

**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**REFORZAMIENTO SÍSMICO MEDIANTE EL USO DE  
DISIPADORES HISTERÉTICOS TIPO SHEAR LINK BOZZO EN  
UN EDIFICIO DE 14 NIVELES EN LA CIUDAD DE LIMA**

**TESIS**  
**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. QUISPE HUAMÁN, CRISTHIAN KOYMAN**  
**Bach. GARCÍA URRUTIA, PAUL ARTURO**

**ASESOR: Mg. Ing. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR**

**LIMA - PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

Esta investigación se la dedico a Dios, a mi familia y en especial a mi madre Sabina. Gracias a ellos he tenido motivación de seguir.

Quispe Huamán, Cristhian Koyman

Esta investigación se la dedico a Dios, a mi familia, a mis amigos, a mis perritas Cuchi y Sofía, y en especial a mi madre Mariela y a mi padre Víctor. Gracias a ellos estoy logrando mis metas personales y profesionales. Gracias por su apoyo, cariño, comprensión y vibras positivas.

García Urrutia, Paul Arturo

## **AGRADECIMIENTO**

Agradecemos en primer lugar a Dios, a nuestras familias por todo el apoyo y confianza que nos brindaron a lo largo de nuestras vidas.

A nuestro asesor, Ing. Francisco Gárate, por su ayuda y dedicación en la elaboración de esta investigación.

A la Universidad Ricardo Palma por ser la casa de estudio.

Quispe Huamán, Cristhian Koyman

García Urrutia, Paul Arturo

# ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos .....	2
1.1.1. Problema general.....	2
1.1.2. Problemas específicos.....	2
1.2. Objetivos general y específico .....	3
1.2.1. Objetivo general .....	3
1.2.2. Objetivos específicos .....	3
1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática .....	3
1.3.1. Delimitación temporal del problema .....	3
1.3.2. Delimitación espacial del problema.....	3
1.3.3. Delimitación de la temática del problema.....	4
1.4. Justificación e importancia.....	4
1.4.1. Justificación del estudio .....	4
1.4.2. Importancia del estudio.....	4
1.5. Viabilidad.....	4
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	5
2.1. Antecedentes del estudio de investigación .....	5
2.1.1. Antecedentes en el Ámbito Nacional .....	5
2.1.2. Antecedentes en el Ámbito Internacional .....	6
2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.....	8
2.2.1. Reforzamiento estructural del Hotel Ceibo Dorado – Postensa (2016).....	8
2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio .....	10
2.3.1. Normas.....	10
2.3.1.1. Normas Nacionales .....	10
2.3.1.2. Normas Internacionales.....	12
2.3.2. Disipadores de energía.....	12
2.3.3. Disipadores dependientes de la velocidad .....	14

2.3.3.1. Disipadores Sólidos Viscoelásticos .....	14
2.3.3.2. Disipadores de Fluido Viscoso .....	15
2.3.4. Disipadores dependientes del desplazamiento .....	16
2.3.4.1. Disipadores de Fluencia de Metales .....	16
2.3.4.2. Disipadores por Fricción .....	19
2.3.5. Disipador Shear Link Bozzo (SLB).....	20
2.3.5.1. Características mecánicas básicas del disipador SLB.....	20
2.3.5.2. Modelo analítico del disipador SLB .....	23
2.3.6. Modelo plástico de Wen .....	26
2.3.7. Energía disipada .....	28
2.4. Definición de términos básicos .....	30
CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....	31
3.1. Hipótesis .....	31
3.1.1. Hipótesis principal.....	31
3.1.2. Hipótesis secundarias.....	31
3.2. Variables .....	31
3.2.1. Definición conceptual de las variables .....	32
3.2.2. Operacionalización de las variables.....	33
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....	34
4.1. Tipo y nivel de la investigación .....	34
4.1.1. Tipo.....	34
4.1.2. Nivel.....	34
4.2. Método y diseño de la investigación .....	34
4.2.1. Método .....	34
4.2.2. Diseño .....	34
4.3. Población y muestra.....	35
4.3.1. Población.....	35
4.3.2. Muestra .....	35
4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	35
4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos.....	35
4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	36
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos .....	36

4.5. Descripción de procedimientos de análisis .....	36
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>37</b>
5.1. Generalidades .....	37
5.1.1. Edificio de 14 niveles .....	37
5.2. Modelación estructural .....	43
5.3. Metrado de cargas de la estructura .....	45
5.3.1 Carga Muerta.....	45
5.3.2. Carga viva .....	46
5.3.3. Estimación del Peso (P) .....	47
5.4. Validación de la estructura.....	48
5.4.1 Parámetros de diseño sismorresistente .....	48
5.4.1.1. Factor de zona (Z).....	48
5.4.1.2. Parámetros de Sitio (S, Tp y TL).....	50
5.4.1.3. Factor de amplificación Sísmica (C) .....	51
5.4.1.4. Categoría de la Edificación y Factor de Uso (U).....	52
5.4.1.5. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R) .....	52
5.4.2. Análisis Modal Espectral .....	58
5.4.2.1. Aceleración Espectral .....	58
5.4.2.2. Reducción de momentos de inercia .....	59
5.4.3. Máxima deriva de entrepiso .....	60
5.5. Diseño de Disipadores SLB .....	63
5.5.1. Ubicación en planta .....	63
5.5.2. Selección del tipo de disipador SLB.....	64
5.5.3. Verificación de la irregularidad torsional del edificio de 14 niveles con disipadores SLB.....	70
5.5.4. Máxima deriva de entrepiso con reforzamiento sísmico .....	72
5.5.5. Definición de diagonal tipo Chevron.....	75
5.5.5.1. Revisión de la capacidad del soporte.....	75
<b>CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DINAMICO NO LINEAL TIEMPO - HISTORIA DE LA ESTRUCTURA.....</b>	<b>79</b>

6.1. Registros Sísmicos.....	79
6.2. Escalamiento de los Registros Sísmicos.....	82
6.3. Máxima deriva de entrepiso en Análisis no lineal Tiempo - Historia.....	84
6.4. Curvas Histeréticas.....	86
6.5. Respuesta energética del Sistema.....	90
CAPÍTULO VII: PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS .....	93
7.1. Análisis e Interpretación de los resultados.....	93
7.1.1. Comparación de las derivas de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB .....	93
7.1.2. Comparación de períodos de la estructura sin y con reforzamiento.....	97
7.1.3. Porcentaje de energía que toman los disipadores con respecto a la estructura global .....	98
7.2. Contratación de Hipótesis.....	100
CONCLUSIONES .....	102
RECOMENDACIONES .....	103
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	104
ANEXOS .....	107
Anexo 1: Matriz de Consistencia.....	108
Anexo 2: Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo .....	110
Anexo 3: Lista de precios de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) .....	112
Anexo 4: Modelación del edificio de 14 niveles en el programa ETABS – Vista en Planta.....	114
Anexo 5: Plano de Arquitectura del edificio de 14 niveles (Piso Típico).....	116
Anexo 6: Plano de Estructuras del edificio de 14 niveles (Piso Típico).....	118
Anexo 7: Plano de disipador histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB) .....	120
Anexo 8: Plano de Reforzamiento sísmico – Diagonales tipo Chevron + SLB .....	122

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla N° 1: Comparación entre dispositivos pasivos de disipación de energía.....	13
Tabla N° 2: Operacionalización de las variables.....	33
Tabla N° 3: Elementos estructurales de la Edificación .....	42
Tabla N° 4: Cálculo de Carga muerta para el edificio de 14 niveles sin disipadores SLB .....	45
Tabla N° 5: Cálculo de Carga muerta para el edificio de 14 niveles con disipadores SLB .....	45
Tabla N° 6: Cálculo de Carga Viva para el edificio de 14 niveles.....	46
Tabla N° 7: Peso estimado del edificio de 14 niveles sin disipadores SLB .....	47
Tabla N° 8: Peso estimado del edificio de 14 niveles con disipadores SLB .....	47
Tabla N° 9: Zonificación Sísmica del Perú.....	49
Tabla N° 10: Factores de suelo .....	51
Tabla N° 11: Períodos $T_P$ y $T_L$ .....	51
Tabla N° 12: Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dir. X.....	54
Tabla N° 13: Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dir. X.....	54
Tabla N° 14: Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dir. Y.....	55
Tabla N° 15: Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dir. Y.....	55
Tabla N° 16: Porcentaje de Fuerza cortante sísmica en primer nivel.....	56
Tabla N° 17: Irregularidad por esquinas entrantes - Edificio de 14 niveles .....	56
Tabla N° 18: Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección X ...	57
Tabla N° 19: Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección Y ...	57
Tabla N° 20: Cálculo del Espectro de Pseudo Aceleraciones.....	58
Tabla N° 21: Momentos de inercia reducidos por elemento estructural .....	59
Tabla N° 22: Derivas de entrepiso de la estructura sin disipadores - Dirección X .....	61
Tabla N° 23: Derivas de entrepiso de la estructura sin disipadores - Dirección Y .....	62
Tabla N° 24: Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección X ..	70
Tabla N° 25: Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección Y ..	71
Tabla N° 26: Derivas de entrepiso de la estructura con disipadores - Dirección X .....	73
Tabla N° 27: Derivas de entrepiso de la estructura con disipadores - Dirección Y .....	74
Tabla N° 28: Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso por nivel – Dir. X.....	94
Tabla N° 29: Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso por nivel – Dir. Y.....	96
Tabla N° 30: Porcentaje de reducción de períodos con respecto a cada modo.....	97

Tabla N° 31: Porcentaje de Energía de disipación EO (Este-Oeste) – Dir. X.....	98
Tabla N° 32: Porcentaje de Energía de disipación NS (Norte-Sur) – Dir. Y.....	99

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura N° 1: Edificio Hotel Ceibo Dorado .....	8
Figura N° 2: Refuerzo con disipadores SLB - Hotel Ceibo Dorado .....	9
Figura N° 3: Sismo en dirección X - Hotel Ceibo Dorado .....	9
Figura N° 4: Sismo en dirección Y - Hotel Ceibo Dorado .....	10
Figura N° 5: Disipador Viscoelástico tipo 3M.....	14
Figura N° 6: Disipador viscoso de Taylor .....	15
Figura N° 7: Disipador ADAS sobre contraviento Chevrón.....	17
Figura N° 8: Disipador TADAS sobre contraviento Chevrón .....	18
Figura N° 9: Disipador SLB.....	18
Figura N° 10: Disipador por fricción de Pall and Marsh.....	19
Figura N° 11: Disipador SLB trabajando por corte (modo habitual) .....	21
Figura N° 12: Disipador SLB trabajando por flexión superando capacidad de corte.....	21
Figura N° 13: Modos de trabajo del dispositivo SLB: (a) corte y (b) etapas de flexión.....	22
Figura N° 14: Curvas histeréticas SLB.....	22
Figura N° 15: Modelo analítico del sistema compuesto: Diagonal + Disipador SLB....	24
Figura N° 16: Modelo Analítico Shear Link Bozzo .....	25
Figura N° 17: Modelo plástico de Wen .....	26
Figura N° 18: Definición de parámetros por la propiedad de plastificación Wen .....	27
Figura N° 19: Sistema de un grado de libertad sometido a una excitación en su base .....	28
Figura N° 20: Diagrama de balance energético sin y con disipadores SLB .....	29
Figura N° 21: Definición de concreto $f'c$ 350 en programa ETABS .....	38
Figura N° 22: Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 350.....	38
Figura N° 23: Definición de concreto $f'c$ 280 en programa ETABS .....	39
Figura N° 24: Resistencia a la compresión del concreto $f'c$ 280.....	39
Figura N° 25: Definición de elemento tipo Frame (Columna) .....	40
Figura N° 26: Definición de elemento tipo Frame (Viga) .....	40
Figura N° 27: Definición de elemento tipo Ribbed (Losa Nervada).....	41
Figura N° 28: Definición de elemento tipo Wall (Placa).....	41
Figura N° 29: Vista en planta estructural del edificio de 14 niveles.....	42

Figura N° 30: Vista en elevación (fachada) de la estructura sin reforzar en ETABS ....	43
Figura N° 31: Vista en elevación (fachada) de la estructura reforzada en ETABS .....	44
Figura N° 32: Vista en planta del edificio de 14 niveles en ETABS .....	44
Figura N° 33: Zonas sísmicas del Perú.....	48
Figura N° 34: Mapa de Microzonificación sísmica para Lima Metropolitana .....	50
Figura N° 35: Expresiones para cálculo del factor de amplificación Sísmica .....	51
Figura N° 36: Elementos estructurales analizados para el cálculo de $R_0$ .....	53
Figura N° 37: Espectro de pseudo Aceleraciones según la Norma Técnica E.030.....	59
Figura N° 38: Vista en 3D - Estructura de 14 niveles sin disipadores SLB .....	60
Figura N° 39: Derivas máximas en estructura sin reforzar – Dir. X.....	61
Figura N° 40: Derivas máximas en estructura sin reforzar – Dir. Y .....	62
Figura N° 41: Ubicación en planta de los disipadores SLB – Edificio de 14 niveles ....	63
Figura N° 42: Definición del disipador SLB como elemento Frame .....	64
Figura N° 43: Selección de disipador SLB por medio de fuerza cortante en elemento Link.....	65
Figura N° 44: Selección de disipador SLB por medio de la fuerza de plastificación ( $F_y$ ) .....	66
Figura N° 45: Definición de disipador SLB3 50_7 por medio de ETABS.....	66
Figura N° 46: Propiedades del disipador SLB3 50_7 por medio de ETABS .....	67
Figura N° 47: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje 2.....	68
Figura N° 48: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje B .....	69
Figura N° 49: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje G.....	69
Figura N° 50: Vista en 3D - Estructura de 14 niveles con disipadores SLB .....	72
Figura N° 51: Derivas máximas en estructura reforzada – Dir. X .....	73
Figura N° 52: Derivas máximas en estructura reforzada – Dir. Y .....	74
Figura N° 53: Definición de diagonal tipo Chevron HSS9X9X5/8 .....	75
Figura N° 54: Transmisión de fuerzas entre el disipador SLB y sus diagonales .....	75
Figura N° 55: Fuerza cortante en disipador tipo SLB, nivel 6, Eje 2 .....	76
Figura N° 56: Fuerza axial en diagonal tipo Chevron, nivel 6, Eje 2.....	76
Figura N° 57: Registro Sísmico de Lima 1966 – Dir. EO .....	79
Figura N° 58: Registro Sísmico de Lima 1974 – Dir. EO .....	80
Figura N° 59: Registro Sísmico de Ica 2007 – Dir. EO.....	80
Figura N° 60: Registro Sísmico de Chimbote 1970 – Dir. EO .....	80
Figura N° 61: Registro Sísmico de Valparaíso (Chile) 1985 – Dir. EO.....	81

Figura N° 62: Registro Sísmico Artificial Grado 8.5 escala de Richter – Dir. EO.....	81
Figura N° 63: Registro Sísmico Artificial Grado 9.0 escala de Richter – Dir. EO.....	81
Figura N° 64: Factor de amplificación sísmica para escalamiento de registros .....	82
Figura N° 65: Espectro de Respuesta de Escalamiento según la Norma Técnica E.030.....	83
Figura N° 66: Escalamiento de registros sísmicos .....	83
Figura N° 67: Derivas máximas por registro sísmico en la estructura reforzada – Dir. X .....	84
Figura N° 68: Derivas máximas por registro sísmico en la estructura reforzada – Dir. Y .....	85
Figura N° 69: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Lima 1966, Dmax: 1.39 cm, Fmax: 102.04 ton .....	86
Figura N° 70: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Lima 1974, Dmax: 1.13 cm, Fmax: 96.72 ton .....	87
Figura N° 71: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Ica 2007, Dmax: 1.50 cm, Fmax: 104.33 ton.....	87
Figura N° 72: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Chimbote 1970, Dmax: 0.96 cm, Fmax: 93.13 ton .....	88
Figura N° 73: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Valparaíso (Chile), Dmax: 1.24 cm, Fmax: 98.84 ton.....	88
Figura N° 74: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Artificial Grado 8.5 Escala Richter, Dmax: 1.03 cm, Fmax: 94.51 ton .....	89
Figura N° 75: Diagrama Histerético de disipador SLB3_50_7, Séptimo nivel, Sismo Artificial Grado 9 Escala Richter, Dmax: 1.36 cm, Fmax: 101.45 ton .....	89
Figura N° 76: Respuesta energética del sistema - Sismo Lima 1966.....	90
Figura N° 77: Respuesta energética del sistema - Sismo Lima 1974.....	90
Figura N° 78: Respuesta energética del sistema - Sismo Ica 2007 .....	91
Figura N° 79: Respuesta energética del sistema - Sismo Chimbote 1970.....	91
Figura N° 80: Respuesta energética del sistema - Sismo Valparaíso (Chile) 1985 .....	91
Figura N° 81: Respuesta energética del sistema - Sismo artificial grado 8.5 Escala de Richter .....	92
Figura N° 82: Respuesta energética del sistema - Sismo artificial grado 9.0 Escala de Richter .....	92
Figura N° 83: Derivas de entrepiso - Dirección X .....	93

Figura N° 84: Derivas de entrepiso - Dirección Y ..... 95

## RESUMEN

La presente Tesis se fundamenta principalmente en el reforzamiento sísmico de una estructura de concreto armado, la cual después de haber aplicado un Análisis Modal Espectral no esté cumpliendo con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), siendo el objetivo principal mejorar el comportamiento sísmico utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima.

Los períodos se determinaron mediante un análisis estructural y las derivas de entrepiso mediante el Análisis Modal Espectral. Ambos se hallaron para la estructura sin reforzamiento y después de que se han reforzado con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) soportados por diagonales tipo Chevron. También se usó el Análisis no lineal Tiempo – Historia tipo FNA concentrando la no linealidad en el disipador histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB), haciendo uso de registros sísmicos corregidos y escalados según la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).

El edificio cuenta con un área construida de 669.15 metros cuadrados, 14 niveles y una altura total de 41.2 metros; 3.5 metros para el primer nivel y 2.9 metros para los pisos superiores. La estructura presenta irregularidades en planta por esquina entrante e irregularidad torsional. La implementación de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), cambió drásticamente la respuesta sísmica del edificio reduciendo en más de un 50% las derivas de entrepiso, el período de la estructura, la energía sísmica disipada por la estructura y se eliminó la irregularidad torsional.

Las Normas que se utilizaron para el desarrollo de esta tesis fueron: Para el Análisis Modal Espectral, la Norma Técnica Peruana E.030, E.020 y el ACI 318 – 19; y para el Análisis no lineal Tiempo – Historia, solamente la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).

**Palabras Claves:** Disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), Reforzamiento sísmico, Norma Técnica Peruana E.030 (2018), Curvas Histeréticas, Edificio de 14 niveles sin disipadores SLB, Edificio de 14 niveles con disipadores SLB.

## ABSTRACT

This thesis is mainly based on the retrofit seismic of a reinforced concrete building, which after having applied a Spectral Modal Analysis is not working with the Peruvian Technical Norm E.030 (2018), the main objective being to enhance the seismic behavior using Shear Link Bozzo hysteretic dampers in a fourteen-level building in the city of Lima.

The periods were determined by a structural analysis and the drifts were determined by the Spectral Modal Analysis. Both were found for the structure without retrofit seismic and after the building have been retrofit with Shear Link Bozzo hysteretic dampers supported by Chevron-type diagonals have been implemented. The nonlinear Time-History analysis type FNA concentrating the nonlinearity in the Shear Link Bozzo hysteretic damper, making use of corrected and scaled seismic records according to Peruvian Technical Norm E.030 (2018).

The building has a constructed area of 669.15 square meters and a total height of 41.2 meters, 14 levels and a total height of 41.2meters; 3.5 meters for the first level and 2.9 meters upper floors. The structure has irregularities in the floor per incoming corner and torsional irregularity. The implementation of Shear Link Bozzo hysteretic dampers has drastically changed the seismic response of the building reducing the drift, period of the structure, the seismic energy dissipated by the structure by more than 50% and the torsional irregularity was eliminated.

The Norms that were used for the development of this thesis were: For the Spectral Modal Analysis, the Peruvian Technical Norm E.030 (2018), E.020 and the ACI 318-19; and for the nonlinear Analysis Time - History, only the Peruvian Technical Norm E.030 (2018).

**Keywords:** Shear Link Bozzo hysteretic Dampers, Retrofit Seismic, Peruvian Technical Norm E.030 (2018), Hysteretic Curves, 14-level building without SLB dampers, 14-level building with SLB dampers.

## INTRODUCCIÓN

Esta investigación es acerca de un edificio ubicado en la Av. Javier Prado, ciudad de Lima. Se trata de un Edificio representativo de los años 70's u 80's. El terreno presenta una topografía compuesta por afloramientos rocosos debido a que con los años el río Rímac a estado depositando este material por toda la zona.

La investigación se divide en capítulos. En el capítulo I se presenta la descripción del problema, formulación, objetivos, justificación y limitaciones; en el capítulo II se encuentra el marco teórico en el cual se describen los distintos tipos de disipadores existentes para la protección sísmica en las estructuras, las características mecánicas del disipador SLB y modelo analítico del mismo; en el capítulo III se definen las hipótesis y las variables; en el capítulo IV se presenta la metodología de la investigación en la cual se especifica la forma en la que se realizará la investigación de esta tesis, se encontrará el tipo, nivel, método y diseño de la investigación, población y muestra, técnicas e instrumentos de recolección de datos y descripción de procedimientos de análisis; en el capítulo V se realiza la validación de la estructura por medio de un respectivo análisis sísmico, en el cual se mostrarán los datos obtenidos por el Análisis Modal Espectral, los cuales serán comparados entre sí; en el capítulo VI se realiza el análisis no lineal tiempo – historia de la estructura, el cual se basa en el filtrado y escalamiento de registros sísmicos para poder compatibilizarlos con la estructura y así estudiar el comportamiento del edificio reforzado frente a este conjunto de registros sísmicos; y por último, en el capítulo VII se realiza la presentación y el análisis de resultados de la investigación, se mostrarán los resultados obtenidos del Análisis Modal Espectral y Análisis no lineal Tiempo – Historia, tales como la comparativa de períodos, derivas y fuerzas cortantes del edificio de 14 niveles con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) con respecto a la misma estructura sin reforzar.

# **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

## **1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos**

El Perú es un país ubicado en el llamado “cinturón de fuego del pacífico”. Esta es la zona más activa del planeta donde se producen el 80% de terremotos, lo que convierte al Perú en un país con alta actividad sísmica.

La historia muestra que la región de Lima ha sido constantemente afectada por grandes sismos siendo el de mayor magnitud el ocurrido el 28 de octubre de 1746 (8.4 grados), mientras que en el siglo XX el más destructor fue el 24 de mayo de 1940; pero el que produjo mayor cantidad de pérdidas humanas fue el sismo del 31 de mayo de 1970. A pesar de que el epicentro del sismo se localizó en el océano Pacífico frente a las costas de Chimbote y Casma, Lima se vio seriamente afectada. Casas destruidas, paredes colapsadas y grietas en el piso fueron solo algunos de los daños que provocó el movimiento telúrico en la ciudad.

Esta situación pone en evidencia el comportamiento, desempeño y vulnerabilidad en las estructuras, siendo esta última muy alta por las razones anteriormente descritas. Por eso, la presente Tesis de investigación está orientada en la implementación de un sistema de disipación de energía a través de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), el cual se basa en el aumento localizado de la ductilidad del edificio, permitiendo una reducción significativa de las fuerzas inducidas por un sismo de alta intensidad hacia una estructura ubicada en la Av. Javier Prado - Distrito de San Isidro, Lima – Perú. Este es un edificio representativo de los años 70’s u 80’s.

### **1.1.1. Problema general**

¿Cómo mejorar la respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima?

### **1.1.2. Problemas específicos**

- a) ¿En cuánto difieren las derivas de entrepiso de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB?

- b) ¿Cuál es el porcentaje de reducción del período de vibración de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la estructura sin reforzar?
- c) ¿Cuál es el porcentaje de energía que toman los disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la disipación global de la estructura por cada evento sísmico?

## **1.2. Objetivos general y específico**

### **1.2.1. Objetivo general**

Mejorar la respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima.

### **1.2.2. Objetivos específicos**

- a) Determinar en cuánto difieren las derivas de entrepiso de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB.
- b) Determinar el porcentaje de reducción del período de vibración de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo SLB.
- c) Determinar el porcentaje de energía que toman los disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la energía total que produce el sismo por cada evento sísmico.

## **1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática**

### **1.3.1. Delimitación temporal del problema**

El análisis se efectuará tomando como base de estudio el periodo comprendido entre los meses de mayo hasta noviembre del año 2019.

### **1.3.2. Delimitación espacial del problema**

El problema está ubicado en la Av. Javier Prado, perteneciente al distrito de San Isidro, Provincia de Lima, Departamento de Lima. Cabe destacar que este es solo un edificio representativo de los años 70's u 80's.

### **1.3.3. Delimitación de la temática del problema**

La delimitación temática corresponde a la poca existencia de la información sobre análisis por desempeño y no lineal normadas por nuestro país; por ello se usarán normas internacionales, investigaciones y ensayos sobre los disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) hechas por el Dr. Luis Bozzo.

## **1.4. Justificación e importancia**

### **1.4.1. Justificación del estudio**

El proyecto se justifica debido a la importancia de mejorar las condiciones del edificio. Esta metodología servirá para confrontar y evaluar los procedimientos actuales de diseño de edificaciones.

Con este sistema de disipación de energía, se espera beneficiar a toda construcción a nivel local (Lima) y nacional para evitar los colapsos. Esta es la razón por la cual hemos decidido realizar una comparación entre un sistema estructural convencional versus un sistema con disipadores SLB.

### **1.4.2. Importancia del estudio**

Los disipadores SLB son utilizados para proporcionar ductilidad localizada a edificios existentes o nuevos, además que son beneficiosos porque son mucho más económicos debido a que existe la posibilidad de reemplazar placas de concreto armado por diagonales tipo chevron con disipadores SLB al momento de reforzar una estructura.

## **1.5. Viabilidad**

La presente tesis es viable ya que se cuenta con información bibliográfica necesaria para poder desarrollar los objetivos planteados. La investigación se desarrollará a través de la norma internacional de requisitos para concreto estructural ACI 318 – 19 y de la Norma Técnica Peruana E.030 (2018); estas normas se usan tanto para el Análisis Modal Espectral como para el Análisis no lineal Tiempo - Historia. También se hará uso de la Norma Técnica Peruana E.020 para las cargas de diseño y del programa de cálculo informático ETABS 2017 v.17.0.1.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de investigación

#### 2.1.1. Antecedentes en el Ámbito Nacional

Chinga M. (2018) en su tesis menciona lo siguiente:

Los disipadores de energía son un sistema muy usados para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, modifican la propiedad dinámica y reducen la demanda de deformación y esfuerzo producido por el sismo mediante el aumento del amortiguamiento del sistema estructural de modo que las vibraciones inducidas por la excitación son absorbidas por estos dispositivos. Su utilización es especialmente adecuada en edificios flexibles fundados sobre cualquier tipo de suelo. Los esfuerzos producidos por el sismo en la estructura pueden ser hasta un 50% menor que los correspondientes a la estructura sin disipadores. (p. 41)

López C. y Miranda J. (2015) en su tesis menciona lo siguiente:

La capacidad es la representación gráfica de cuanto una estructura resiste una demanda sísmica. La capacidad de una estructura depende de la resistencia y la deformación máxima de sus componentes individuales. Para determinar su capacidad más allá del límite elástico, es necesario utilizar algún tipo de análisis no lineal, como por ejemplo el análisis estático no lineal (pushover). Este procedimiento usa una serie de análisis elásticos secuenciales, que se superponen para aproximarse a un diagrama conocido con el nombre de curva de capacidad. (p. 37)

Segovia J. (2016) en su tesis menciona lo siguiente:

Los Disipadores de Energía se clasifican generalmente en: Viscoelásticos e Histeréticos. Los disipadores metálicos pertenecen al grupo de disipadores histeréticos, y se desarrollaron en Nueva Zelanda a comienzos del año 1970. Los más conocidos son: ADAS (Added Damping and Stiffness) y TADAS (Triangular Added Damping and

Stiffness). Una de las aplicaciones más utilizadas de los disipadores viscoelásticos es en EEUU en las Torres gemelas donde se ubicaron 100 disipadores por planta (Bozzo and Barbat, 1999) para controlar los efectos del viento. (p. 6)

### **2.1.2. Antecedentes en el Ámbito Internacional**

Arriaga G. (2018) en su tesis menciona lo siguiente:

Pruebas hechas en otros países como Italia, Portugal, Perú; reportan que el comportamiento de los dispositivos de fluencia, llegan a soportar fuerzas de 2 a 50 toneladas con un desplazamiento de fluencia desde 1 mm, esto debido a la forma de disipación de energía a través de calor. Se ha mencionado que este tipo de disipadores no necesariamente tienen que ser reemplazados después de un evento sísmico severo, bastará con la inspección visual del dispositivo para determinar si se debe de hacer esta sustitución. (p. 11)

Fernández J. y Subía M. (2014) en su tesis menciona lo siguiente:

Se dice que una estructura posee ductilidad cuando esta es capaz de responder inelásticamente sin una pérdida de resistencia considerable, durante toda la duración del sismo de diseño. La ductilidad en teoría es definida mediante un modelo elasto-plástico, el cual describe la respuesta típica en términos de fuerza-deformación para varios ciclos de carga. Estos diagramas son conocidos con el nombre de ciclos de histéresis. (p. 32)

Hurtado F. (2006) en su tesis menciona lo siguiente:

El concepto del disipador SL propuesto es proporcionar una articulación plástica generalizada disponible para diferentes fuerzas y desplazamientos de plastificación. Por consiguiente, no se plantea tener un sistema único o geometría específica, sino que el diseñador tiene que seleccionarlo desde una variedad de alternativas. Todas las conexiones deben, sin embargo, tener una respuesta común y comportamiento similar. Hay varias dimensiones para especificar en una conexión SL.

Estas dimensiones son la altura total y la altura disipativa, el ancho, el espesor, la posición y dimensiones de los rigidizadores, entre otros. La idea es fijar tanto como sea posible estas variables reduciendo el número potencial de combinaciones y simplificando el sistema propuesto. (p. 38)

## 2.2. Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio

### 2.2.1. Reforzamiento estructural del Hotel Ceibo Dorado – Postensa (2016)

Bozzo L. (2017) menciona que:

Después del terremoto que azotó la costa ecuatoriana en el 2016 muchas estructuras quedaron dañadas (Ver Figura N° 1), por consiguiente, el reforzamiento de estructuras realizado por Postensa, dotándoles de resistencia y ductilidad era imprescindible. El edificio Hotel Ceibo Dorado fue reforzado usando disipadores SLB sobre diagonales tipo Chevron aumentando su resistencia y ductilidad (Ver Figura N° 2). (p. 55)



Figura N° 1: Edificio Hotel Ceibo Dorado

Fuente: Bozzo, 2017, p. 55



Figura N° 2: Refuerzo con disipadores SLB - Hotel Ceibo Dorado

Fuente: Bozzo, 2017, p. 80

De acuerdo con Luis Bozzo (2017), “Los presentes gráficos visualizan los resultados donde gracias a los disipadores, los drifts en ambas direcciones están por debajo del máximo permitido” (p. 64). (Ver Figura N° 3 y 4)



Figura N° 3: Sismo en dirección X - Hotel Ceibo Dorado

Fuente: Bozzo, 2017, p. 63

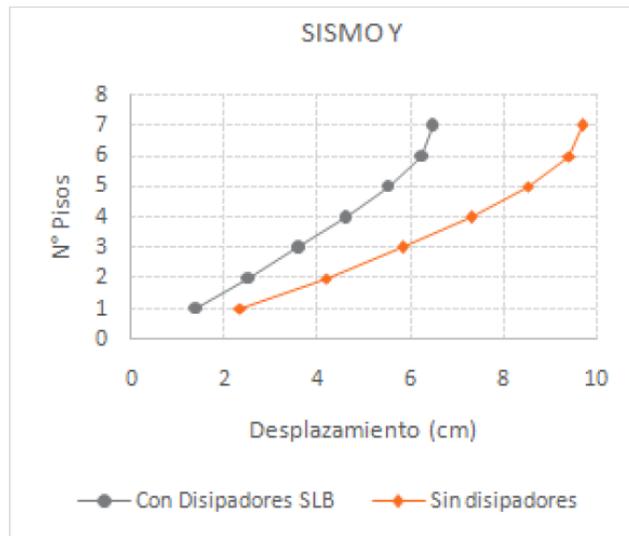


Figura N° 4: Sismo en dirección Y - Hotel Ceibo Dorado

Fuente: Bozzo, 2017, p. 63

## 2.3. Estructura teórica y científica que sustenta el estudio

### 2.3.1. Normas

Las consideraciones y parámetros para el análisis sísmico se realizaron mediante las siguientes Normas:

- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2006). Norma Técnica E.020 (Norma Nacional)
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018). Norma Técnica E.030 (Norma Nacional)
- American Concrete Institute (2019). ACI 318-19 (Norma Internacional)

#### 2.3.1.1. Normas Nacionales

##### a) MVCS (2006). Norma Técnica E.020 Cargas

Esta norma nos brinda los parámetros y distribución de cargas por tipo y uso de la edificación a ser analizada.

MVCS (2006). Norma Técnica E.020, en el capítulo 1 “Generalidades”, artículo 1 “Alcances”, menciona lo siguiente:

Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas

actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su norma de diseño específica.

#### **b) MVCS (2018). Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente**

Esta norma nos provee de lineamientos y parámetros mínimos, en el rango lineal y elástico, para que el diseño de una edificación pueda resistir sismos leves sin daños, moderados con posibilidad de daños leves y severos con daños importantes evitando el colapso de la edificación.

MVCS (2018). Norma Técnica E.030, en el capítulo 1 “Generalidades”, artículo 5 “Consideraciones Generales”, menciona lo siguiente:

- Toda edificación y cada una de sus partes deben ser diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados.
- No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.
- Se debe considerar el posible efecto de los tabiques, parapetos y otros elementos adosados en el comportamiento sísmico de la estructura. El análisis, el detallado del refuerzo y anclaje debe hacerse acorde con esta consideración.
- En concordancia con los principios de Diseño Sismorresistente del artículo 3, se acepta que las edificaciones tengan incursiones inelásticas frente a solicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las fuerzas sísmicas de diseño son una fracción de la sollicitación sísmica máxima elástica.

### **2.3.1.2. Normas Internacionales**

#### **a) ACI (2019). ACI 318-19**

ACI (2019). ACI 318-19, en el capítulo 1 “Requerimientos Generales”, punto R1.1. “Ámbito de aplicación del ACI 318-19”, menciona lo siguiente:

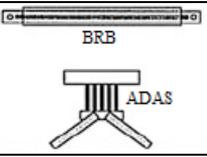
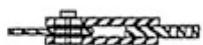
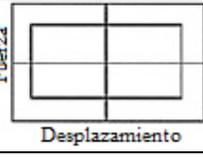
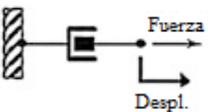
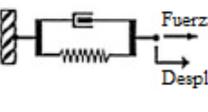
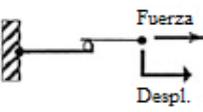
Este Código incluye disposiciones para el diseño de hormigón utilizado para fines estructurales, incluido el liso hormigón; hormigón que contiene refuerzo no pretensado, refuerzo pretensado, o ambos; y anclaje al hormigón. Este capítulo incluye una serie de disposiciones que explican dónde se aplica este Código y cómo debe ser interpretado.

### **2.3.2. Disipadores de energía**

Castaldo (2014) menciona que:

En la actualidad, existen muchos tipos de disipadores de energía en el mundo para la protección sísmica en las estructuras. Los disipadores de energía pueden dividirse en dos grandes categorías; dependientes de la velocidad (sólido viscoelástico, fluido viscoso) y dependientes del desplazamiento (metálicos) (Ver Tabla N° 1). (p. 22)

Tabla N° 1: Comparación entre dispositivos pasivos de disipación de energía

	Dependientes de la velocidad		Dependientes del desplazamiento	
	Fluido viscoso	Sólido Viscoelásticos	Fluencia de metales	Fricción
Esquema Básico				
Comportamiento o histerético idealizado				
Modelo físico idealizado			Modelo idealizado no disponible.	
Ventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se activa con desplazamientos pequeños.</li> <li>-Fuerza restauradora mínima.</li> <li>-Para un amortiguamiento lineal, se simplifica el modelo del amortiguador.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente ni de las frecuencias altas aplicadas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Se activa con desplazamientos pequeños.</li> <li>-Suministra una fuerza restauradora.</li> <li>- Comportamiento lineal, por lo tanto se puede simplificar su modelación.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comportamiento histerético estable.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente.</li> <li>- Materiales y comportamiento son conocidos para los ingenieros.</li> <li>- Comportamiento confiable durante largo plazo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Alta disipación de energía por ciclo.</li> <li>- No depende de la temperatura del ambiente.</li> </ul>
Desventajas	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Posible fuga del fluido (relacionado con la confiabilidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Capacidad de deformación limitada.</li> <li>-Sus propiedades dependen de la temperatura del ambiente y de las frecuencias aplicadas.</li> <li>-Posible desprendimiento y flujo del material viscoelástico (relacionado con la confiabilidad).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>-Dispositivo dañado después del sismo; podría requerir reemplazo.</li> <li>-Comportamiento no lineal; podría requerir de un análisis no lineal.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Las condiciones de la interfaz de deslizamiento podrían cambiar con el tiempo (relacionado con la confiabilidad).</li> <li>-Comportamiento No lineal muy marcado; podría requerir de un análisis no lineal – modal.</li> <li>-Hay desplazamientos permanentes si no actúa una fuerza restauradora.</li> </ul>

Fuente: Symans, 2008, p. 7

### 2.3.3. Disipadores dependientes de la velocidad

#### 2.3.3.1. Disipadores Sólidos Viscoelásticos

Estos dispositivos están basados en materiales viscoelásticos los cuales son generalmente copolímeros y sustancias vidriosas que tienen una gran capacidad de disipación de energía por deformaciones de corte.

Segovia (2016) describe en su tesis:

La disipación de energía se basa en el aumento de amortiguamiento estructural y la fuerza disipadora es proporcional a la velocidad con la característica que no cambian significativamente los periodos de vibración por lo que se pueden linealizar su comportamiento y modelación. El dispositivo consiste en una capa de material VE unido a dos capas de metales, uno de los más conocidos es el disipador 3M, que se coloca generalmente como una diagonal en marcos (Ver Figura N° 5). (p. 17)

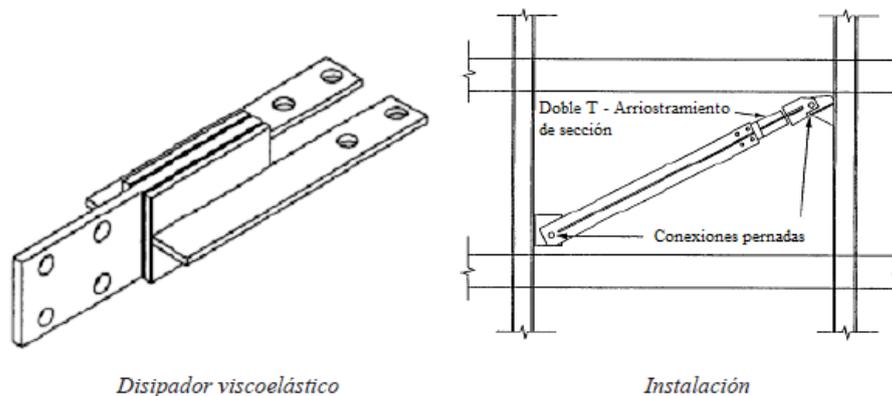


Figura N° 5: Disipador Viscoelástico tipo 3M

Fuente: Segovia, 2016, p. 17

### 2.3.3.2. Disipadores de Fluido Viscoso

Segovia (2016) describe en su tesis:

Son similares a los amortiguadores de carro, consiste en un pistón (barra redonda) dentro de una cámara (cilindro) lleno de un líquido compuesto por aceite de silicona. El pistón tiene pequeños orificios, cuando se mueve dentro del cilindro el líquido es obligado a pasar por los orificios causando fricción, las fuerzas de salida es directamente proporcional a la velocidad del pistón (Ver Figura N° 6). (p. 18)

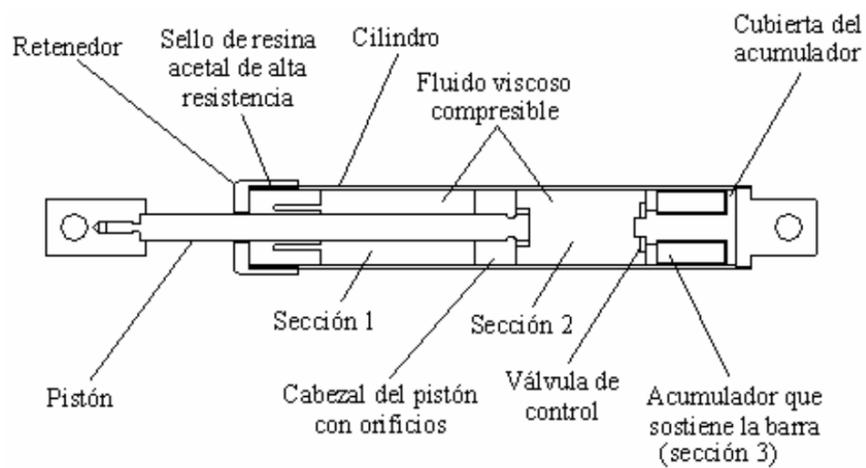


Figura N° 6: Disipador viscoso de Taylor

Fuente: Gatica, 2012, p. 27

### **2.3.4. Disipadores dependientes del desplazamiento**

Castaldo P. (2014) menciona que:

Los disipadores que dependen del desplazamiento también son llamados disipadores metálicos o histeréticos. La disipación es producida por las deformaciones inelásticas producidas durante un sismo, estas deformaciones son producidas por corte, flexión y deformación. Entre los más conocidos tenemos a los denominados ADAS (Added Damping And Stiffness) (Ver Figura N° 7), TADAS (Triangular-plate Added Damping And Stiffness) (Ver Figura N° 8) y SLB (Shear Link Bozzo) (Ver Figura N° 9). (p. 22)

#### **2.3.4.1. Disipadores de Fluencia de Metales**

Added damping and stiffness (ADAS) es un disipador formado por placas de acero en forma de X y puestas en paralelo, lo cual permite aumentar la resistencia, rigidez y capacidad local de disipación de energía. (Ver Figura N° 7)

Palazzo & Crisafulli (2015) mencionan que:

El número de placas que integran el disipador se pueden adaptar a cada situación. Así, el desplazamiento de fluencia puede modificarse variando la altura y espesor de las placas o la calidad del acero, mientras que la carga de fluencia puede controlarse con el número y espesor de las placas y la calidad del material. Los elementos ADAS usualmente se instalan en estructuras de pórtico, conectando por medio de bulones riostras tipo K con las vigas de esas estructuras. Las placas se diseñan para disipar energía por deformaciones de fluencia en flexión. (p. 3)

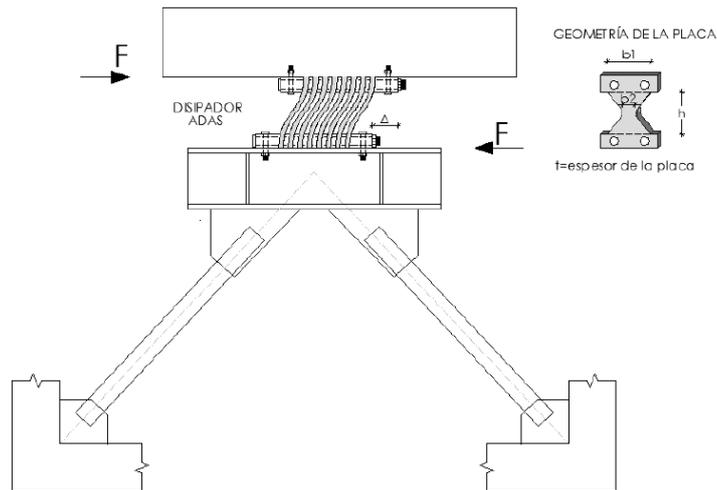


Figura N° 7: Disipador ADAS sobre contraviento Chevrón

Fuente: Aguiar, 2016, p. 14

Triangular plate added damping and stiffness (TADAS) es un disipador constituido por placas triangulares de acero puestas en paralelo. La base de cada placa está soldada a otra placa rígida, lo cual este conceto se aproxima a la condición de vínculo empotrado. La conexión del otro extremo asegura el movimiento libre en la dirección vertical. (Ver Figura N° 8)

Palazzo & Crisafulli (2015) mencionan que:

El amortiguador provee resistencia horizontal para cualquier deriva de piso, mediante deformación por flexión de las placas individuales. Para cargas de viento o sismo leves, se diseña el dispositivo para funcionar en rango elástico. Para sismos intensos las placas se deforman inelásticamente, y disipan así una porción de la energía de entrada. El número y dimensiones de las placas se determinan según las demandas de disipación de energía de una aplicación particular. La instalación en edificios es similar al ADAS. (p. 3)

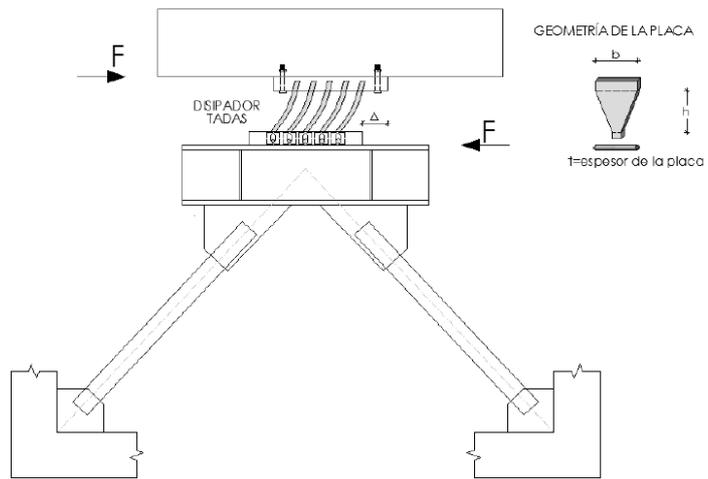


Figura N° 8: Disipador TADAS sobre contraviento Chevrón

Fuente: Aguiar, 2016, p. 15

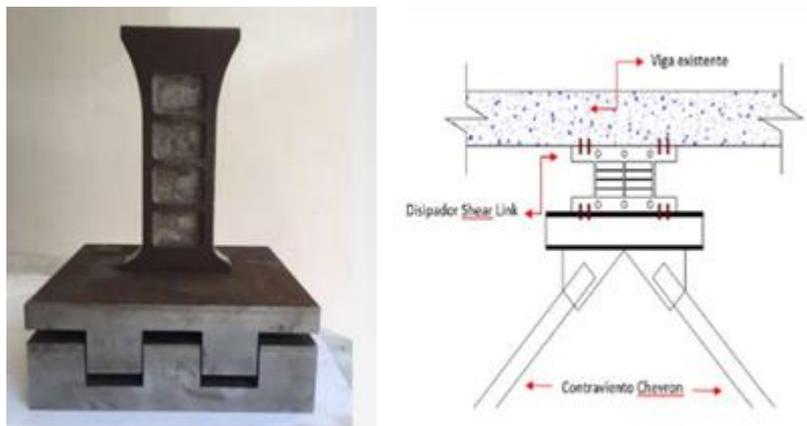


Figura N° 9: Disipador SLB

Fuente: Bozzo, 2018, p. 18

### 2.3.4.2. Disipadores por Fricción

Segovia J. (2016) describe en su tesis:

Los disipadores por fricción utilizan el mecanismo de fricción sólida que se desarrolla por el deslizamiento relativo entre si entre dos cuerpos sólidos sometidos a presión, la fuerza de fricción es igual a la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento. Generalmente la curva histerética es de forma rectangular similar a las características de fricción tipo Coulomb. (p. 16)

A continuación, se muestra un sistema típico por Pall and Marsh, donde el dispositivo es colocado en un sistema de brazos diagonales. (Ver Figura N° 10)

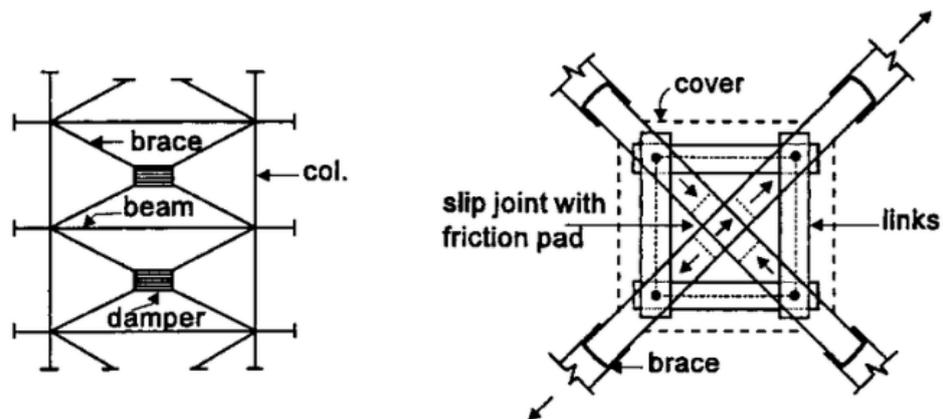


Figura N° 10: Disipador por fricción de Pall and Marsh

Fuente: Pall & Marsh, 1982, p. 12

### **2.3.5. Disipador Shear Link Bozzo (SLB)**

El disipador Shear Link Bozzo (SLB) es un dispositivo de disipación de energía sísmica que básicamente consiste en una placa de metal. El disipador está unido a un pórtico de resistencia a través de un mecanismo que no permite la transmisión de carga axial. Los disipadores Shear Link Bozzo se caracterizan por tener ventanas que son áreas fresadas transversales y separadas por franjas rígidas del espesor del disipador. Bajo una condición de corte, las ventanas se deforman produciendo energía de disipación por calor.

Los disipadores de energía son dispositivos que se instalan en el interior de las construcciones y se conectan a la estructura, de tal forma que cuando estas vibran se generan deformaciones en éstos. Estos dispositivos le confieren rigidez y ductilidad a la estructura, por lo que en caso de un mega sismo son los disipadores los que van a incursionar en el rango no lineal, pudiendo llegar a deformarse, pero en sí la estructura no va a sufrir daños relevantes. (Aguiar & Bozzo & Mora & Silva & Caiza & Coyago, 2016, p. 128)

Para que los disipadores de energía sean eficientes deben tener las siguientes cualidades: alta capacidad de disipación de energía, facilidad para ser reemplazados si han sufrido daño después de algún movimiento sísmico fuerte, sencillez, economía, robustez, bajo o nulo mantenimiento, fiabilidad y durabilidad. (Aguiar & Bozzo & Mora & Silva & Caiza & Coyago, 2016, p. 128)

#### **2.3.5.1. Características mecánicas básicas del disipador SLB**

Los dispositivos SLB comienzan a disipar energía con pequeñas deformaciones bajo una acción de corte proporcionando rigidez a la estructura y además reduce las derivas de entrepiso y periodos de vibración.

De acuerdo con Luis Bozzo (2018), “Los disipadores SLB (Shear Link Bozzo), son el único sistema de disipación con un doble modo de disipación de energía, que permite mayor seguridad y capacidad” (p. 4). (Ver Figura N° 11 y 12)

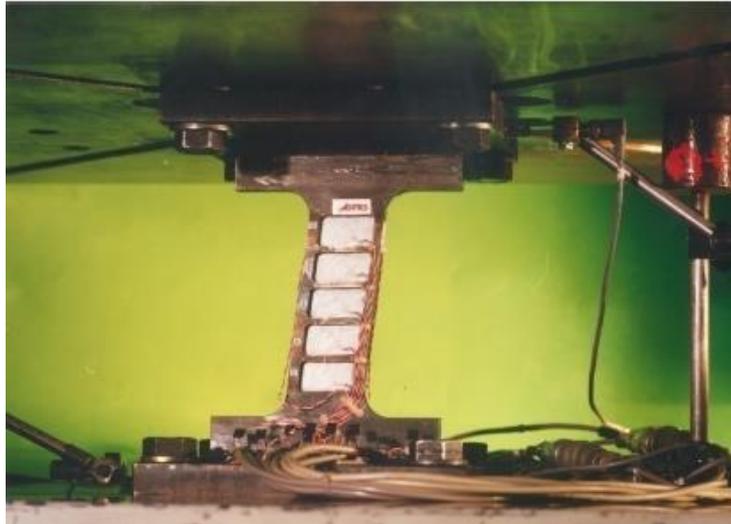


Figura N° 11: Disipador SLB trabajando por corte (modo habitual)

Fuente: Bozzo, 2018, p. 4

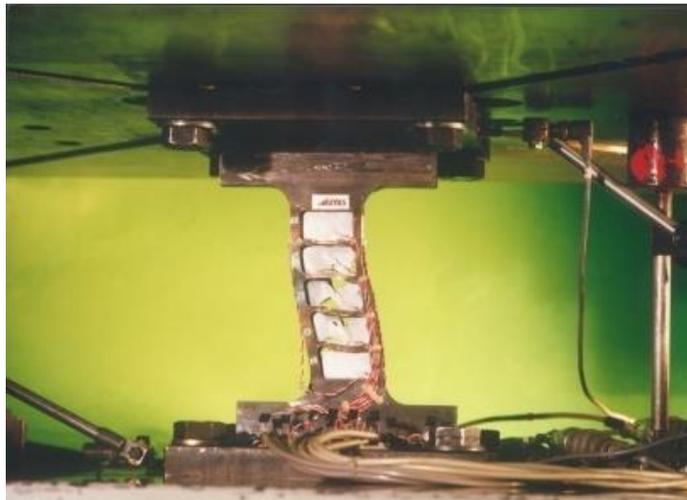


Figura N° 12: Disipador SLB trabajando por flexión superando capacidad de corte

Fuente: Bozzo, 2018, p. 4

Este doble modo de disipación de energía consiste en dos etapas de funcionamiento; la primera etapa es antes de que las áreas fresadas fallen, esta etapa trabaja de acuerdo a la modalidad de corte y se caracteriza por un corte uniforme a lo largo de toda la sección, lo que plastifica a las áreas fresadas o ventanas. Después de que las áreas fresadas cedan y se hayan degradado, el disipador aún sigue funcionando como una viga vierendeel. Esta segunda etapa trabaja de acuerdo a la modalidad de flexión y se caracteriza por una deformación típica de elementos sometidos a flexión, garantizando la disipación de energía incluso con las áreas fresadas degradadas. (Ver Figura N° 13)

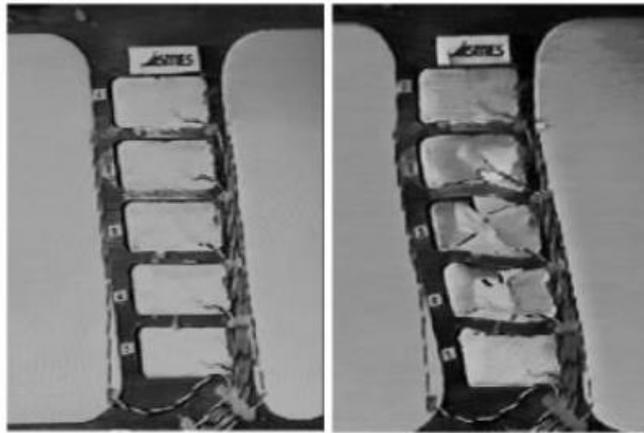


Figura N° 13: Modos de trabajo del dispositivo SLB: (a) corte y (b) etapas de flexión

Fuente: Nuzzo L. & Losanno D. & Serino G. & Bozzo L., 2015, p. 271

Las propiedades geométricas de los dispositivos SLB tales como: la altura del dissipador, las cantidades, posiciones y espesores de franjas fresadas o ventanas, su espesor permite obtener diferentes rigideces y fuerzas de fluencia para cada caso en particular.

Ambos modos de disipación de energía se muestran en las curvas histeréticas producidas por el dissipador SLB. Estas curvas tienen el objetivo de mostrar la fuerza y desplazamiento a la que el dispositivo estará siendo sometido. (Ver Figura N° 14)

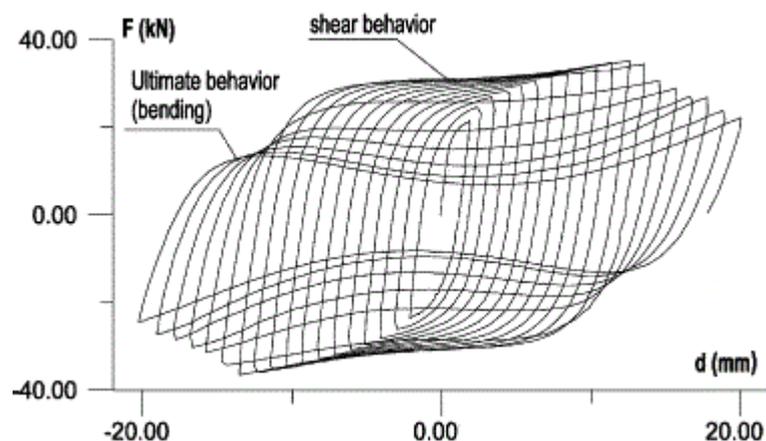


Figura N° 14: Curvas histeréticas SLB

Fuente: Nuzzo L. & Losanno D. & Serino G. & Bozzo L., 2015, p. 271

Donde Shear behavior representa la curva histerética a corte y Ultimate behavior a flexión.

### 2.3.5.2. Modelo analítico del disipador SLB

El valor aproximado de la fuerza cortante aplicado el disipador a través de un análisis dinámico, ha sido establecido igual a la fuerza de rendimiento del disipador SLB. El sistema de disipación está conformado por las diagonales tipo Chevron y el disipador SLB con propiedades elasto-plástico, pueden ser representados a través de un modelo analítico considerando dos elementos en serie (Ver Figura N° 15). Las rigideces de las diagonales pueden ser fácilmente calculadas como:

$$K_d = \frac{A_d E}{L} \dots \dots (1)$$

Donde:

$A_d$ : Sección del material.

$E$ : Módulo de Young.

$L$ : Largo de la diagonal.

La disipación del disipador trabaja como dos resortes en paralelo, una correspondiente a las ventanas o áreas fresadas, teniendo un comportamiento elasto-plástico, y los marcos que deben permanecer elásticos (Ver Figura N° 16). La rigidez de cada ventana puede caracterizar por:

$$K_w = \frac{GA}{h} \dots \dots (2)$$

$$A = b \cdot e \dots \dots (3)$$

Donde:

$G$ : Módulo de corte del material de la ventana.

$b$ : Longitud.

$e$ : Espesor.

$h$ : Altura.

La fuerza de plastificación es:

$$F_w = n\tau_y A \dots (4)$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y \dots (5)$$

Donde:

n: Número de ventanas.

$\tau$ : Esfuerzo de corte.

$f_y$ : Esfuerzo de fluencia del material.

Los marcos trabajan como si fueran un pórtico de dos niveles empotrados en sus extremos con una rigidez  $K_r$ .

$$K_r = \frac{48EI}{h^3} \dots (6)$$

$$I = \frac{tz^3}{h} \dots (7)$$

Donde:

I: Momento de inercia del marco.

t y z: Dimensiones del marco.

h: Altura de entrepiso (igual a la altura de la ventana).

E: Módulo de Young del material.

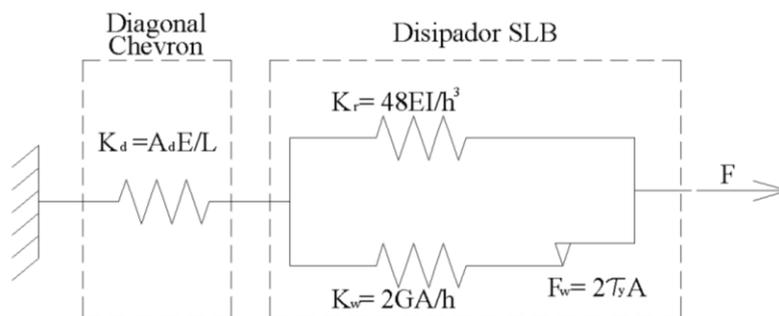


Figura N° 15: Modelo analítico del sistema compuesto: Diagonal + Disipador SLB

Fuente: Nuzzo L. & Losanno D. & Serino G. & Bozzo L., 2015, p. 272

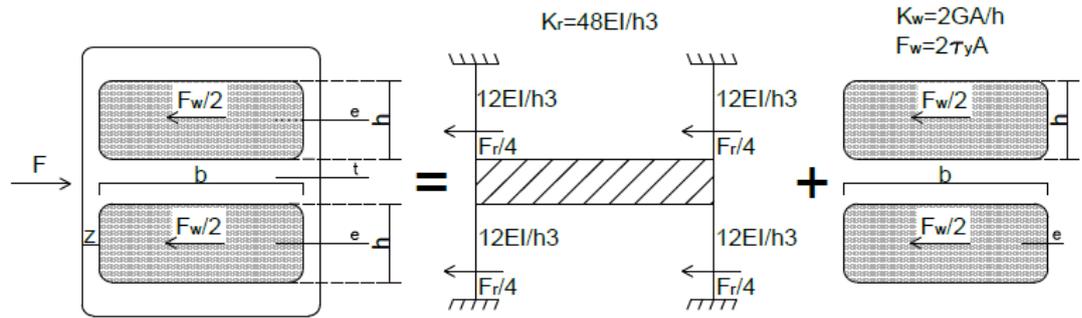


Figura N° 16: Modelo Analítico Shear Link Bozzo

Fuente: Nuzzo L. & Losanno D. & Serino G. & Bozzo L., 2015, p. 272

La rigidez equivalente  $K_{eq}$ , de la diagonal  $K_d$  y del disipador SLB  $K_{dis}$ , están en serie y su valor es:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_d} + \frac{1}{k_{dis}} \dots \dots (8)$$

Donde:

$K_{eq}$ : Rigidez equivalente.

$K_d$ : Rigidez axial.

$K_{dis}$ : Rigidez horizontal.

Debemos precisar que existen dos diagonales, por lo que la fuerza axial para cada diagonal está relacionada al ángulo que forma con el pórtico. Despejando  $K_{eq}$  se obtiene:

$$k_{eq} = \frac{k_d k_{dis}}{k_d + k_{dis}} \dots \dots (9)$$

Donde:

$K_{eq}$ : Rigidez equivalente.

$K_d$ : Rigidez axial.

$K_{dis}$ : Rigidez horizontal.

### 2.3.6. Modelo plástico de Wen

Los disipadores en el programa ETABS 2017 v.17.0.1 se han definido según el modelo plástico de Wen. El modelo de plastificación se basa en el comportamiento histerético propuesto por Wen (1976) (Ver Figura N° 17). El modelo de Wen está compuesto por una fuerza restauradora que depende de dos variables; la de desplazamiento en X y la variable adimensional en z, como se muestra en la ecuación (10).

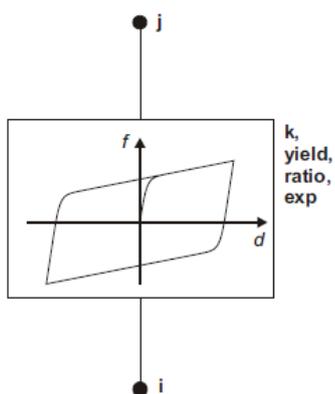


Figura N° 17: Modelo plástico de Wen

Fuente: Computers and Structures, 2016, p. 287

La relación entre la fuerza no lineal y el desplazamiento está dada por:

$$f = \alpha k d + (1 - \alpha) f_y z \dots \dots (10)$$

Donde:

f: Fuerza no lineal.

d: Desplazamiento.

$\alpha$ : Relación de la rigidez post-plastificación con la rigidez plástica k.

k: Constante elástica.

$f_y$ : La fuerza de plastificación.

z: Variable histerética interna.

La variable  $z$  tiene un rango entre  $|z| \leq 1$ , con la superficie de plastificación representada por  $|z| = 1$ . El valor inicial de  $z$  es cero y evoluciona según la ecuación diferencial:

$$z = \frac{k}{f_y} \begin{cases} d(1-|z|^{\text{exp}}) & \text{si } dz > 0 \dots\dots (11) \\ d & \text{en otro caso} \end{cases}$$

Donde:

$k$ : Constante elástica.

$f_y$ : La fuerza de plastificación.

$z$ : Variable histerética interna.

$\text{exp}$ : Exponente mayor o igual a 1.

Para el caso particular del disipador SLB, se recomienda usar un valor de  $\text{exp}$  igual a 2. (Ver Figura N° 18)

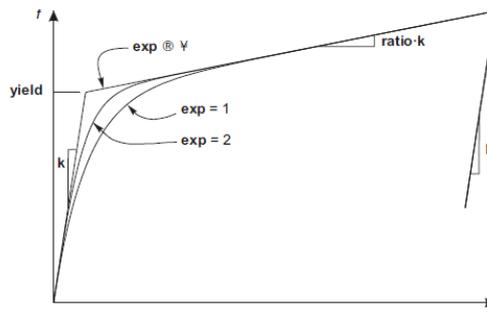


Figura N° 18: Definición de parámetros por la propiedad de plastificación Wen

Fuente: Computers and Structures, 2016, p. 288

### 2.3.7. Energía disipada

Durante un evento sísmico existe una energía de entrada en la estructura, la estructura disipa la energía con deformaciones y daños estructurales. La filosofía de diseño sismo-resistente aceptan que la estructura disipe energía sin llegar al colapso.

Considerando un sistema dinámico de masa concentrada de un grado de libertad sometido a un movimiento en la base (Ver Figura N° 19), la ecuación de equilibrio dinámico se expresa por:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_s = -m\ddot{u}_g \dots\dots (12)$$

Donde:

$m\ddot{u}$ : fuerza inercial de la masa estructural.

$c\dot{u}$ : Amortiguamiento del sistema.

$f_s$ : fuerza restitutiva del sistema.

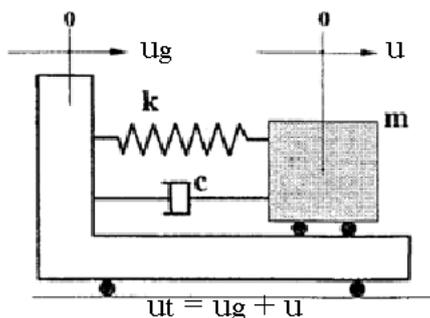


Figura N° 19: Sistema de un grado de libertad sometido a una excitación en su base

Fuente: García, 1998, p. 46

Los diferentes términos de energía se definen al integrarse la ecuación de equilibrio dinámico:

$$\int_0^u m\ddot{u}_g(t) du + \int_0^u c\dot{u}(t) du + \int_0^u f_s(u) du = - \int_0^u m\ddot{u}_g(t) du \dots\dots (13)$$

La entrada de energía en la estructura esta en el lado derecho de la ecuación (13):

$$E_t(t) = - \int_0^u m\ddot{u}_g(t) du \dots\dots (14)$$

El primer término de la ecuación (13) es la energía cinética, se expresa como:

$$E_k(t) = \int_0^u m\ddot{u}(t)du = \int_0^{\dot{u}} m\dot{u}(t)d\dot{u} = \frac{m\dot{u}^2}{2} \dots\dots (15)$$

El segundo término de la ecuación (13) es la energía disipada por el amortiguamiento propio de la estructura, se expresa como:

$$E_D(t) = \int_0^u f_D(u)du = \int_0^{\dot{u}} c\dot{u}(t)d\dot{u} \dots\dots (16)$$

El tercer término de la ecuación (13) es el trabajo de la fuerza restitutiva, que esta conformada por energía elástica recuperable  $E_S(t)$  y la energía histerética  $E_H(t)$  (ineslatica).

$$E_S(t) + E_H(t) = \int_0^u f_s(u)du \dots\dots (17)$$

La ecuación del balance energético queda expresada como:

$$E_t(t) = E_k(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) \dots\dots (18)$$

Cuando se usan disipadores de energía que fuesen dependientes a la velocidad o desplazamiento, se debe introducir un nuevo término ( $E_{Disp.}$ ) en la ecuación (18) que permita visualizar la incorporación de estos dispositivos en la ecuación del balance energético.

$$E_t(t) = E_K(t) + E_D(t) + E_S(t) + E_H(t) + E_{Disp.}(t) \dots\dots (19)$$

La ecuación (19) se puede representar gráficamente en la Figura N° 20, donde el color azul pertenece a  $E_K$ ; celeste a  $E_S$ ; morado a  $E_D$  y  $E_H$ ; y naranja a ( $E_{Disp.}$ ).

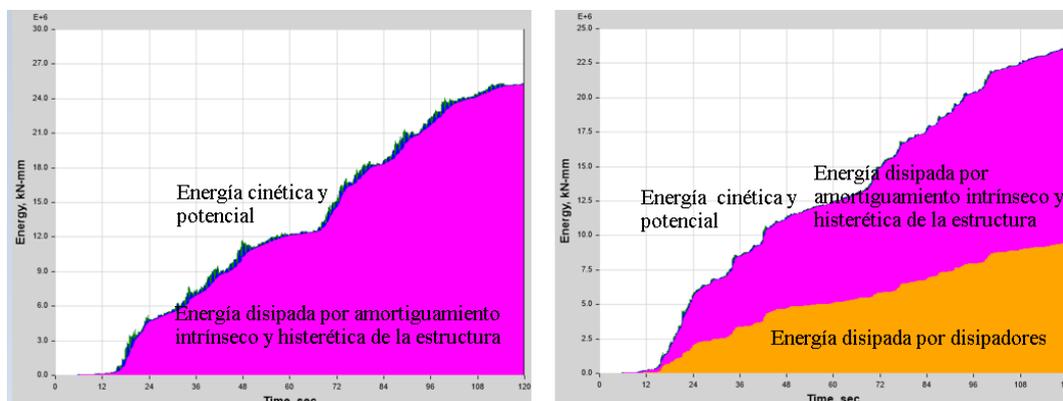


Figura N° 20: Diagrama de balance energético sin y con disipadores SLB

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

## 2.4. Definición de términos básicos

- **Análisis lineal:**  
Se realiza considerando solo el comportamiento antes de la fluencia. Es aquel en donde las fuerzas son directamente proporcionales a los desplazamientos y tal como su nombre lo indica, hay una relación lineal entre estas dos variables.
- **Análisis no lineal:**  
Es aquel que considera el comportamiento tenso – deformacional de los materiales y la no linealidad geométrica. La no linealidad se puede deber solamente a que el material no es lineal y estamos en el caso de no linealidad física. Si en cambio la no linealidad se debe a que los desplazamientos en la estructura no son pequeños, estamos en el caso de no linealidad geométrica. Este tipo de análisis se realiza mediante el uso de programas tal como el ETABS.
- **Rango elástico:**  
Es la máxima deformación que puede sufrir un material antes de que sufra deformaciones permanentes. En el caso del edificio de estudio, sería el punto máximo en el que éste puede deformarse sin daño alguno.
- **Ductilidad:**  
Propiedad de algunos materiales para deformarse por acción de una fuerza sin llegar a romperse, los elementos que no poseen esta propiedad se denominan frágiles.
- **Curva histerética de un material:**  
Los modelos histeréticos pretenden representar matemáticamente la relación entre la fuerza y el desplazamiento en una secuencia de carga y descarga. Una primera clasificación se basaría en la presencia o no de pérdida de la capacidad disipativa, distinguiendo entre modelos degradables o no degradables.

## CAPÍTULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1. Hipótesis principal

La respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima, mejorará significativamente con respecto al sistema convencional siendo posible cumplir con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), dado que por tratarse de una estructura antigua fue diseñada con otros parámetros.

#### 3.1.2. Hipótesis secundarias

- a) Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrán reducir las derivas de entrepiso entre un 10% a 40%
- b) Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrá reducir el período de vibración entre un 10% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.
- c) Los disipadores histeréticos tipo SLB podrán recibir un porcentaje de energía sísmica entre un 20% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.

### 3.2. Variables

- Variables Independientes: - Análisis no lineal Tiempo – Historia.  
- Análisis Modal Espectral.
- Variables dependientes: - Análisis comparativo de períodos de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB.  
- Respuesta energética del sistema.

### 3.2.1. Definición conceptual de las variables

- Análisis no lineal Tiempo – Historia:

Piqué J. (s.f.) menciona que:

Es un procedimiento mediante el cual la ecuación diferencial de movimiento se resuelve paso a paso (también llamado así por esa razón) comenzando en el tiempo cero, cuando el desplazamiento y la velocidad son supuestamente conocidos. La escala de tiempo se divide en intervalos discretos, en los que se conoce la aceleración del suelo y se progresa extrapolando sucesivamente el desplazamiento de un intervalo de tiempo al siguiente. (p. 38)

- Análisis Modal Espectral:

Se refiere al análisis de las pequeñas oscilaciones o vibraciones que puede sufrir una estructura alrededor de su posición de equilibrio. Este movimiento oscilatorio produce una modificación de las tensiones y deformaciones existentes que deben tenerse en cuenta.

- Análisis comparativo de períodos de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB:

En este análisis se realiza la comparación del período de vibración de la estructura reforzada por medio de la implementación de disipadores histeréticos tipo SLB y sin reforzar.

- Respuesta energética del sistema:

Se refiere a la energía total de la estructura sometida a los conjuntos de registros de aceleraciones del terreno. Estos resultados se obtienen por medio del Análisis no lineal Tiempo – Historia.

### 3.2.2. Operacionalización de las variables.

Tabla N° 2: Operacionalización de las variables

VARIABLES		INDICADORES	ÍNDICES	METODOLOGÍA
V A R.  I N D E P E N D I E N T E	Análisis no lineal Tiempo - Historia.	Respuesta sísmica del edificio.	Adimensional, kN-mm, segundos.	Cuantitativa experimental longitudinal de tendencia.
	Análisis Modal Espectral.	Derivas de entrepiso sin y con disipadores SLB.	Adimensional.	Cuantitativa experimental transversal correlacional.
V A R.  D E P E N D I E N T E	Análisis comparativo de períodos de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB.	Porcentaje de reducción del período de la estructura.	Segundos (%)	Cuantitativa experimental transversal correlacional.
	Respuesta energética del sistema.	Energía disipada por cada evento sísmico.	kN-mm (%)	Cuantitativa experimental longitudinal de tendencia.

Fuente: Elaboración propia

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### **4.1. Tipo y nivel de la investigación**

#### **4.1.1. Tipo**

Investigación aplicada, con el desarrollo de la tesis se mejoró el comportamiento sísmico utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) con respecto al sistema convencional en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima.

#### **4.1.2. Nivel**

Investigación descriptiva, se detalló el procedimiento de selección de disipadores SLB y su funcionamiento en conjunto con la estructura.

Investigación explicativa, se determinó la influencia del disipador SLB en la estructura a través de un Análisis Modal Espectral y Tiempo - Historia.

### **4.2. Método y diseño de la investigación**

#### **4.2.1. Método**

Cualitativa, se analizaron distintos tipos de disipadores SLB y se eligió la alternativa óptima.

Cuantitativa experimental, se mostró el desempeño de los disipadores SLB mediante un análisis no lineal Tiempo - Historia en una edificación existente.

#### **4.2.2. Diseño**

Diseño experimental, se manipularon las variables independientes de tal forma que se demostró que nuestras hipótesis eran muy conservadoras, por lo que nuestros resultados fueron aún mejor de los esperados.

### **4.3. Población y muestra**

#### **4.3.1. Población**

La población de estudio comprende a todos los edificios de concreto armado o acero que cumplan o no cumplan con la máxima deriva de entrepiso dada por la Norma Técnica Peruana E.030.

#### **4.3.2. Muestra**

La muestra de estudio consiste en un edificio de 14 niveles basado en el diseño estructural y arquitectónico de los años 70's a 80's conformado por un sistema de muros estructurales al que se le implementa disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), ubicado en el distrito de San Isidro - Lima, destinado a uso de oficinas.

### **4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

#### **4.4.1. Tipos de técnicas e instrumentos**

- Técnicas:

Técnica: Las técnicas aplicadas a la presente investigación serán: Experimentos y Observación Experimental. Todo será procesado mediante el uso de distintos programas informáticos.

Documental: Se obtuvo la información de fuentes bibliográficas tales como fueron libros, papers, páginas web y artículos especializados en el tema de investigación.

Los planos estructurales han sido basados en los diseños estructurales y arquitectónicos de un edificio de los años 70's a 80's.

- Instrumentos:

Para el diseño de los disipadores SLB se utilizó el manual del Dr. Luis Bozzo "Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB - ejemplos de aplicación. versión 03-06-2019" y la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).

Para el modelado de la estructura, Análisis Modal Espectral y Análisis no lineal Tiempo – Historia se utilizó el programa ETABS 2017 v.17.0.1.

Para el filtrado de registros sísmicos y escalamientos se usaron los programas SeismoSignal v.2018 y SeismoMatch v.2018.

#### **4.4.2. Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos**

La validez y confiabilidad de esta investigación se basa en los programas informáticos utilizados y en los procedimientos de análisis aprendidos en la Universidad Ricardo Palma.

#### **4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos**

La recolección de datos se realizó mediante los planos de la estructura.

#### **4.5. Descripción de procedimientos de análisis**

Los resultados obtenidos serán comparados entre el periodo anterior a la implementación de disipadores sísmicos y el periodo posterior a la implementación de el mismo. Para poder obtener estos resultados se utilizará el programa ETABS 2017 v.17.0.1, el cual nos ayudará al modelado y análisis de la estructura.

## **CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA**

### **5.1. Generalidades**

Esta investigación tiene como objetivo el mejoramiento de la respuesta sísmica de una estructura de concreto armado basada en el diseño estructural y arquitectónico de los años 70's a 80's, con la finalidad de cumplir con la deriva máxima de entrepiso de la Norma Técnica Peruana E.030 implementando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB).

#### **5.1.1. Edificio de 14 niveles**

El Edificio es de oficinas, basado en el diseño estructural y arquitectónico de un edificio de los años 70's a 80's. Está compuesto por columnas, placas, vigas y losas aligeradas con un sistema de muros estructurales debido a que las placas reciben más del 70% de cortante sísmico en el primer nivel. Cuenta con 14 niveles, 3.5 metros para el primer nivel y 2.9 metros para el entrepiso, y es utilizado en su totalidad para oficinas.

El edificio cuenta con 669.15 m<sup>2</sup> de área construida. El primer nivel tiene un hall de ingreso y los demás niveles cuentan con solo oficinas.

El edificio es simétrico en el eje Y, pero tiene irregularidad de esquinas entrantes. Tiene como principal característica estructural el uso de placas en las esquinas, además que la caja de ascensores y las escaleras están al fondo del edificio, siendo esta una particularidad de los edificios de los años 70's y 80's en la ciudad de Lima.

Los elementos estructurales que posee el edificio son placas, vigas de sección rectangular y columnas de sección cuadrada detallados en la Tabla N° 3, previamente detallando las propiedades de los materiales.

- Definición de materiales:

Figura N° 21: Definición de concreto f'c 350 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Figura N° 22: Resistencia a la compresión del concreto f'c 350

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Se define el material tipo concreto (Ver Figura N° 21) y su resistencia a la compresión f'c 350 kg/cm<sup>2</sup> (Ver Figura N° 22). Este concreto se utilizó para vigas, columnas y placas de los 5 primeros niveles del edificio.

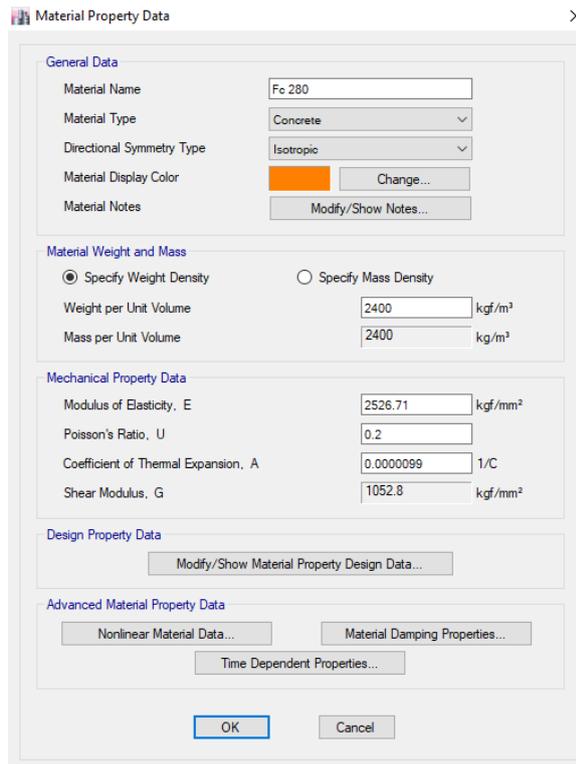


Figura N° 23: Definición de concreto f'c 280 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

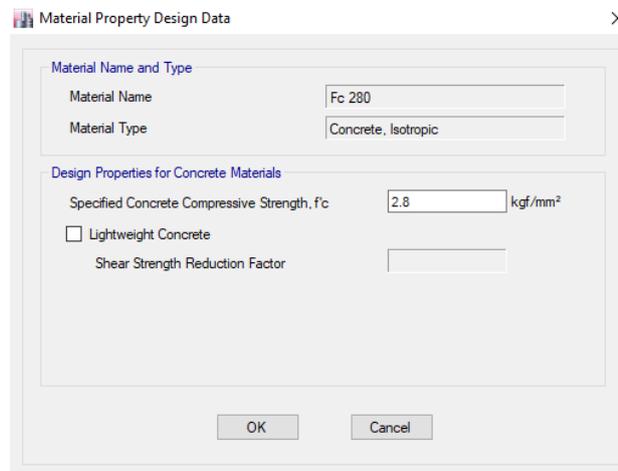


Figura N° 24: Resistencia a la compresión del concreto f'c 280

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Se define el material tipo concreto (Ver Figura N° 23) y su resistencia a la compresión f'c 280 kg/cm<sup>2</sup> (Ver Figura N° 24). Este concreto se utilizó para todas las losas nervadas y los 9 niveles posteriores del edificio.

- Definición de los elementos estructurales:

Se continúa con la definición de los elementos estructurales tipo Frame (columna y viga), Slab y Wall a ser modelados (Ver Figura N° 25 - 28). A continuación, se colocará un ejemplo por cada elemento estructural:

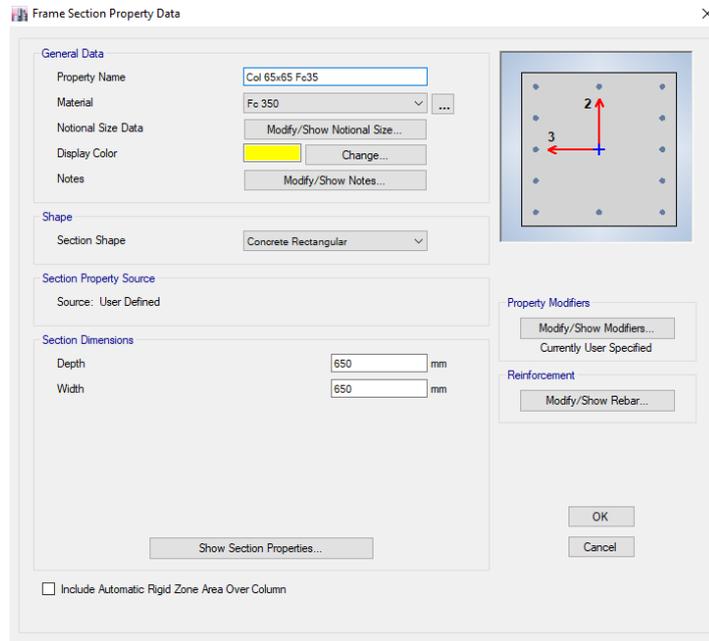


Figura N° 25: Definición de elemento tipo Frame (Columna)

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

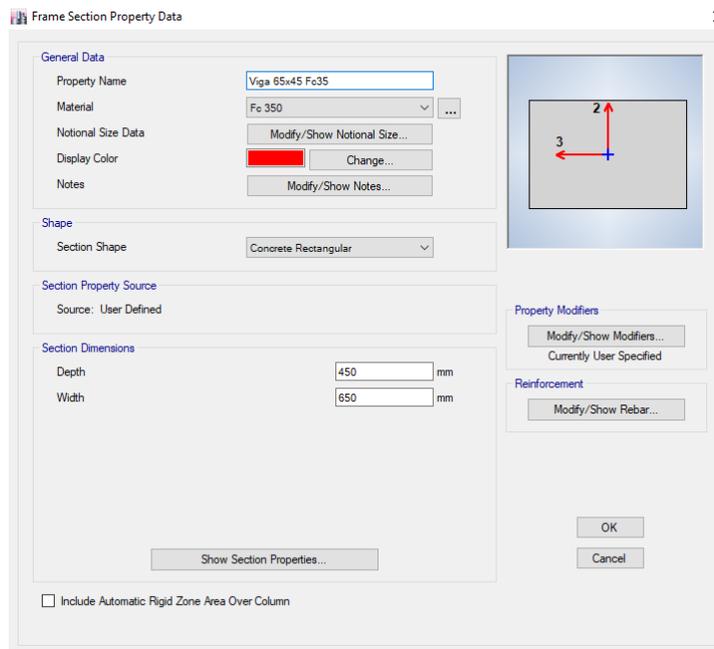


Figura N° 26: Definición de elemento tipo Frame (Viga)

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

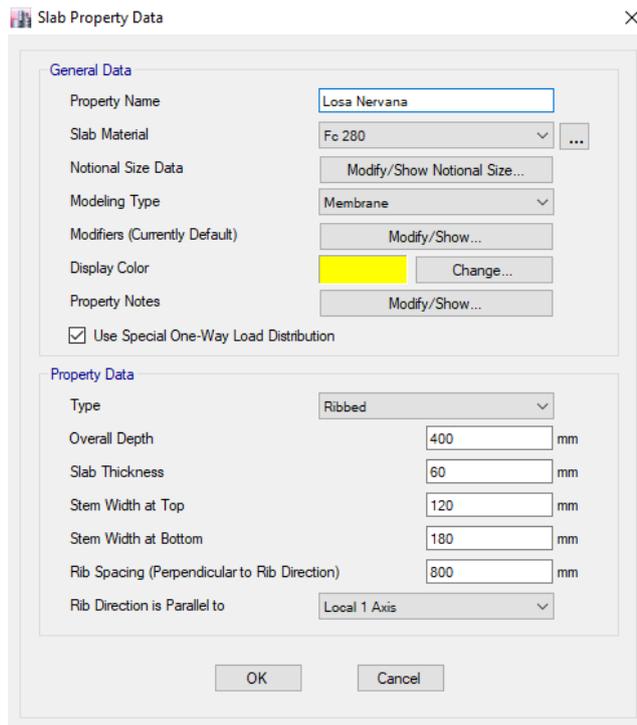


Figura N° 27: Definición de elemento tipo Ribbed (Losa Nervada)

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

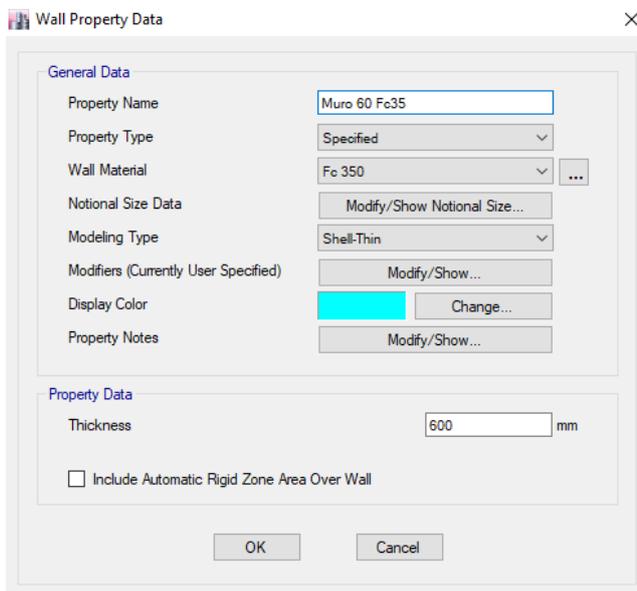


Figura N° 28: Definición de elemento tipo Wall (Placa)

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Tabla N° 3: Elementos estructurales de la Edificación

Elemento estructural	Medida (cm)
Columna	L= 65
Viga 1	Ancho=65 Peralte=45
Viga 2	Ancho=30 Peralte=100
Losa nervada	Espesor=40
Placa 1	Espesor= 60
Placa 2	Espesor= 30

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se mostrará la distribución de elementos Frame en planta. (Ver Figura N° 29)

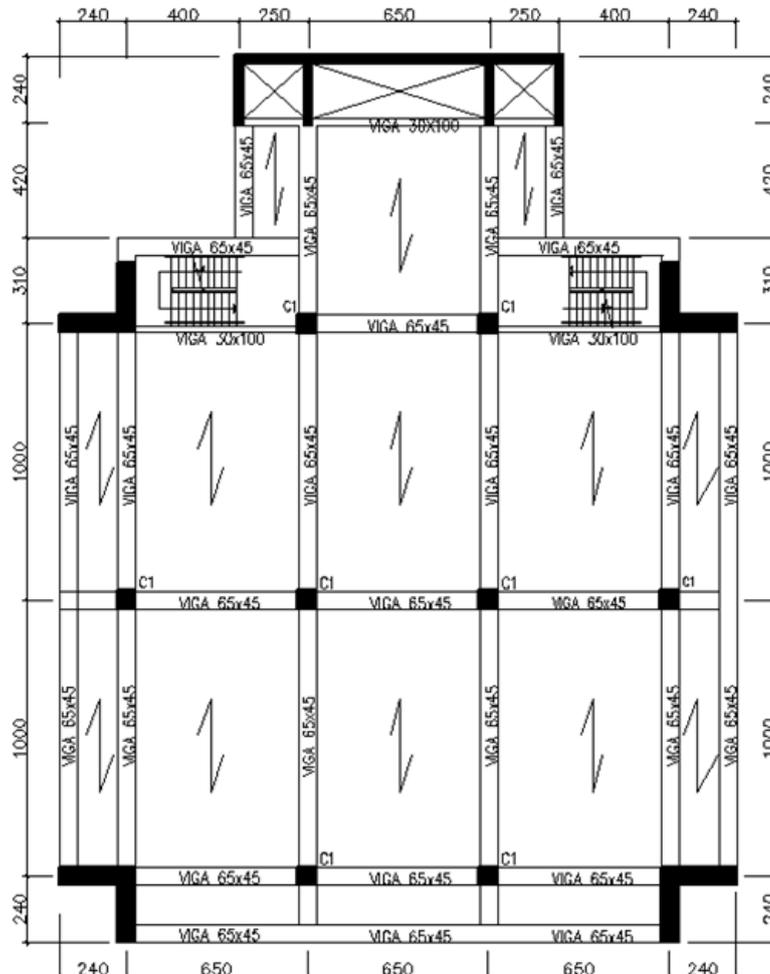


Figura N° 29: Vista en planta estructural del edificio de 14 niveles

Fuente: Elaboración propia

## 5.2. Modelación estructural

Se ha realizado el modelado del edificio sin y con disipadores SLB en el programa ETABS 2017 v.17.0.1. El modelado sin disipadores nos servirá para realizar un cuadro comparativo en el que se mostrarán las derivas de entrepiso de ambos modelados. A continuación, se mostrará la vista en elevación (fachada) de la estructura sin disipadores SLB (Ver Figura N° 30), la vista en elevación (fachada) de la estructura con disipadores SLB (Ver Figura N° 31) y la vista en planta (Ver Figura N° 32).

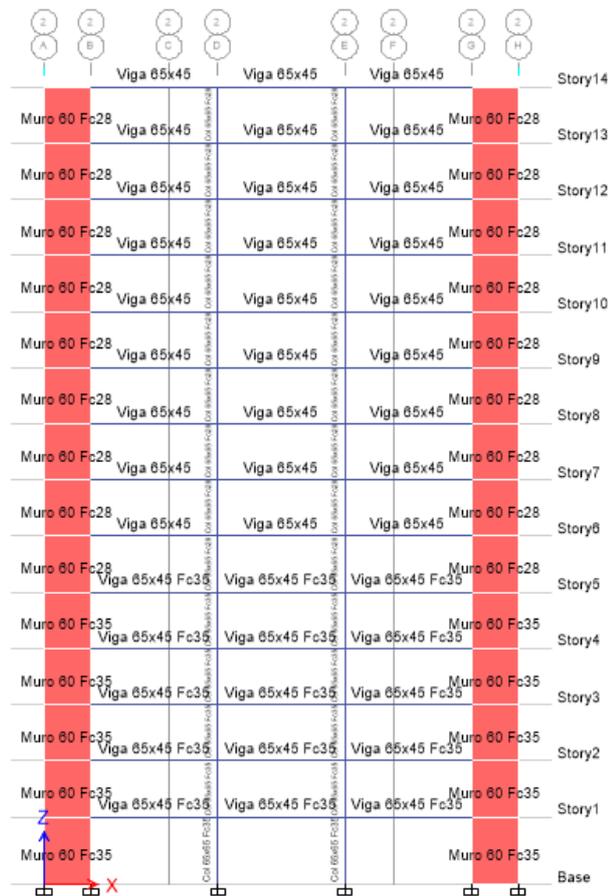


Figura N° 30: Vista en elevación (fachada) de la estructura sin reforzar en ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

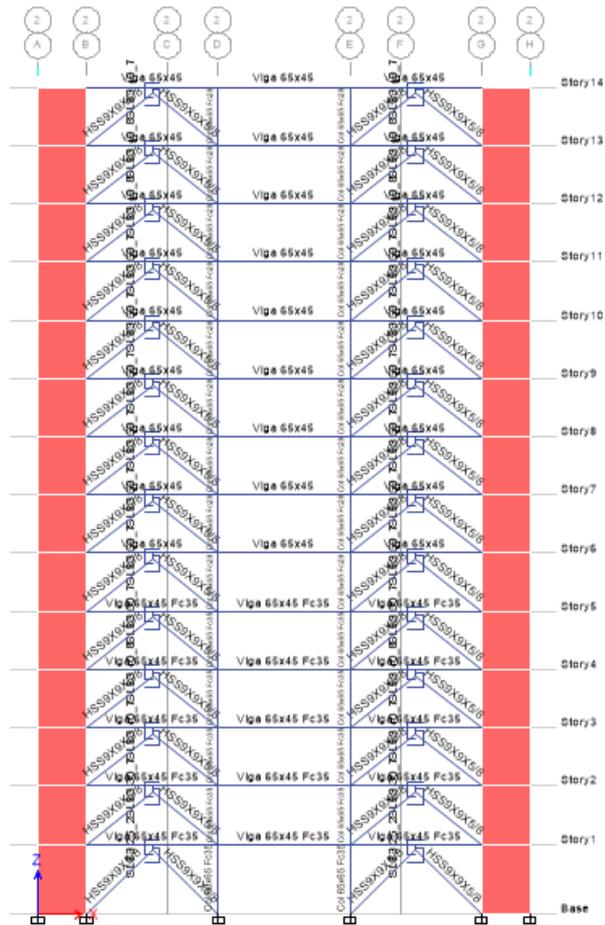


Figura N° 31: Vista en elevación (fachada) de la estructura reforzada en ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

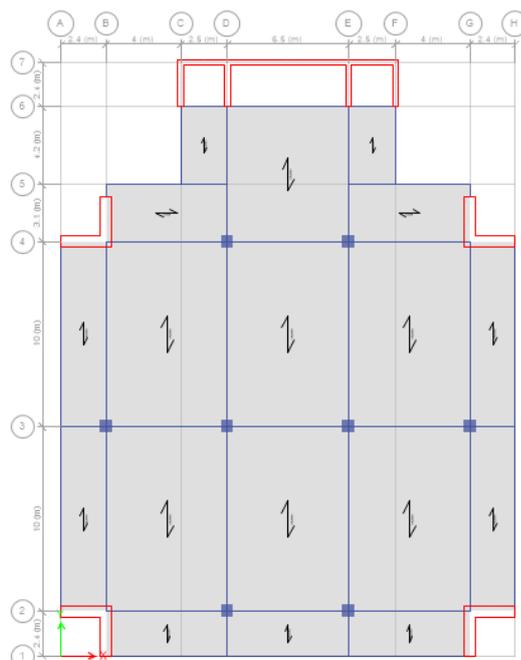


Figura N° 32: Vista en planta del edificio de 14 niveles en ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

### 5.3. Medrado de cargas de la estructura

Este paso resulta vital para el diseño y distribución de los elementos estructurales por los cuales consta el edificio.

#### 5.3.1 Carga Muerta

El cálculo del peso propio de la estructura se realizó mediante el programa ETABS 2017 v.17.0.1, ya que el programa calcula el peso propio de la edificación al asignarle las propiedades y dimensiones de los elementos estructurales que se dibujan. Por ello, presentamos los siguientes valores obtenidos en el programa ETABS 2017 v.17.0.1. (Ver Tabla N° 4 y 5)

Tabla N° 4: Cálculo de Carga muerta para el edificio de 14 niveles sin disipadores SLB

<b>Cargas</b>	<b>Edificio sin Disipadores SLB (ton-f)</b>
Peso propio (ton-f)	7314.42
Diagonales tipo Chevron (ton-f)	-
Acabados y tabiquería fija (ton-f)	1509.98
<b>TOTAL=</b>	<b>8824.40</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 5: Cálculo de Carga muerta para el edificio de 14 niveles con disipadores SLB

<b>Cargas</b>	<b>Edificio con Disipadores SLB (ton-f)</b>
Peso propio (ton-f)	7314.42
Diagonales tipo Chevron (ton-f)	52.22
Acabados y tabiquería fija (ton-f)	1509.98
<b>TOTAL=</b>	<b>8876.62</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.2. Carga viva

Para el cálculo de la carga viva, se utilizaron los parámetros proporcionados por el MVCS (2006), Norma E.020, que están escritos en el capítulo 3 “Carga viva”, artículo 6 “Carga viva del piso”, Tabla 1 “Cargas vivas mínimas repartidas”. Para este análisis, a parte de las cargas habituales tales como oficinas, corredores y azotea, se consideró también cargas de tabiquería móvil y ascensor. A continuación, se mostrará el cálculo de la carga viva utilizada para el análisis del edificio. (Ver Tabla N° 6)

Tabla N° 6: Cálculo de Carga Viva para el edificio de 14 niveles

Carga	Peso (kg/m <sup>2</sup> )	Área (m <sup>2</sup> )	# Pisos	Kg-f	ton-f
Carga viva (uso)	250	532.8	13	1731600.00	1731.60
Corredores y escaleras (uso)	400	108.75	13	565500.00	565.50
Tabiquería móvil	100	532.8	13	692640.00	692.64
Carga de azotea	100	641.55	1	64155.00	64.16
Carga de ascensor	1500	27.6	1	41400.00	41.40
<b>TOTAL=</b>					<b>3095.30</b>

Fuente: Elaboración propia

### 5.3.3. Estimación del Peso (P)

Siendo un edificio de categoría C por ser de oficinas, el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, nos indica que se debe asumir el 25% de la carga viva. En este caso se aplica para tabiquería móvil, carga viva (uso), corredores y carga de azotea. A continuación, se mostrará la estimación del peso total del edificio de 14 niveles sin y con disipadores SLB. (Ver Tabla N° 7 y 8)

Tabla N° 7: Peso estimado del edificio de 14 niveles sin disipadores SLB

<b>Peso estimado del edificio de 14 niveles sin disipadores SLB</b>			
<b>Carga</b>	<b>% en peso</b>	<b>Carga (ton-f)</b>	<b>Peso estimado (ton-f)</b>
Peso propio	100%	7319.52	7314.42
Acabados y tabiquería fija	100%	1509.98	1509.98
Tabiquería móvil	25%	692.64	173.16
Carga viva (uso)	25%	1731.60	432.90
Corredores y escaleras (uso)	25%	565.50	141.38
Carga de azotea	25%	64.16	16.04
Carga de ascensor	25%	41.40	10.35
<b>TOTAL=</b>			<b>9598.22</b>

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 8: Peso estimado del edificio de 14 niveles con disipadores SLB

<b>Peso estimado del edificio de 14 niveles con disipadores SLB</b>			
<b>Carga</b>	<b>% en peso</b>	<b>Carga (ton-f)</b>	<b>Peso estimado (ton-f)</b>
Peso propio	100%	7319.52	7314.42
Diagonales tipo Chevron	100%	30.86	52.22
Acabados y tabiquería fija	100%	1509.98	1509.98
Tabiquería móvil	25%	692.64	173.16
Carga viva (uso)	25%	1731.60	432.90
Corredores y escaleras (uso)	25%	565.50	141.38
Carga de azotea	25%	64.16	16.04
Carga de ascensor	25%	41.40	10.35
<b>TOTAL=</b>			<b>9650.44</b>

Fuente: Elaboración propia

## 5.4. Validación de la estructura

### 5.4.1 Parámetros de diseño sismorresistente

#### 5.4.1.1. Factor de zona (Z)

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 2 “Peligo sísmico”, artículo 7 “Zonificación”, en base a la imagen que se mostrará a continuación es que se definió el factor de zona requerido para este proyecto. (Ver Figura N° 33)



Figura N° 33: Zonas sísmicas del Perú

Fuente: MVCS, 2018, p. 10

Tabla N° 9: Zonificación Sísmica del Perú

<b>FACTORES DE ZONA Z</b>	
<b>ZONA</b>	<b>Z</b>
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: MVCS, 2018, p. 11

El edificio está ubicado en el Distrito de San Isidro – Lima, por lo que según la Figura N° 33 y la Tabla N° 9, pertenece a la zona 4, por lo tanto **Z = 0,45**

### 5.4.1.2. Parámetros de Sitio (S, Tp y TL)

El estudio de zonificación sísmico-geotécnico para Lima Metropolitana nos muestra el siguiente gráfico. (Ver Figura N° 34)

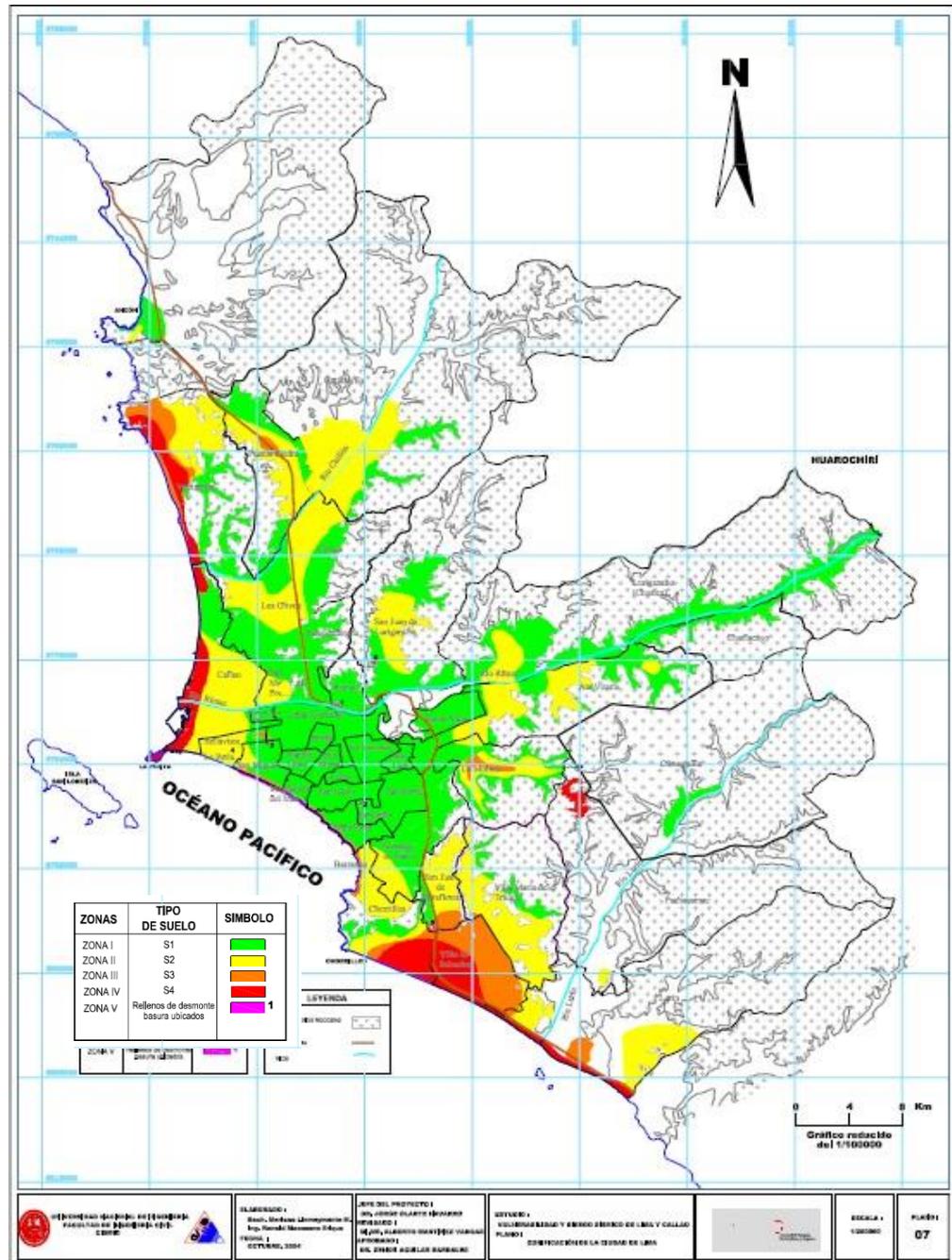


Figura N° 34: Mapa de Microzonificación sísmica para Lima Metropolitana

Fuente: CISMID, 2004

La Norma Técnica E.030 nos proporcionan los factores de suelo y sus respectivos períodos  $T_P$  y  $T_L$ .

Tabla N° 10: Factores de suelo

<b>FACTOR DE SUELO S</b>				
<b>SUELO</b> <b>ZONA</b>	S0	S1	S2	S3
Z4	0,80	1,00	1,05	1,10
Z3	0,80	1,00	1,15	1,20
Z2	0,80	1,00	1,20	1,40
Z1	0,80	1,00	1,60	2,00

Fuente: MVCS, 2018, p. 14

Tabla N° 11: Períodos  $T_P$  y  $T_L$

<b>PERÍODOS <math>T_P</math> Y <math>T_L</math></b>				
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
$T_P$ (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
$T_L$ (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Fuente: MVCS, 2018, p. 15

Basándose en el mapa de microzonificación sísmica para Lima Metropolitana y en la Tabla N° 10 y 11, el distrito de San Isidro pertenece a la Zona 4, por lo que nuestro suelo es Tipo 1, por lo tanto  $S = 1.00$ ,  $T_P = 0.4$  seg y  $T_L = 2.5$  seg

#### 5.4.1.3. Factor de amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características del sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones: (Ver Figura N° 35)

$T < T_P$	$C = 2,5$
$T_P < T < T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P}{T}\right)$
$T > T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2}\right)$

..... (20)

Figura N° 35: Expresiones para cálculo del factor de amplificación Sísmica

Fuente: MVCS, 2018, p. 15

Estos parámetros se definen en la Tabla N° 20.

#### **5.4.1.4. Categoría de la Edificación y Factor de Uso (U)**

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 3 “Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones”, artículo 12 “Categoría de las Edificaciones y Factor de uso (U)”, nuestro edificio pertenece a la categoría C (Edificaciones comunes) por ser un edificio de oficinas, por lo tanto  $U = 1$

#### **5.4.1.5. Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)**

MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 3 “Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones”, artículo 19 “Coeficiente de Reducción de las Fuerzas Sísmicas (R)”, menciona lo siguiente:

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas se determina como el producto del coeficiente  $R_0$  determinado a partir de la Tabla N° 7 (Norma E.030) y de los factores  $I_a$ ,  $I_p$  obtenidos de las Tablas N° 8 y N° 9 (Norma E.030).

$$R = R_0 * I_a * I_p \dots\dots (21)$$

#### Cálculo de $R_0$ :

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 3 “Categoría, sistema estructural y regularidad de las edificaciones”, artículo 13 “Sistemas Estructurales”, menciona los diversos tipos de sistemas estructurales, los cuales pueden ser aporticados, duales, de muros estructurales o de muros de ductilidad limitada.

Para el cálculo de  $R_0$ , se debe averiguar el sistema estructural respectivo que conforma el edificio, por lo que se debe calcular el porcentaje de fuerza cortante que toma cada elemento estructural vertical en ambas direcciones de análisis. A continuación, se mostrará una vista en planta típica con las etiquetas correspondientes a cada elemento estructural vertical analizado, tales como placas y columnas. (Ver Figura N° 36)

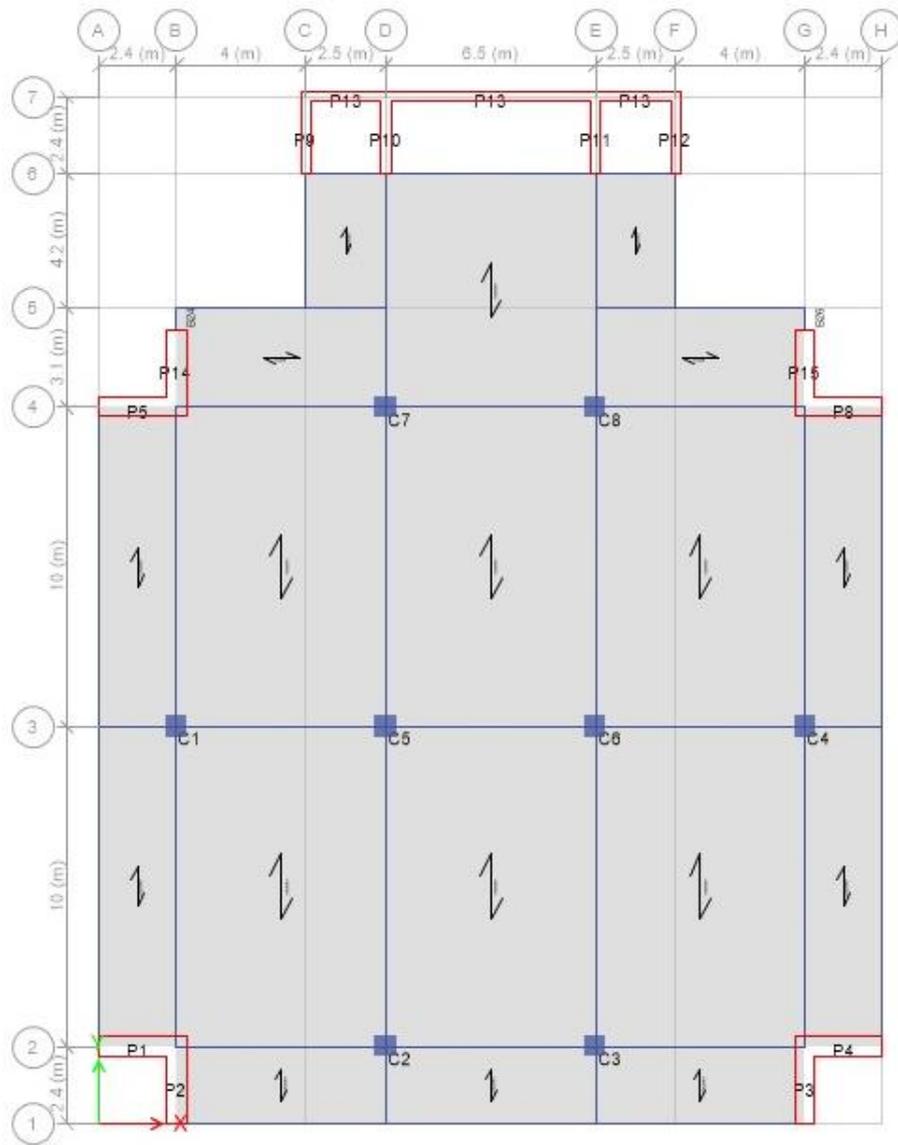


Figura N° 36: Elementos estructurales analizados para el cálculo de  $R_0$

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

A continuación, se presentará la distribución de fuerzas cortantes por columnas y placas en el primer nivel (Ver Tabla N° 12 – 15) y se detallará el porcentaje de fuerza cortante que toma cada elemento estructural (Ver Tabla N° 16).

- Dirección X:

Tabla N° 12: Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dir. X

<b>Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dirección X</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Placa</b>	<b>Carga</b>	<b>Fuerza cortante (Ton-f)</b>
Nivel 1	P1	Espectro X	75.82
Nivel 1	P5	Espectro X	36.37
Nivel 1	P8	Espectro X	36.37
Nivel 1	P13	Espectro X	256.73

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 13: Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dir. X

<b>Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dirección X</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Columna</b>	<b>Carga</b>	<b>Fuerza cortante (Ton-f)</b>
Nivel 1	C1	Espectro X	1.07
Nivel 1	C2	Espectro X	2.24
Nivel 1	C3	Espectro X	2.24
Nivel 1	C4	Espectro X	1.07
Nivel 1	C5	Espectro X	1.42
Nivel 1	C6	Espectro X	1.42
Nivel 1	C7	Espectro X	1.69
Nivel 1	C8	Espectro X	1.69

Fuente: Elaboración propia

- Dirección Y:

Tabla N° 14: Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dir. Y

<b>Fuerzas cortantes en Placas del 1er nivel - Dirección Y</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Placa</b>	<b>Carga</b>	<b>Fuerza cortante (Ton-f)</b>
Nivel 1	P2	Espectro Y	59.26
Nivel 1	P3	Espectro Y	59.26
Nivel 1	P9	Espectro Y	25.80
Nivel 1	P10	Espectro Y	30.09
Nivel 1	P11	Espectro Y	30.09
Nivel 1	P12	Espectro Y	25.80
Nivel 1	P14	Espectro Y	58.11
Nivel 1	P15	Espectro Y	58.11

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 15: Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dir. Y

<b>Fuerzas cortantes en Columnas del 1er nivel - Dirección Y</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Columna</b>	<b>Carga</b>	<b>Fuerza cortante (Ton-f)</b>
Nivel 1	C1	Espectro Y	0.32
Nivel 1	C2	Espectro Y	0.68
Nivel 1	C3	Espectro Y	0.68
Nivel 1	C4	Espectro Y	0.32
Nivel 1	C5	Espectro Y	0.43
Nivel 1	C6	Espectro Y	0.43
Nivel 1	C7	Espectro Y	0.53
Nivel 1	C8	Espectro Y	0.53

Fuente: Elaboración propia

- Porcentaje de Fuerza cortante sísmica total:

Tabla N° 16: Porcentaje de Fuerza cortante sísmica en primer nivel

Porcentaje de Fuerza cortante sísmica en primer nivel		
Elemento estructural vertical	Porcentaje en X	Porcentaje en Y
Placas	96.93%	98.89%
Columnas	3.07%	1.11%
TOTAL	100.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Según el MVCS (2018), punto 13.1.1. de la Norma Técnica E.030, alternativa b), por ser un edificio en el que las placas reciben más del 70% de cortante sísmico en el primer nivel tanto en el eje X como en el Y, se denominará sistema estructural de concreto armado a base de muros estructurales. Por lo tanto, según la Norma E.030, al coeficiente básico de reducción le correspondería un  $R_{0x} = R_{0y} = 6$ .

#### Irregularidades:

El edificio no cuenta con irregularidades estructurales en altura ( $I_a$ ), por lo que  $I_{ax} = I_{ay} = 1$ ; pero sí cuenta con irregularidades estructurales en planta ( $I_p$ ), el cual se detallará a continuación: (Ver Tabla N° 17).

Tabla N° 17: Irregularidad por esquinas entrantes - Edificio de 14 niveles

Dimensiones	Eje X (m)	Eje Y (m)
Dimensión total	24.30	32.10
20% Dimensión total	4.86	6.42
Esquinas entrantes	12.80	12.10

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla N° 17, se puede notar que las dimensiones en esquinas entrantes tanto en el eje X como en el Y son mayores del 20% de la dimensión total, por lo que el edificio presenta esta irregularidad, pero además también se presenta una irregularidad torsional la cual se detallará a continuación:

Tabla N° 18: Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección X

Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección X						
Nivel	Carga	Dirección	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)	Max/Prom < 1.3
Nivel 14	Espectro X	X	41.2460	15.6149	28.4305	1.45
Nivel 13	Espectro X	X	37.7472	14.3863	26.0668	1.45
Nivel 12	Espectro X	X	34.2104	13.1144	23.6624	1.45
Nivel 11	Espectro X	X	30.6429	11.8045	21.2237	1.44
Nivel 10	Espectro X	X	27.0565	10.4658	18.7612	1.44
Nivel 9	Espectro X	X	23.4734	9.1141	16.2938	1.44
Nivel 8	Espectro X	X	19.9234	7.7678	13.8456	1.44
Nivel 7	Espectro X	X	16.4449	6.4460	11.4455	1.44
Nivel 6	Espectro X	X	13.0874	5.1687	9.1281	1.43
Nivel 5	Espectro X	X	9.9159	3.9572	6.9366	1.43
Nivel 4	Espectro X	X	7.0027	2.8348	4.9188	1.42
Nivel 3	Espectro X	X	4.4240	1.8256	3.1248	1.42
Nivel 2	Espectro X	X	2.2987	0.9727	1.6357	1.41
Nivel 1	Espectro X	X	0.7742	0.3383	0.5563	1.39

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 19: Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección Y

Irregularidad torsional del edificio sin disipadores SLB - Dirección Y						
Nivel	Carga	Dirección	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)	Max/Prom < 1.3
Nivel 14	Espectro Y	Y	43.4829	43.4829	43.4829	1.00
Nivel 13	Espectro Y	Y	39.6392	39.6392	39.6392	1.00
Nivel 12	Espectro Y	Y	35.7694	35.7694	35.7694	1.00
Nivel 11	Espectro Y	Y	31.8858	31.8858	31.8858	1.00
Nivel 10	Espectro Y	Y	28.0059	28.0059	28.0059	1.00
Nivel 9	Espectro Y	Y	24.1578	24.1578	24.1578	1.00
Nivel 8	Espectro Y	Y	20.3771	20.3771	20.3771	1.00
Nivel 7	Espectro Y	Y	16.7069	16.7069	16.7069	1.00
Nivel 6	Espectro Y	Y	13.2008	13.2008	13.2008	1.00
Nivel 5	Espectro Y	Y	9.9260	9.9260	9.9260	1.00
Nivel 4	Espectro Y	Y	6.9525	6.9525	6.9525	1.00
Nivel 3	Espectro Y	Y	4.3530	4.3530	4.3530	1.00
Nivel 2	Espectro Y	Y	2.2398	2.2398	2.2398	1.00
Nivel 1	Espectro Y	Y	0.7463	0.7463	0.7463	1.00

Fuente: Elaboración propia

Según la Tabla N° 18 y N° 19 se demuestra que el edificio también posee irregularidad torsional, entonces  $I_{px} = I_{py} = 0.75$ , ya que según el MVCS (2018), punto 17.1. de la Norma Técnica E.030, se elige el menor de los valores de la Tabla N°9 (Norma E.030).

Teniendo estos datos, el valor de “R” para ambas direcciones de análisis será:

$$R = R_0 * I_a * I_p = (6) * (1) * (0.75) = 4.5$$

## 5.4.2. Análisis Modal Espectral

### 5.4.2.1. Aceleración Espectral

MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 4 “Análisis estructural”, artículo 26 “Análisis Dinámico Modal Espectral”, punto 26.2. “Aceleración Espectral”, menciona lo siguiente:

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \dots\dots (22)$$

Tabla N° 20: Cálculo del Espectro de Pseudo Aceleraciones

<b>T (s)</b>	<b>C</b>	<b>Sa (g)</b>
0	2.500	0.250
0.05	2.500	0.250
0.10	2.500	0.250
0.15	2.500	0.250
0.20	2.500	0.250
0.25	2.500	0.250
0.30	2.500	0.250
0.35	2.500	0.250
0.40	2.500	0.250
0.50	2.000	0.200
0.60	1.667	0.167
0.70	1.429	0.143
0.80	1.250	0.125
0.90	1.111	0.111
1.00	1.000	0.100
1.20	0.833	0.083
1.30	0.769	0.077
1.40	0.714	0.071
1.50	0.667	0.067
1.60	0.625	0.063
1.70	0.588	0.059
1.80	0.556	0.056
1.90	0.526	0.053
2.00	0.500	0.050
2.25	0.444	0.044
2.50	0.400	0.040
2.75	0.331	0.033
3.00	0.278	0.028
3.25	0.237	0.024
3.50	0.204	0.020
3.75	0.178	0.018
4.00	0.156	0.016

Fuente: Elaboración propia

El espectro de pseudo aceleraciones es el mismo para ambas direcciones de análisis, ya que según el MVCS (2018), Tabla N° 9 de la Norma Técnica E.030, la irregularidad torsional se aplica para ambas direcciones. (Ver Figura N° 37)

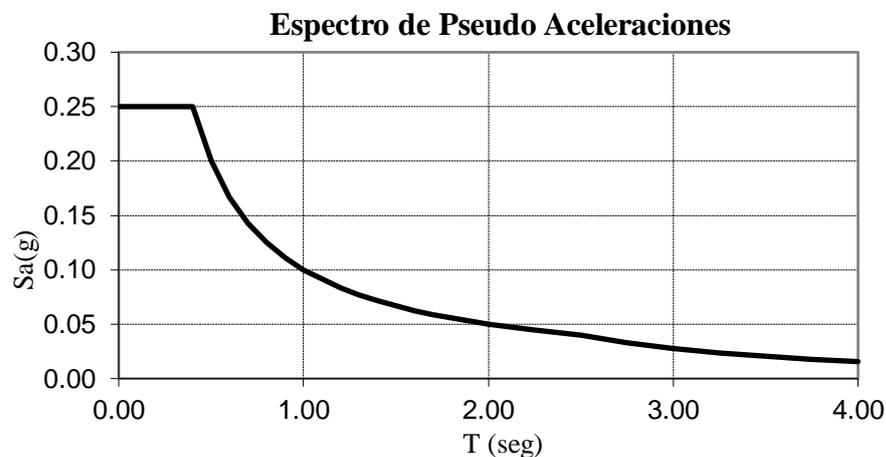


Figura N° 37: Espectro de pseudo Aceleraciones según la Norma Técnica E.030

Fuente: Elaboración propia

#### 5.4.2.2. Reducción de momentos de inercia

ACI (2019), Norma ACI 318-19, en el capítulo 6 “Análisis estructural”, en el punto 6.6.3.1. “Análisis para cargas mayoradas”, contempla la reducción de inercias para el análisis de cualquier estructura. En nuestro caso por tratarse de una estructura de casi 50 años de antigüedad, la reducción de inercias por agrietamiento de concreto es indispensable.

Para el modelamiento de la estructura en el programa ETABS 2017 v.17.0.1 se consideró la siguiente reducción. (Ver Tabla N° 21)

Tabla N° 21: Momentos de inercia reducidos por elemento estructural

Miembro y condición		Momento de inercia	Área de sección transversal para deformaciones axiales	Área de sección transversal para deformaciones de corte
Columnas		0.70I <sub>g</sub>	1.0A <sub>g</sub>	b <sub>w</sub> h
Muros	No fisurados	0.70I <sub>g</sub>		
	Fisurados	0.35I <sub>g</sub>		
Vigas		0.35I <sub>g</sub>		
Placas planas y losas planas		0.25I <sub>g</sub>		

Fuente: ACI, 2019, p. 76

### 5.4.3. Máxima deriva de entrepiso

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 5 “Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad”, artículo 28 “Determinación de Desplazamientos Laterales”, los desplazamientos de entrepiso serán reducidos por un factor, 0.75 para estructuras regulares y 0.85 para estructuras irregulares. Para nuestro caso el factor es de 0.85 por tratarse de un edificio irregular por esquinas entrantes.

- Para el edificio de 14 niveles sin disipadores:

Se realizó el Análisis Modal Espectral para el edificio sin ningún reforzamiento sísmico con el objetivo de conocer las derivas de entrepiso. (Ver Tabla N° 22 y 23) (Ver Figura N° 39 y 40). A continuación, se mostrará la vista en 3D del edificio de 14 niveles con disipadores SLB (Ver Figura N° 38).

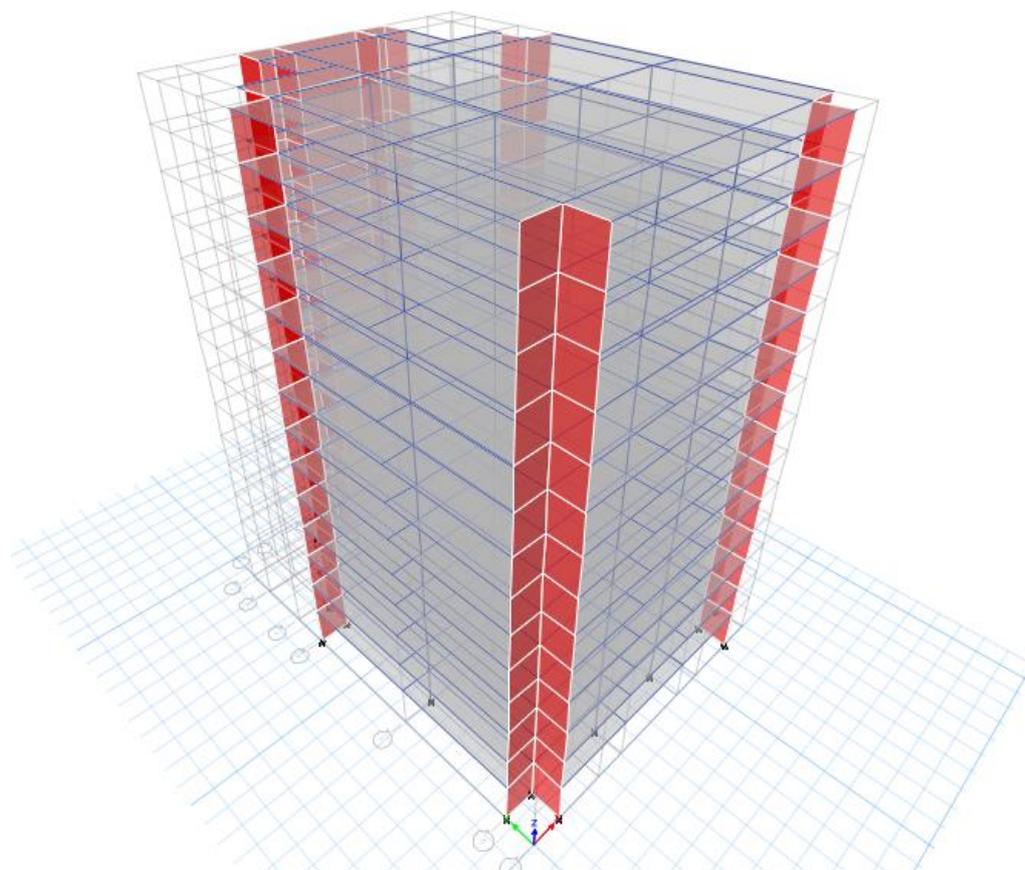


Figura N° 38: Vista en 3D - Estructura de 14 niveles sin disipadores SLB

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Tabla N° 22: Derivas de entrepiso de la estructura sin disipadores - Dirección X

Nivel	Carga	Dirección	Deriva entrepiso 0.85R	Altura (m)	condición
Nivel 14	Espectro X	X	0.0137	41.3	no cumple
Nivel 13	Espectro X	X	0.0140	38.4	no cumple
Nivel 12	Espectro X	X	0.0141	35.5	no cumple
Nivel 11	Espectro X	X	0.0142	32.6	no cumple
Nivel 10	Espectro X	X	0.0141	29.6	no cumple
Nivel 9	Espectro X	X	0.0138	26.7	no cumple
Nivel 8	Espectro X	X	0.0134	23.8	no cumple
Nivel 7	Espectro X	X	0.0128	20.9	no cumple
Nivel 6	Espectro X	X	0.0120	18.0	no cumple
Nivel 5	Espectro X	X	0.0110	15.1	no cumple
Nivel 4	Espectro X	X	0.0096	12.2	no cumple
Nivel 3	Espectro X	X	0.0079	9.3	no cumple
Nivel 2	Espectro X	X	0.0057	6.4	cumple
Nivel 1	Espectro X	X	0.0024	3.5	cumple

Fuente: Elaboración propia

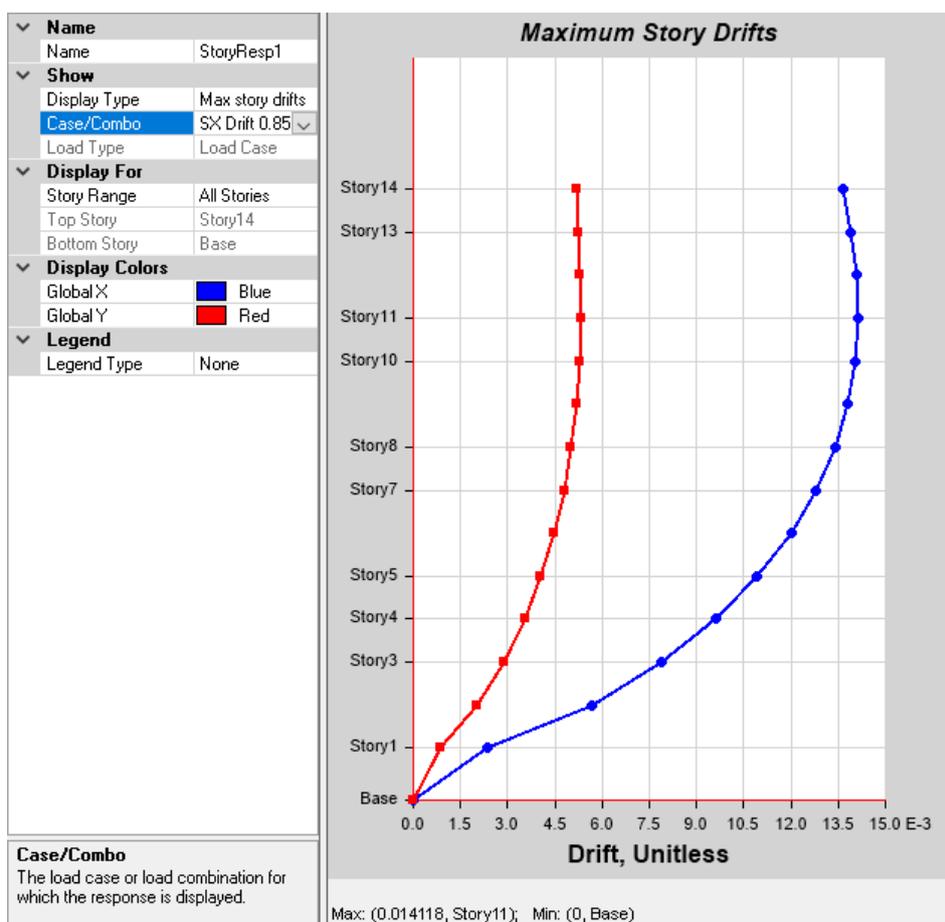


Figura N° 39: Derivas máximas en estructura sin reforzar – Dir. X

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Tabla N° 23: Derivas de entrecapso de la estructura sin disipadores - Dirección Y

Nivel	Carga	Dirección	Deriva entrecapso 0.85R	Altura (m)	condicion
Nivel 14	Espectro Y	Y	0.0138	41.2	no cumple
Nivel 13	Espectro Y	Y	0.0139	38.3	no cumple
Nivel 12	Espectro Y	Y	0.0140	35.4	no cumple
Nivel 11	Espectro Y	Y	0.0140	32.5	no cumple
Nivel 10	Espectro Y	Y	0.0138	29.6	no cumple
Nivel 9	Espectro Y	Y	0.0135	26.7	no cumple
Nivel 8	Espectro Y	Y	0.0130	23.8	no cumple
Nivel 7	Espectro Y	Y	0.0124	20.9	no cumple
Nivel 6	Espectro Y	Y </td <td>0.0115</td> <td>18.0</td> <td>no cumple</td>	0.0115	18.0	no cumple
Nivel 5	Espectro Y	Y	0.0104	15.1	no cumple
Nivel 4	Espectro Y	Y	0.0090	12.2	no cumple
Nivel 3	Espectro Y	Y	0.0073	9.3	no cumple
Nivel 2	Espectro Y	Y	0.0052	6.4	cumple
Nivel 1	Espectro Y	Y	0.0021	3.5	cumple

Fuente: Elaboración propia

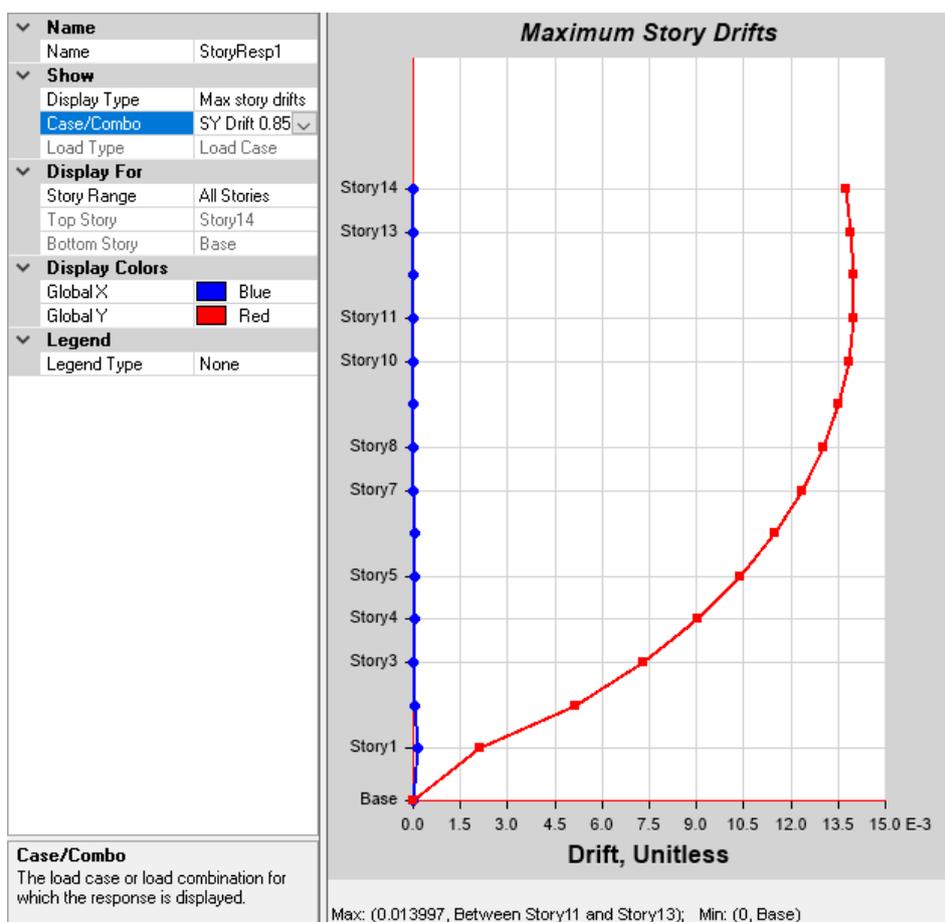


Figura N° 40: Derivas máximas en estructura sin reforzar – Dir. Y

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

## 5.5. Diseño de Disipadores SLB

Debido a que la estructura sobrepasa en varios niveles de entrepiso la deriva máxima permitida por la Norma Técnica Peruana E.030, se procedió a la realización del diseño y ubicación de los disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en el edificio para que este cumpla con la deriva máxima según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030.

### 5.5.1. Ubicación en planta

La selección de ubicación de los disipadores se elige en los puntos donde las derivas son mayores, siendo estas las más alejadas de la caja de ascensores y ubicadas cerca al perímetro de la estructura para no alterar la libre circulación dentro del recinto. (Ver Figura N° 41)

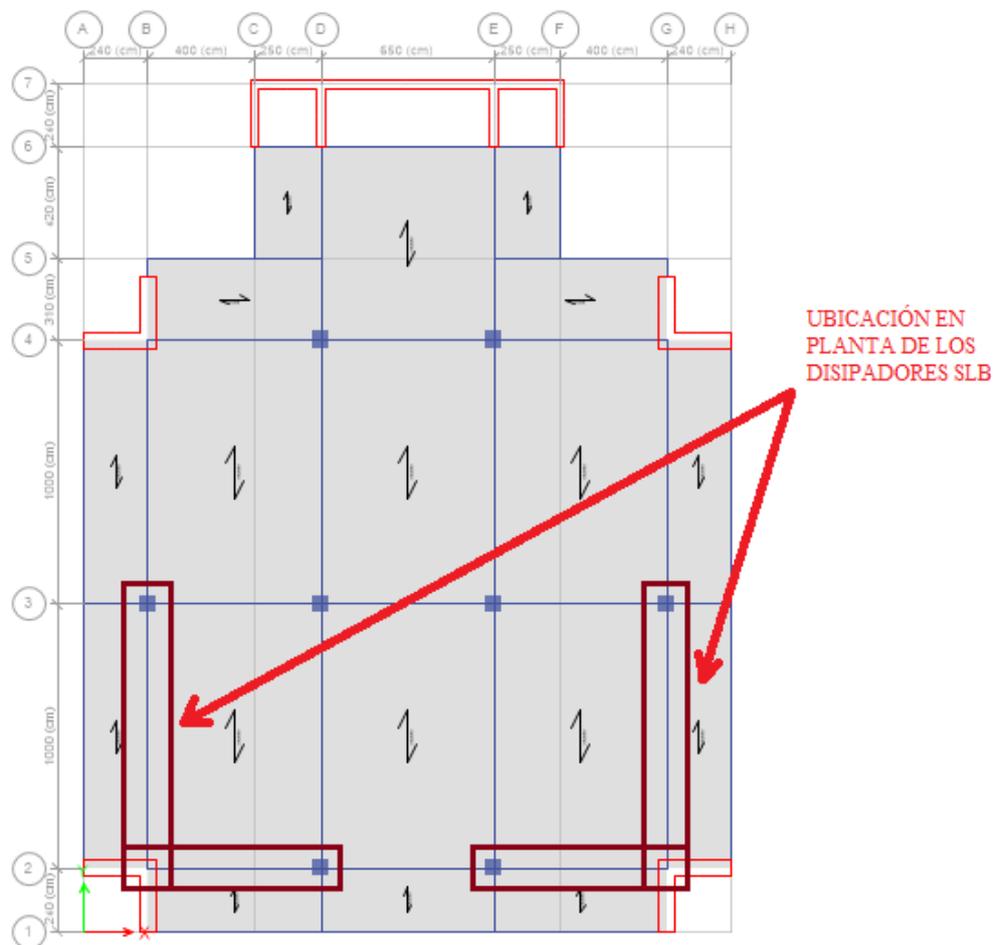


Figura N° 41: Ubicación en planta de los disipadores SLB – Edificio de 14 niveles

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

### 5.5.2. Selección del tipo de disipador SLB

La selección de los tipos de disipadores SLB es un proceso iterativo. Esta tiene como finalidad el cumplimiento de las derivas máximas permitidas o un mayor aseguramiento sísmico. A continuación, una serie de pasos a seguir para la selección:

Paso 1: Se ha definido un elemento Frame con un release para que éste no tome fuerza axial, este elemento sólo debe tomar el corte producto del sismo en su dirección (Ver Figura N° 42). Este elemento Frame se ha definido de la siguiente manera:

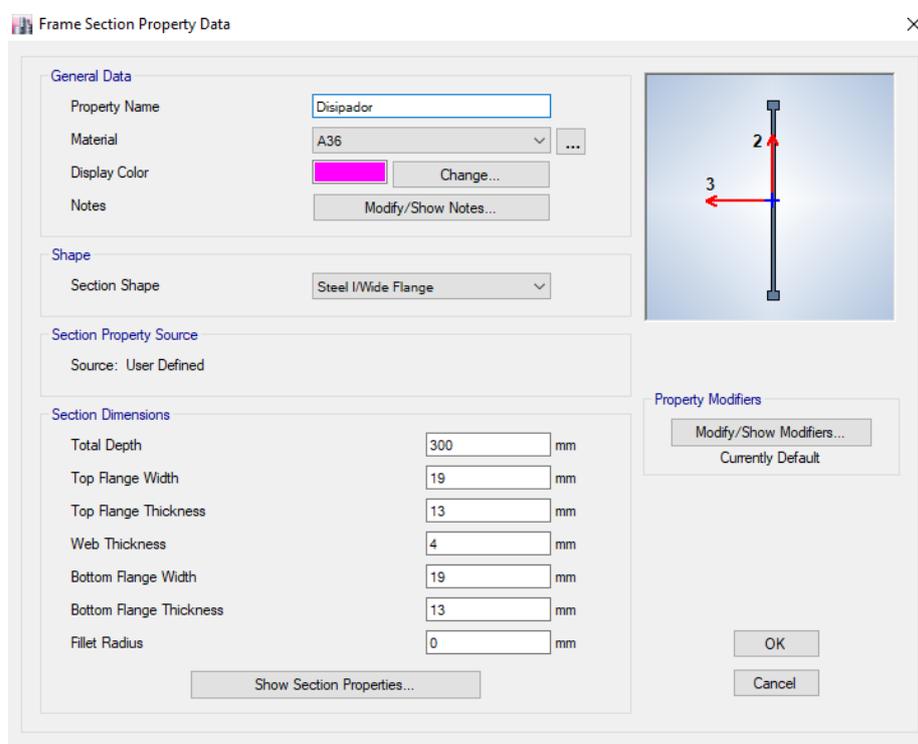


Figura N° 42: Definición del disipador SLB como elemento Frame

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Paso 2: Una vez obtenida la fuerza cortante sísmica de cada elemento Frame, nos dirigimos a la tabla de Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo (Ver Anexo 2) y se seleccionó el disipador de tal forma en la que el valor de la Fuerza de plastificación ( $F_y$ ) sea más próximo al valor de la fuerza cortante sísmica del elemento Frame. El  $F_y$  se obtuvo de la Tabla del Anexo 2 y la fuerza cortante sísmica del elemento Frame del ETABS. Este mismo procedimiento se

aplicó para la selección de los demás disipadores ubicados en el eje 2, eje B y eje G de la estructura.

Una vez hecho esto, realizar la comprobación de las derivas de entrepiso. En caso estas cumplan, quiere decir que se culmina con el proceso de selección, pero en caso no, se debe seguir iterando de la misma forma hasta que todo quede conforme. Esto se explicará en el paso 3.

Paso 3: Cada elemento Link toma una Fuerza Cortante Sísmica (V2) en su dirección, con este valor se ubicó el disipador según la tabla SLB. Tomando de ejemplo un elemento ubicado en el 5to nivel, como se aprecia en la Figura N° 43 señalado con una flecha, el cortate es de 73.70 toneladas ó 722.77 kN, cuyo valor se usó para ubicar el Fy (Fuerza de plastificación), en este caso del disipador SLB3 50\_7 (Ver Figura N° 44). Este mismo procedimiento se aplicó en el paso 2.



Figura N° 43: Selección de disipador SLB por medio de fuerza cortante en elemento Link

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Parámetros de diseño para los disipadores SHEAR LINK BOZZO											
Dispositivo	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	K <sub>1</sub> (KN/cm)	K <sub>2</sub> (KN/cm)	D <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>Máx</sub> (KN)	E <sub>D</sub> (KN.cm)	
SLB3 50_2	25	30	5	2	5479.60	88.67	0.520	284.90	551.27	730.67	
SLB3 50_3	25	30	5	3	7367.13	114.64	0.512	377.50	713.65	963.00	
SLB3 50_4	25	30	5	4	9116.00	138.30	0.513	468.10	871.40	1186.77	
SLB3 50_5	25	30	5	5	10759.13	160.81	0.518	557.00	1025.70	1404.77	
SLB3 50_6	25	30	5	6	12328.87	181.80	0.523	644.40	1177.30	1616.83	
SLB3 50_7	25	30	5	7	13844.20	202.03	0.528	730.30	1326.80	1824.36	
SLB3 50_8	25	30	5	8	15312.67	221.80	0.532	814.70	1474.50	2028.05	
SLB3 50_9	25	30	5	9	16737.00	241.37	0.536	897.70	1621.20	2228.51	

Figura N° 44: Selección de disipador SLB por medio de la fuerza de plastificación (Fy)

Fuente: Bozzo, 2019, p. 5

Paso 4: Una vez obtenido todos los disipadores que queremos usar en cada eje y en cada nivel de la estructura se procedió a la asignación de propiedades lineales y no lineales. Los parámetros lineales y no lineales de los dispositivos figuran en la tabla de disipadores SLB (Ver Anexo N° 2) (Ver Figura N° 45). Se asignó el modelo histérico Wen para la representación no lineal del dispositivo, se aplicaron propiedades lineales y no lineales en la dirección del elemento Link con respecto a la dirección del análisis sísmico (Ver Figura N° 46).

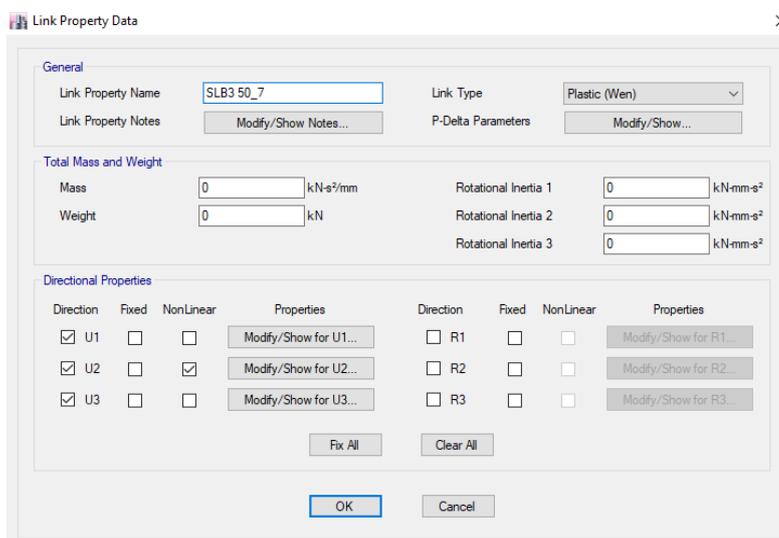


Figura N° 45: Definición de disipador SLB3 50\_7 por medio de ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

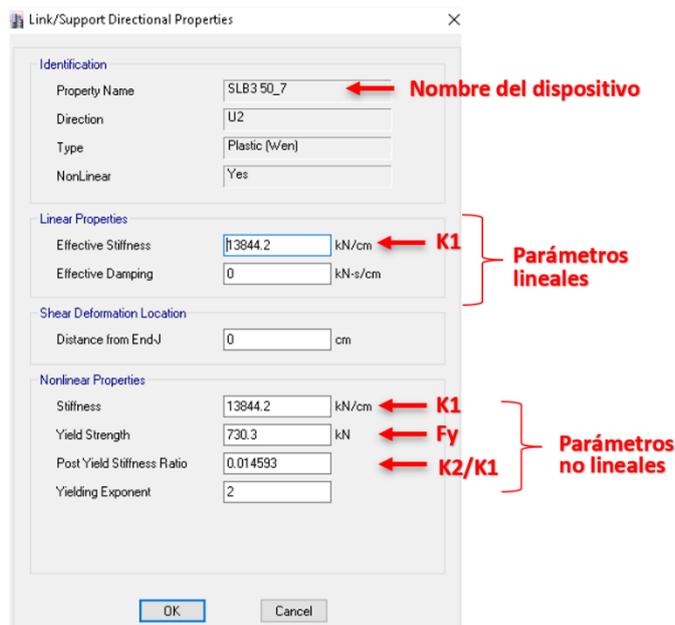


Figura N° 46: Propiedades del disipador SLB3 50\_7 por medio de ETABS

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

**Paso 5:** Se utilizó la fuerza cortante de envolvente por cada disipador SLB para poder verificar la siguiente condición:

$$V_{env}/F_y \leq 1.5 \dots \dots (23)$$

Donde:

- $V_{env}$ : Fuerza cortante de la envolvente del elemento Link.
- $F_y$ : Fuerza de plastificación.

Para nuestro caso:  $V_{env}/F_y = 1090.92/730.30 = 1.49 \leq 1.5 \dots$  Cumple!

En caso de no cumplirse esta condición, se debe seleccionar otro disipador más fuerte.

**Paso 6:** Una vez asignados los parámetros lineales y no lineales a todos los disipadores, se procedió a verificar la torsionalidad de la estructura (Capítulo 5.5.3.) y a verificar si las derivas de entrepiso cumplen con los parámetros de la Norma Técnica E.030 (Capítulo 5.5.4.)

**Paso 7:** Se verifican los soportes y las conexiones de las diagonales más los disipadores con la estructura (Capítulo 5.5.5.)

- Vista de disipadores SLB en sus respectivos ejes: (Ver Figura N° 47 – 49)

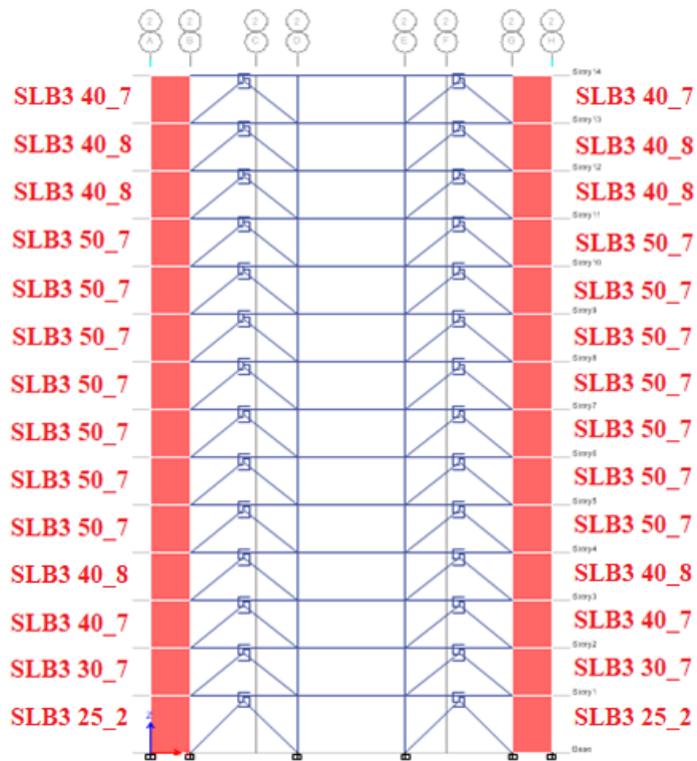


Figura N° 47: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje 2

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

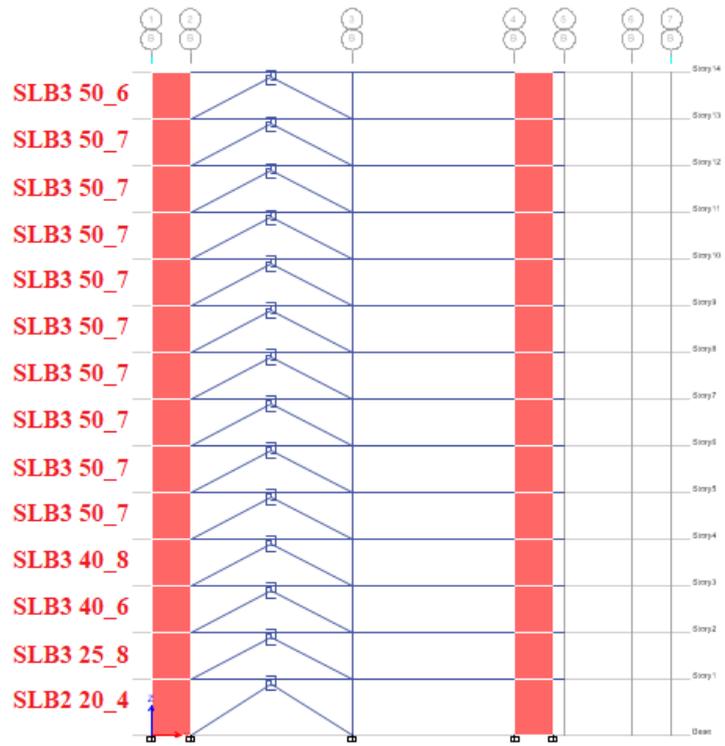


Figura N° 48: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje B  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

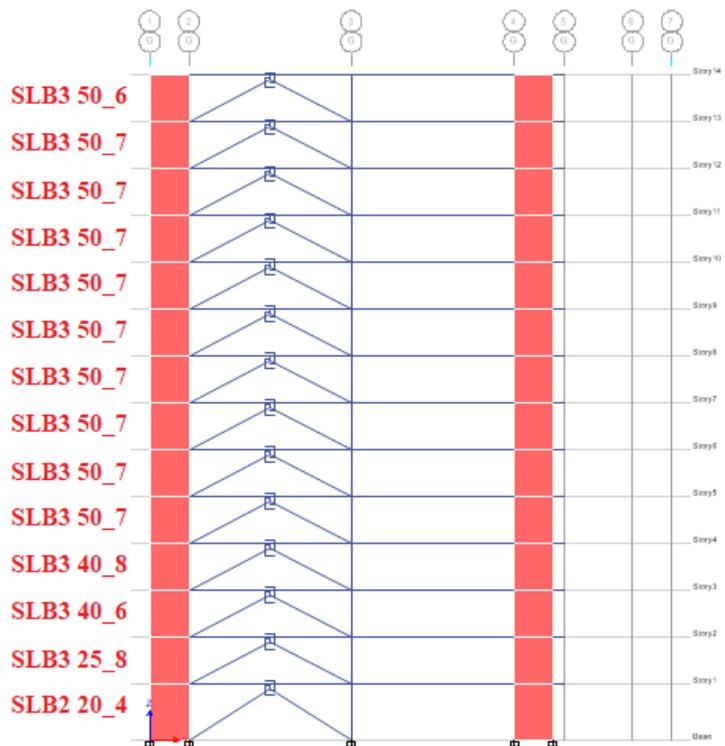


Figura N° 49: Asignación de disipadores SLB en la estructura, eje G  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

### 5.5.3. Verificación de la irregularidad torsional del edificio de 14 niveles con disipadores SLB

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en la Tabla N° 9 “Irregularidades estructurales en planta”, se cumple con la condición en la que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio. (Ver Tabla N° 24 y 25).

Tabla N° 24: Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección X

Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección X						
Nivel	Carga	Dirección	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	Promedio (cm)	Max/Prom < 1.3
Nivel 14	Espectro X	X	20.5377	11.79408	16.1659	1.27
Nivel 13	Espectro X	X	19.1469	11.01204	15.0795	1.27
Nivel 12	Espectro X	X	17.7004	10.17036	13.9354	1.27
Nivel 11	Espectro X	X	16.187	9.26664	12.7268	1.27
Nivel 10	Espectro X	X	14.6103	8.3142	11.4623	1.27
Nivel 9	Espectro X	X	12.9802	7.3326	10.1564	1.28
Nivel 8	Espectro X	X	11.3096	6.34104	8.8253	1.28
Nivel 7	Espectro X	X	9.6131	5.355	7.4841	1.28
Nivel 6	Espectro X	X	7.9084	4.386	6.1472	1.29
Nivel 5	Espectro X	X	6.2209	3.4446	4.8328	1.29
Nivel 4	Espectro X	X	4.589	2.5452	3.5671	1.29
Nivel 3	Espectro X	X	3.0539	1.7028	2.3784	1.28
Nivel 2	Espectro X	X	1.6937	0.9522	1.3230	1.28
Nivel 1	Espectro X	X	0.6239	0.35316	0.4885	1.28

Fuente: Elaboración propia

Tabla N° 25: Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección Y

<b>Irregularidad torsional del edificio con disipadores SLB - Dirección Y</b>						
<b>Nivel</b>	<b>Carga</b>	<b>Dirección</b>	<b>Máximo (cm)</b>	<b>Mínimo (cm)</b>	<b>Promedio (cm)</b>	<b>Max/Prom &lt; 1.3</b>
Nivel 14	Espectro Y	Y	21.3053	21.3053	21.3053	1.00
Nivel 13	Espectro Y	Y	19.8004	19.8004	19.8004	1.00
Nivel 12	Espectro Y	Y	18.2569	18.2569	18.2569	1.00
Nivel 11	Espectro Y	Y	16.6605	16.6605	16.6605	1.00
Nivel 10	Espectro Y	Y	15.0083	15.0083	15.0083	1.00
Nivel 9	Espectro Y	Y	13.3053	13.3053	13.3053	1.00
Nivel 8	Espectro Y	Y	11.5605	11.5605	11.5605	1.00
Nivel 7	Espectro Y	Y	9.7865	9.7865	9.7865	1.00
Nivel 6	Espectro Y	Y	8.0029	8.0029	8.0029	1.00
Nivel 5	Espectro Y	Y	6.2406	6.2406	6.2406	1.00
Nivel 4	Espectro Y	Y	4.5462	4.5462	4.5462	1.00
Nivel 3	Espectro Y	Y	2.973	2.973	2.9730	1.00
Nivel 2	Espectro Y	Y	1.6078	1.6078	1.6078	1.00
Nivel 1	Espectro Y	Y	0.5704	0.5704	0.5704	1.00

Fuente: Elaboración propia

#### 5.5.4. Máxima deriva de entrepiso con reforzamiento sísmico

Luego de la asignación de disipadores SLB en todo el edificio, se verificó el nuevo desplazamiento relativo entrepiso (Ver Tabla N° 26 y 27) (Ver Figura N° 51 y 52). Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 5 “Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad”, artículo 32 “Desplazamientos laterales relativos admisibles”, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso para concreto armado debe ser 0.007. A continuación, se mostrará la vista en 3D del edificio de 14 niveles con disipadores SLB (Ver Figura N° 50).

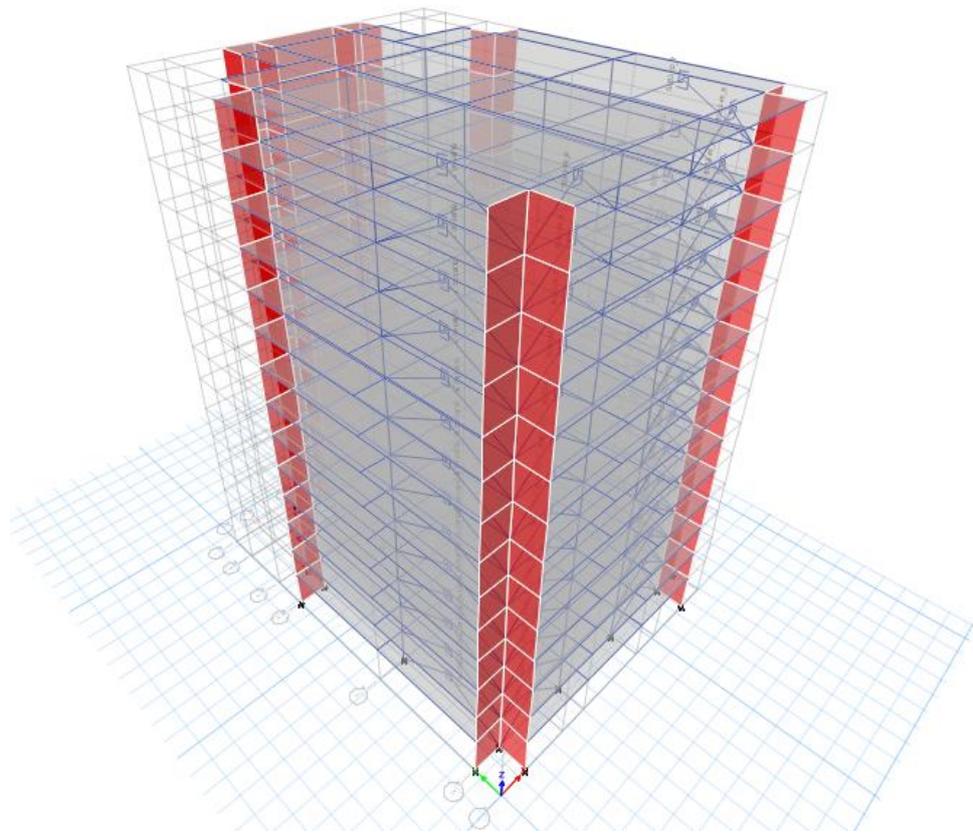


Figura N° 50: Vista en 3D - Estructura de 14 niveles con disipadores SLB

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Tabla N° 26: Derivas de entrepiso de la estructura con disipadores - Dirección X

Nivel	Carga	Dirección	Deriva entrepiso 0.85R	Altura (m)	condición
Nivel 14	Espectro X	X	0.00552	41.2	cumple
Nivel 13	Espectro X	X	0.00581	38.3	cumple
Nivel 12	Espectro X	X	0.00612	35.4	cumple
Nivel 11	Espectro X	X	0.00637	32.5	cumple
Nivel 10	Espectro X	X	0.00654	29.6	cumple
Nivel 9	Espectro X	X	0.00663	26.7	cumple
Nivel 8	Espectro X	X	0.00663	23.8	cumple
Nivel 7	Espectro X	X	0.00655	20.9	cumple
Nivel 6	Espectro X	X	0.00639	18	cumple
Nivel 5	Espectro X	X	0.00612	15.1	cumple
Nivel 4	Espectro X	X	0.00572	12.2	cumple
Nivel 3	Espectro X	X	0.00504	9.3	cumple
Nivel 2	Espectro X	X	0.00395	6.4	cumple
Nivel 1	Espectro X	X	0.00191	3.5	cumple

Fuente: Elaboración propia

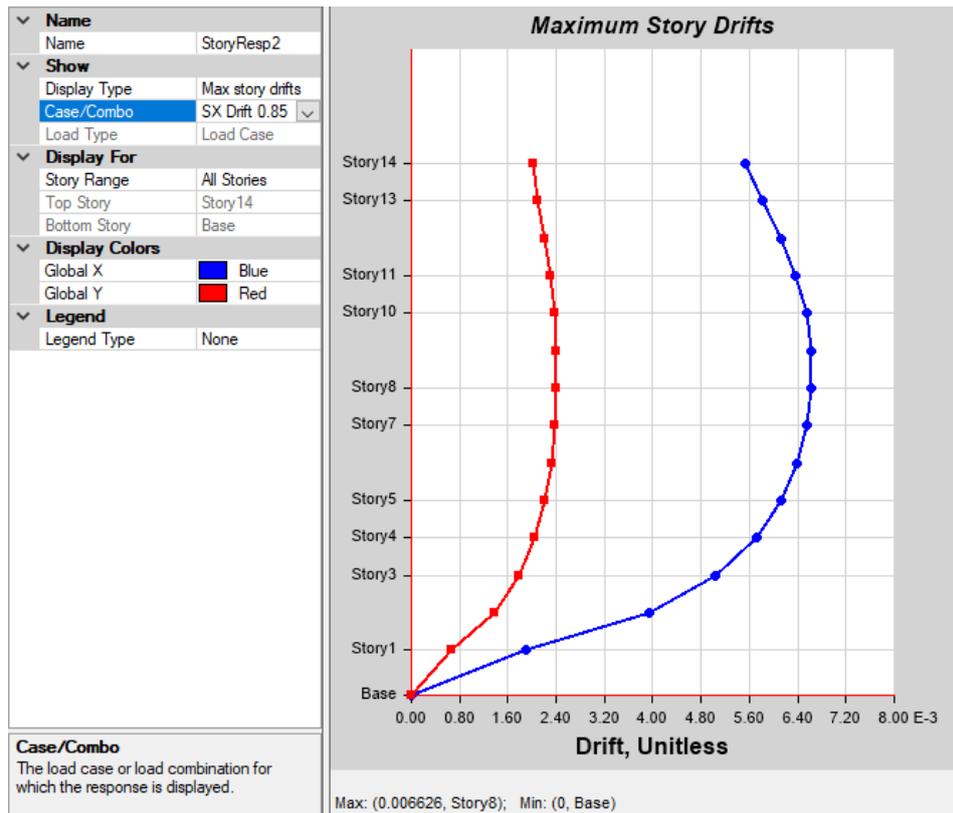


Figura N° 51: Derivas máximas en estructura reforzada – Dir. X

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Tabla N° 27: Derivas de entrepiso de la estructura con disipadores - Dirección Y

Nivel	Carga	Dirección	Deriva entrepiso 0.85R	Altura (m)	condición
Nivel 14	Espectro Y	Y	0.00569	41.20	cumple
Nivel 13	Espectro Y	Y	0.00590	38.30	cumple
Nivel 12	Espectro Y	Y	0.00613	35.40	cumple
Nivel 11	Espectro Y	Y	0.00632	32.50	cumple
Nivel 10	Espectro Y	Y	0.00645	29.60	cumple
Nivel 9	Espectro Y	Y	0.00650	26.70	cumple
Nivel 8	Espectro Y	Y	0.00649	23.80	cumple
Nivel 7	Espectro Y	Y	0.00641	20.90	cumple
Nivel 6	Espectro Y	Y	0.00623	18.00	cumple
Nivel 5	Espectro Y	Y	0.00594	15.10	cumple
Nivel 4	Espectro Y	Y	0.00548	12.20	cumple
Nivel 3	Espectro Y	Y	0.00475	9.30	cumple
Nivel 2	Espectro Y	Y	0.00359	6.40	cumple
Nivel 1	Espectro Y	Y	0.00163	3.50	cumple

Fuente: Elaboración propia

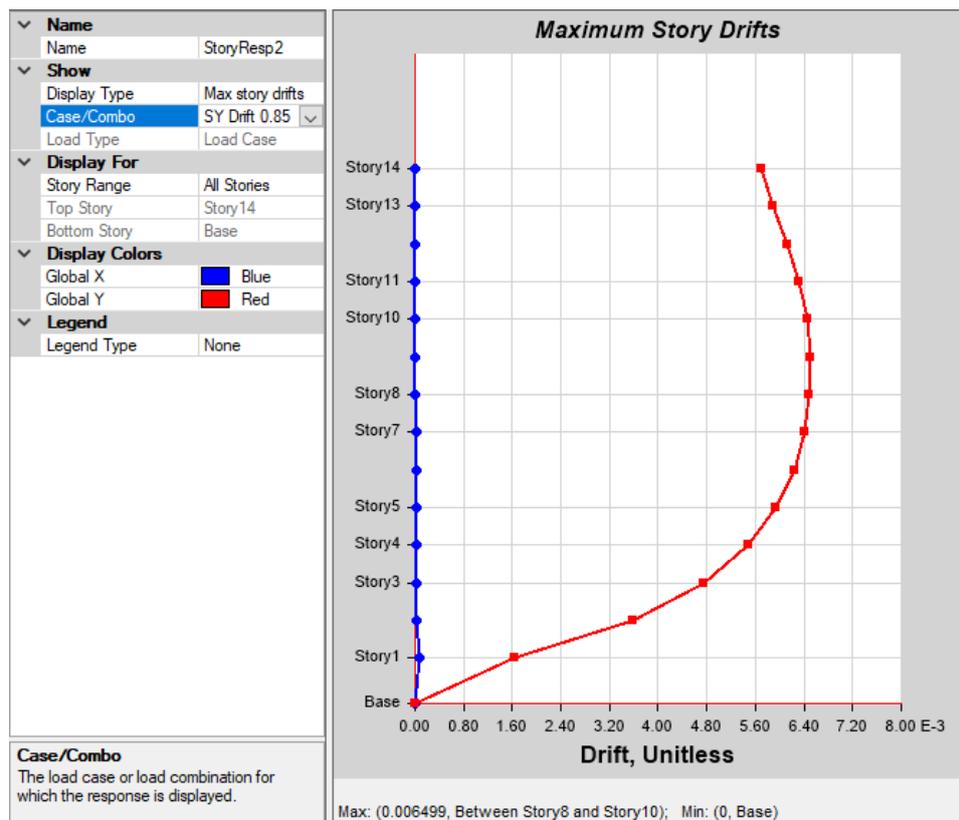


Figura N° 52: Derivas máximas en estructura reforzada – Dir. Y

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

### 5.5.5. Definición de diagonal tipo Chevron

Para el caso de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), se definirán las diagonales tipo Chevron de la siguiente manera: (Ver Figura N° 53)

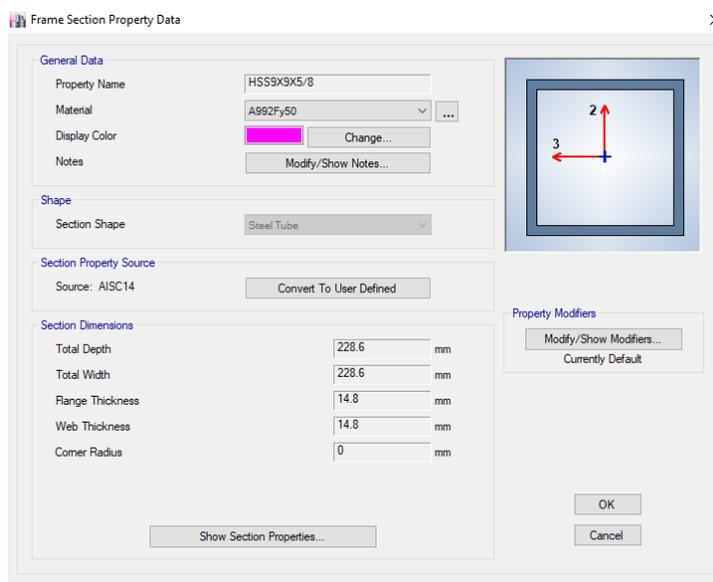


Figura N° 53: Definición de diagonal tipo Chevron HSS9X9X5/8

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

#### 5.5.5.1. Revisión de la capacidad del soporte

Para la revisión se ha considerado la máxima fuerza inducida por el disipador SLB. (Ver Figura N° 54 y 55).

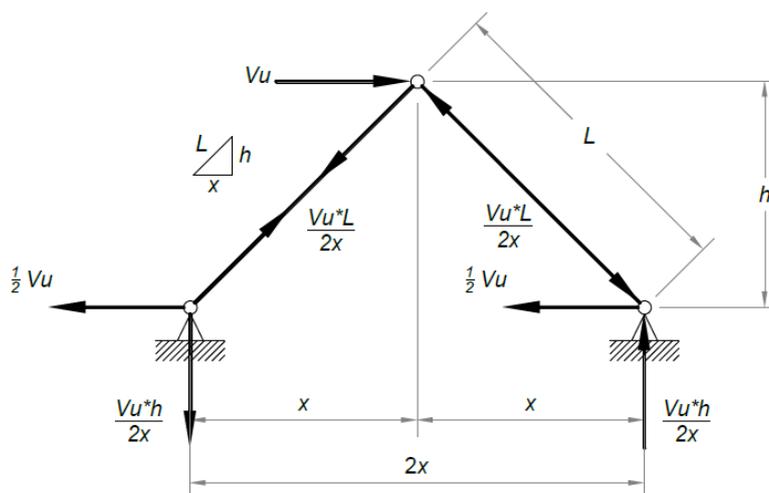


Figura N° 54: Transmisión de fuerzas entre el disipador SLB y sus diagonales

Fuente: Somarriba, 2012, p. 193

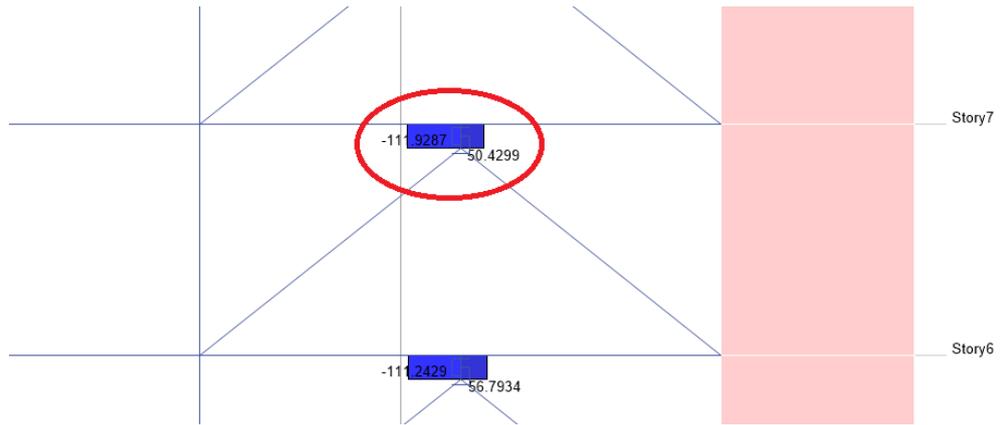


Figura N° 55: Fuerza cortante en disipador tipo SLB, nivel 6, Eje 2

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

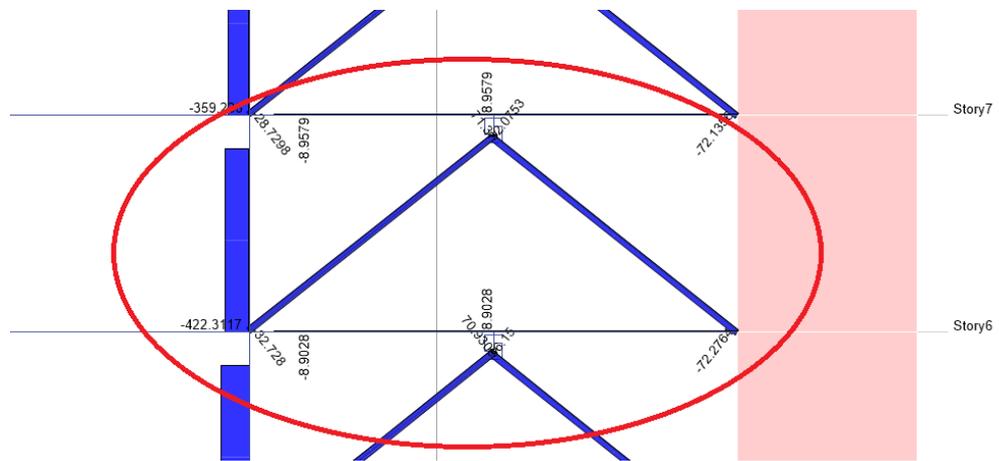


Figura N° 56: Fuerza axial en diagonal tipo Chevron, nivel 6, Eje 2

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

Los perfiles tubulares son de acero A36, con un Esfuerzo de Fluencia  $F_y$ :  $2531.05 \text{ kg/cm}^2$ . Para el siguiente análisis se eligió la diagonal más cargada. (Ver Figura N° 56).

- Propiedades de la sección HSS 9"x9"x5/8"

$$E = 2038902.13 \text{ kg/cm}^2$$

$$A = 120.64 \text{ cm}^2$$

$$I_x = 8990.59 \text{ cm}^4$$

$$r = 8.636 \text{ cm}$$

$$L = 416 \text{ cm}$$

$$b/t = 13.49$$

- Revisión de la compacidad sísmica de la sección (Tabla D.1.1, AISC 341-14)

$$\lambda_{md} = 1.18 \sqrt{\frac{E}{R_y F_y}} \dots\dots (24)$$

$$\lambda_{md} = 1.18 \sqrt{\frac{2038902.13}{8.636 \times 2531.05}} = 11.39 < b/t$$

Por lo tanto, la sección es compata.

- Relación de esbeltez:

Considerando  $K = 1$

$$\frac{KL}{r} < 200 \dots\dots (25)$$

$$\frac{KL}{r} = \frac{416}{8.636} = 48.17 < 200 \dots \text{Cumple!}$$

- Revisión por tensión:

$$P_u = P_t = 72,276.40 \text{ kg}$$

$$F_{yt} = \frac{P_t}{A_g} < F_y \dots\dots (26)$$

$$F_{yt} = \frac{72276.40}{120.64} = 599.11 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} < F_y \dots \text{Cumple!}$$

Por lo tanto, la máxima tensión no causa fluencia en la sección.

- Revisión por compresión:

Esfuerzo de pandeo crítico elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{(KL/r)^2} \dots\dots (27) \dots \text{(Ecuación E3-4, AISC 341-14)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 (2038902.13)}{(416/8.636)^2} = 8672.47 \text{ kg/cm}$$

- Esfuerzo de pandeo por flexión  $F_{rc}$ :

$$4.71 \sqrt{\frac{E}{f_y}} > \frac{KL}{r} \dots\dots (28)$$

$$4.71 \sqrt{\frac{2038902.13}{2531.05}} = 135.70 > 48.17$$

$$\therefore F_{cr} = \left(0.658 \frac{f_y}{f_c}\right) f_y \dots\dots (29) \dots \text{(Ecuación E3-2, AISC 341-14)}$$

$$\therefore F_{cr} = \left(0.658 \frac{2531.05}{8672.47}\right) 2531.05 = 2240.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c F_{cr} = (0.90)(2240.01) = 2016.01 \text{ kg/cm}^2$$

$$\phi_c P_n = \phi_c F_{cr} A = 243211.44 \text{ kg} > P_u = 72,276.40 \text{ kg}$$

... (Ecuación E7-1, AISC 341-14)

Por lo tanto, la carga máxima de compresión debido a la fuerza cortante (envolvente) del disipador no causa pandeo inelástico.

## CAPÍTULO VI: ANÁLISIS DINAMICO NO LINEAL TIEMPO - HISTORIA DE LA ESTRUCTURA

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 4 “Análisis Estructural”, artículo 27 “Análisis Dinámico Tiempo – Historia”, este análisis es un método complementario a los demás análisis, es del tipo dinámico y se utiliza para verificar el comportamiento de los elementos estructurales. El tipo de análisis no lineal que se utilizó fue el FNA (Fast Nonlinear Analysis) concentrando la no linealidad solo en los disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) con el objetivo de obtener los diagramas histeréticos de los disipadores con el tipo plastic wen y la respuesta energética.

### 6.1. Registros Sísmicos

Para el Análisis Dinámico no lineal Tiempo – Historia, la norma internacional ASCE 7 recomienda usar siete pares de registros sísmicos que sean representativos del lugar donde se encuentra ubicada la estructura. En nuestro caso, utilizamos 5 conjuntos de registros sísmicos ubicados en Lima, Ica y Chile, correspondiente a los terremotos de Lima 1966, Lima 1974, Ica 2007, Chimbote 1970, Valparaíso (Chile) 1985; y 2 conjuntos de registros artificiales de un sismo de grado 8.5 y 9 en la escala de Richter. En total se utilizaron 7 conjuntos de registros sísmicos corregidos, cada uno de los cuales incluye dos componentes en direcciones ortogonales.

A continuación, se mostrará un registro sísmico por cada sismo, en este caso refiriéndose a la dirección Este – Oeste. (Ver Figura N° 57 – 63)

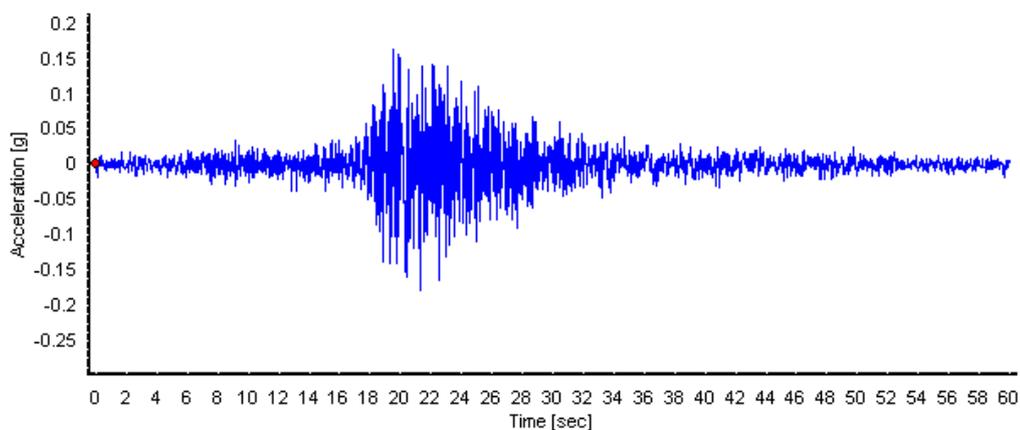


Figura N° 57: Registro Sísmico de Lima 1966 – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

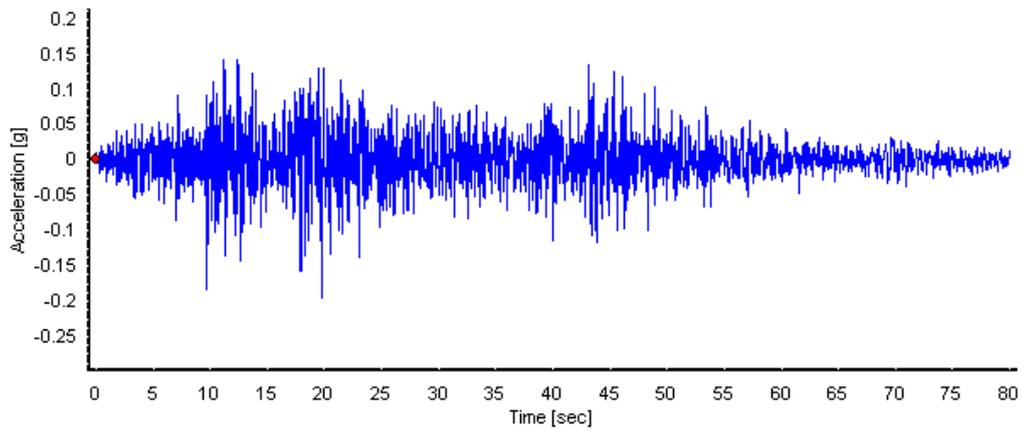


Figura N° 58: Registro Sísmico de Lima 1974 – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

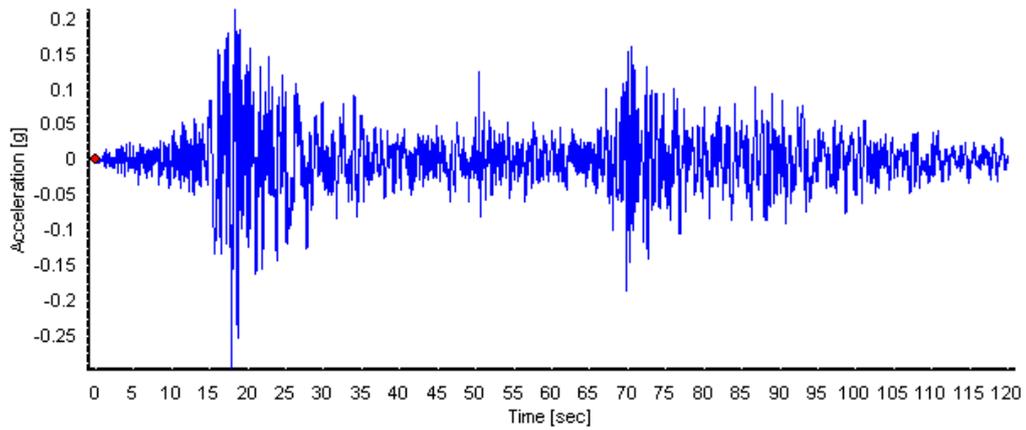


Figura N° 59: Registro Sísmico de Ica 2007 – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

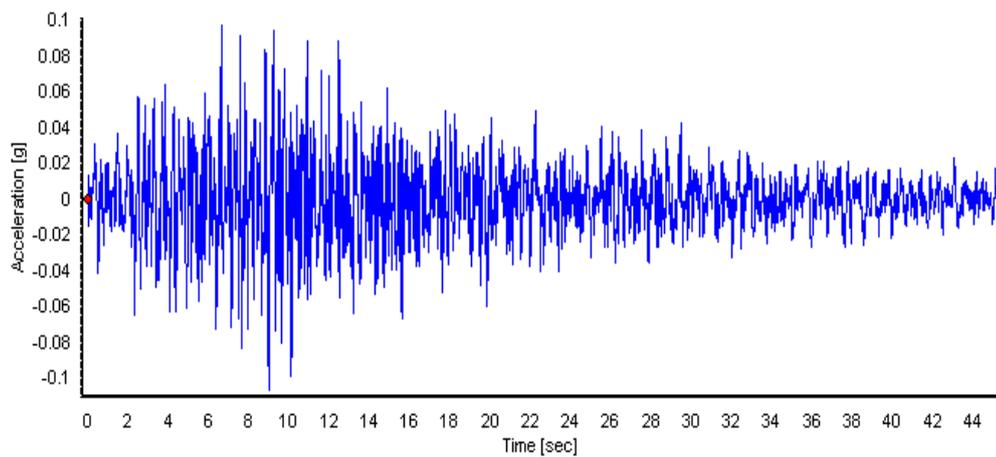


Figura N° 60: Registro Sísmico de Chimbote 1970 – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

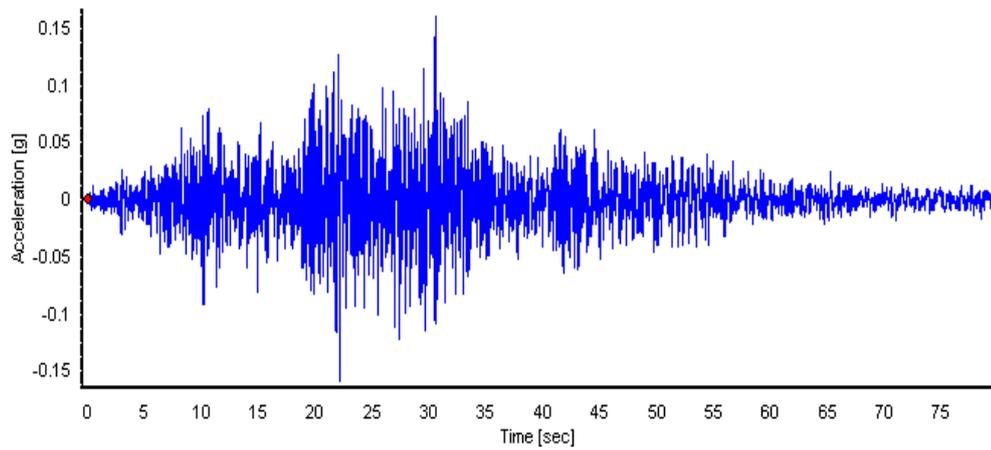


Figura N° 61: Registro Sísmico de Valparaíso (Chile) 1985 – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

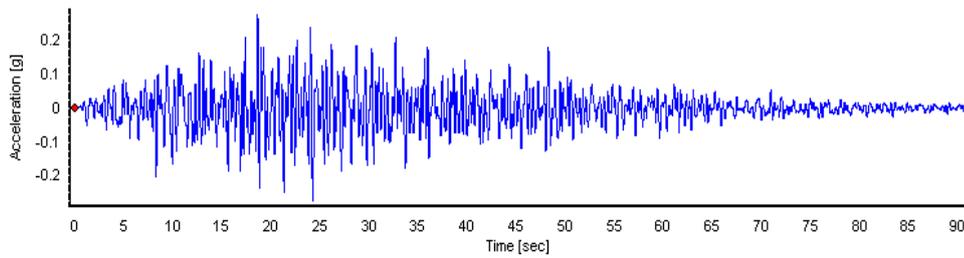


Figura N° 62: Registro Sísmico Artificial Grado 8.5 escala de Richter – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

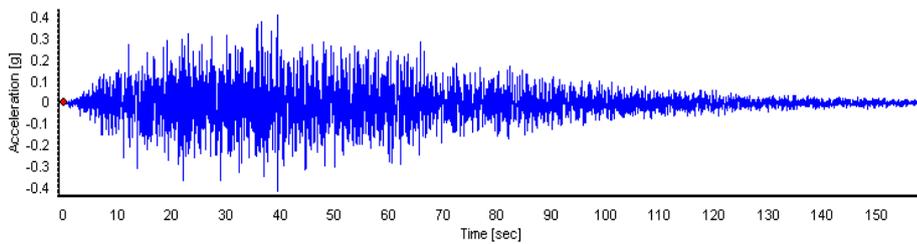


Figura N° 63: Registro Sísmico Artificial Grado 9.0 escala de Richter – Dir. EO

Fuente: SeismoSignal v.2018

## 6.2. Escalamiento de los Registros Sísmicos

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 4 “Análisis Estructural”, artículo 27 “Análisis Dinámico Tiempo – Historia”, en el punto 27.1. “Registros de Aceleraciones”, se usan como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluye dos componentes en direcciones ortogonales, refiriéndose a las direcciones X e Y. Estas son elegidas y escaladas en eventos individuales, lo que quiere decir que por cada conjunto de registro de aceleraciones obtendremos 2 eventos individuales, lo que hace un total de 14 registros para nuestro caso. (Ver Figura N° 66)

Se construye un espectro de pseudo aceleraciones para poder compatibilizar cada uno de estos 14 registros con la Norma Técnica E.030, considerando un 5% de amortiguamiento. Estos registros se escalan por un mismo factor, considerando el rango de períodos entre 0,2T y 1,5T como máximo y R=1. (Ver Figura N° 65)

Para la realización de este proceso, se ha hecho uso de dos programas informáticos. El programa Seismo Signal que nos sirvió para el tratamiento de las señales (corrección de línea base y filtrado) y el programa Seismo Match que nos sirvió para escalar los registros ya corregidos con el espectro. De esta manera, los conjuntos de registros de aceleraciones van a oscilar en torno al espectro de pseudo aceleraciones de la Norma Técnica E.030.

Según el MVCS (2018), punto 27.1.4. de la Norma Técnica E.030, para el espectro de escalamiento se consideran como los valores del factor de amplificación sísmica (C) los siguientes: (Ver Figura N° 64)

$$\boxed{T < 0,2 T_P \quad C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_P}\right)} \dots\dots (30)$$

Figura N° 64: Factor de amplificación sísmica para escalamiento de registros

Fuente: Norma Técnica E.030, 2018, p. 29

### Espectro de Respuesta E.030

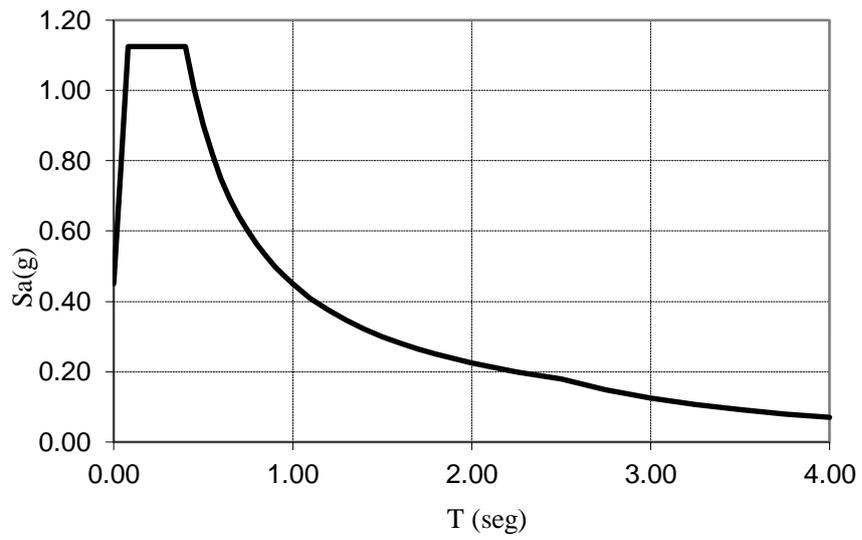


Figura N° 65: Espectro de Respuesta de Escalamiento según la Norma Técnica E.030

Fuente: Elaboración propia

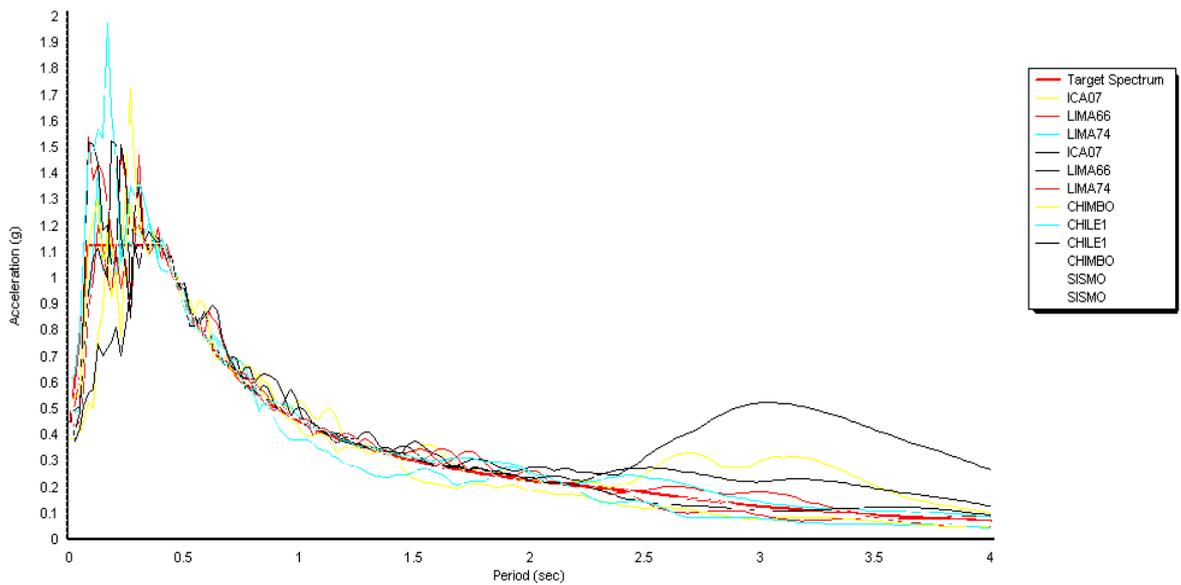


Figura N° 66: Escalamiento de registros sísmicos

Fuente: SeismoMatch v.2018

### 6.3. Máxima deriva de entrepiso en Análisis no lineal Tiempo - Historia

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 4 “Análisis estructural”, en el punto 27.3 “Tratamiento de resultados”, en caso se utilicen por lo menos siete juegos de registros del movimiento del suelo, las fuerzas de diseño, las deformaciones en los elementos y las derivas de entrepiso se evalúan a partir de los promedios de los correspondientes resultados máximos obtenidos en los distintos análisis. Si se utilizaran menos de siete juegos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las derivas de entrepiso son evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Según el MVCS (2018), punto 27.3.2. de la Norma Técnica E.030, las derivas máximas de entrepiso no exceden de 1.25 veces de los valores indicados en la Tabla N° 11 de la Norma Técnica E.030, siendo 0.007 para concreto armado multiplicado por 1.25, la máxima deriva sería de 0.0825. A continuación, se mostrarán las derivas de entrepiso en ambas direcciones por cada registro sísmico. (Ver Figura N° 67 y 68)

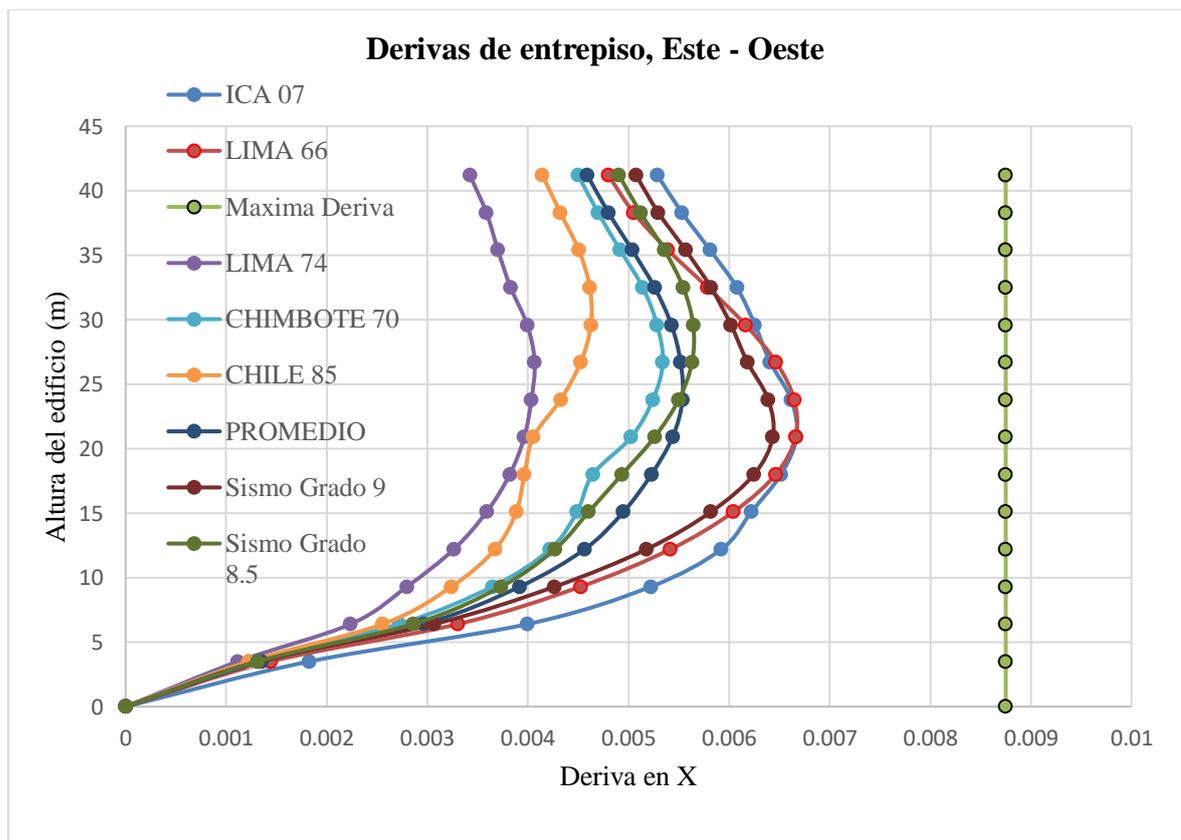


Figura N° 67: Derivas máximas por registro sísmico en la estructura reforzada – Dir. X

Fuente: Elaboración propia

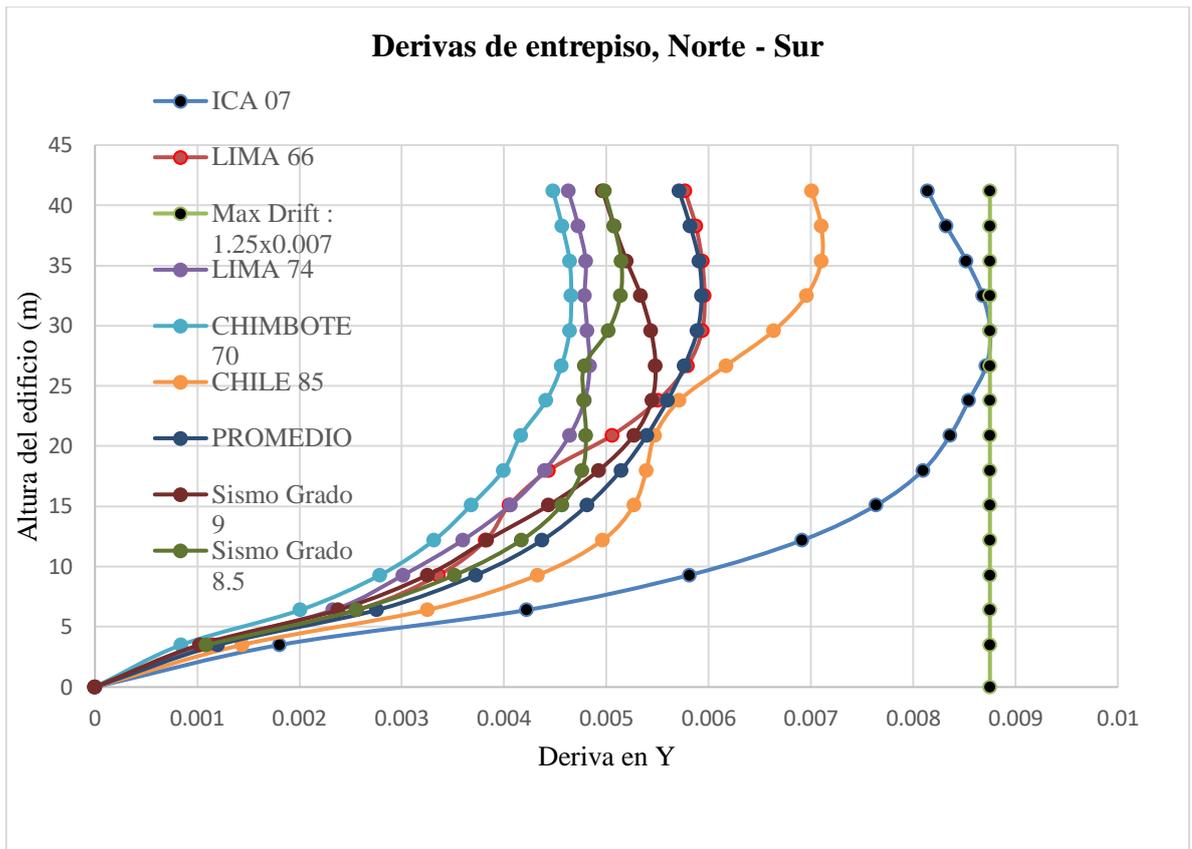


Figura N° 68: Derivas máximas por registro sísmico en la estructura reforzada – Dir. Y

Fuente: Elaboración propia

## 6.4. Curvas Histeréticas

A continuación, se muestra la curva Histerética del disipador SLB con el objetivo de mostrar la fuerza y desplazamiento máximo a la que el dispositivo estará sometido. De esta manera, se puede observar la importante disipación de energía que proporcionan los disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB).

Los siguientes gráficos muestran los diagramas histeréticos que corresponden al disipador SLB3\_50\_7 que es el más cargado sísmicamente ubicado en el séptimo piso en el eje 2. (Ver Figura N° 69 – 75)

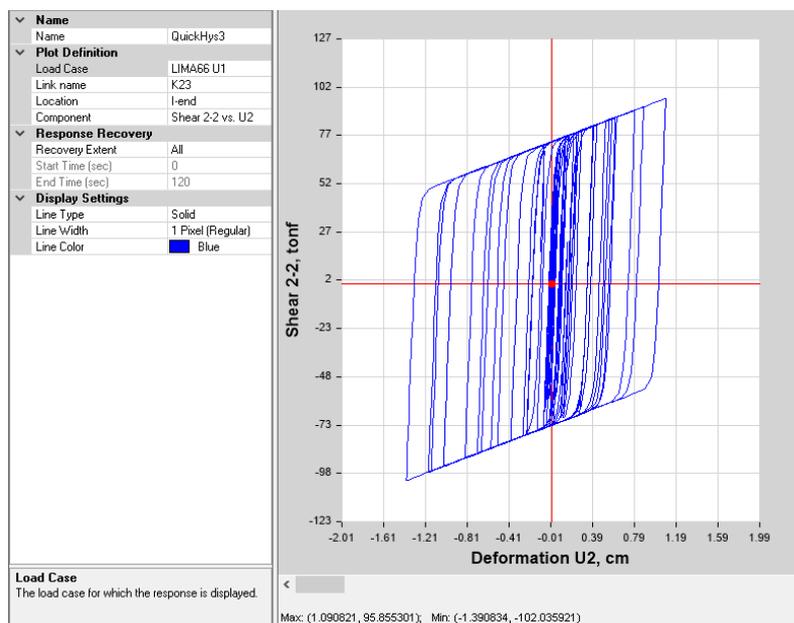


Figura N° 69: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Lima 1966, Dmax: 1.39 cm, Fmax: 102.04 ton

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

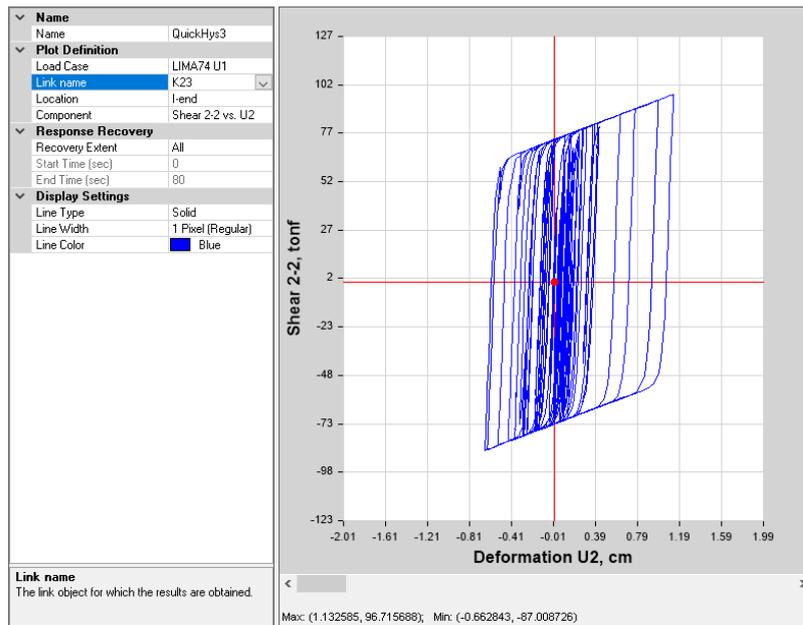


Figura N° 70: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Lima 1974, Dmax: 1.13 cm, Fmax: 96.72 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

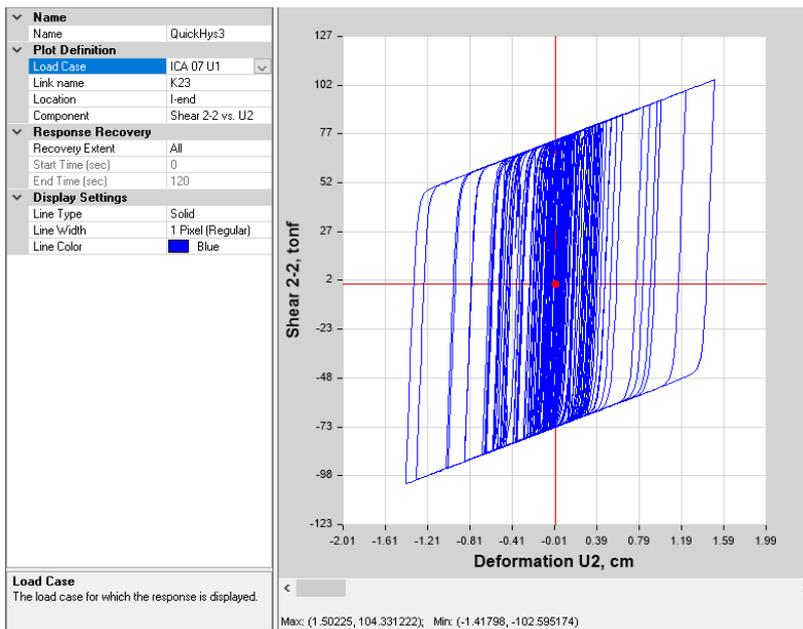


Figura N° 71: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Ica 2007, Dmax: 1.50 cm, Fmax: 104.33 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

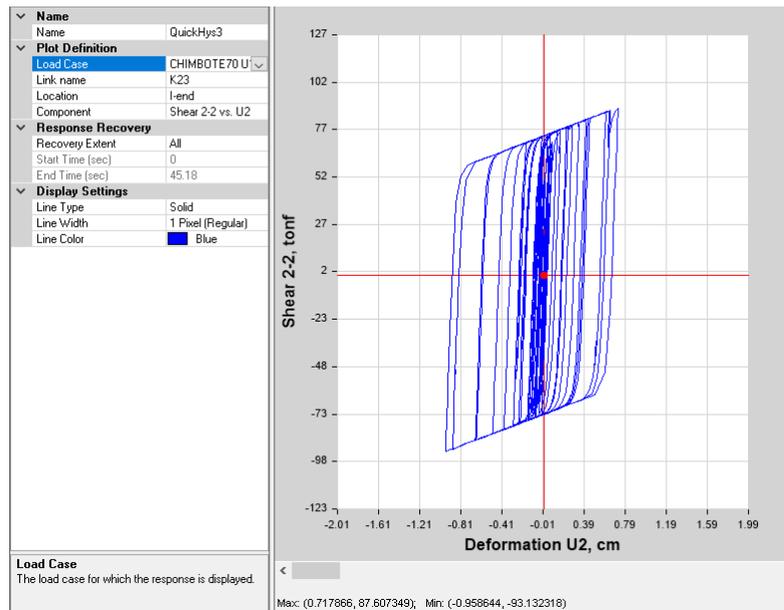


Figura N° 72: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Chimbote 1970,  
Dmax: 0.96 cm, Fmax: 93.13 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

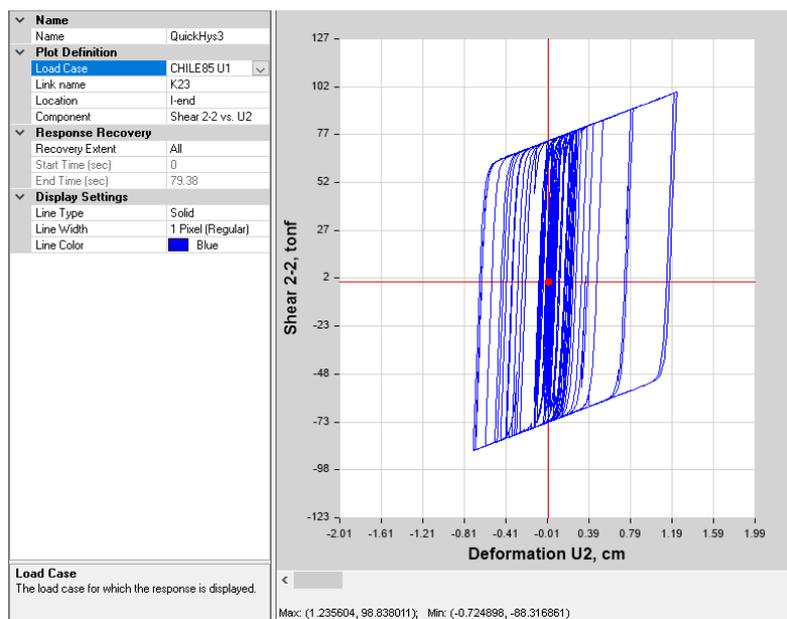


Figura N° 73: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Valparaíso (Chile),  
Dmax: 1.24 cm, Fmax: 98.84 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

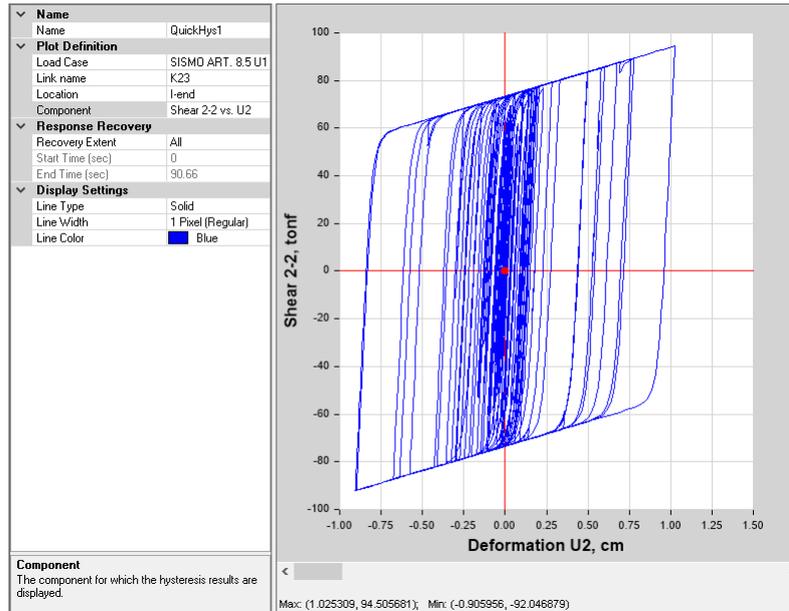


Figura N° 74: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Artificial Grado 8.5  
Escala Richter, Dmax: 1.03 cm, Fmax: 94.51 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

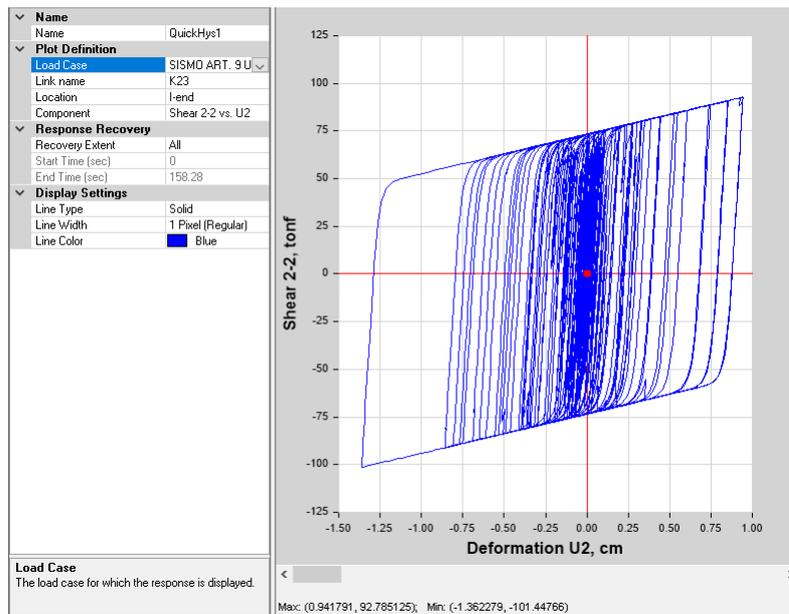


Figura N° 75: Diagrama Histerético de disipador SLB3\_50\_7, Séptimo nivel, Sismo Artificial Grado 9  
Escala Richter, Dmax: 1.36 cm, Fmax: 101.45 ton  
Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

## 6.5. Respuesta energética del Sistema

Los siguientes gráficos muestran el cuadro energético de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) sometida a los registros sísmicos. El porcentaje de energía que reciben los disipadores varía entre 27.6% a 58.5% evitando que la estructura reciba todo el daño. (Ver Figura N° 76 – 82)

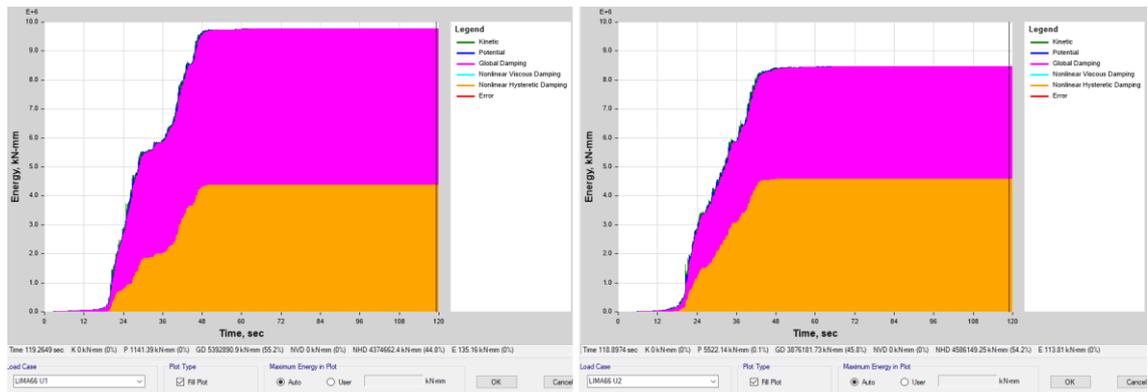


Figura N° 76: Respuesta energética del sistema - Sismo Lima 1966

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

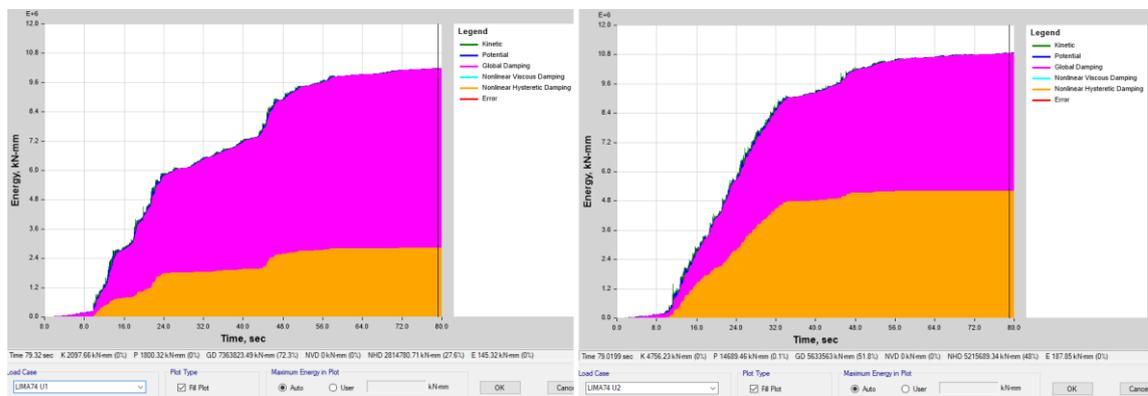


Figura N° 77: Respuesta energética del sistema - Sismo Lima 1974

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

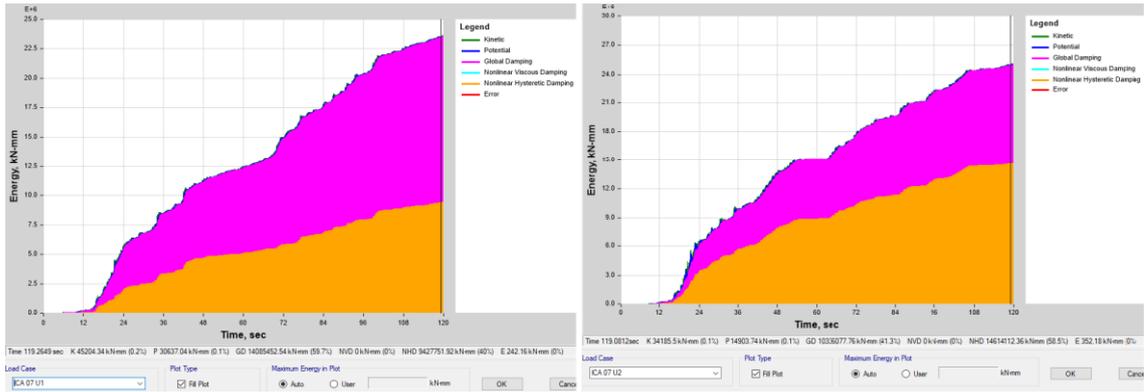


Figura N° 78: Respuesta energética del sistema - Sismo Ica 2007

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

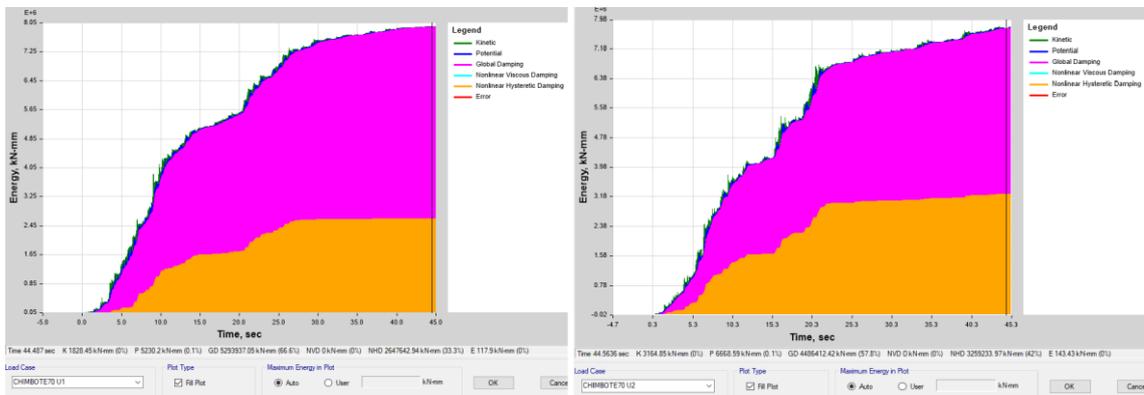


Figura N° 79: Respuesta energética del sistema - Sismo Chimbote 1970

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

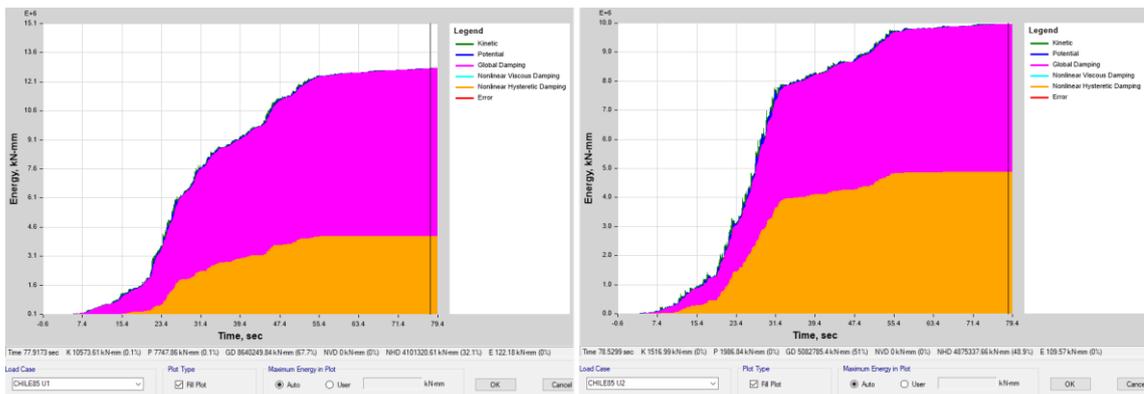


Figura N° 80: Respuesta energética del sistema - Sismo Valparaíso (Chile) 1985

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

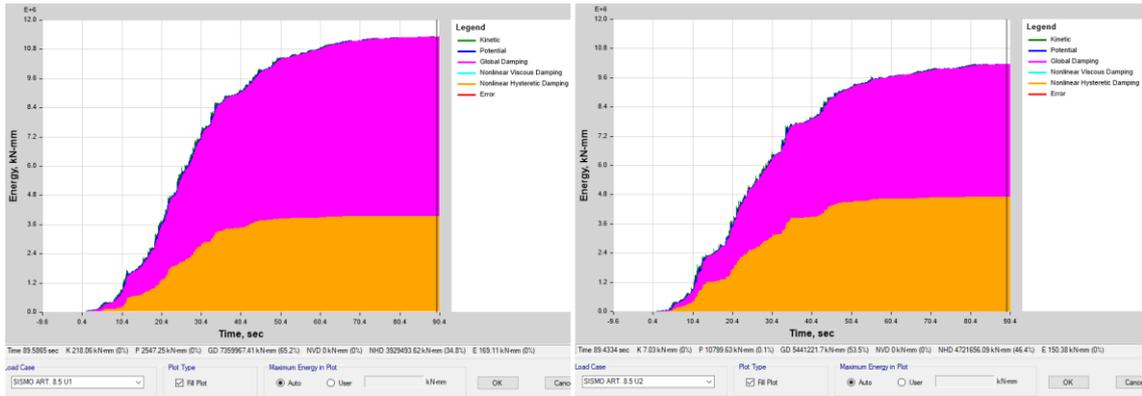


Figura N° 81: Respuesta energética del sistema - Sismo artificial grado 8.5 Escala de Richter

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

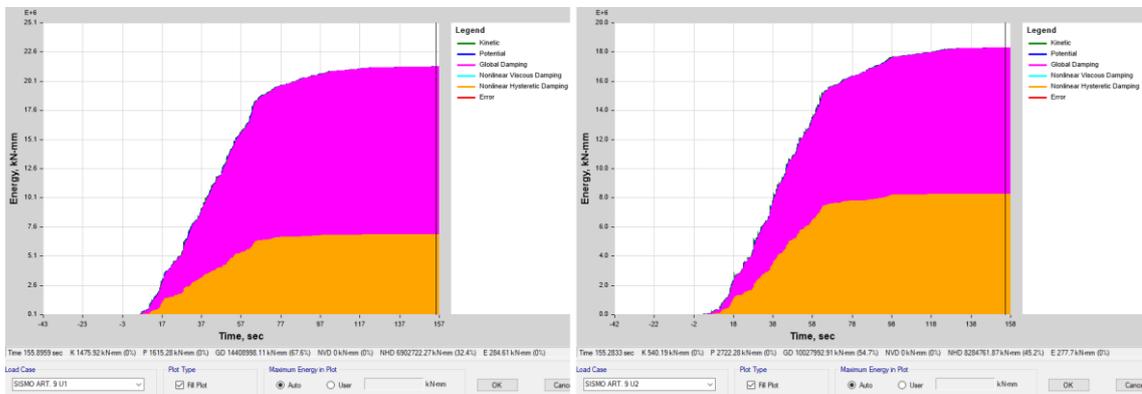


Figura N° 82: Respuesta energética del sistema - Sismo artificial grado 9.0 Escala de Richter

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

# CAPÍTULO VII: PRESENTACIÓN E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

## 7.1. Análisis e Interpretación de los resultados

### 7.1.1. Comparación de las derivas de la estructura sin y con disipadores hysteréticos tipo SLB

- Sismo en dirección X:

Se compararon las derivas de entrepiso del edificio reforzado sísmicamente con disipadores SLB y del edificio sin reforzamiento sísmico. Se observa que la deriva de entre piso del edificio con reforzamiento sísmico es menor a la permitida por la Norma Técnica Peruana E.030. La reducción en su punto máximo es de un 52.10%. (Ver Figura N° 83)

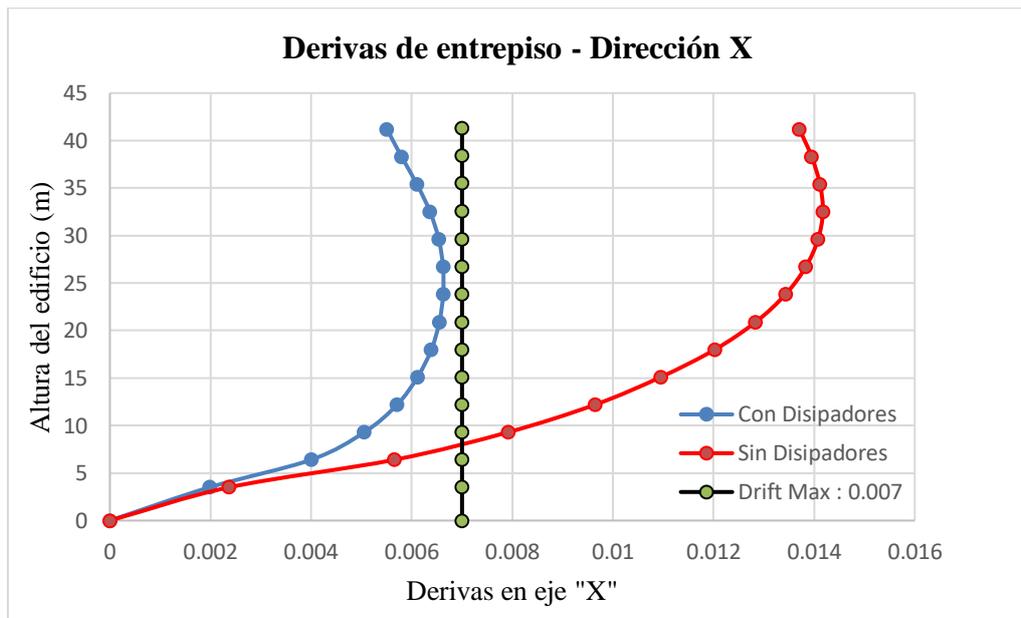


Figura N° 83: Derivas de entrepiso - Dirección X

Fuente: Elaboración propia

Las derivas de entrepiso de la estructura han cambiado después del reforzamiento sísmico con disipadores SLB, obteniendo hasta un 59.70% de reducción en la dirección X. (Ver Tabla N° 28)

Tabla N° 28: Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso por nivel – Dir. X

<b>Porcentaje de reducción de derivas por nivel con respecto a la estructura reforzada - Dirección X</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Estructura sin disipadores</b>	<b>Estructura con disipadores</b>	<b>Reducción</b>
Nivel 14	0.0137	0.0055	59.70%
Nivel 13	0.0140	0.0058	58.35%
Nivel 12	0.0141	0.0061	56.66%
Nivel 11	0.0142	0.0064	55.04%
Nivel 10	0.0141	0.0065	53.52%
Nivel 9	0.0138	0.0066	52.10%
Nivel 8	0.0134	0.0066	50.66%
Nivel 7	0.0128	0.0066	48.96%
Nivel 6	0.0120	0.0064	46.83%
Nivel 5	0.0110	0.0061	44.13%
Nivel 4	0.0096	0.0057	40.75%
Nivel 3	0.0079	0.0050	36.34%
Nivel 2	0.0057	0.0040	30.20%
Nivel 1	0.0024	0.0019	19.71%

Fuente: Elaboración propia

- Sismo en dirección Y:

Se compararon las derivas de entrepiso del edificio reforzado sísmicamente con disipadores SLB y del edificio sin reforzamiento sísmico. Se observa que la deriva de entre piso del edificio con reforzamiento sísmico es menor a la permitida por la Norma Técnica Peruana E.030. La reducción en su punto máximo es de un 52.04%. (Ver Figura N° 84)

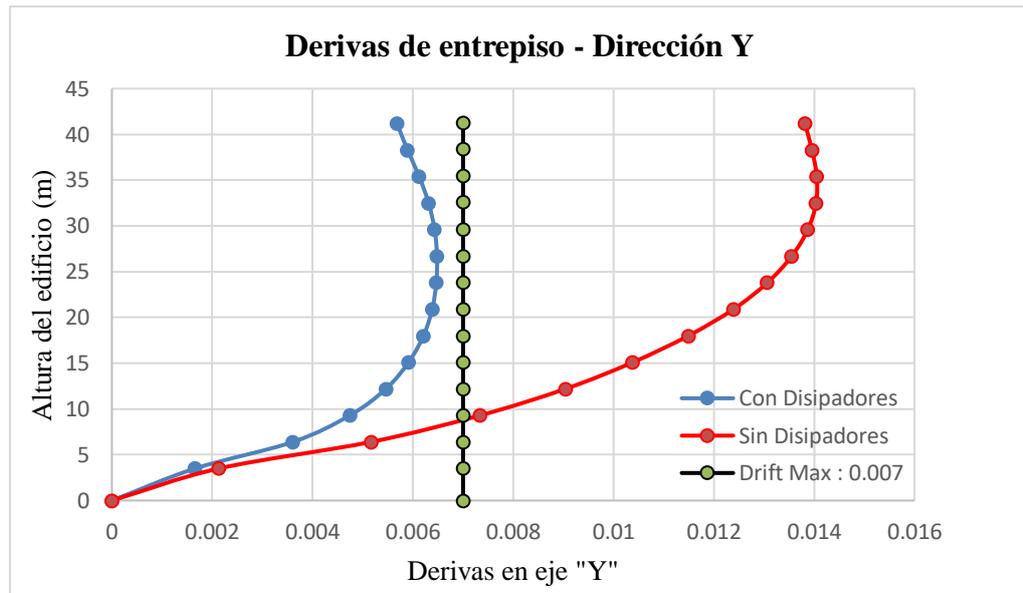


Figura N° 84: Derivas de entrepiso - Dirección Y

Fuente: Elaboración propia

Las derivas de entrepiso de la estructura han cambiado después del reforzamiento sísmico con disipadores SLB, obteniendo hasta un 58.80% en la dirección Y. (Ver Tabla N° 29)

Tabla N° 29: Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso por nivel – Dir. Y

<b>Porcentaje de reducción de derivas por nivel con respecto a la estructura reforzada - Dirección Y</b>			
<b>Nivel</b>	<b>Estructura sin disipadores</b>	<b>Estructura con disipadores</b>	<b>Reducción</b>
Nivel 14	0.0138	0.0057	58.80%
Nivel 13	0.0140	0.0059	57.73%
Nivel 12	0.0141	0.0061	56.37%
Nivel 11	0.0140	0.0063	54.97%
Nivel 10	0.0139	0.0064	53.53%
Nivel 9	0.0136	0.0065	52.04%
Nivel 8	0.0131	0.0065	50.35%
Nivel 7	0.0124	0.0064	48.30%
Nivel 6	0.0115	0.0062	45.77%
Nivel 5	0.0104	0.0059	42.84%
Nivel 4	0.0090	0.0055	39.41%
Nivel 3	0.0073	0.0047	35.34%
Nivel 2	0.0052	0.0036	30.50%
Nivel 1	0.0021	0.0016	23.65%

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.2. Comparación de períodos de la estructura sin y con reforzamiento

Los períodos de la estructura han cambiado después del reforzamiento sísmico con disipadores SLB, obteniendo hasta un 44.01% de reducción. (Ver Tabla N° 30)

Tabla N° 30: Porcentaje de reducción de períodos con respecto a cada modo

<b>Porcentaje de reducción de períodos con respecto a cada modo – Estructura sin y con disipadores SLB.</b>			
<b>Modo</b>	<b>Período sin disipadores</b>	<b>Período con disipadores</b>	<b>Reducción</b>
1	2.471	1.542	37.60%
2	2.247	1.258	44.01%
3	0.665	0.647	2.71%
4	0.521	0.407	21.88%
5	0.502	0.346	31.08%
6	0.208	0.190	8.65%
7	0.202	0.180	10.89%
8	0.191	0.167	12.57%
9	0.125	0.118	5.60%
10	0.116	0.106	8.62%
11	0.110	0.103	6.36%
12	0.083	0.079	4.82%

Fuente: Elaboración propia

### 7.1.3. Porcentaje de energía que toman los disipadores con respecto a la estructura global

La filosofía de diseño sismo resistente contempla que la estructura sea quien asuma el 100% de las cargas sísmicas. La estructura reforzada sísmicamente no solo reduce las derivas de entre piso, sino que también protegen la estructura reduciendo el porcentaje de energía disipada por los elementos estructurales (columna, placas y vigas) de 100% hasta 40%.

- Eventos sísmicos en dirección X:

En el eje X la capacidad de absorción de los disipadores fue de hasta un 44.80% y el promedio de absorción es de 35.00%. (Ver Tabla N° 31)

Tabla N° 31: Porcentaje de Energía de disipación EO (Este-Oeste) – Dir. X

<b>Porcentaje de Energía de disipación EO (Este-Oeste) – Dir. X</b>		
<b>Evento Sísmico</b>	<b>Energía Disipada por la estructura</b>	<b>Energía Disipada por los disipadores</b>
Lima 1966	55.20%	44.80%
Lima 1974	72.30%	27.60%
Ica 2007	59.70%	40.00%
Chimbote 1970	66.60%	33.30%
Chile 1985	67.70%	32.10%
Sismo Arf. 8.5 (Richter)	65.20%	34.80%
Sismo Arf. 9.0 (Richter)	67.60%	32.40%
<b>Promedio</b>	<b>64.90%</b>	<b>35.00%</b>

Fuente: Elaboración propia

- Eventos sísmicos en dirección Y:

En el eje y la capacidad de absorción de los disipadores fue de hasta un 58.50% y el promedio de absorción es de 49.03%. (Ver Tabla N° 32)

Tabla N° 32: Porcentaje de Energía de disipación NS (Norte-Sur) – Dir. Y

<b>Porcentaje de Energía de disipación NS (Norte-Sur) – Dir. Y</b>		
<b>Evento Sísmico</b>	<b>Energía Disipada por la estructura</b>	<b>Energía Disipada por los disipadores</b>
Lima 1966	45.80%	54.20%
Lima 1974	51.80%	48.00%
Ica 2007	41.30%	58.50%
Chimbote 1970	57.80%	42.00%
Chile 1985	51.00%	48.90%
Sismo Arf. 8.5 (Richter)	53.50%	46.40%
Sismo Arf. 9.0 (Richter)	54.70%	45.20%
<b>Promedio</b>	<b>53.30%</b>	<b>49.03%</b>

Fuente: Elaboración propia

## 7.2. Contrastación de Hipótesis

- Hipótesis principal

<p>La respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima, mejorará significativamente con respecto al sistema convencional siendo posible cumplir con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), dado que por tratarse de una estructura antigua fue diseñada con otros parámetros.</p>	<p>La respuesta sísmica de la estructura reforzada sísmicamente con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) cumplió con nuestra expectativa en reforzar sísmicamente la estructura y cumplir con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018) en las derivas de entrepiso y protegiendo la estructura global.</p>
--	---

- Hipótesis secundarias

<p>Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrán reducir las derivas de entrepiso entre un 10% a 40%</p>	<p>Las derivas de entrepiso se redujeron entre un 19.71% a 59.7% por medio del reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB).</p>
<p>Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrá reducir el período de vibración entre un 10% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.</p>	<p>El periodo de la estructura se ha reducido en un 37.60% en el primer modo, 44.01 % en el segundo modo y 2.71% en el tercer modo.</p>
<p>Los disipadores histeréticos tipo SLB podrán recibir un porcentaje de energía sísmica entre un 20% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.</p>	<p>La energía sísmica que recibieron los disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB), ha sido calculada en un rango de 27.6% a 58.5%.</p>

## CONCLUSIONES

- 1) La reducción de derivas de entrepiso en la dirección X fue de 0.0134 (sin disipadores) a 0.0066 (con disipadores) en el 7mo nivel, lo que significó una reducción de 50.66%, mientras que en la dirección Y fue de 0.00131 (sin disipadores) a 0.0064 (con disipadores) en el 7mo nivel, lo que significó una reducción de 48.30%. Ambas reducciones de derivas de entrepiso han cumplido satisfactoriamente con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018).
- 2) En el análisis no lineal se comprobó que el porcentaje de absorción de energía sísmica por parte de los disipadores fue de un 40.00% permitiendo que la absorción de la estructura global se reduzca de un 100% a 59.70% para el registro de ICA 2007 en el eje X, mientras que para el eje Y fue de un 58.50%, permitiendo que la absorción de energía sísmica por parte de la estructura global se reduzca de un 100% a 41.30%. Cumpliendo con el objetivo de proteger la estructura al reducir el completo impacto sobre ella.
- 3) El período en el modo 1 de la estructura se redujo de 2.41 segundos (sin disipadores) a 1.542 segundos (con disipadores), lo que significó una reducción de 37.60%. Adicionalmente la estructura posee 14 niveles lo que significa que un período razonable sería de  $0.1 \times 14 = 1.4$  segundos de forma empírica. Comparado con nuestro resultado de 1.542 con 1.4 segundos, concluimos que es un período razonable para la cantidad de niveles de la estructura.

## RECOMENDACIONES

- 1) Realizar varias iteraciones con respecto a la elección de disipadores. La deriva de entrepiso puede cambiar si se asigna un disipador con mayor fuerza de plastificación.
- 2) Se recomienda que para el análisis de edificios existentes de concreto armado sea usado las reducciones de momentos de inercia recomendadas por la Norma internacional ACI 318-19, Capítulo 6, debido a los posibles agrietamientos que pueden sufrir la estructura a lo largo de su vida útil. Esta aplicación significará un incremento de período y deriva de entrepiso en la estructura, haciendo que el reforzamiento sísmico tenga mayor demanda con respecto a que si no se considerara las reducciones de inercia.
- 3) Realizar una recolección de registros sísmicos cercanos a la estructura o generar registros artificiales con el mismo tipo de falla técnica y velocidad de propagación con respecto a la zona de estudio.
- 4) La obtención de la curva de capacidad de una estructura varía cuando se refuerza. El Análisis Estático no lineal Push Over es un método para obtener la curva de capacidad de una estructura reforzada con disipadores SLB.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI 318-19 (2019). *Building Code Requirements for Structural Concrete*. Michigan – USA.
- Aguiar R, Rodriguez M, Mora D. (2016). *Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS*, Barcelona – España.
- Aguiar R. & Bozzo L. & Mora D. & Silva H. & Caiza P. & Coyago H. (2016). *Protocolo de instalación de disipadores Shear Link Bozzo SLB40\_3 y placas Gusset en bloque estructural 4 de la UFA-ESPE*. Sangolquí – Ecuador.
- Arriaga G. (2018). *Modelación numérica no lineal de un marco de concreto reforzado, equipado con disipadores de energía sísmica*: (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional Autónoma de México, Ciudad de México – México.
- Bozzo L. (2017). *Filosofía del diseño de proyectos con disipación de energía: casos de estudio, diseño de proyectos con disipación de energía*. Barcelona – España.
- Bozzo L. (2018). *Disipadores SLB para diseño sismorresistente*. Barcelona – España.
- Bozzo L. (2019). *Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB*. Lima – Perú.
- Castaldo P. (2014). *Integrated Seismic Desing of Structure and Control Systems*. Salerno – Italia: Editorial Springer.
- Chinga M. (2018). *Mejoramiento del comportamiento estructural utilizando disipadores sísmicos tipo SLB para reducir daños sísmicos de un edificio multifamiliar de 6 niveles más un sótano en la ciudad de Huacho – Perú*: (Tesis de Pregrado) Universidad Nacional José Faustino Sánchez Carrión.
- ETABS (2017). *Integrated Building Design Software, v.17.0.1, Computers and Structures, Inc., (CSI)*. California – USA.
- Fernández J. y Subía M. (2014). *Análisis no lineal estático: evaluación del desempeño de una estructura de hormigón y una de acero diseñada usando los códigos asce 7-10 y nec 11 mediante el código asce 41-06*: (Tesis de Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Quito – Ecuador.

- García L. (1998). *Dinámica Estructural aplicada al diseño sísmico*, Bogotá – Colombia: Editorial Universidad de los Andes.
- Gatica V. (2012). *Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores. Alternativas de diseño*: (Tesis de Maestría) Universidad Politécnica de Madrid, Madrid – España.
- Hurtado F. (2006). *Propuesta de disipador genérico “SL” para edificios y su diseño sismorresistente*: (Tesis Doctoral) Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona – España.
- López C. y Miranda J. (2015). *Evaluación de la capacidad estructural de un centro comercial sometido a los sismos de los años 1966, 1970 y 1974 en el distrito de cercado de Lima – Perú*: (Tesis de Pregrado) Universidad Ricardo Palma.
- MVCS (2006). *Norma Técnica E.020 Cargas*. Lima – Perú.
- MVCS (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima – Perú.
- Nuzzo L. & Losanno D. & Serino G. & Bozzo L. (2015). *A Seismic-resistant Precast r.c. System equipped with Shear Link Dissipators for Residential Buildings*. Nápoles – Italia.
- Pall A. & Marsh C. (1982). *Response of friction damped braced frames*. Montreal – Canadá.
- Palazzo G. & Crisafulli F. (2015). *Evaluación de la eficiencia de disipadores por fluencia usados para la rehabilitación de pórticos*, Mendoza – Argentina.
- Piqué J. (s.f.). *Sistemas de un grado de libertad*, Lima – Perú.
- Segovia J. (2016). *Diseño de disipadores de energía metálicos para una edificación de baja altura de concreto armado*: (Tesis de Maestría) Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima – Perú.
- Seismosoft, earthquake engineering software solutions (2018). *SeismoSignal v.2018*. Pavía – Italia.
- Seismosoft, earthquake engineering software solutions (2018). *SeismoMatch v.2018*. Pavía – Italia.

Somarriba M. (2012). *Efecto de los disipadores metálicos de energía tipo “Adas” y “Tadas” en la respuesta sísmica de un edificio irregular*: (Tesis de Pregrado)  
Universidad Nacional de Ingeniería, Managua – Nicaragua.

Symans M. & Charney F. & Whittaker A. & Constantinou M. & Kircher C. & Johnson M. & McNamara R. (2008). *Energy Dissipation Systems for Seismic Applications: Current Practice and Recent Developments*, New York – USA.

## **ANEXOS**

Anexo 1: Matriz de Consistencia.

Anexo 2: Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo.

Anexo 3: Lista de precios de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB).

Anexo 4: Modelación del edificio de 14 niveles en el programa ETABS – Vista en Planta.

Anexo 5: Plano de Arquitectura del edificio de 14 niveles (Piso Típico).

Anexo 6: Plano de Estructuras del edificio de 14 niveles (Piso Típico).

Anexo 7: Plano de disipador histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB).

Anexo 8: Plano de Reforzamiento sísmico – Diagonales tipo Chevron + SLB.

## **Anexo 1: Matriz de Consistencia**

<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPÓTESIS</b>	<b>VARIABLES</b>	<b>INDICADORES</b>	<b>ÍNDICES</b>	<b>METODOLOGÍA</b>
<b>Problema General</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipótesis Principal</b>	<b>Var. Independiente</b>			
¿Cómo mejorar la respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima?	Mejorar la respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima.	La respuesta sísmica utilizando disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB) en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima, mejorará significativamente con respecto al sistema convencional siendo posible cumplir con la Norma Técnica Peruana E.030 (2018), dado que por tratarse de una estructura antigua fue diseñada con otros parámetros.	Análisis no lineal Tiempo - Historia.	Respuesta sísmica del edificio.	Adimensional, kN-mm, segundos.	Cuantitativa experimental longitudinal de tendencia.
<b>Problemas Específicos</b>	<b>Objetivos Específicos</b>	<b>Hipótesis Secundarias</b>				
¿En cuánto difieren las derivas de entrepiso de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB?	Determinar en cuánto difieren las derivas de entrepiso de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB.	Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrán reducir las derivas de entrepiso entre un 10% a 40%	Análisis Modal Espectral.	Derivas de entrepiso sin y con disipadores SLB.	Adimensional.	Cuantitativa experimental transversal correlacional.
¿Cuál es el porcentaje de reducción del período de vibración de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la estructura sin reforzar?	Determinar el porcentaje de reducción del período de vibración de la estructura reforzada con disipadores histeréticos tipo SLB.	Mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB, se podrá reducir el período de vibración entre un 10% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.	<b>Var. Dependiente</b>	Porcentaje de reducción del período de la estructura.	Segundos (%)	Cuantitativa experimental transversal correlacional.
			Análisis comparativo de períodos de la estructura sin y con disipadores histeréticos tipo SLB.			
¿Cuál es el porcentaje de energía que toman los disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la disipación global de la estructura por cada evento sísmico?	Determinar el porcentaje de energía que toman los disipadores histeréticos tipo SLB con respecto a la energía total que produce el sismo por cada evento sísmico.	Los disipadores histeréticos tipo SLB podrán recibir un porcentaje de energía sísmica entre un 20% a 30%, según la disposición y cantidad de el mismo en la estructura.	Respuesta energética del sistema.	Energía disipada por cada evento sísmico.	kN-mm (%)	Cuantitativa experimental longitudinal de tendencia.

## **Anexo 2: Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo**

Parámetros de diseño para los disipadores SHEAR LINK BOZZO											
Dispositivo	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	K <sub>1</sub> (KN/cm)	K <sub>2</sub> (KN/cm)	D <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>máx</sub> (KN)	E <sub>D</sub> (KN.cm)	
SLB2 6_2	19	13	-	2	363.33	9.75	0.980	35.60	69.01	87.08	
SLB2 6_3	19	13	-	3	397.80	10.75	1.031	41.00	79.21	99.25	
SLB2 6_4	19	13	-	4	421.73	11.65	1.065	44.90	88.58	108.31	
SLB2 6_5	19	13	-	5	439.60	12.78	1.078	47.40	96.67	115.18	
SLB2 8_2	19	15	-	2	592.87	13.86	0.811	48.10	92.76	119.78	
SLB2 8_3	19	15	-	3	676.27	15.38	0.858	58.00	107.57	141.77	
SLB2 8_4	19	15	-	4	737.00	16.28	0.900	66.30	120.87	159.39	
SLB2 8_5	19	15	-	5	784.27	17.43	0.927	72.70	133.29	173.71	
SLB2 10_2	19	20	-	2	893.40	19.15	0.761	68.00	128.71	168.89	
SLB2 10_3	19	20	-	3	1039.13	21.57	0.780	81.10	148.63	198.84	
SLB2 10_4	19	20	-	4	1149.53	22.96	0.809	93.00	166.26	224.54	
SLB2 10_5	19	20	-	5	1237.80	14.93	0.906	112.20	182.26	246.55	
SLB2 15_2	19	20	-	2	1571.47	31.17	0.648	101.80	199.61	258.66	
SLB2 15_3	19	20	-	3	1961.47	37.36	0.643	126.10	240.45	318.16	
SLB2 15_4	19	20	-	4	2290.27	42.03	0.654	149.70	276.57	373.16	
SLB2 15_5	19	20	-	5	2575.60	45.69	0.670	172.50	310.13	424.52	
SLB2 20_2	19	25	5	2	2073.33	37.83	0.601	124.60	243.14	316.64	
SLB2 20_3	19	25	5	3	2630.13	46.27	0.597	156.90	298.30	396.26	
SLB2 20_4	19	25	5	4	3105.53	53.03	0.606	188.30	348.53	470.63	
SLB2 20_5	19	25	5	5	3520.20	58.63	0.620	218.40	395.71	540.18	
SLB3 25_2	25	30	5	2	3214.07	58.98	0.606	194.80	383.50	494.69	
SLB3 25_3	25	30	5	3	4046.67	70.69	0.589	238.20	457.15	602.54	
SLB3 25_4	25	30	5	4	4783.20	81.04	0.585	279.60	526.49	703.70	
SLB3 25_5	25	30	5	5	5447.47	90.85	0.586	319.00	592.39	799.88	
SLB3 25_6	25	30	5	6	6064.13	99.65	0.589	357.10	655.63	891.48	
SLB3 25_7	25	30	5	7	6644.13	107.41	0.594	394.50	716.83	979.51	
SLB3 25_8	25	30	5	8	7191.47	114.57	0.599	430.70	776.40	1064.12	
SLB3 25_9	25	30	5	9	7711.07	120.73	0.605	466.40	834.90	1145.71	
SLB3 30_2	25	30	5	2	3666.73	64.22	0.578	212.10	415.33	539.19	
SLB3 30_3	25	30	5	3	4717.00	78.76	0.563	265.70	507.23	672.79	
SLB3 30_4	25	30	5	4	5661.33	92.21	0.560	316.90	594.62	799.16	
SLB3 30_5	25	30	5	5	6525.67	104.99	0.561	366.10	678.62	920.34	
SLB3 30_6	25	30	5	6	7336.60	116.45	0.565	414.20	759.77	1036.63	
SLB3 30_7	25	30	5	7	8106.07	126.92	0.569	461.30	838.79	1149.06	
SLB3 30_8	25	30	5	8	8840.00	135.98	0.575	508.00	915.50	1257.99	
SLB3 30_9	25	30	5	9	9542.20	145.74	0.579	552.50	992.12	1363.85	
SLB3 40_2	25	30	5	2	4571.07	76.44	0.543	248.30	482.60	634.54	
SLB3 40_3	25	30	5	3	6043.67	97.23	0.531	321.00	609.64	817.79	
SLB3 40_4	25	30	5	4	7393.67	116.17	0.530	391.60	732.20	993.03	
SLB3 40_5	25	30	5	5	8650.00	133.79	0.533	460.80	851.48	1162.82	
SLB3 40_6	25	30	5	6	9843.00	149.92	0.537	528.70	967.95	1327.13	
SLB3 40_7	25	30	5	7	10988.00	165.19	0.542	595.40	1082.30	1487.36	
SLB3 40_8	25	30	5	8	12091.27	179.81	0.547	660.90	1195.00	1643.93	
SLB3 40_9	25	30	5	9	13156.07	194.00	0.551	725.10	1306.30	1797.11	
SLB3 50_2	25	30	5	2	5479.60	88.67	0.520	284.90	551.27	730.67	
SLB3 50_3	25	30	5	3	7367.13	114.64	0.512	377.50	713.65	963.00	
SLB3 50_4	25	30	5	4	9116.00	138.30	0.513	468.10	871.40	1186.77	
SLB3 50_5	25	30	5	5	10759.13	160.81	0.518	557.00	1025.70	1404.77	
SLB3 50_6	25	30	5	6	12328.87	181.80	0.523	644.40	1177.30	1616.83	
SLB3 50_7	25	30	5	7	13844.20	202.03	0.528	730.30	1326.80	1824.36	
SLB3 50_8	25	30	5	8	15312.67	221.80	0.532	814.70	1474.50	2028.05	
SLB3 50_9	25	30	5	9	16737.00	241.37	0.536	897.70	1621.20	2228.51	

Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo

Fuente: Bozzo, 2019, p. 5

Leyenda:

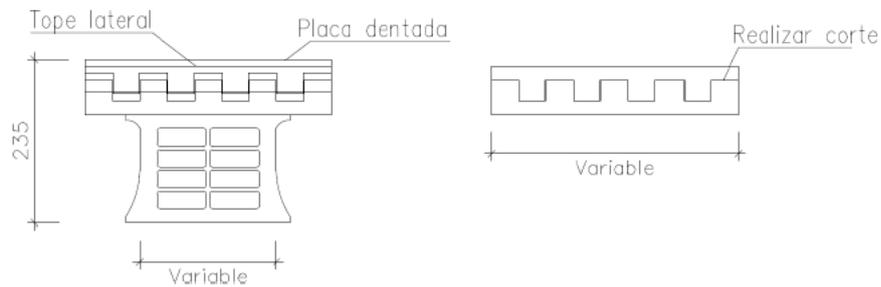
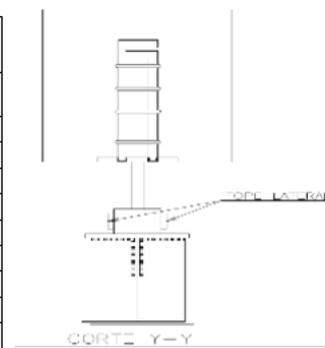
- K<sub>1</sub>: Rigidez inicial
- K<sub>2</sub>: Rigidez post-plastificación
- D<sub>y</sub>: Desplazamiento de plastificación
- F<sub>y</sub>: Fuerza de plastificación
- F<sub>máx</sub>: Fuerza máxima
- E<sub>D</sub>: Energía disipada

**Anexo 3: Lista de precios de disipadores  
histeréticos tipo Shear Link Bozzo (SLB)**

• **Precios de Disipadores histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB):**

**LISTA DE PRECIOS DISIPADORES SLB**

Item	DISIPADOR	TOTAL	PRECIO UNITARIO	SUB TOTAL
1	SL3-50-A	1	\$880.00	\$880.00
2	SL3-40-A	1	\$700.00	\$700.00
3	SL3-30-A	1	\$630.00	\$630.00
4	SL3-25-A	1	\$530.00	\$530.00
5	SL2-20-A	1	\$480.00	\$480.00
6	SL2-15-A	1	\$420.00	\$420.00
7	SL2-10-A	1	\$400.00	\$400.00
8	SL2-08-A	1	\$350.00	\$350.00
9	SL2-06-A	1	\$320.00	\$320.00



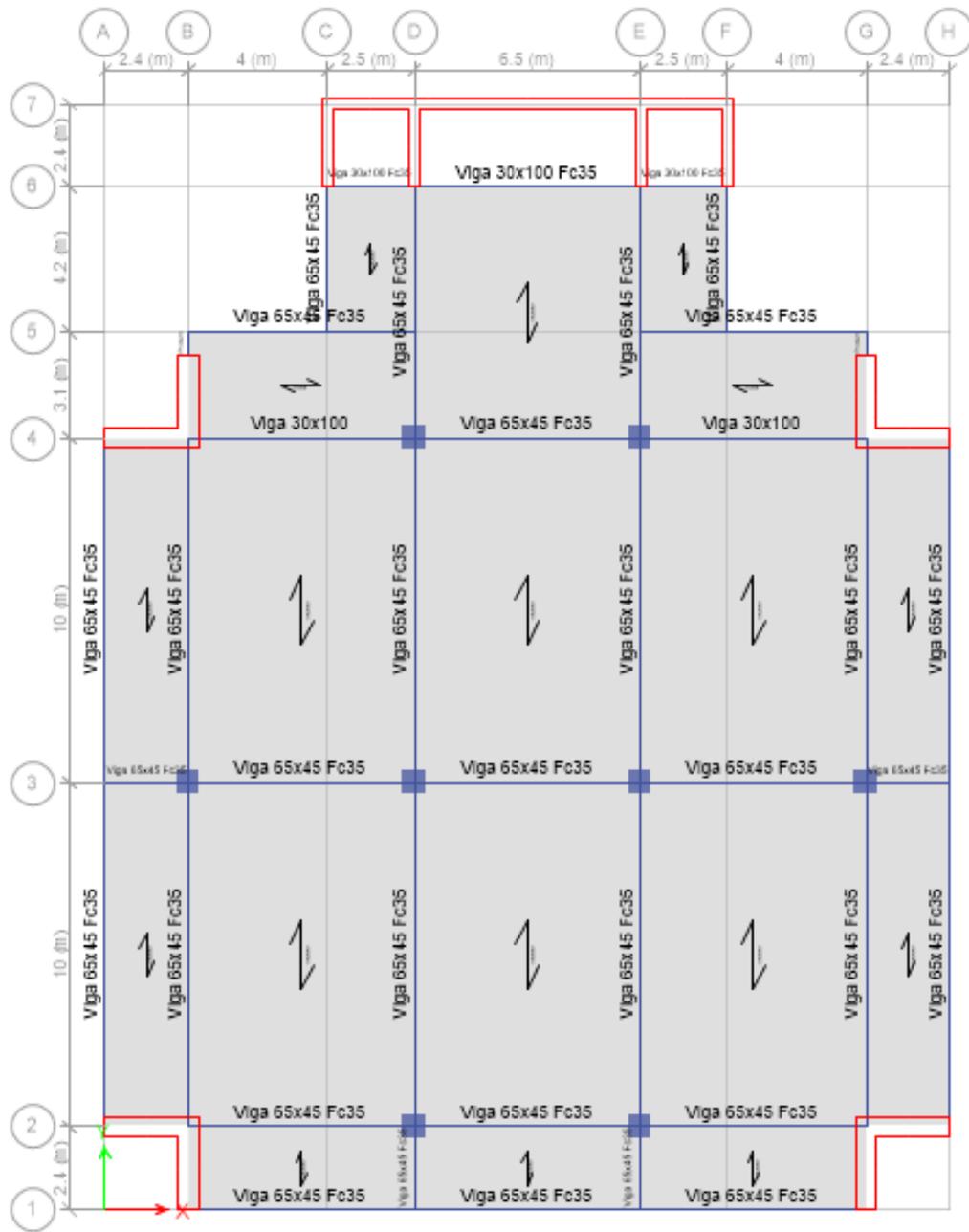
Fuente: Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.

• **Precio total de Disipadores histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB) en el edificio de 14 niveles:**

Costo de los disipadores SLB					
Piso	Tipo De Disipador				Costo (dólares)
	Eje 2		Eje B	Eje G	
Nivel 14	SLB3 40_7	SLB3 40_7	SLB3 50_6	SLB3 50_6	3,160.00
Nivel 13	SLB3 40_8	SLB3 40_8	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,160.00
Nivel 12	SLB3 40_8	SLB3 40_8	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,160.00
Nivel 11	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 10	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 9	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 8	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 6	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 5	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	SLB3 50_7	3,520.00
Nivel 4	SLB3 40_8	SLB3 40_8	SLB3 40_8	SLB3 40_8	2,800.00
Nivel 3	SLB3 40_7	SLB3 40_7	SLB3 40_6	SLB3 40_6	2,800.00
Nivel 2	SLB3 30_7	SLB3 30_7	SLB3 25_8	SLB3 25_8	2,320.00
Nivel 1	SLB3 25_2	SLB3 25_2	SLB2 20_4	SLB2 20_4	2,020.00
				Total:	44,060.00

Fuente: Elaboración Propia

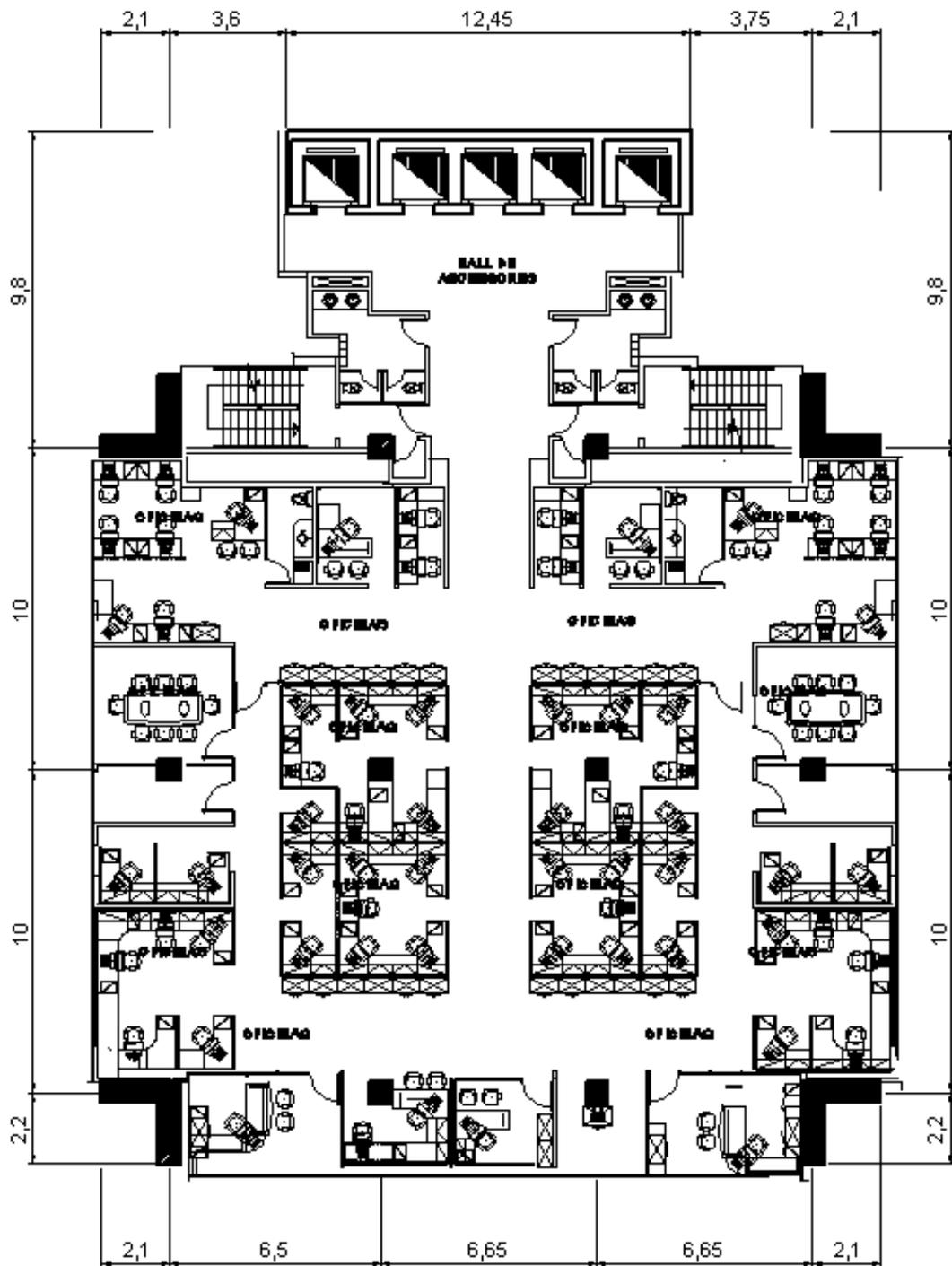
**Anexo 4: Modelación del edificio de 14 niveles en el programa ETABS – Vista en Planta**



Modelación del edificio de 14 niveles en el programa ETABS – Vista en Planta

Fuente: ETABS 2017 v.17.0.1

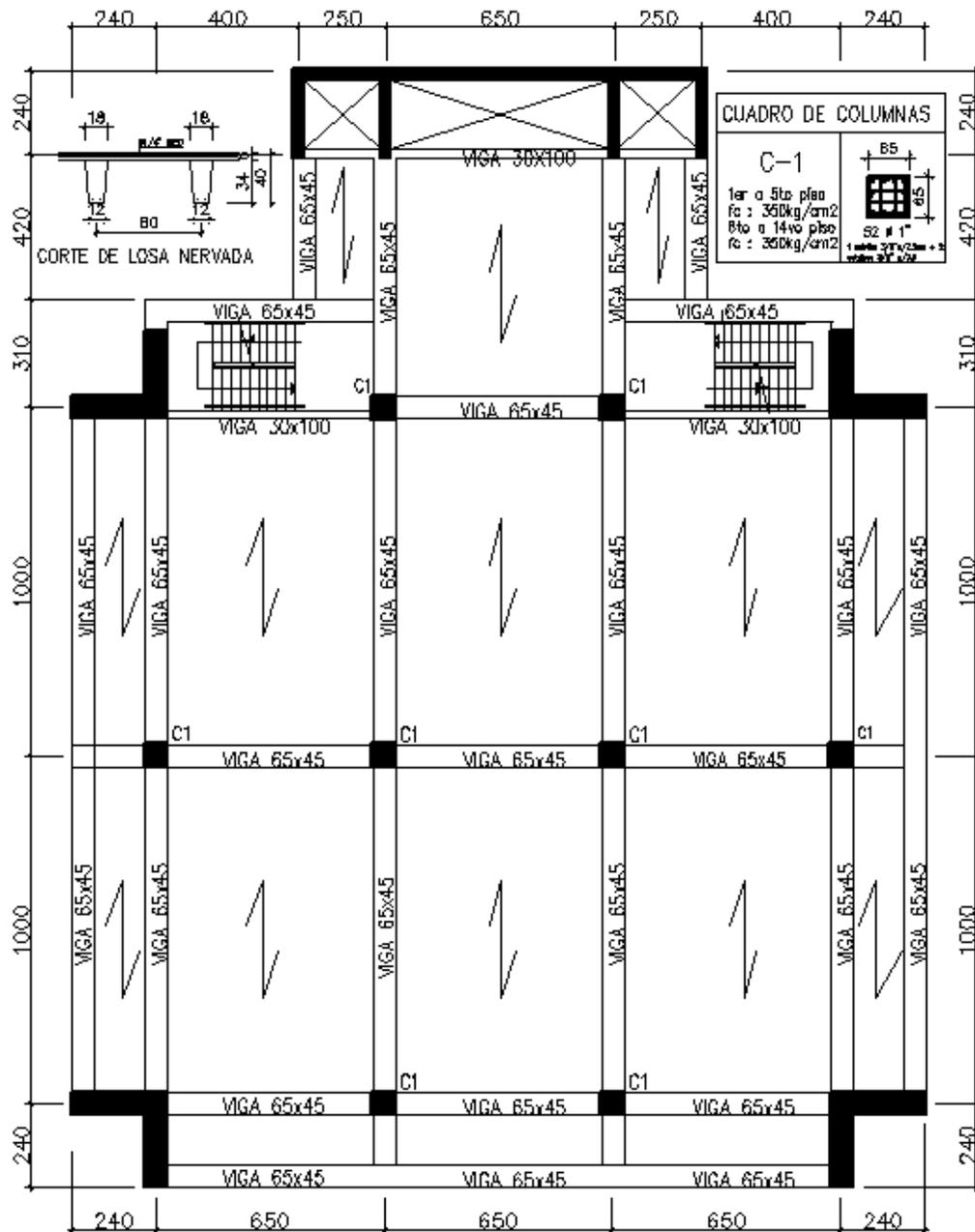
## **Anexo 5: Plano de Arquitectura del edificio de 14 niveles (Piso Típico)**



Plano de Arquitectura del edificio de 14 niveles (Piso Típico)

Fuente: Elaboración propia

## **Anexo 6: Plano de Estructuras del edificio de 14 niveles (Piso Típico)**

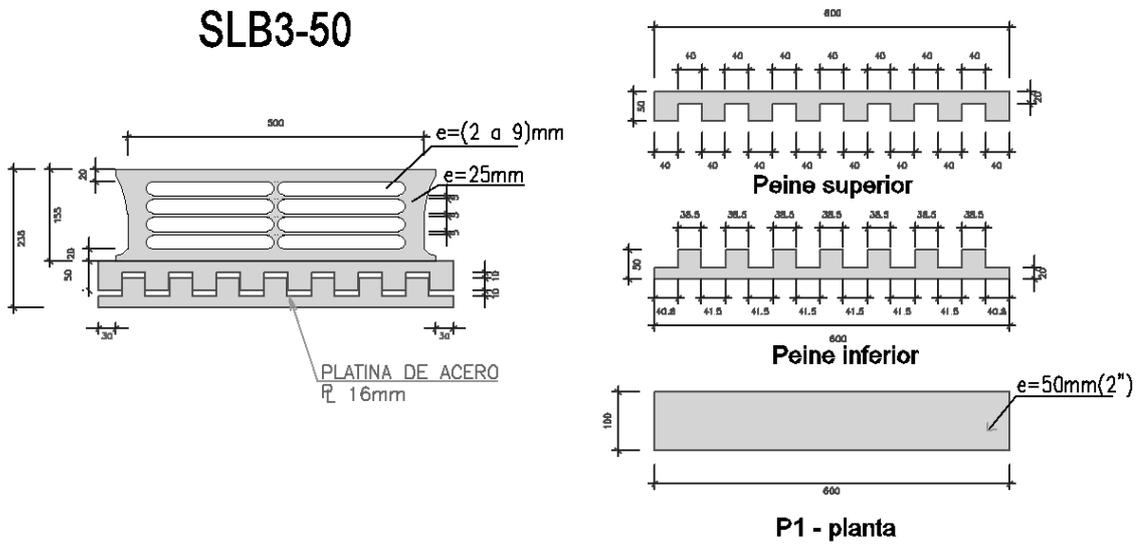


Plano de Estructuras del edificio de 14 niveles (Piso Típico)

Fuente: Elaboración propia.

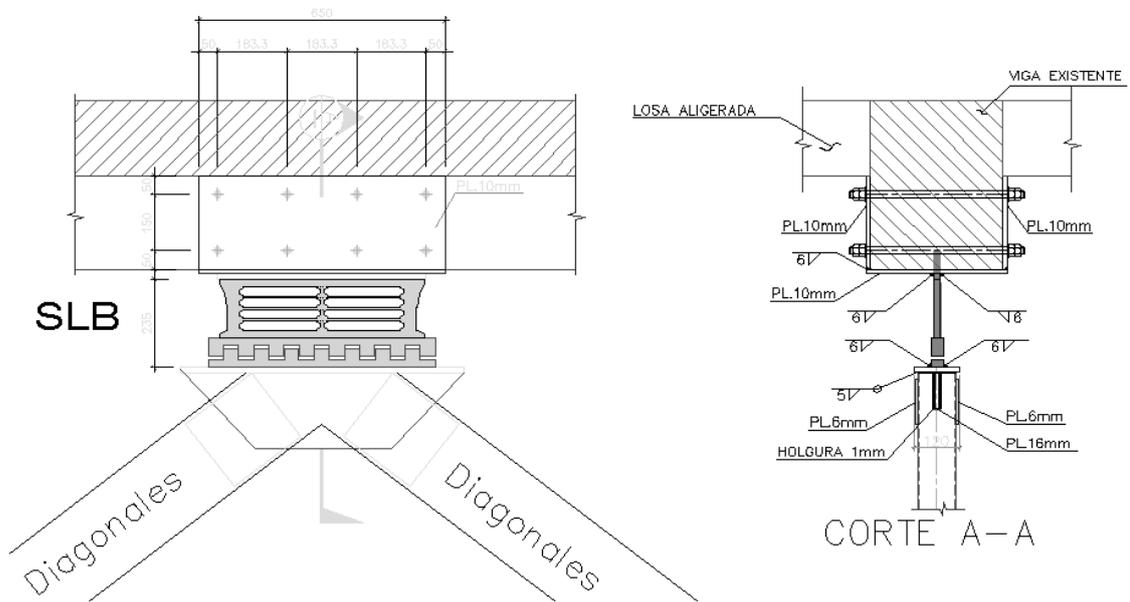
**Anexo 7: Plano de dissipador histerético  
tipo Shear Link Bozzo (SLB)**

• **Disipador histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB):**



Fuente: Elaboración propia

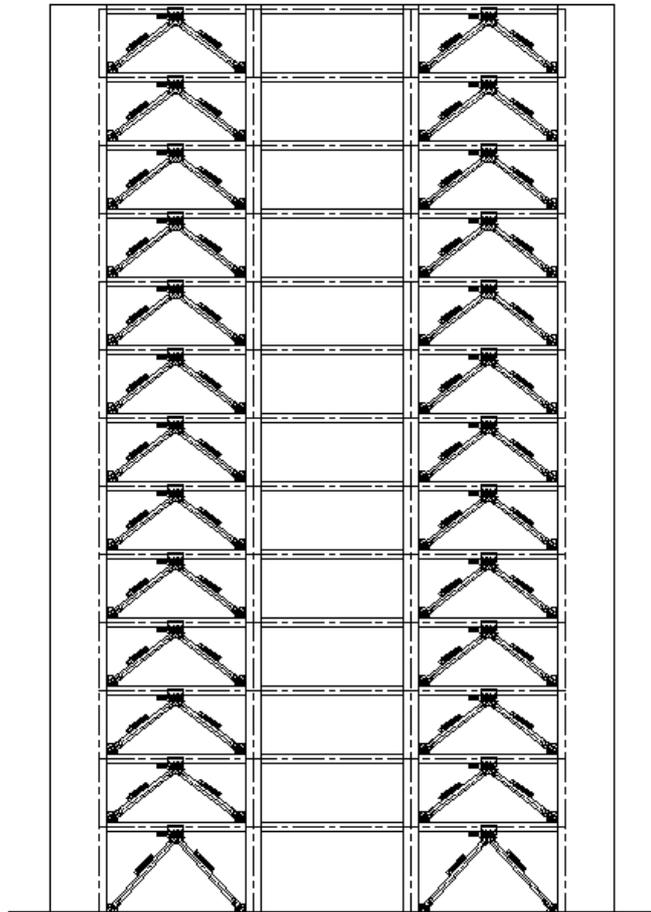
• **Conexión de disipador histerético tipo Shear Link Bozzo (SLB) a viga existente:**



Fuente: Elaboración propia

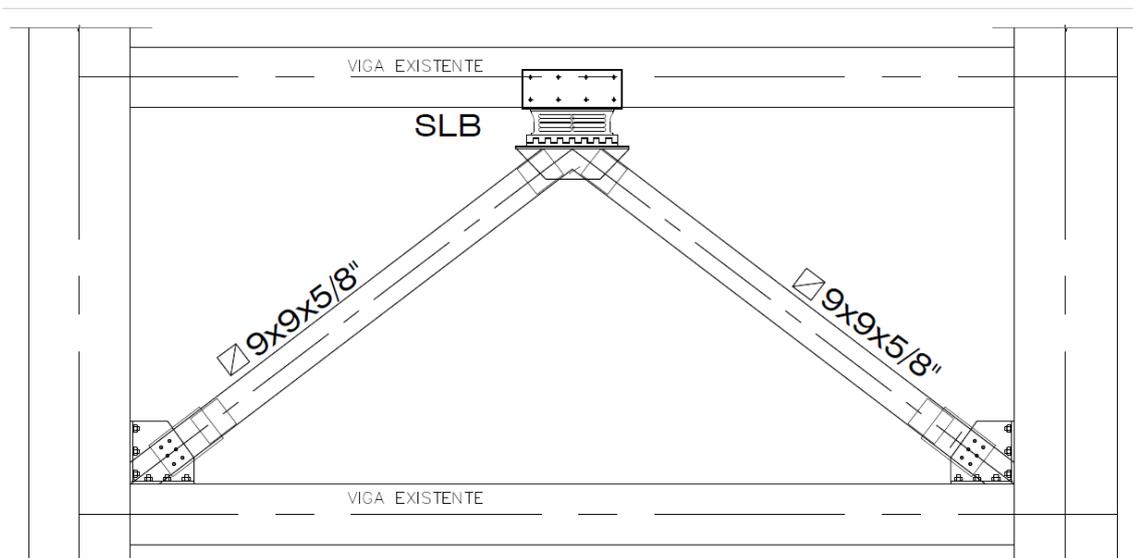
**Anexo 8: Plano de Reforzamiento  
sísmico – Diagonales tipo Chevron +  
SLB**

• Vista en elevación, eje 2:



Fuente: Elaboración propia

• Diagonales Chevron + Disipador SLB en pórtico, eje 2:



Fuente: Elaboración propia