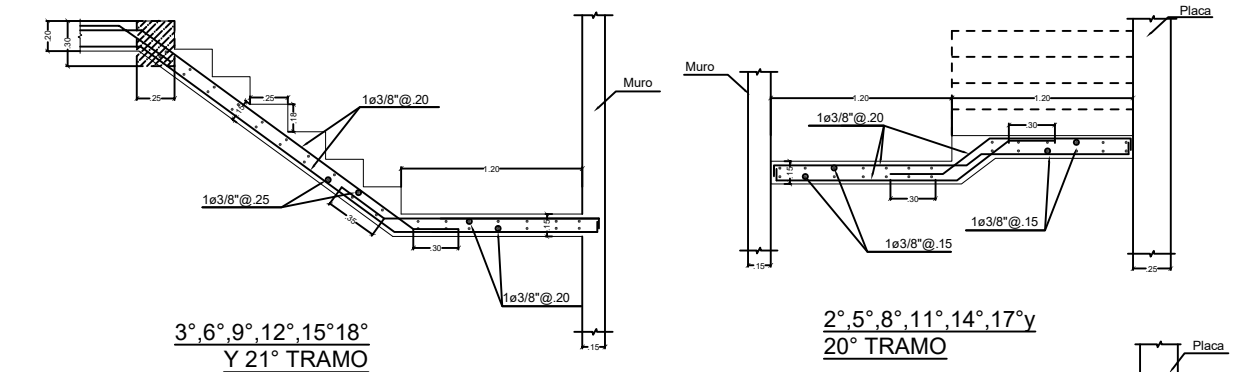
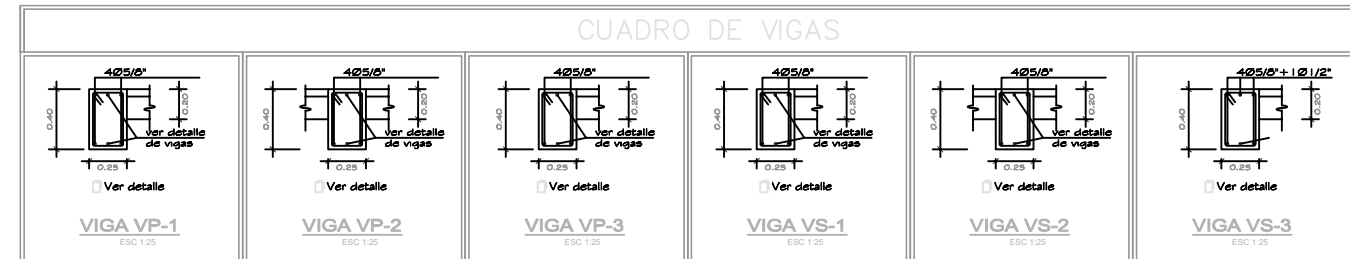
ENCOFRADO 1er PISO AL 7mo PISO
h=0.20
ESC. 1/50



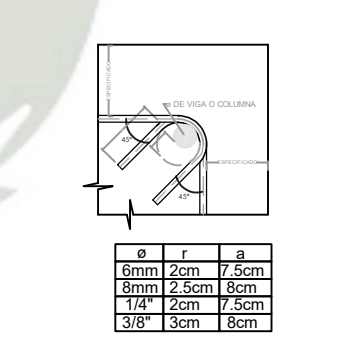
ENCOFRADO de 8vo PISO
h=0.20
ESC. 1/50

- (COLUMNAS Y PLACAS)
- (MUROS DE CONTENCIÓN)
- (COLUMNETA DE CONFINAMIENTO, ALFEIZER, TABIQUERIA ALTOS Y BAJO)

CUADRO DE VIGAS



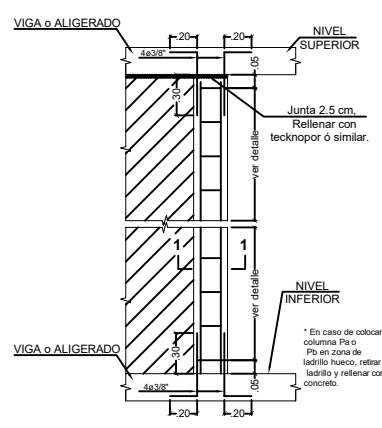
DETALLE DE SUJECION DEL ACERO DE LA VIGUETA



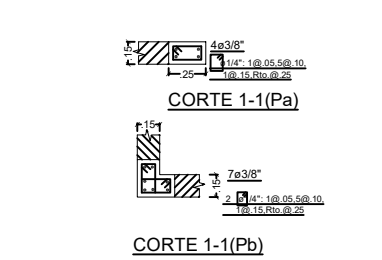
DETALLE DOBLADO ESTRIBOS EN COLUMNAS O VIGAS

CUADRO DE ESTRIBOS

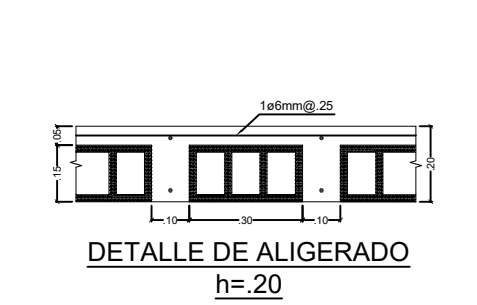
TIPO	Ø	CARACTERÍSTICAS
1	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
2	3/8"	1 @ 0.05, 6 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
3	3/8"	1 @ 0.05, 8 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.20
4	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, rto @ 0.25
5	1/2"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25



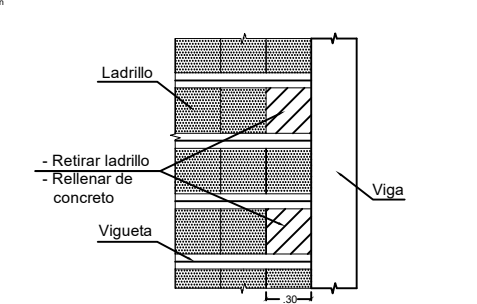
COLUMNA Pa, Pb
(Las columnas Pa estarán separadas con una junta de 2.5 cm. de cualquier elemento estructural. La junta se rellenará con tecnopor o similar.)



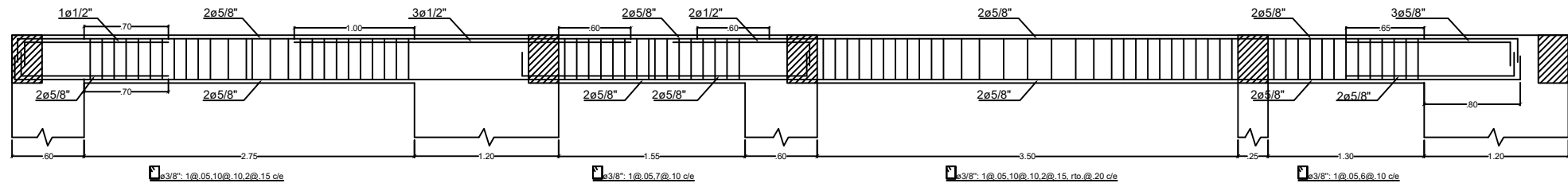
CORTE 1-1(Pb)



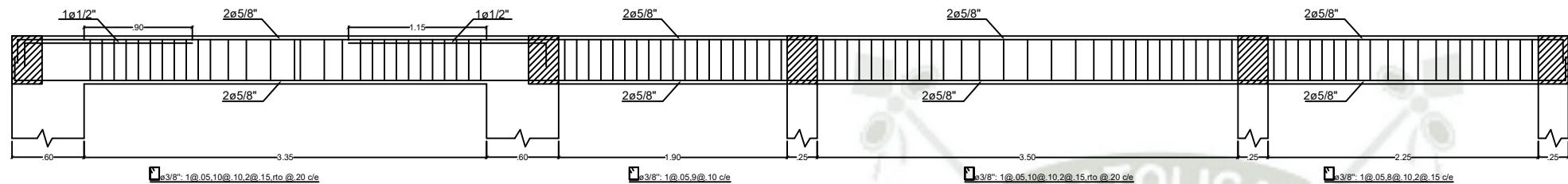
DETALLE DE ALIGERADO
h=20



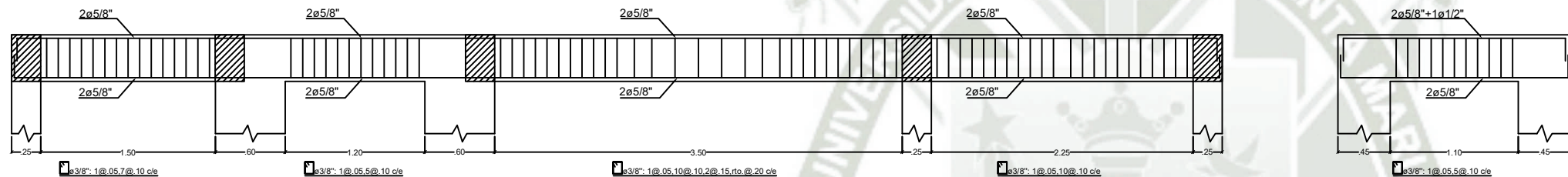
DETALLE DE ENSANCHE DE VIGUETA



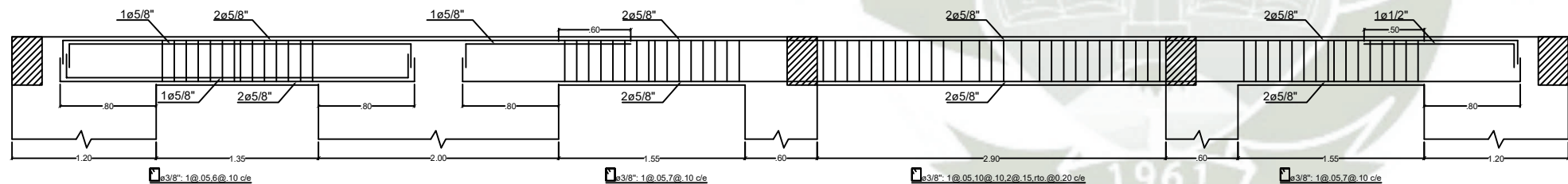
VIGA VS-1 (25X40) Eje A



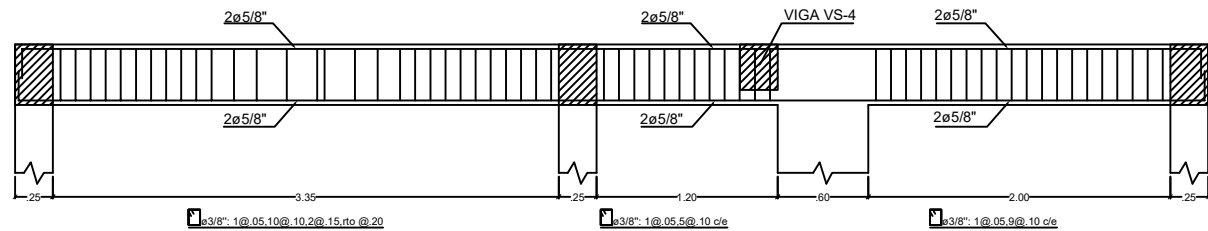
VIGA VS-2 (25X40) Eje B



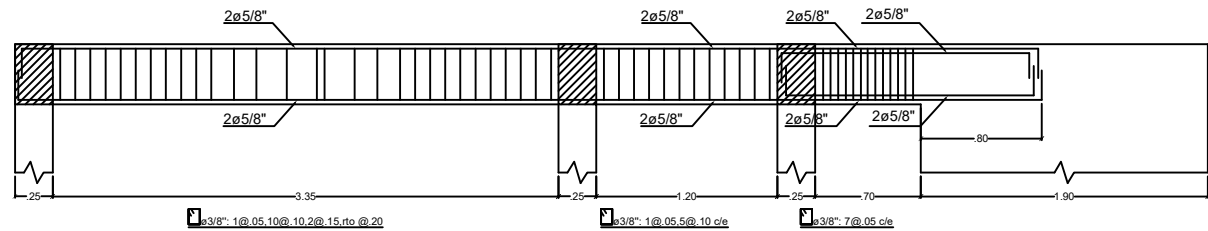
VIGA VS-2 (25X40) Eje C



VIGA VS-1 (25X40) Eje D



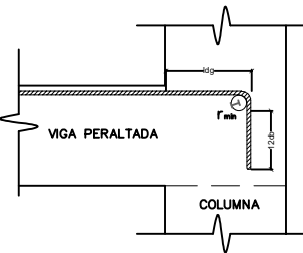
VIGA VP-1 (25X40) Eje 1



VIGA VP-1 (25X40) Eje 3

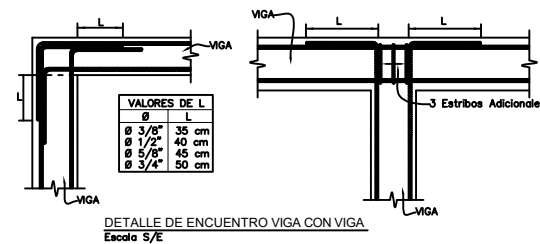
Longitud de Anclaje con Gancho (ldg)		
Ø	f'c=175 kg/cm2	f'c=210 kg/cm2
1/2"	30 cm	28 cm
5/8"	38 cm	35 cm
3/4"	46 cm	42 cm

Ø	r	12db
3/8"	3 cm	12cm
1/2"	4 cm	16cm
5/8"	5 cm	20cm
3/4"	6 cm	25cm

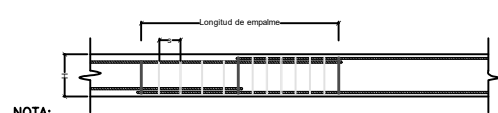
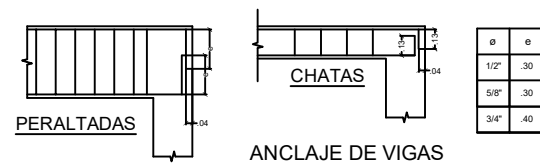


La longitud 12db debe estar dentro del área útil de la viga
 $12db < (h_v - 2r)$
 h_v = peralte de viga
 r = recubrimiento de viga

LONGITUD MINIMO DE ANCLAJE CON GANCHO (ldg)
Escala S/E



DETALLE DE ENCUENTRO VIGA CON VIGA
Escala S/E

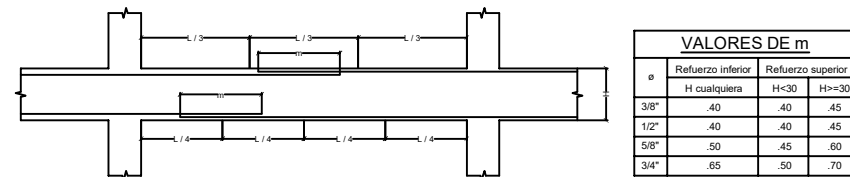


NOTA:
A.- El espaciamiento (s) será el menor de (H-r)/4 ó 15cm
Donde r=recubrimiento
B.- Los estribos serán de 3/8" excepto en las zonas críticas donde se colocarán de 1/2" para evitar la falla por deslizamiento y adherencia
Los estribos de 1/2" serán en total 3, uno en el medio y 2 en los extremos

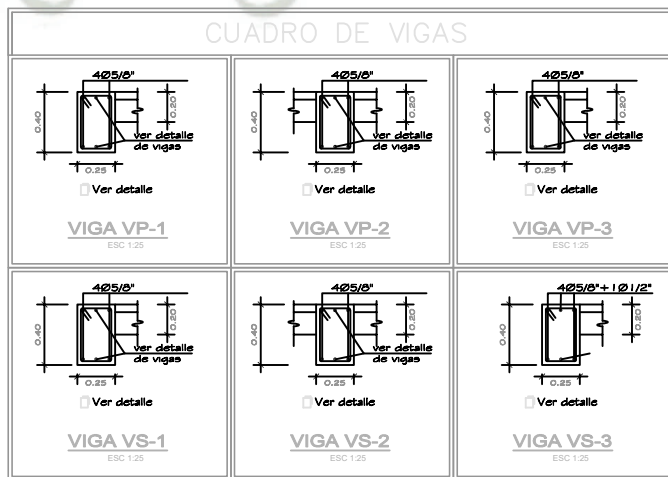
REFUERZO EN ZONAS DE EMPALMES
Escala S/E

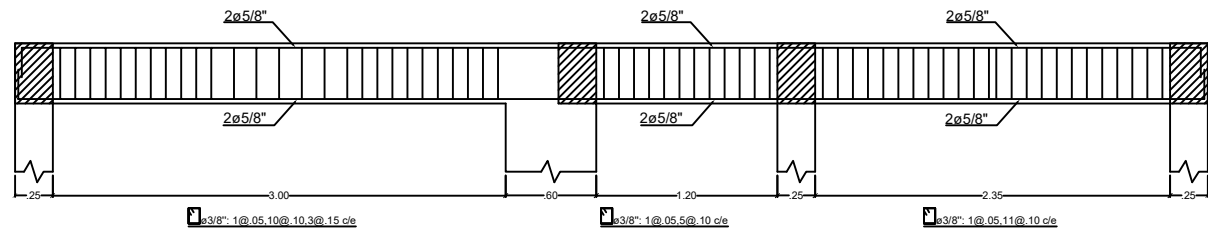
CUADRO DE ESTRIBOS

TIPO	Ø	CARACTERISTICAS
1	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
2	3/8"	1 @ 0.05, 8 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
3	3/8"	1 @ 0.05, 8 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.20
4	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
5	1/2"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25

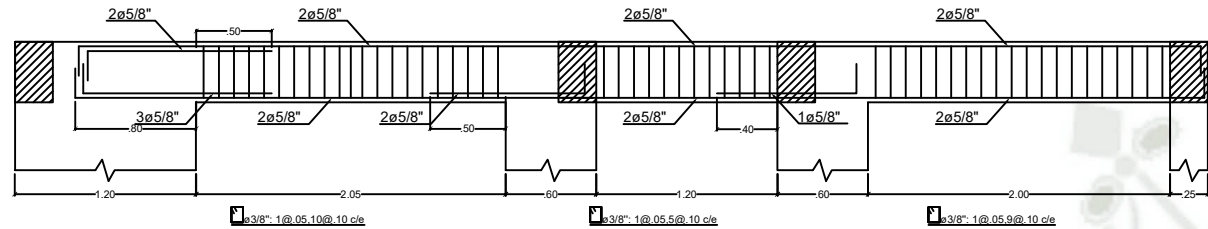


EMPALMES TRASLAPADOS PARA VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS

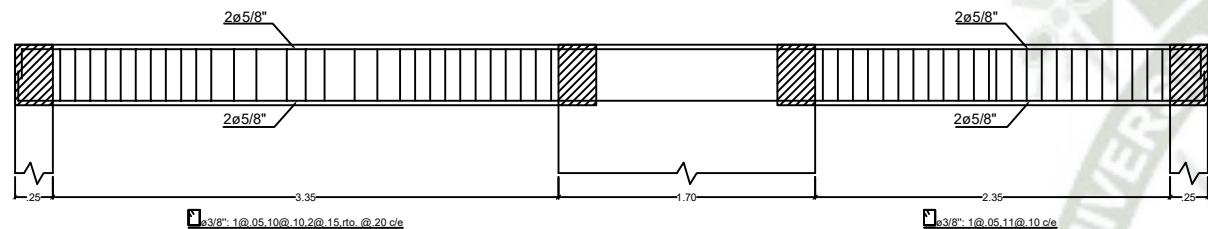




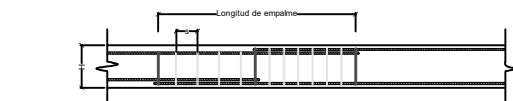
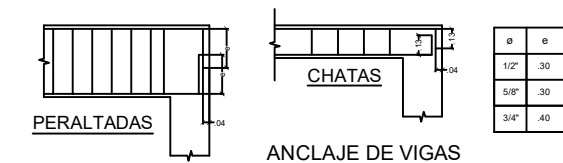
VIGA VP-1 (25X40) Eje 4



VIGA VP-3 (25X40), VP-1 (25X40) Eje 5

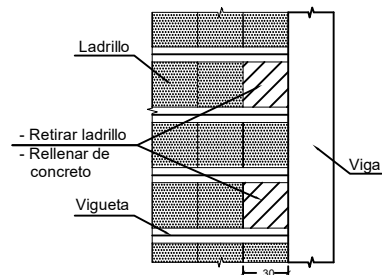


VIGA VP-1 (25X40) Eje 6

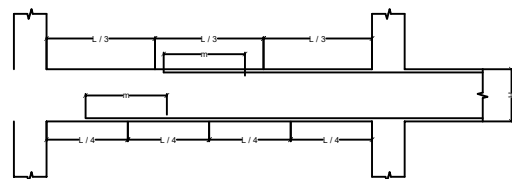


NOTA:
A.- El espaciamiento (s) será el menor de $(H-r)/4$ ó 15cm
Donde r=recubrimiento
B.- Los estribos serán de 3/8" excepto en las zonas críticas donde se colocarán de 1/2" para evitar la falla por deslaminamiento y adherencia
Los estribos de 1/2" serán en total 3, uno en el medio y 2 en los extremos
C.- El refuerzo irá solo en vigas estructurales que son parte Porticos ó Duales

REFUERZO EN ZONAS DE EMPALMES
Escala S/E

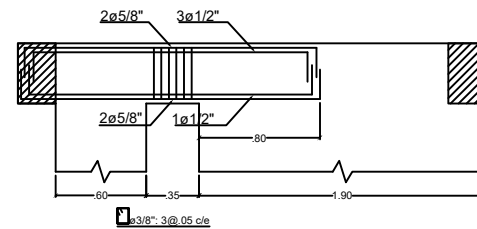


DETALLE DE ENSANCHE DE VIGUETA

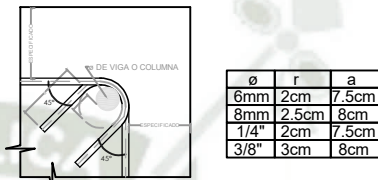


EMPALMES TRASLAPADOS PARA VIGAS, LOSAS Y ALIGERADOS

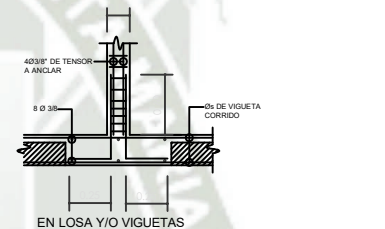
VALORES DE m		
Ø	Refuerzo inferior	Refuerzo superior
3/8"	H cualquiera	H<30 H>=30
1/2"	.40	.40 .45
5/8"	.50	.45 .60
3/4"	.65	.50 .70



VIGA VP-2 (25X40) Eje 2

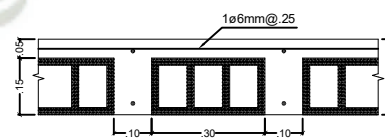


DETALLE DOBLADO ESTRIBOS EN COLUMNAS O VIGAS

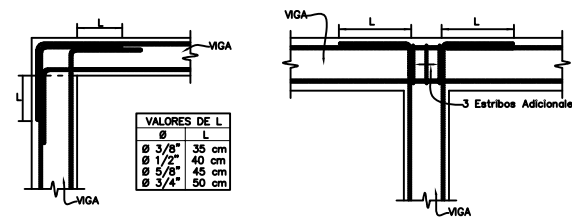


ARRANQUE TENSORES EN LOSAS ALIGERADAS Y VIGAS

NOTAS (PARA EL CASO DE TENSORES):
1.- VERIFICAR UBICACIONES Y ALTURAS EN PROYECTO DE ARQUITECTURA
2.- DEJAR JUNTA DE 0.00m CON TECNIDOPOR EN ZONA ALEADA
A ELEMENTOS ESTRUCTURALES (COLUMNAS)
3.- VACIAR POSTERIOR A LOSAS, CON CONCRETO FC=175 KG/CM2

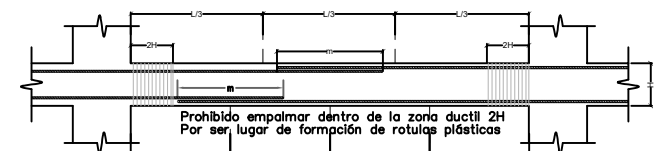
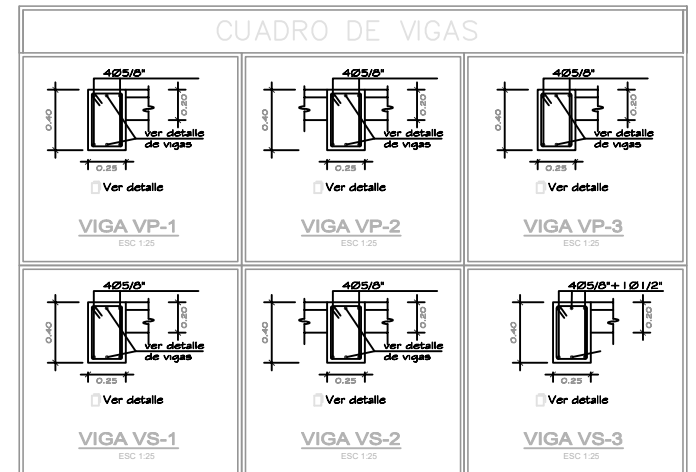


DETALLE DE ALIGERADO
h=.20



VALORES DE L	
Ø	L
3/8"	35 cm
1/2"	40 cm
5/8"	45 cm
3/4"	50 cm

DETALLE DE ENCUENTRO VIGA CON VIGA
Escala S/E



VALORES DE m			
Ø	REFUERZO INFERIOR	REFUERZO SUPERIOR	
	H : CUALQUIERA	H < 0.30	H > 0.30
3/8"	0.40 m	0.30 m	0.45 m
1/2"	0.40 m	0.35 m	0.50 m
5/8"	0.50 m	0.40 m	0.60 m
3/4"	0.60 m	0.55 m	0.75 m

NOTA:
A.- No Empalmar mas del 50% del Area de As de Refuerzo total en una misma seccion.
B.- En caso de no empalmarse en las zonas indicadas o con los porcentajes especificados aumentar la longitud de empalme en un 70%.
C.- Para Vigas Chatas y losas, el As interior se empalmará sobre los apoyos, siendo la longitud de empalme igual a 25 cm para As Ø 3/8" y 35 cm para As Ø 1/2" o 5/8"

EMPALMES TRASLAPADOS EN LOSAS Y VIGAS
Escala S/E

CUADRO DE ESTRIBOS

TIPO	Ø	CARACTERISTICAS
1	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
2	3/8"	1 @ 0.05, 6 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25
3	3/8"	1 @ 0.05, 8 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.20
4	1/4"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, rto @ 0.25
5	1/2"	1 @ 0.05, 5 @ 0.10, 2 @ 0.15, rto @ 0.25