



**UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**RESPUESTA SÍSMICA DE DOS EDIFICIOS DE ONCE Y OCHO  
NIVELES EN LA CIUDAD DE PUNO IMPLEMENTANDO  
DISIPADORES HISTERÉTICOS TIPO SHEAR LINK BOZZO**

**TESIS**

**PRESENTADA POR:**

**Bach. SALCEDO VILCA WILSON MOISES**

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERO CIVIL**

**PUNO – PERÚ**

**2022**



## DEDICATORIA

Primeramente, a:

A Dios, por protegerme y darme fortaleza frente a las adversidades, por mostrarme el mensaje de la hora que día a día con humildad y paciencia todo es viable.

Para el regalo más grande que me dio mi madre Margarita Vilca que es pieza fundamental de mis logros por haberme forjado personalmente, a mi hermanita Alexandra Salcedo, y hermanos; muchos de mis logros son gracias a ustedes entre las cuales incluyo éste.

A sí mismo a mi Pastor Demetrio Huallpa y su esposa Celia Quispe los cuales son el ejemplo de superación y sacrificio; mostrándome e impulsando a lograr todo con esfuerzo, gracias por creer en mí, ustedes son el cimiento incondicional a fin de conseguir mis metas y así formarme en el camino de esta hermosa profesión que es la Ingeniería Civil.



## AGRADECIMIENTOS

A mi Universidad Nacional del Altiplano, por contribuir en la educación de nuestra región y el país, abriéndome sus puertas al desarrollo profesional.

A mi director de tesis M.Sc. Ing. Yasmani Teófilo Vitulas Quille, por aceptar y guiarme desinteresadamente en esta investigación, mi más sincero agradecimiento.

A mis jurados de tesis Mg. Ing. Jaime Medina Leiva, Mg. Ing. Diana Elizabeth Quinto Gastiaturú, Ing. Fausto Ponciano Mamani Mamani.

Al Dr. Ing. Luis Bozzo, por todo el apoyo profesional y amabilidad prestada para la realización de esta investigación.

Al Ing. Raúl Fernando Echeagaray Chambi, por su valiosa amistad y amabilidad, le agradezco de corazón.

A todo el personal dentro de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, y personas que intervinieron de una u otra forma en el desarrollo de este trabajo de investigación de manera desinteresada.



# ÍNDICE GENERAL

Pág.

**DEDICATORIA**

**AGRADECIMIENTOS**

**ÍNDICE GENERAL**

**ÍNDICE DE FIGURAS**

**ÍNDICE DE TABLAS**

**ÍNDICE DE ACRÓNIMOS**

**RESUMEN** ..... 20

**ABSTRACT**..... 21

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUCCIÓN**

**1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**..... 23

**1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA** ..... 24

**1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN** ..... 24

1.3.1. Hipótesis general..... 24

1.3.2. Hipótesis específicas ..... 24

**1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO** ..... 25

**1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**..... 26

1.5.1. Objetivo general..... 26

1.5.2. Objetivos específicos. .... 26

## **CAPÍTULO II**

### **REVISIÓN DE LITERATURA**

**2.1. ANTECEDENTES**..... 27

2.1.1. Antecedentes internacionales..... 27



2.1.2. Antecedentes nacionales. ....	28
<b>2.2. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>30</b>
2.2.1. Técnicas de construcción. ....	30
2.2.2. Origen de los terremotos. ....	31
2.2.3. Terremotos importantes en el Perú. ....	31
2.2.4. Demandas de resistencia y ductilidad de terremotos peruanos.....	33
<b>2.3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA</b> .....	<b>36</b>
2.3.1. Sistemas de control activo.....	37
2.3.2. Sistema de control semi-activos.....	40
2.3.3. Sistema de control pasivo. ....	41
<b>2.4. DISPOSITIVOS DE SISTEMA PASIVOS:</b> .....	<b>42</b>
2.4.1. Aislamiento de la base. ....	42
2.4.2. Disipadores de energía. ....	45
<b>2.5. DISIPADORES SLB (POR PLASTIFICACIÓN DE METALES).</b> .....	<b>54</b>
2.5.1. Formas de colocación de disipadores SLB. ....	56
2.5.2. Ubicación de los disipadores SLB. ....	57
2.5.3. Dispositivo Shear Link Bozzo SLB.....	58
2.5.4. Características mecánicas y modelo bilineal de disipadores SLB. ....	61
2.5.5. Análisis de plasticidad numérica.....	63
2.5.6. Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo.....	65
2.5.7. Energía disipada por los disipadores SLB. ....	66
2.5.8. Energía elástica de un disipador.....	67
2.5.9. Características y beneficios del disipador SLB.....	68
2.5.10. Muros desacoplados con disipadores SLB.....	69
2.5.11. El concepto rígido-flexible-dúctil. ....	71



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

<b>3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN</b> .....	73
3.1.1. Enfoque de la investigación: Cuantitativa .....	73
3.1.2. Nivel de la investigación: Descriptiva .....	73
3.1.3. Diseño de la investigación: No experimental .....	73
3.1.4. Clasificación de la investigación: Transversal.....	74
<b>3.2. INVESTIGACIÓN PURA O BÁSICA</b> .....	74
<b>3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO</b> .....	74
3.3.1. Población.....	74
3.3.2. Muestra.....	74
<b>3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR DATOS</b> .....	75
3.4.1. Técnicas de recolección de datos .....	75
3.4.2. Instrumentos de recolección de datos .....	75
3.4.3. Métodos para lograr los objetivos .....	76

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

<b>4.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO</b> .....	77
4.1.1. Descripción de las estructuras evaluadas.....	77
4.1.2. Localización de las estructuras evaluadas.....	79
4.1.3. Características de los materiales. ....	79
4.1.4. Cargas vivas y cargas muertas repartidas (E.020) .....	80
<b>4.2. CRITERIOS Y CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL</b> .....	82
4.2.1. Configuración estructural de la edificación de once pisos.....	82
4.2.2. Metrado de cargas y peso sísmico del sistema.....	85



4.2.3. Configuración estructural de la edificación de ocho pisos. ....	87
4.2.4. Peso sísmico de la edificación de ocho niveles.....	89
<b>4.3. ANÁLISIS SÍSMICO DE LAS ESTRUCTURAS. ....</b>	<b>89</b>
4.3.1. Análisis estático de la edificación de once niveles .....	89
4.3.2. Análisis dinámico de la edificación de once niveles.....	111
4.3.3. Análisis estático de la edificación de ocho niveles. ....	119
4.3.4. Análisis dinámico de la edificación de ocho niveles .....	123
<b>4.4. ANÁLISIS SÍSMICO IMPLEMENTANDO DISIPADORES SLB.....</b>	<b>127</b>
4.4.1. Análisis sísmico y parámetros para obtención de sismo de diseño.....	127
4.4.2. Análisis sísmico de la estructura con disipadores SLB.....	141
4.4.3. Verificación nuevos modos de vibración .....	149
4.4.4. Fuerzas cortantes máxima con reforzamiento sísmico .....	150
4.4.5. Máxima deriva de entrepiso con reforzamiento sísmico .....	152
<b>4.5. ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA NO LINEAL.....</b>	<b>154</b>
4.5.1. Máxima deriva de entrepiso en análisis no lineal tiempo historia .....	156
4.5.2. Revisión de fuerza cortante y máximo STRUCK.....	158
4.5.3. Energía disipada – balance energético .....	160
<b>4.6. DISCUSIÓN CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.....</b>	<b>163</b>
4.6.1. Discusión correspondiente al objetivo específico primero .....	163
4.6.2. Discusión correspondiente al objetivo específico segundo.....	166
4.6.3. Discusión correspondiente al objetivo específico tercero.....	173
4.6.4. Discusión correspondiente al objetivo general .....	174
<b>4.7. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>175</b>
<b>V. CONCLUSIONES.....</b>	<b>176</b>
<b>VI. RECOMENDACIONES .....</b>	<b>178</b>



<b>VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	179
<b>ANEXOS</b> .....	182

**Tema** : Disipación de Energía

**Área** : Nuevas tendencias en diseño estructural

**Línea** : Análisis y diseño estructural

**FECHA DE SUSTENTACIÓN:** 20 de diciembre del 2022



## ÍNDICE DE FIGURAS

	<b>Pág.</b>
<b>Figura 1:</b> Terremoto de 1868. Templo de San Antonio, Arequipa en ruinas .....	32
<b>Figura 2:</b> Edificios sísmicamente aislados en Japón. ....	35
<b>Figura 3:</b> Sistemas de control de vibraciones .....	36
<b>Figura 4:</b> Esquema mecanismo de operación de sistemas activos .....	38
<b>Figura 5:</b> Esquema de estructura con sistema de control activo.....	38
<b>Figura 6:</b> Edificio con control de desplazamientos mediante ADM .....	39
<b>Figura 7:</b> Edificio KYOBASHI SEIWA, TOKIO .....	39
<b>Figura 8:</b> Esquema de estructura con sistema de control semi-activo.....	40
<b>Figura 9:</b> Esquema de trabajo del sistema de control semiactivo.....	40
<b>Figura 10:</b> Dispositivo para control semiactivo.....	41
<b>Figura 11:</b> Esquema mecanismo de operación de sistemas pasivos.....	42
<b>Figura 12:</b> Disminución de fuerzas sísmicas debido al incremento de periodo .....	43
<b>Figura 13:</b> Péndulo friccional - Aislador tipo LRB .....	43
<b>Figura 14:</b> Respuesta sísmica de edificio sin aislación y con aislamiento .....	44
<b>Figura 15:</b> Disminución de la aceleración espectral.....	44
<b>Figura 16:</b> Respuesta sísmica edificio sin y con disipadores. ....	46
<b>Figura 17:</b> Oscilación de sistemas de 1GDL con amortiguamiento viscoso .....	47
<b>Figura 18:</b> Dispositivos disipadores de energía.....	47
<b>Figura 19:</b> Ciclo carga-deformación disipador activado por desplazamiento .....	49
<b>Figura 20:</b> Dispositivo metálico tipo ADAS. ....	50
<b>Figura 21:</b> Dispositivo Histerético por fricción.....	50
<b>Figura 22:</b> Ciclo fuerza-deformación amortiguador.....	51
<b>Figura 23:</b> Disipador de fluido-viscoso. ....	51



<b>Figura 24:</b> Disipadores de fluidos viscoso - Taylor devices.....	51
<b>Figura 25:</b> Ciclo fuerza-deformación. ....	53
<b>Figura 26:</b> Disipador sólido viscoelástico. ....	53
<b>Figura 27:</b> Disipadores viscoelásticos .....	53
<b>Figura 28:</b> Sistemas pasivos de control de respuesta.....	54
<b>Figura 29:</b> Ciclos de carga deformación.....	55
<b>Figura 30:</b> Disipador hysterético tipo SLB.....	55
<b>Figura 31:</b> Formas de colocación disipadores SLB.....	56
<b>Figura 32:</b> Ubicación de disipadores SLB.....	57
<b>Figura 33:</b> Geometría del disipador SLB40_5.....	58
<b>Figura 34:</b> Disipador SLB40_3 de la segunda generación .....	58
<b>Figura 35:</b> Disipador SLB de dos ventanas. ....	59
<b>Figura 36:</b> Disipador SLB de cuatro ventanas.....	59
<b>Figura 37:</b> Disipador SLB con conexión tipo peine .....	60
<b>Figura 38:</b> Características del disipador SLB 30_2.....	61
<b>Figura 39:</b> Disipador antes del ensayo - diagrama de histéresis SLB 30_2 .....	62
<b>Figura 40:</b> Diagrama de histéresis bilineal del disipador .....	62
<b>Figura 41:</b> Modelo matemático no lineal usando MEF en ETABS.....	64
<b>Figura 42:</b> Modelo de elementos finitos - capacidad del disipador (NoLineal) .....	64
<b>Figura 43:</b> Disipación de energía de manera estable en el panel central.....	65
<b>Figura 44:</b> Criterios de distribución y selección de los disipadores SLB.....	65
<b>Figura 45:</b> Factor de amortiguamiento equivalente. Disipador TADAS y SLB .....	66
<b>Figura 46:</b> Energía elástica en un ciclo de histéresis.....	67
<b>Figura 47:</b> Muro desacoplado con dispositivos SLB.....	70
<b>Figura 48:</b> Comportamiento físico disipador muro desacoplado .....	70



<b>Figura 49:</b> a) Desplazamientos máximos b) Respuesta en aceleración máxima .....	71
<b>Figura 50:</b> Sistema flexible, sistema rígido-flexible-dúctil, sistema rígido.....	72
<b>Figura 51:</b> Localización de la estructura de once niveles a analizar .....	77
<b>Figura 52:</b> Localización de la estructura de ocho niveles a analizar .....	78
<b>Figura 53:</b> Idealización de la estructura de once niveles. ....	81
<b>Figura 54:</b> Idealización de la estructura de ocho niveles.....	81
<b>Figura 55:</b> Modelo estructural en planta y aporcado 3D en Etabs. ....	82
<b>Figura 56:</b> Planta primer nivel y planta nivel típico .....	83
<b>Figura 57:</b> Idealización planta nivel típico .....	84
<b>Figura 58:</b> Idealización nivel azotea. ....	84
<b>Figura 59:</b> Losa aligerada de 20 cm en una dirección .....	85
<b>Figura 60:</b> Modelo estructural en planta del edificio de ocho niveles.....	88
<b>Figura 61:</b> Mapa de zonificación sísmica 2018 .....	92
<b>Figura 62:</b> Edificación en vista diagonal .....	98
<b>Figura 63:</b> Edificación en vista lateral.....	99
<b>Figura 64:</b> Irregularidad torsional.....	99
<b>Figura 65:</b> Edificación sin esquinas entrantes .....	101
<b>Figura 66:</b> Evaluación del ducto vista en planta.....	102
<b>Figura 67:</b> Periodos de la estructura .....	105
<b>Figura 68:</b> Factor de amplificación sísmica.....	106
<b>Figura 69:</b> Asignación del coeficiente sísmico $C_x$ .....	106
<b>Figura 70:</b> Asignación del coeficiente sísmico $C_y$ .....	107
<b>Figura 71:</b> Cortantes estáticas en la base de la edificación .....	107
<b>Figura 72:</b> Distribución de cortantes por nivel en el eje "X".....	108
<b>Figura 73:</b> Distribución de cortantes por nivel en el eje "Y".....	109



<b>Figura 74:</b> Modos principales de vibración en la estructura.....	111
<b>Figura 75:</b> Espectro periodo vs amplificación sísmica E-030-Suelo S2 .....	114
<b>Figura 76:</b> Asignación del espectro al software .....	115
<b>Figura 77:</b> Asignación del factor de escala al software .....	116
<b>Figura 78:</b> Derivas para el sismo dinámico en dirección "X" .....	117
<b>Figura 79:</b> Derivas para el sismo dinámico en dirección "Y" .....	118
<b>Figura 80:</b> Periodos de la estructura de ocho niveles. ....	120
<b>Figura 81:</b> Cortantes estáticas de la edificación de ocho niveles .....	122
<b>Figura 82:</b> Distribución de cortantes por nivel en el eje "X" .....	122
<b>Figura 83:</b> Distribución de cortantes por nivel en el eje "Y" .....	123
<b>Figura 84:</b> Espectro periodo vs amplificación sísmica Suelo S2 .....	124
<b>Figura 85:</b> Derivas para el sismo dinámico en dirección "X" .....	125
<b>Figura 86:</b> Derivas para el sismo dinámico en dirección "Y" .....	126
<b>Figura 87:</b> Espectro de pseudo-aceleraciones E030-Suelo S2 - R=1 .....	128
<b>Figura 88:</b> Asignación del factor de escala al software R=1 .....	128
<b>Figura 89:</b> Acelerograma corregido coordenadas E–O Lima 1974.....	131
<b>Figura 90:</b> Acelerograma corregido coordenadas N–S Lima 1974.....	132
<b>Figura 91:</b> Periodo vs pseudo-aceleración con corrección de línea y filtrado.....	132
<b>Figura 92:</b> Registro sísmico escalado Lima 1974 E - W .....	133
<b>Figura 93:</b> Registro sísmico escalado Lima 1974 E – O .....	134
<b>Figura 94:</b> Registro sísmico escalado Lima 1974 N – S .....	134
<b>Figura 95:</b> Primer caso de análisis.....	134
<b>Figura 96:</b> Segundo caso de análisis.....	134
<b>Figura 97:</b> Caso 1 asistido por software .....	135
<b>Figura 98:</b> Caso 2 asistido por software .....	135



<b>Figura 99:</b> Derivas para el sismo severo $R=1$ en dirección "X" .....	136
<b>Figura 100:</b> Derivas para el sismo severo $R=1$ en dirección "Y" .....	137
<b>Figura 101:</b> Selección derivas análisis tiempo historia lineal en dirección X.....	138
<b>Figura 102:</b> Selección derivas análisis tiempo historia lineal en dirección Y.....	139
<b>Figura 103:</b> Ubicación de los disipadores SLB en el edificio de once niveles.....	141
<b>Figura 104:</b> Definición de la platina.....	142
<b>Figura 105:</b> Definición de muro desacoplado .....	142
<b>Figura 106:</b> Asignación elementos Links en la estructura primera iteración. ....	143
<b>Figura 107:</b> Propiedades de los dispositivos Shear Link Bozzo.....	144
<b>Figura 108:</b> Definición del disipador SLB2 20_3 .....	145
<b>Figura 109:</b> Propiedades del disipador SLB2 20_3 .....	145
<b>Figura 110:</b> Asignación elementos Links en la estructura segunda iteración. ....	146
<b>Figura 111:</b> Asignación de LINK SLB en la estructura, eje 3.....	148
<b>Figura 112:</b> Medidas de distribución del disipador SLB2 10_4.....	148
<b>Figura 113:</b> Colocación de disipador sobre el muro desacoplado. ....	149
<b>Figura 114:</b> Fuerzas cortantes en las columnas sin y con disipadores. ....	150
<b>Figura 115:</b> Derivas implementando disipadores-sismo dinámico en X.....	153
<b>Figura 116:</b> Derivas implementando disipadores-sismo dinámico en Y.....	154
<b>Figura 117:</b> Caso modal con vectores Ritz detecta la no linealidad.....	155
<b>Figura 118:</b> Caso Ramp – utiliza el peso de forma no lineal.....	155
<b>Figura 119:</b> Definir Caso 2 lima 1974 - Fast Nonlinear Analysis (FNA). ....	156
<b>Figura 120:</b> Derivas implementando disipadores-sismo severo en X.....	157
<b>Figura 121:</b> Derivas implementando disipadores-sismo severo en Y .....	158
<b>Figura 122:</b> Verificación de Links SLB en la estructura. ....	158
<b>Figura 123:</b> Curva de histéresis "K-21" SLB2 6_4 .....	159



<b>Figura 124:</b> Curva de histéresis "K-12" SLB2 10_3 .....	159
<b>Figura 125:</b> Curva de histéresis "K-36" SLB2 15_4 .....	160
<b>Figura 126:</b> Energías de entrada .....	161
<b>Figura 127:</b> Energía disipada por los disipadores SLB en dirección X.....	161
<b>Figura 128:</b> Energía disipada por los disipadores SLB en dirección Y.....	162
<b>Figura 129:</b> Comparación de cortante para el sismo dinámico en X.....	163
<b>Figura 130:</b> Comparación de cortantes para el sismo dinámico en Y .....	164
<b>Figura 131:</b> Comparación de derivas para el sismo dinámico en "X" .....	167
<b>Figura 132:</b> Comparación de derivas para el sismo dinámico en "Y" .....	169
<b>Figura 133:</b> Comparación de derivas para el sismo severo R=1 en "X" .....	170
<b>Figura 134:</b> Comparación de derivas para el sismo severo R=1 en "Y" .....	172
<b>Figura 135:</b> Resultados y comparación de respuesta sísmica en dirección X .....	175
<b>Figura 136:</b> Resultados comparación de respuesta sísmica en dirección Y .....	175



## ÍNDICE DE TABLAS

	<b>Pág.</b>
<b>Tabla 1:</b> Terremotos más considerables del Perú .....	32
<b>Tabla 2:</b> Comparación sistema flexible, rígido-flexible-dúctil y rígido .....	72
<b>Tabla 3:</b> Coordenadas UTM de la edificación de once niveles .....	78
<b>Tabla 4:</b> Coordenadas UTM de la edificación de ocho niveles .....	79
<b>Tabla 5:</b> Especificaciones técnicas del concreto.....	79
<b>Tabla 6:</b> Especificaciones técnicas del acero.....	80
<b>Tabla 7:</b> Características de la edificación de once niveles .....	82
<b>Tabla 8:</b> Metrados de tabiquería. ....	84
<b>Tabla 9:</b> Resumen metrado manual primer nivel.....	85
<b>Tabla 10:</b> Resumen metrado manual nivel típico .....	86
<b>Tabla 11:</b> Resumen metrado manual azotea .....	86
<b>Tabla 12:</b> Peso por nivel asistido por el software .....	87
<b>Tabla 13:</b> Características de la edificación de ocho niveles .....	88
<b>Tabla 14:</b> Peso por nivel de la edificación de ocho niveles.....	89
<b>Tabla 15:</b> Períodos “TP” Y “TL” según el tipo de suelo.....	91
<b>Tabla 16:</b> Coeficientes por zona sísmica .....	92
<b>Tabla 17:</b> Coeficientes “S” del suelo .....	92
<b>Tabla 18:</b> Categoría y factor de uso de la edificación. ....	93
<b>Tabla 19:</b> Coeficientes “R” de los sistemas estructurales.....	93
<b>Tabla 20:</b> Irregularidad de rigidez piso blando en dirección X. ....	94
<b>Tabla 21:</b> Irregularidad de rigidez piso blando en dirección Y .....	95
<b>Tabla 22:</b> Irregularidad de resistencia piso débil en X .....	96
<b>Tabla 23:</b> Irregularidad de resistencia piso débil en Y .....	96



<b>Tabla 24:</b> Irregularidad de masa o peso de la edificación .....	97
<b>Tabla 25:</b> Irregularidad torsional de la edificación en “X” .....	100
<b>Tabla 26:</b> Irregularidad torsional de la edificación en “Y” .....	100
<b>Tabla 27:</b> Cálculo del área de losa construida .....	102
<b>Tabla 28:</b> Ductos evaluados por discontinuidad del diafragma.....	102
<b>Tabla 29:</b> Evaluación irregularidades en altura y planta. ....	103
<b>Tabla 30:</b> Peso sísmico por piso de la estructura.....	104
<b>Tabla 31:</b> Modos de vibración de la estructura.....	105
<b>Tabla 32:</b> Distribución de fuerzas laterales en “X” .....	108
<b>Tabla 33:</b> Distribución de fuerzas laterales en “Y” .....	109
<b>Tabla 34:</b> Distribución de cortante en la base "X" .....	110
<b>Tabla 35:</b> Distribución de cortante en la base "Y" .....	110
<b>Tabla 36:</b> Parámetros para el cálculo del espectro de respuesta .....	112
<b>Tabla 37:</b> Espectro de respuesta T vs. C.....	113
<b>Tabla 38:</b> Factor de la aceleración espectral.....	114
<b>Tabla 39:</b> Cortante dinámico vs cortante estático.....	114
<b>Tabla 40:</b> Parámetros y factor de aceleración para cada dirección.....	114
<b>Tabla 41:</b> Factor sísmico de la edificación .....	115
<b>Tabla 42:</b> Límites para la distorsión del entrepiso.....	116
<b>Tabla 43:</b> Derivas del análisis dinámico en dirección "X" .....	117
<b>Tabla 44:</b> Derivas del análisis dinámico en dirección "Y" .....	118
<b>Tabla 45:</b> Modos de vibración de la estructura de ocho niveles.....	119
<b>Tabla 46:</b> Parámetros para el cálculo de la edificación de ocho niveles .....	120
<b>Tabla 47:</b> Peso sísmico de la estructura de ocho niveles. ....	121
<b>Tabla 48:</b> Distribución de fuerzas laterales para la dirección “X” .....	122



<b>Tabla 49:</b> Distribución de fuerzas laterales para la dirección “Y” .....	123
<b>Tabla 50:</b> Factor de la aceleración espectral.....	124
<b>Tabla 51:</b> Factor sísmico de la edificación de ocho niveles. ....	125
<b>Tabla 52:</b> Derivas de la edificación de ocho pisos en dirección "X" .....	125
<b>Tabla 53:</b> Derivas de la edificación de ocho pisos en dirección "Y".....	126
<b>Tabla 54:</b> Parámetros del espectro de respuesta R=1 .....	128
<b>Tabla 55:</b> Factor de la aceleración espectral.....	128
<b>Tabla 56:</b> Derivas análisis dinámico R=1 en dirección "X" .....	129
<b>Tabla 57:</b> Derivas análisis dinámico R=1 en dirección "Y" .....	129
<b>Tabla 58:</b> Datos de estaciones acelerométricas. ....	130
<b>Tabla 59:</b> Datos de los registros sísmicos considerados .....	130
<b>Tabla 60:</b> Máximas aceleraciones registros escalados al espectro de diseño .....	133
<b>Tabla 61:</b> Derivas de entrepiso para el caso 2 Lima 1974 en “X”.....	135
<b>Tabla 62:</b> Derivas de entrepiso para el caso 2 Lima 1974 en “Y”.....	136
<b>Tabla 63:</b> Análisis dinámico tiempo - historia en X-X para cada caso .....	137
<b>Tabla 64:</b> Análisis dinámico tiempo - historia en Y-Y para cada caso.....	138
<b>Tabla 65:</b> Derivas tiempo historia lineal entre dinámico espectral en X.....	140
<b>Tabla 66:</b> Derivas tiempo historia lineal entre dinámico espectral en Y.....	140
<b>Tabla 67:</b> Cortante y selección de los dispositivos Link en unidades KN.....	144
<b>Tabla 68:</b> Variación de cortante y nueva selección de dispositivos Link.....	147
<b>Tabla 69:</b> Cuantificación de los disipadores .....	149
<b>Tabla 70:</b> Nuevos periodos de vibración .....	149
<b>Tabla 71:</b> Fuerzas cortantes en la columna C14, para sismo dinámico en X .....	151
<b>Tabla 72:</b> Porcentaje de reducción de fuerzas cortantes en la columna C14.....	151
<b>Tabla 73:</b> Fuerza cortante basal sin disipadores .....	152



<b>Tabla 74:</b> Fuerza cortante basal implementando disipadores .....	152
<b>Tabla 75:</b> Control derivas implementando disipadores-análisis dinámico X. ....	152
<b>Tabla 76:</b> Control derivas implementando disipadores-análisis dinámico Y .....	153
<b>Tabla 77:</b> Control derivas implementando disipadores - sismo severo en X. ....	156
<b>Tabla 78:</b> Control derivas implementando disipadores - sismo severo en Y .....	157
<b>Tabla 79:</b> Fuerza cortante en la columna C14-sismo dinámico en X .....	164
<b>Tabla 80:</b> Derivas para el sismo dinámico - dirección X.....	167
<b>Tabla 81:</b> Derivas para el sismo dinámico - dirección Y.....	168
<b>Tabla 82:</b> Derivas para el sismo severo - Dirección X .....	170
<b>Tabla 83:</b> Derivas para el sismo severo - Dirección Y .....	171



## ÍNDICE DE ACRÓNIMOS

ADM: Active Mass Damper

AENL: Análisis Estático No Lineal

ASCE: American Society of Civil Engineers

ASTM: American Society for Testing and Materials

ATH-NL: Análisis Tiempo Historia No Lineal

CISMID: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y  
Mitigación de Desastres

DBE: Espectro de Diseño Espacial

FEM: Modelo de Elementos Finitos

FNA: Fast Nonlinear Analysis

ISMES: Istituto Sperimentale Modelli e Strutture

LNEC: Laboratorio Nacional de Engenharia Civil

MCE: Espectro Máximo Considerado

NASA: Administración Nacional de Aeronáutica y el Espacio

PUCP: Pontificia Universidad Católica del Perú

RNE: Reglamento Nacional de Edificaciones

SLB: Shear Link Bozzo.

VHD: Variable Hydraulic Damper



## RESUMEN

La práctica de la construcción informal o autoconstrucción, nos lleva a una situación de gran peligro. Ante esta situación, la presente investigación lleva como objetivo determinar la respuesta sísmica de dos edificaciones de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, de aproximadamente  $190.22\text{m}^2$  y  $90.30\text{m}^2$  de área construida, ver si cumplen las exigencias de la Norma E-030, caso contrario implementarlas con disipadores de energía tipo Shear-Link-Bozzo para el caso de sismo severo. Se estimó la resistencia del concreto a través del ensayo de esclerometría normada por la ASTM-C805. La metodología empleada es enfoque cuantitativo, el tipo de investigación es nivel descriptivo no experimental transversal, se desarrolló con la ayuda de los programas ETABS, SEISMOSIGNAL, SEISMOMATCH Y AUTOCAD. Se realiza el análisis tiempo-historia no-lineal con la finalidad de verificar el comportamiento de los disipadores. Como resultados del estudio. La primera edificación de once niveles requería ser reforzada en la dirección “X”, se ha implementado disipadores histeréticos tipo Shear-Link-Bozzo, mejorando de manera notable, presentó fuerzas cortantes internas inferiores en 18%, para la columna “C14”, desplazamientos inferiores en 30% para sismo dinámico y 40% para sismo severo, el porcentaje de absorción de energía sísmica fue de un 27.75% correspondientes a la dirección “X”, cumpliendo con los requerimientos y un adecuado comportamiento frente a un sismo severo. Para la segunda edificación de ocho niveles no se realiza la implementación de los disipadores Shear-Link-Bozzo, ya que cuenta con placas de concreto que ayudan a cumplir los límites determinados según la Norma E-030.

**Palabras Clave:** Análisis Sismorresistente, Análisis Tiempo Historia No Lineal, Disipadores de Energía Shear Link Bozzo (SLB), Curva de Histéresis, Disipación de Energía.



## ABSTRACT

The practice of informal construction or self-construction leads us to a situation of great danger. Given this situation, the present investigation aims to determine the seismic response of two buildings of eleven and eight levels in the city of Puno, of approximately 190.22m<sup>2</sup> and 90.30m<sup>2</sup> of built area, to see if they meet the requirements of Standard E-030. Otherwise, implement them with Shear-Link-Bozzo type energy dissipators for the case of a severe earthquake. The strength of the concrete was estimated through the sclerometry test regulated by ASTM-C805. The methodology used is a quantitative approach, the type of research is a descriptive non-experimental cross-sectional level, it was developed with the help of the ETABS, SEISMOSIGNAL, SEISMOMATCH AND AUTOCAD programs. The non-linear time-history analysis is performed in order to verify the behavior of the dissipators. As results of the study. The first building of eleven levels required to be reinforced in the "X" direction, Shear-Link-Bozzo type hysteretic dissipators have been implemented, improving remarkably, it presented lower internal shear forces by 18%, for the "C14" column, displacements lower by 30% for dynamic earthquake and 40% for severe earthquake, the percentage of seismic energy absorption was 27.75% corresponding to the "X" direction, complying with the requirements and an adequate behavior against a severe earthquake. For the second eight-story building, the implementation of the Shear-Link-Bozzo dissipators is not carried out, since it has concrete plates that help comply with the limits determined according to Standard E-030.

**Keywords:** Earthquake Resistant Analysis, Nonlinear Time History Analysis, Shear Link Bozzo (SLB) Energy Dissipators, Hysteresis Curve, Energy Dissipation.



# CAPÍTULO I

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de la presente tesis es la comparación de los resultados de dos edificaciones de once y ocho niveles situados en la ciudad de Puno, implementando disipadores modelo Shear Link Bozzo. La primera edificación representativa fue diseñada con la Norma E.030 del 2006. La segunda edificación representativa cuenta con un sistema de muros estructurales. Si analizamos muchas de las edificaciones existentes en la localidad de Puno, al enfrentarse a los efectos de un terremoto, carecen de comportamiento sísmico adecuado especialmente las edificaciones que carecen de rigidez, suelen ser afectadas severamente, siendo esta la causa principal de pérdidas humanas y económicas.

Teniendo presente lo indicado, nace la necesidad del refuerzo, para así mejorar estas deficiencias, el presente trabajo de investigación ha hecho uso de disipadores SLB que son de gran eficiencia para la inspección de deformaciones, que basan su cabida de disipación de energía en la fluencia de los metales, permitiendo disipar una gran porción de la energía depositada a la estructura por la acción sísmica, colocando los elementos estructurales con menos exigencia sísmica. Se posee conocimiento de la presencia de edificios ubicadas en Lima, Arequipa y Trujillo, que ya utilizan este tipo de técnica, así como en otros países y que en el mercado ya se han incorporado, pero, estos métodos aún no son aplicados en la ciudad de Puno y en la actualidad son métodos escasamente difundidos en nuestro país, a pesar de los grandiosos beneficios que ofrecen en cuanto a la respuesta estructural, una ventaja principal es bajo el costo de producción de estos disipadores comparados con los de fluido viscoso. La presente investigación se divide en los capítulos siguientes:



Capítulo I, expone el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación, objetivos e hipótesis que se apoyan en resultados del estudio.

Capítulo II, expone los antecedentes internacionales y nacionales respecto a estudios realizados con dispositivos SLB. También se encuentra el marco teórico.

Capítulo III, expone la metodología empleada en el estudio. Se muestra el tipo, enfoque, nivel, diseño y clasificación del estudio; así como la población, muestra; instrumentos y técnicas para recolectar datos.

Capítulo IV, expone el desarrollo del estudio que, por medio del análisis sísmico se mostrara los resultados obtenidos como fuerzas cortantes, desplazamientos y distorsiones de las edificaciones de once y ocho niveles. Así como la comparativa al implementar dispositivos modelo Shear Link Bozzo (SLB) histeréticos. Los cuáles son comparados respecto a la misma estructura de once pisos sin reforzar. Por último, se presenta las conclusiones y recomendaciones basadas en los objetivos junto con las referencias bibliográficas y anexos del estudio.

## **1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

Los métodos de análisis sísmico no tienen en cuenta la secuela de las excitaciones en el tiempo, y mucho menos cuando la edificación atraviesa el rango elástico. Lo cual se debe principalmente al diseño estructural, demostrando la vulnerabilidad, el rendimiento y comportamiento de las edificaciones, así como razones técnicas, como es el empleo de materiales pésimos y fallas en la etapa de construcción que crean diferencias respecto al modelo primario, es aún más preocupante si se considera que la construcción informal es una de las más frecuentes en el Perú. Entendiendo que nuestro país es uno con alta actividad sísmica, ubicado en el llamado “Cinturón de Fuego del Pacífico”.



En respuesta a este problema, el avance tecnológico ha ido desplegando diversas técnicas y sistemas de prevención en el área de la Ingeniería Sísmica. La filosofía de esta Norma E.030 establece que la edificación no tendría que desplomarse ni ocasionar daños graves a los habitantes, si bien podría mostrar importantes daños, surge la necesidad de modificar las normas actuales encargadas de incorporar la aplicación de estas metodologías, presentando así mejores parámetros sísmicos y de contribuir de forma efectiva a la disminución del riesgo de sismos y daños causados por estos fenómenos. En respuesta a esta situación, la presente tesis propone un sistema de protección ante sismos a través de la utilización de disipadores metálicos SLB, cuyo principio primordial es el aportar ductilidad y rigidez, asentándose en la premisa de que, por fuerza corte el acero es un magnífico disipador de energía, que es el medio para reducir el nivel de fragilidad ante sismos de estos edificios, que resulta una opción económica, técnica y viable, a fin de procurar minimizar daños a alguna persona y el posible número de daños materiales.

## **1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

¿Cuál es el comportamiento de dos edificios de once y ocho niveles con disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo a los efectos sísmicos en ciudad de Puno?

## **1.3. HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN**

### ***1.3.1. Hipótesis general***

Las respuestas sísmicas con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, es significativamente más eficiente al método constructivo tradicional.

### ***1.3.2. Hipótesis específicas***

Las fuerzas cortantes con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, son significativamente menores al método constructivo tradicional.



Los desplazamientos y las derivas de entrepiso con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, son significativamente menores al método constructivo tradicional.

Los porcentajes de energía disipada con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, es significativamente mayor al método constructivo tradicional.

#### **1.4. JUSTIFICACIÓN DEL PROYECTO**

Ley Cuen, (2019) En su trabajo de investigación indica que en los actuales años nuestro país se mostró sujeto a sismos de gran dimensión. Dichos sucesos son, por ejemplo, el sismo vivido en la ciudad de Arequipa, suscitado el 2001 y el sismo de Pisco ocurrido en 2007, demostrando que nuestro país es altamente sísmico. Con la frecuente práctica de la construcción informal, falta de supervisión e índices de calidad, es para esperar que tales construcciones posean un inadecuado comportamiento ante un sismo, lo que ocasionaría tanto pérdidas humanas, como económicas (p. 16), tomando en cuenta que se ha modificado la Norma E.030 y entre las exigencias, permite que las estructuras sufran daño, entonces se entiende que estas edificaciones sean deficientes y mucho más propensas ante las exigencias de un sismo severo. En este entender el presente estudio pretende constatar, verificar y evaluar la condición de seguridad estructural de las edificaciones mencionadas con anterioridad, las cuales no cuentan con índices de calidad, así esta se ajuste a la norma que se han ido modificando como es la E-030 del RNE, previo a que suceda un sismo, así estas no sufran daño y sigan siendo funcionales después de un sismo severo. Ortiz Tolentino (2017) Plantea la preocupación de evaluar la seguridad de las edificaciones actuales frente a movimientos sísmicos y ver si estas son vulnerables (p. 30), se intenta lograr la meta antes mencionada, mediante los dispositivos tipo Shear Link



Bozzo (SLB). Quispe Huamán & García Urrutia, (2019) indican los beneficiosos por su bajo costo a comparación de los disipadores (Taylor 10 000 dólares), (T-ADAS, ADAS 3 000 dólares), Los disipadores SLB varían su costo de 500 a 1000 dólares (p. 113), la relación de precio es de 10/1 , 3/1, son fabricados en Perú, dado por su bajo costo accesible para este tipo de edificaciones, pueden ser empleados en el desarrollo de cualquier edificación, así estar en la capacidad de apreciar el impacto económico, incremento de la rigidez, variación de costos, Lopez Otiniano & Plasencia Ninatanta, (2017) Mencionan que en otros países el sistema de disipación de energía, bien investigada y ampliamente utilizada, se está transformando en una opción viable para reducir el riesgo de colapso de las estructuras y servirá como referencia para futuras construcciones.

## **1.5. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.**

### ***1.5.1. Objetivo general.***

Comparar las respuestas sísmicas con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

### ***1.5.2. Objetivos específicos.***

Comparar las fuerzas cortantes con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

Comparar los desplazamientos y derivas con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

Comparar los porcentajes de energía disipada con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.



## CAPÍTULO II

### REVISIÓN DE LITERATURA

#### 2.1. ANTECEDENTES.

##### 2.1.1. *Antecedentes internacionales.*

Aguiar, Bozzo, Coyago, & Andino, (2016), El artículo de la Universidad de las Fuerzas Armadas en Ecuador, nos muestra obras que se construyeron en todo mundo con este disipador. Entre ellas están la megaplanta Lindley, la Facultad de Odontología de la USMP y la Torre Paradox en Santa Fe, México de 62 plantas, entre otros proyectos, en el artículo se plantea como objetivo principal explicar el análisis sísmico teniendo en cuenta: el máximo espectro considerado y el espectro de diseño para una edificación, en este se incluye dispositivos SLB. El método utilizado, radicó en efectuar una comparación entre la edificación con y sin dispositivos SLB apoyados en brazos tipo chevron. El alcance del artículo nos muestra la eficacia de los dispositivos y el proceso del análisis espacial sísmico. Se llegó, entre otras, a la siguiente conclusión: La edificación estructural 4 ESPE tiene irregularidad en elevación y planta, por lo que se optó por utilizar dispositivos SLB, como resultado, se aseguró que las derivas no superaran el 0.25% del máximo espectro como para el espectro de diseño.

Bozzo & Gaxiola, (2015). El término “conexión rígido-flexible-dúctil” está incluido en el artículo. Se tiene como objetivo estudiar tres casos prácticos de diseño sismorresistente incorporando dispositivos no lineales rígidos modelo SLB. El edificio Nettelco industrial en nuestro país, el edificio Urbania de Guadalajara (que se evaluó con tres alternativas: Aporticado, muros desacoplados y muros apeados), y el tercer caso es una edificación prefabricada; estos demuestran los beneficios de incorporar los dispositivos SLB. Las uniones, permiten un comportamiento ideal sismorresistente, o sea, un método reúne las demandas en las conexiones creadas, y que combina el nivel de



desplazamiento del sistema rígido con el nivel de fuerza del sistema flexible. Dichas zonas estarán trazadas para tener la capacidad de disipación de grandes cantidades de energía. La investigación obtuvo entre otras a las conclusiones, que es factible diseñar edificaciones teniendo en cuenta el nivel de fuerza de una estructura flexible, y considerando el grado de desplazamientos de una estructura rígida, muchos sistemas estructurales clásicos, logran ser analizados mediante conexiones SLB dado que se lograría su mejora, aunque muy eventual reemplazo entre otras conclusiones se tiene que en el primer caso, los daños no estructurales se redujeron a menos de la mitad con un incremento de coste total de apenas 1.4%, en el segundo caso, se concluye que es viable lograr rígidas estructuras a través de componentes que no transmiten fuerza axial a la base y por último, y en el tercer caso, se tiene como conclusión que, en cuanto a la cortante de base se logra una reacción comparable a la adquirida con aislamiento basal, con un coste 30% menor.

### ***2.1.2. Antecedentes nacionales.***

Según Enciso Navarro (2019). En su investigación compara el resultado del análisis sísmico y del diseño de una edificación mediante muros desacoplados y muros continuos incorporando los dispositivos SLB, localidad de Huancayo - Perú. Para el análisis se consideró la estructura Torre N°2 del campus Universitario Franklin Roosevelt, es una edificación esencial de once niveles. El método utilizado es realizar el análisis sísmico espectral con la finalidad de dar indicadores de las desventajas y ventajas de un sistema con respecto del otro, también se muestra las diferencias de cantidad de acero y respuesta sísmica. del estudio, se determinó que la edificación implementando muros desacoplados muestra menor rigidez lateral que la edificación implementando muros continuos y parámetros analizados, como mayor deriva en 28.39% y 24.70%, menores desplazamientos en 26.54% y 23.04%, y menor cortante basal de 28.46% y 24.15%,



correspondientes a X e Y, también se indica que los dispositivos metálicos SLB son conexiones no lineales. Lo que significa que la edificación puede experimentar desplazamientos significativos sin que los elementos estructurales experimenten daño. Esto indica que pueden producirse grandes desplazamientos dentro de la edificación sin que los elementos de la estructura noten daño. Lo anterior apoya lo siguiente que la edificación con muros desacoplados tiene mayores desplazamientos y derivas mayores. Una recomendación es que las estructuras incorporen ambos sistemas, mediante muros continuos en la zona de ascensores y escaleras, y rigidizar otras zonas a través de disipadores sísmicos en muros desacoplados, para que así, a partir de la presencia de un sismo, ambos sistemas estarán presentes. Los disipadores podrán evitar que los elementos de la edificación no colapsen cuando se encuentren en el rango no lineal.

Según Ley Cuen, (2019). En su tesis se plantea la utilización de disipadores de energía metálicos. El método utilizado para evaluar la eficacia de estos sistemas implica modelar la edificación mediante la incorporación de disipadores no lineales para la disipación sísmica.

Los resultados muestran que la aplicación de disipadores SLB metálicos permitió minimizar los desplazamientos y derivas máximas, lo que condujo a una mejora considerable de la respuesta sísmica con resultados que varían desde 16 cm a 5 cm, con una disminución del 70%. Permitiendo a la edificación alcanzar disminuciones de las distorsiones máximas de hasta el 65%. Se determina que la instalación de disipadores SLB de energía, permite reducir en los elementos estructurales los niveles de fuerza interna, como son vigas y columnas. Se propone utilizar disipadores SLB como forma de prevenir el fallo en edificaciones con deficiencias de rigidez.

Según Quispe Huamán & García Urrutia, (2019). En su investigación el objetivo principal es mejorar la respuesta sísmica usando dispositivos Shear Link Bozzo,



reforzando una edificación de concreto que no cumple con los requisitos de la Norma E.030. La construcción se encuentra en San Isidro - Lima. Es una edificación representativa del año 1970 u 1980, cuenta con un área de 669.16 m<sup>2</sup>, 14 pisos, y en total una altura de 41.3 m; se encuentran irregularidad por esquina entrante y torsional en planta. Después de reforzar con disipadores de energía (SLB) sostenidos por diagonales Chevron, se muestra la aplicación del sistema de disipación de energía, así concentrar la no linealidad en el disipador. Del resultado, la estructura muestra la reducción del porcentaje de energía que disipa de 100% hasta 50% en promedio. Se alcanzó una disminución de la distorsión de entrepiso del 13.4/1000 a 6.6/1000 para el eje X lo que representó un descenso de 50.67%, mientras que en el eje Y de 0.0131 a 0.0063 lo que representó una reducción de 48.29%, lográndose cumplir satisfactoriamente con la Norma E.030. En la edificación el período disminuyó de 2.42 a 1.55 segundos, una disminución de 37.6%, se eliminó la irregularidad torsional.

## **2.2. MARCO TEÓRICO**

### **2.2.1. Técnicas de construcción.**

Muñoz, Tinman, & Quiun, Indican que dado que gran parte de la práctica de la ingeniería se acoge al sentido físico de los problemas y a buenas reglas, los ingenieros afirman que es un arte la ingeniería. El tiempo ha cambiado alguna regla, mientras que otras se afirman y se explican gracias al trabajo analítico experimental, las dificultades para realizar investigaciones experimentales son grandes en el caso de la ingeniería sismorresistente, y como resultado, cuando se produce un terremoto, la ingeniería reconoce a las ciudades y a los proyectos de ingeniería como verdaderos laboratorios. Los edificios construidos en el Perú en el siglo veinte, aunque todavía no se han expuesto a situaciones extremadamente severas, no se aseguran que se comportaran de forma adecuada. Confiamos en que si lo hagan. (p. 1)



### ***2.2.2. Origen de los terremotos.***

Muñoz, Tinman, & Quiun. Mencionan que el Perú tiene condición sísmica como resultado de su ubicación cercana a las placas Sudamericana y de Nazca. La Placa de Nazca se desliza por debajo de la Placa Sudamericana a un ritmo de unos 10 cm al año, creando una especie de convergencia en la costa peruana.

Según Carpio, Zamudio, & Salas (2002) La subducción de la Placa Sudamericana por encima de la Placa de Nazca, que se produce a un ritmo promedio de 7-8 centímetros por año, es lo que ha dado motivo a la sismicidad en el Perú. Debido a esto, el país es uno de los que tiene mayor grado sísmico, dentro de la categoría conocida como subducción, que es donde se han originado los terremotos más potentes del país.

### ***2.2.3. Terremotos importantes en el Perú.***

Muñoz, Tinman, & Quiun, Indican que los edificios peruanos solo se construyen con normas sismorresistentes desde la década de 1960. Sin embargo, ni estas estructuras ni las realizadas en el último siglo se enfrentaron a eventos sísmicos entremos. Se ha planteado la cuestión de que tan seguras sean las edificaciones peruanas construidas con normas sismorresistentes frente a terremotos. En 1746 el 28 de octubre, un gran sismo sacudió la costa central peruana. Según las estimaciones, tuvo una magnitud de 8.1 MS. Casi todas las estructuras de Lima fueron destruidas, incluyendo los monasterios, la Catedral, los arcos y las estatuas. Solo 25 de las 3000 viviendas existentes en la ciudad quedaron en pie. Según lo que se sabe, aproximadamente murieron 1100 personas. Casi todo fue destruido en El Callao. De los 4000 habitantes solo se salvaron 200.

El movimiento se inició en Guayaquil, al norte del Callao a 1100 km. Agrietamientos y deslizamientos de tierra se produjeron en Lucanas, Ayacucho, y se sintieron efectos significativos hasta Tacna. El mayor sismo documentado se produjo el 13 de agosto de 1868. Con origen cerca del muelle en Arica, con 8.2 MS de intensidad,

casi todos los templos y varios edificios se derrumbaron en Arequipa. En ruinas quedó la Catedral (ver Figura 1). Arica, Tacna y Moquegua también han quedado destruidas. El movimiento fue detectado en Perú (Samanco) a una distancia de 1400 km del norte.

**Figura 1:**

*Terremoto de 1868. Templo de San Antonio, Arequipa en ruinas*



Se muestra los sismos severos más importantes que ocurrieron en el Perú. A ellos se les suma, los sismos ocurridos de Arequipa 2001 e Ica del 2007 (ver Tabla 1). En el último siglo los terremotos fueron inferiores a los ocurridos en el siglo XIX y XVIII.

**Tabla 1:**

*Terremotos más considerables del Perú*

	Lima	Arica	Lima	Lima	Ancash	Lima	Arequipa	Ica
Año	1746	1868	1940	1966	1970	1974	2001	2007
Magnitud MS	8.1	8.2	7.9	7.7	7.9	7.9	8.2	7.9
Intensidad máxima	X-XI	XI	VII-VIII	VIII	VIII-IX	VIII-IX	VII-VIII	VII

*Fuente:* (Muñoz, Tinman, & Quiun)

Se recuerda en 1970 el terremoto, por los 20 mil extraviados y 50 mil fallecidos, y la enorme avalancha que cubrió Yungay. Casi todos los daños fueron causados por estructuras de tierra levantadas, en cambio muchos edificios de concreto armado de la región central salieron mucho mejor parados, ningún terremoto que sacudió el país en el siglo XX puede considerarse el más fuerte y ni siquiera el más grave. (Muñoz, Tinman, & Quiun, pp. 2, 3).



#### ***2.2.4. Demandas de resistencia y ductilidad de terremotos peruanos***

Las edificaciones se deforman significativamente a causa de terremotos, por lo que es conveniente proporcionarles una fuerte resistencia lateral para garantizar su comportamiento elástico en tales circunstancias. Dada la escasa probabilidad de que un edificio experimente un sismo severo (periodo de retorno de 475 a 1000 años), se reconoce que existe resistencia post elástica, y que la resistencia lateral es menor que la necesaria para asegurar un comportamiento elástico óptimo. Utilizando los factores de reducción, se establece la resistencia sísmica mínima en la Norma sismorresistente. Mientras el sismo sea más pequeño menos será su factor de reducción, y mientras el sismo sea más grande mayor será su factor de reducción (Muñoz, Tinman, & Quiun, pp. 4,5).

Importantes terremotos han demostrado lo vulnerables que pueden ser las edificaciones de material flexible, asimismo se ha informado de pruebas del buen funcionamiento sísmico de las edificaciones construidas en base a muros de concreto armado. Al considerar el comportamiento de nuestros edificios ante terremotos frecuentes (de periodo de ocurrencia 45 años), queda claro que la resistencia efectiva lateral es inadecuada dado que la aceleración máxima de estos terremotos para la costa del país es de 0.2g, o sea, la mitad de lo previsto para terremotos de 500 años. Hay que tener en cuenta los daños que sufrieron muchas construcciones de concreto armado en Lima entre 1966 y 1974, cuando se registró velocidades próximas a 0.2g (Muñoz, Tinman & Quiun, p.8)

Nuestra obligación prepararnos para responder adecuadamente a los próximos acontecimientos, así como ser conscientes de las nuevas exigencias del sector, que indica que los sistemas de protección sísmica desempeñaran un papel cada vez más importante en la industria de la construcción. Por esta razón, es necesario promover el uso de tecnologías que han sido evaluadas tanto nacional como internacionalmente, y que son



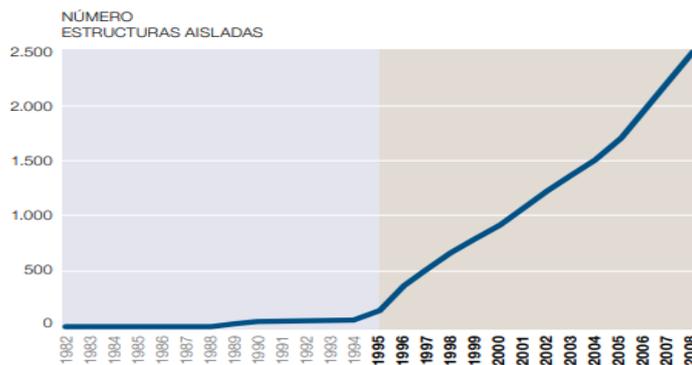
conocidas dentro de la comunidad profesional y que están enfocadas a que la respuesta sísmica estructural mejore por encima de las exigencias mínimas de la Norma. Las demandas que mayormente se hacen a una estructura suelen ser causadas debido a sucesos sísmicos. Durante un terremoto, se propaga por el suelo mediante ondas la energía emitida, manifestándose principalmente como aceleración, deformación y movimiento de los componentes estructurales, y disipándose a través de daños en dichos componentes.

Los principales innovadores en el uso de estas tecnologías de protección son Japón y Estados Unidos. Tras los eventos sísmicos de Kobe en Japón (1995) y Northridge (EEUU) en 1994, los métodos sísmicos de protección experimentaron un incremento superior. Seguido del terremoto de Kobe de 1995, Japón aumentó el uso de métodos de protección, como se expone en la Figura 2. En ambos terremotos se vio que los edificios con sistemas de protección tuvieron comportamiento excelente, lo que fomentó el desarrollo de esta forma de diseño. La realidad a nivel mundial demuestra que la aplicación de métodos de protección sísmicos se extiende más allá de las nuevas construcciones, que también es usada para abarcar la rehabilitación y refuerzo de estructuras existentes. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 12).

La norma peruana no toma en consideración los daños que puedan causar los sismos severos, mientras es posible evitar que los edificios se derrumben y salvar la vida de sus habitantes. Que se entienda que los daños relacionados con el origen se seguirán produciendo. La técnica convencional de disipación de energía, en otros países han sido complementadas con sistemas adicionales a los elementos estructurales, estos sistemas en la edificación alteran las propiedades dinámicas, disipando o regulando la energía ejercida del terremoto. El objetivo de utilizar estas técnicas es controlar la respuesta sísmica mediante la reducción de la deriva sísmica, así disminuir el daño de la edificación. (Oviedo & Duque, 2006, p. 2).

**Figura 2:**

*Edificios sísmicamente aislados en Japón.*



Se puede plantear de dos formas el asegurar un apropiado comportamiento de los edificios ante los sismos severos. El primero se basa en un diseño convencional, el segundo método de diseño de estructuras sismorresistentes implica implementar disipadores para disipar la energía, el cual tiene principalmente la función de reducir los desplazamientos o derivas, aceleraciones y velocidades aumentando la energía histerética. Como su nombre lo indica los disipadores de energía, disipan fuertes porcentajes de energía, al tiempo que garantizan que en la edificación los elementos no se sobrecarguen. (Villarreal & Díaz La Rosa, 2016, p. 8)

Dado que es necesario que la edificación siga funcionando, el objetivo de la Norma de evitar el colapso de estructuras después de un fuerte sismo, resulta insuficiente. La implementación de estos métodos de protección sísmica en los edificios, como la disipación y el aislamiento sísmico, pueden lograr estos objetivos. (Aguiar falconí et al, 2016). Se espera que después de este evento que causó más de 600 víctimas y daños aproximados en tres mil millones de dólares, los métodos para construir cambien, dando lugar a estructuras más rígidas que incorporen buena cantidad de disipadores y aisladores sísmicos. De este modo, se consigue que las edificaciones sismorresistentes pasen a edificaciones sismo-indiferentes. Para conseguirlo, es crucial modificar la perspectiva y ver nuevos métodos de construcción. Por lo cual, es necesario reorganizar los planes de

estudio universitarios en las siguientes áreas: Ingeniería Sísmica, Hormigón Armado y Estructuras; centrándose en los tres temas enumerados en el párrafo anterior.

### 2.3. SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

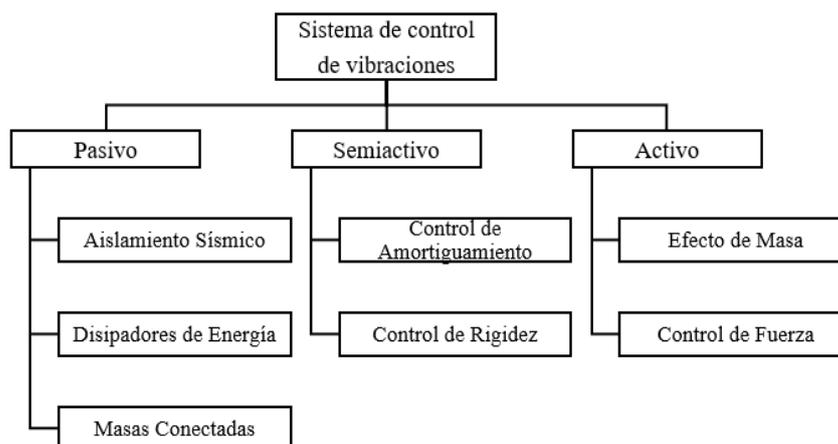
“Podemos clasificar en tres categorías a los métodos de protección sísmica (ver Figura 3); sistemas pasivos, sistemas semi-activos y sistemas activos” (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 12). “Su principal objetivo es reducir y controlar los desplazamientos de una edificación provocados por un evento sísmico, con la ventaja de poder repararlas o sustituir estas regiones específicas donde tiene lugar la reducción” (Segovia David, 2016, p. 11).

Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, (2009) Mencionan que el objetivo de los métodos sismo resistentes es controlar el desplazamiento de la edificación utilizando de los siguientes mecanismos: (p. 23)

- Modificar las propiedades dinámicas de la edificación.
- Los dispositivos mecánicos disipan energía que entra al sistema.
- Controlar con dispositivos las fuerzas ocasionadas por el movimiento sísmico.

#### Figura 3:

*Sistemas de control de vibraciones*



Nota: (Segovia David, 2016).

En la actualidad los métodos de protección sísmica abarcan desde sencillos dispositivos como disipadores de energía hasta complejos métodos de protección que

requieren grandes cantidades de energía para trabajar y contrarrestar la actividad sísmica por medio de actuadores. A diferencia de otros sistemas, los sistemas de control pasivo no necesitan una fuente de energía externa para trabajar porque se basa en elementos que reaccionan inercialmente a la actividad sísmica. (Torres Rodas, 2011, p. 14)

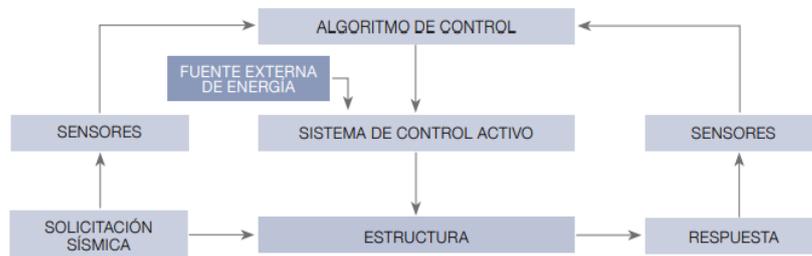
El objetivo del diseño sismo resistente es reducir la respuesta estructural, asegurando una adecuada ductilidad, rigidez y resistencia. Se han utilizado en estructuras flexibles los métodos de control activo, semiactivo y pasivo y se han planteado como alternativa para mejorar la respuesta estructural, en Estados Unidos y Japón. Estos estudios, junto con el éxito de las edificaciones y puentes que se han construido utilizando métodos de control sísmico, indican que acabará siendo uno de los ámbitos más importantes en la ingeniería civil (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2007, p. 1)

### ***2.3.1. Sistemas de control activo***

Los métodos de control sísmico activos son complejos, utilizan actuadores dinámicos, sistemas, sensores de movimiento, y tratamiento de datos (ver Figura 5). Estos sistemas controlan la respuesta sísmica de la edificación y contrarresta los efectos aplicando una fuerza necesaria. El comportamiento del sistema activo se resume en que, la respuesta de la estructura y las excitaciones externas se miden por medio de sensores, generalmente acelerómetros instalados en la estructura (ver figura 4). Además de su costo, uno de los principales inconvenientes de este método de protección es que requiere de energía externa para continuar trabajando mientras dure el terremoto. Sin embargo, son la mejor opción de control sísmico para edificaciones, ya que pueden modificar en tiempo real la respuesta sísmica, lo que se traduce en un mejor funcionamiento de las edificaciones. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 12). Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento (2009) Indican que son sistemas poco robustos, debido al elevado consumo de energía asociado a su funcionamiento ante un evento sísmico. (p. 25)

**Figura 4:**

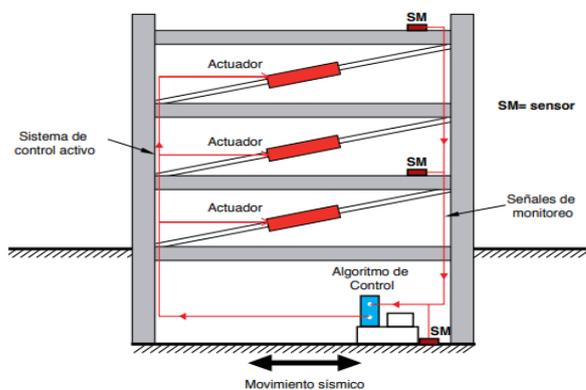
*Esquema mecanismo de operación de sistemas activos*



Fuente: (Cámara chilena de la Construcción, 2011)

**Figura 5:**

*Esquema de estructura con sistema de control activo*



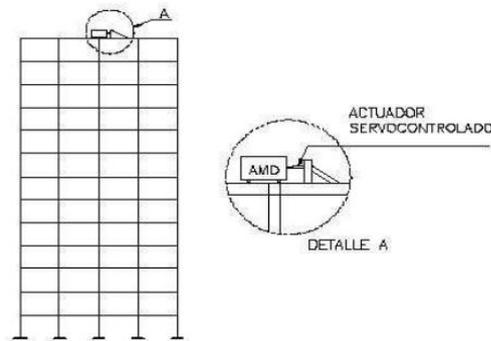
Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

- Los sensores ubicados dentro de la edificación se utilizan para medir parámetros de la respuesta sísmica en la edificación.
- Los sensores determinan la fuerza que se debe aplicar para contrarrestar el impacto sísmico.
- Los actuadores para alimentarse suelen necesitar energía externa.

Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento (2009) Mencionan que el amortiguador de masa activa (AMD), que se instala en las últimas plantas de la estructura y tiene conectado un actuador, es un ejemplo de protección activa, El (ADM) es una masa móvil que suele aportar menos del 1% de la masa total de la edificación (ver Figura 6). La masa oscilante presenta una fuerza inercial que debe contrarrestar los efectos sísmicos para mejorar la respuesta estructural a valores apropiados. (p. 25)

**Figura 6:**

*Edificio con control de desplazamientos mediante ADM*



La edificación “Seiwa Kyobashi” es la primera en usar este tipo de protección, Se compone de dos osciladores AMD (véase la Figura 7), uno de los cuales se utiliza para el control del desplazamiento transversal y el segundo para disminuir el desplazamiento lateral. El objetivo es minimizar las vibraciones ocasionadas por solicitaciones sísmicas y fuertes vientos. (Torres Rodas, 2011, p. 16)

**Figura 7:**

*Edificio KYOBASHI SEIWA, TOKIO*



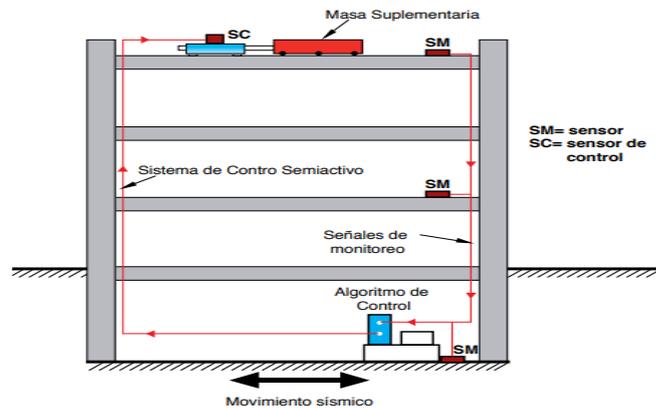
La necesidad de una fuente de energía externa es un requisito fundamental del método de protección activo, que los hace sensibles a interrupciones de fluido de electricidad, lo cual es habitual cuando ocurre sismos. Estos dispositivos logran mejorar la respuesta sísmica de una edificación, pero uno de sus principales inconvenientes es que lo podrían empeorar al añadir energía cinética al sistema y volverlo inestable. (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2007, p. 86)

### 2.3.2. Sistema de control semi-activos.

Al igual que el método activo, el sistema de control semiactivo posee aparatos que controlan la edificación en tiempo real (ver Figura 9). Sin embargo, el sistema activo, a diferencia de otros sistemas altera las características de los elementos que disipan energía en tiempo actual, no aplican fuerzas de protección directamente sobre la edificación. Ejemplo de este método de protección son los dispositivos de fricción controlable y los amortiguadores de masa. La figura 8 expone una edificación controlada por un sistema semiactivo. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 13)

**Figura 8:**

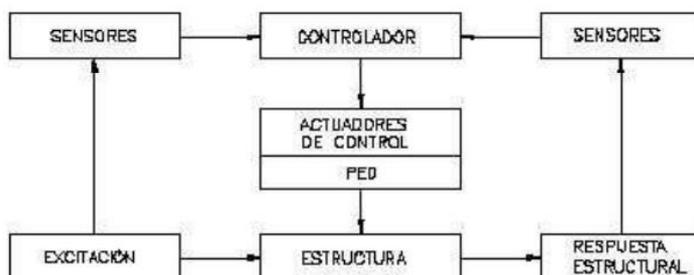
*Esquema de estructura con sistema de control semi-activo*



Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

**Figura 9:**

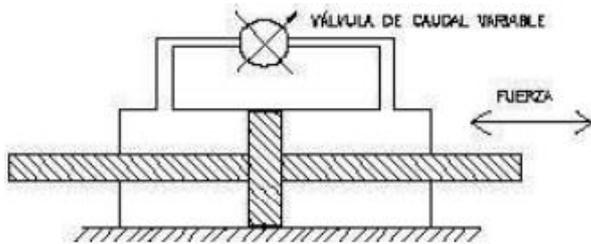
*Esquema de trabajo del sistema de control semiactivo.*



Usando una válvula de caudal variable (ver la figura 10), se expone un amortiguador hidráulico variable (Variable Hydraulic Damper), el cual modifica entre ambas cámaras hidráulicas la cantidad de carga pérdida.

**Figura 10:**

*Dispositivo para control semiactivo*



Llamaron mucho el interés en la última década los sistemas de control semiactivo porque proporcionan la resistencia del sistema de protección activo sin los requisitos energéticos que conllevan estos. Varios sistemas semiactivos funcionan a base de baterías, esto resulta una ventaja cuando ocurren sismos severos, en la que la línea de suministro eléctrico pueda faltar. Se define, que un disipador de protección semiactivo no es capaz de incrementar la energía (tanto la estructura como el dispositivo), pero si incluye características que puedan modificarse para disminuir la respuesta sísmica. Así pues, los dispositivos de protección semiactivo al contrario de los sistemas de protección activo, no pueden desestabilizar el sistema estructural. El rendimiento del sistema semiactivo es superior al del sistema pasivos y, en ocasiones, incluso al sistema activos. (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2007, p. 87)

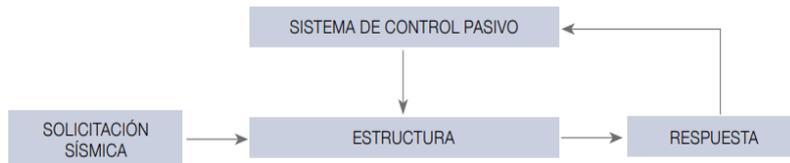
### **2.3.3. Sistema de control pasivo.**

El sistema de protección sísmica más utilizados actualmente son los sistemas pasivos. Los dispositivos de disipación y aislación de energía entran en esta categoría. Mediante sistemas mecánicos creados específicamente para distribuir la energía por medio de calor, los dispositivos pasivos ayudan a controlar la respuesta sísmica de las edificaciones. Dado que estos se utilizan con mayor frecuencia que los sistemas semiactivos y activos, es que se manejarán con mayor cuidado. Los dispositivos pasivos dependen solo de las condiciones de funcionalidad en la que se encuentran, son elementos reactivos cuyas respuestas son incontrolables, ver Figura 11. Estos modifican las

propiedades y provocan una disminución de la respuesta sísmica de la edificación, lo que tiene efectos económicos positivos. (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009).

**Figura 11:**

*Esquema mecanismo de operación de sistemas pasivos*



Los aisladores de energía desacoplan parcialmente el movimiento del terreno del edificio, reduciendo la entrada de energía y la respuesta sísmica enviada a la superestructura. Demuestran su eficacia al optimizar la energía disipada y disminuir la respuesta estructural sin alterar la entrada de energía. Dependen primordialmente del período y de la masa de la edificación. Se indica también que las dos características más importantes del sistema pasivo es primero su robustez ya que son sencillos y no se apoyan de fuentes energéticas y segundo el costo comparado con las construcciones que de forma convencional. (Torres Rodas, 2011, p. 17).

“Los dispositivos de control pasivos reaccionan al movimiento y disipan la energía de la edificación. Estos sistemas, incluyen disipadores, amortiguadores y aisladores de energía” (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2007, p. 81).

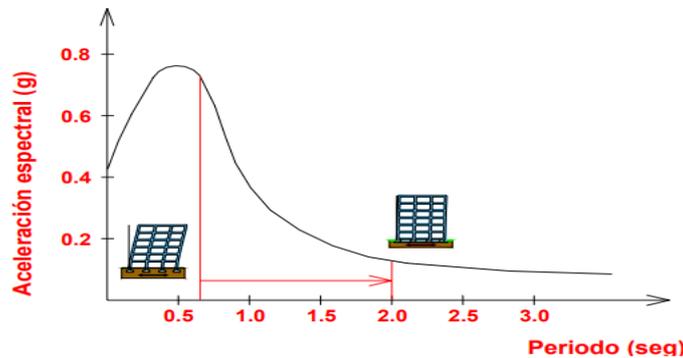
## **2.4. DISPOSITIVOS DE SISTEMA PASIVOS:**

### **2.4.1. Aislamiento de la base.**

Al emplear el aislamiento sísmico, cabe mencionar que el periodo modal de la edificación se incrementa más de lo que sería si estuviera unido al suelo, este aumento del periodo consigue una reducción significativa de la fuerza sísmica (ver Figura 12), pero hay un aumento significativo en el desplazamiento de la edificación respecto del suelo. (Muñoz, Tinman, & Quiun, p. 9).

**Figura 12:**

*Disminución de fuerzas sísmicas debido al incremento de periodo*



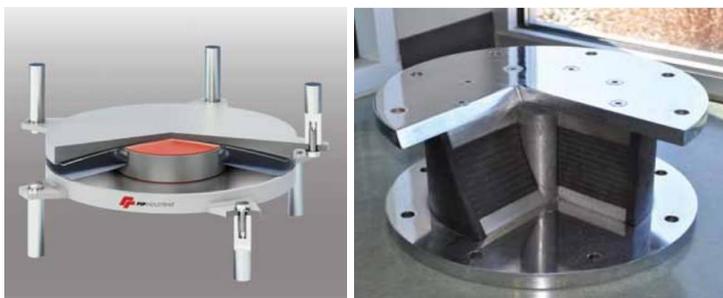
Nota: logrado por aislamiento Fuente: (Muñoz, Tinman, & Quiun)

El mejor método para la protección sísmica de edificaciones relativamente bajas o rígidas es el aislamiento sísmico de la base. Los más usados y desarrollados actualmente son los elastoméricos y los friccionales (ver Figura 13). Esta filosofía de diseño no se centra solo en la prevención de daños a la edificación, sino que en situaciones extremas puede inclusive impedir o restringir el ingreso del sismo a la estructura. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 24)

El problema principal de las edificaciones con elevada relación ancho altura, es su elevado momento de volteo, que puede provocar la pérdida de estabilidad. (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009, p. 29)

**Figura 13:**

*Péndulo friccional - Aislador tipo LRB*



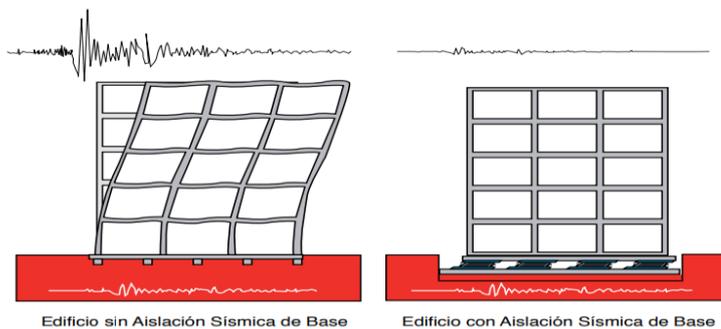
Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

Genatios & Lafuente (2016) Afirman que, Debido a los bajos valores de aceleración y los períodos modales altos, la fuerza causada por el terremoto en la edificación se reduce considerablemente. La finalidad de instalar los aisladores sísmicos

es impedir que los desplazamientos horizontales del cimiento causados por el sismo se transmitan a la superestructura (ver Figura 14). Al introducir aisladores sísmicos a esta edificación, se logra aumentar su periodo fundamental. Esto supone una disminución de las aceleraciones de diseño (ver Figura 15), lo que ayuda significativamente al rendimiento de la estructura.

#### Figura 14:

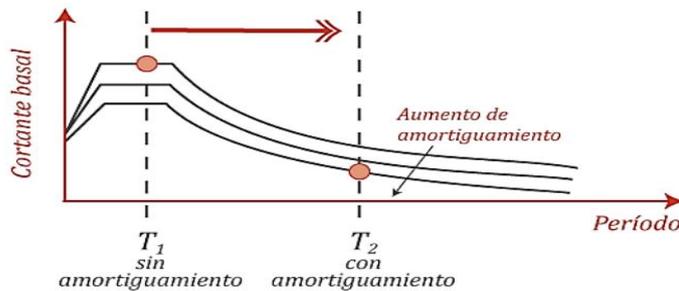
*Respuesta sísmica de edificio sin aislación y con aislamiento*



Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

#### Figura 15:

*Disminución de la aceleración espectral*



Nota: Por incorporación del aislador sísmico FUENTE: (Genatios & Lafuente, 2016)

Además, dado que es en el propio dispositivo de aislamiento donde se concentran las demandas de desplazamiento, la edificación no está sometida a enormes desplazamientos (que podrían dar lugar al fallo estructural debido a la inestabilidad) ni a fuerte deformación (que podrían generar el colapso por altos esfuerzos). Ya que los aisladores concentran el daño, resulta más económica y sencilla la reparación en general. Cuando en el diseño estructural se utilizan aisladores sísmicos, se pretende que la



edificación actúe rígidamente que descansa encima de los aisladores; por consiguiente, los desplazamientos de la edificación se minimizan, lo que proporciona mínimos desplazamientos y derivas. Los aisladores están diseñados específicamente para soportar estas importantes deformaciones, protegiendo a la edificación. Los aisladores deberán reaccionar a estos desplazamientos, y si en caso resultaran dañados, es sencillo sustituirlos. (Genatios & Lafuente, 2016, p. 54)

Los dispositivos de aislamiento no deben emplearse en todas las edificaciones ni en todos los suelos, ya que encarecerían las construcciones. En cambio, se ha creado dispositivos que permiten disminuir considerablemente la demanda sísmica de las edificaciones mediante el uso de mecanismos de alto amortiguamiento. Se han creado dispositivos que disipan energía que aprovechan los metales y también amortiguadores de fluido viscoso. Por lo general, los dispositivos de control sísmicos (mediante amortiguamiento o aislamiento) han demostrado ser bastante eficaces para reducir el daño estructural y mejorar las condiciones de funcionamiento de los edificios durante y después del sismo. Tal y como se plantean actualmente los objetivos del análisis sismorresistente, parece que estos métodos de protección serán primordiales en un futuro próximo. La mejor opción para minimizar el daño y mejorar el comportamiento sísmico de las edificaciones es instalar dispositivos modernos de control sísmico. Tanto para la protección de las estructuras nuevas como para la protección de las estructuras existentes, se debe diseñar un programa que incorpore estos métodos de construcción. (Muñoz, Tinman, & Quiun, p. 10).

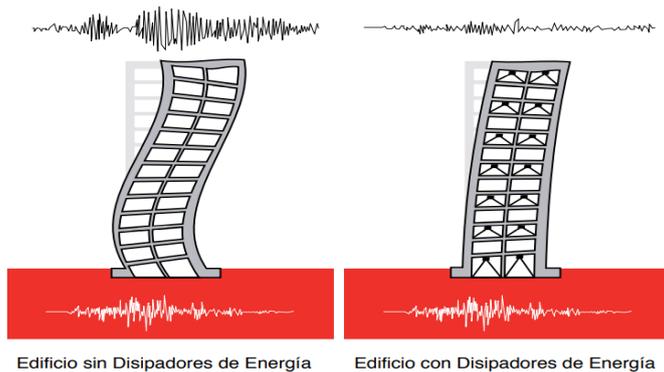
#### ***2.4.2. Disipadores de energía.***

Si bien los disipadores no impiden que ingrese la energía a la estructura, son creados principalmente con el objetivo de concentrar la disipación de energía (ver figura 16), disminuyendo significativamente la cantidad de energía que se disipa por la

edificación. La utilización de dispositivos sísmicos disminuye la respuesta estructural, minimizando los daños de los elementos estructurales. Los dispositivos de energía suelen funcionar mejor para edificaciones flexibles o esbeltas o para suelos de baja calidad. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, pp. 8, 31)

**Figura 16:**

*Respuesta sísmica edificio sin y con disipadores.*



Fuente: (Cámara Chilena de la construcción, 2011)

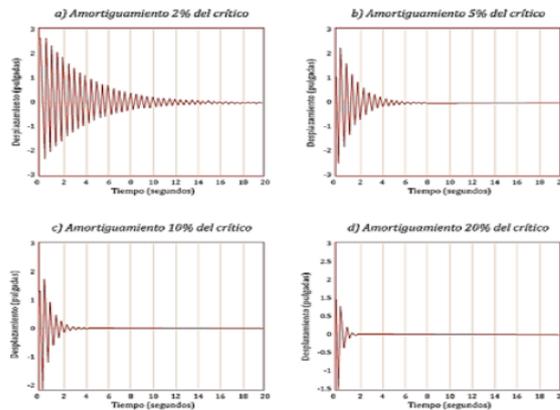
Los espectros de diseño que tienen en cuenta un 5% de amortiguación viscoso equivalente en el sistema estructural se toman en consideración en la mayoría de los reglamentos y normas técnicas para el diseño sísmico de estructuras, como se expone en la Figura 17. Es el parámetro de amortiguación que se emplea con más frecuencia en las normas sísmicas para el análisis de estructuras. La inclusión de disipadores de energía en la estructura principal requiere que se tengan en cuenta otros factores de reducción de fuerza sísmica a lo largo del proceso de diseño, así tener en cuenta los impactos del aumento de amortiguamiento de los disipadores. (Genatios & Lafuente, 2016, p. 114).

Torres Rodas (2011) Indica que, según su manera de activación, los dispositivos pasivos de disipación pueden dividirse en tres grupos, ya fuera por velocidades, desplazamiento o una mezcla de velocidades y desplazamientos. El primer grupo, también conocido como viscosos, depende sobre todo de la velocidad, y los disipadores viscoelásticos pueden ser a base de fluidos viscoelásticos o sólidos que se transportan a través de orificios. Mientras que el segundo grupo, también conocidos como histeréticos

dependen en gran medida del desplazamiento y se basan en la plastificación de los metales, ya sea por cortante, flexión, torsión o extrusión, así como la fricción entre superficies.

**Figura 17:**

*Oscilación de sistemas de IGDL con amortiguamiento viscoso*

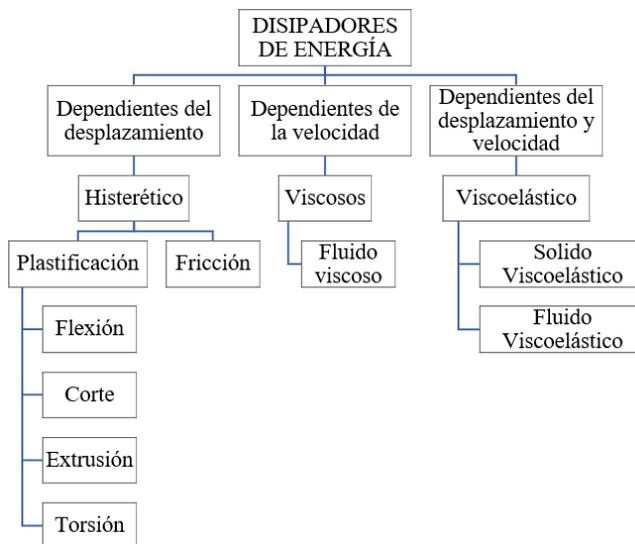


Fuente: (Genatios & Lafuente, 2016).

Los disipadores de energía trabajan en función de las dependencias para impedir el colapso de las edificaciones y, en consecuencia, proteger plenamente la integridad física de sus habitantes. Según la sociedad americana ASCE 7 – 10, existen varios disipadores de energía, estos se exponen en la Figura 18. (Chavez Aguirre, 2016, p. 32)

**Figura 18:**

*Dispositivos disipadores de energía*



Fuente: (Chavez Aguirre, 2016)



Oviedo & Duque, (2006). Indican que, entre los principales disipadores de control pasivo, destacan por su funcionalidad y economía los disipadores histeréticos metálicos, que se basan en deformaciones plásticas; en particular los de acero se transforman en un tipo de dispositivo, cuya homogeneidad permite caracterizar fácilmente sus propiedades mecánicas. Los amortiguadores de torsión, anillos de amortiguación de fluencia, riostras metálicas y las placas de flexión son algunos ejemplos de disipadores metálicos de acero utilizados en todo el mundo. (p. 112).

La inversión inicial suele ser superior a la de una edificación convencional. Sin embargo, se compensa con la disminución de la probabilidad de daños estructurales y no estructurales durante el tiempo de vida de la edificación por un evento sísmico severo. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 34).

Bajo una determinada carga, una edificación convencional responderá de forma lineal o no lineal (a causa de la fluencia), una edificación que incluye disipadores habitualmente exhibe un funcionamiento no-lineal, ya que la dinámica de los disipadores en desplazamientos y velocidades locales es no-lineal. (Villarreal Castro & Oviedo Sarmiento, 2009, p. 44).

El doctor Luis Bozzo menciona que no hace mucho uso de aisladores, porque cada columna, cada elemento tiene un aporte para que el edificio trabaje, el uso de aisladores se encarga aproximadamente del 80% de la carga sísmica y si el sistema de aislación falla se puede entender que todo el resto está destinado a fallar.

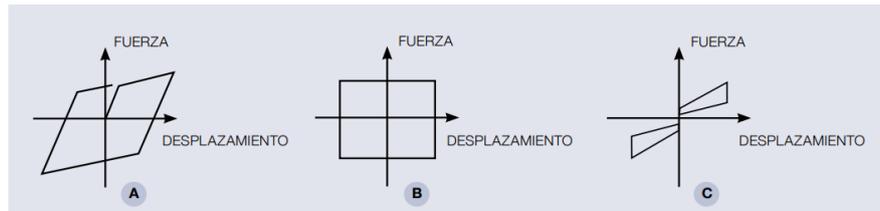
#### **2.4.2.1 Disipadores activados por desplazamientos (histeréticos)**

Estos dispositivos distribuyen la energía a través de deformaciones plásticas de sus elementos o por medio de rozamiento de superficies creadas principalmente para este fin. Se incluyen en esta categoría los disipadores metálicos de fricción y de extrusión. En la figura 19 se muestran los ciclos típicos

de deformación de la fuerza para los disipadores que se activan por desplazamiento. La energía disipada por el dispositivo está representada por el área que cubre la curva. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 15)

**Figura 19:**

*Ciclo carga-deformación disipador activado por desplazamiento*



*Nota:* a) metálico, b) Friccional y c) Autocentrante.  
Fuente: (Cámara Chilena de la Construcción, 2011)

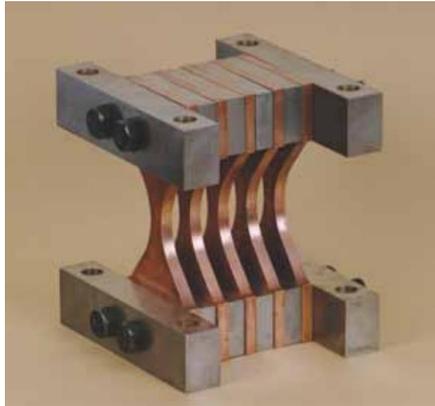
Los dispositivos histeréticos están en función del desplazamiento; también añaden amortiguación y rigidez a la edificación, lo que se considera un inconveniente porque se desea que un disipador solo añada amortiguación, pero no rigidez, así conseguir una edificación dúctil, además, estos disipadores deben ser sustituidos tras un evento sísmico importante. (Chavez Aguirre, 2016, p. 33).

Se expone en la figura 20, 21 disipadores histeréticos, que el aumentar la rigidez no siempre es una desventaja, y resulta excelente para edificaciones con periodos excesivamente altos, ya que no es necesario cambiarlos después de un evento sísmico. Un claro ejemplo son las estructuras metálicas, no siempre son cambiadas después de un evento sísmico.

Una forma eficaz para disipar energía que un sismo produce en el edificio es mediante la deformación inelástica de los metales. Aunque las placas de varios de estos disipadores son de acero blando, los investigadores también han probado otros materiales con resultados alentadores, como el plomo y materiales con memoria de forma. (Gómez, Marulanda, & Thomson, 2007, p. 82).

**Figura 20:**

*Dispositivo metálico tipo ADAS.*



**Figura 21:**

*Dispositivo Histerético por fricción.*



Dentro de este grupo se encuentra los disipadores SLB, que en la presente tesis servirán de estudio.

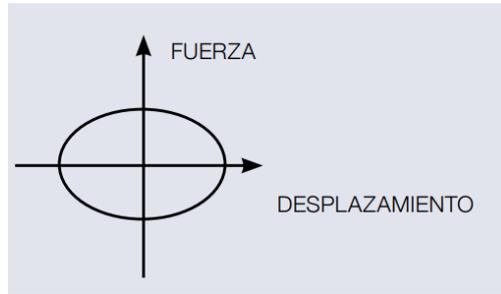
- Disipadores metálicos
- Disipadores friccionales
- Disipadores flexión
- Disipadores plastificación de metales

#### **2.4.2.2. Disipadores activados por velocidad (viscosos)**

Los dispositivos de esta clasificación se activan en función de la velocidad relativa. Estos sistemas suelen proporcionar a las edificaciones amortiguamiento, manteniendo su rigidez lateral. La Figura 22 es un ejemplo del ciclo de deformación-fuerza de un dispositivo que se activa por velocidad. Estos dispositivos suelen proporcionar protección estructural durante sismos de mediana, baja y gran magnitud. Esta forma de dispositivo disipa energía al empujar y regular un fluido muy viscoso por medio de orificios elegidos con longitudes, diámetros y ángulos. Estos disipadores se comportan como amortiguadores de un automóvil, pero tienen potencia para resistir las fuerzas provocadas por los sismos (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, pp. 18, 19).

**Figura 22:**

*Ciclo fuerza-deformación amortiguador*



**Figura 23:**

*Disipador de fluido-viscoso.*

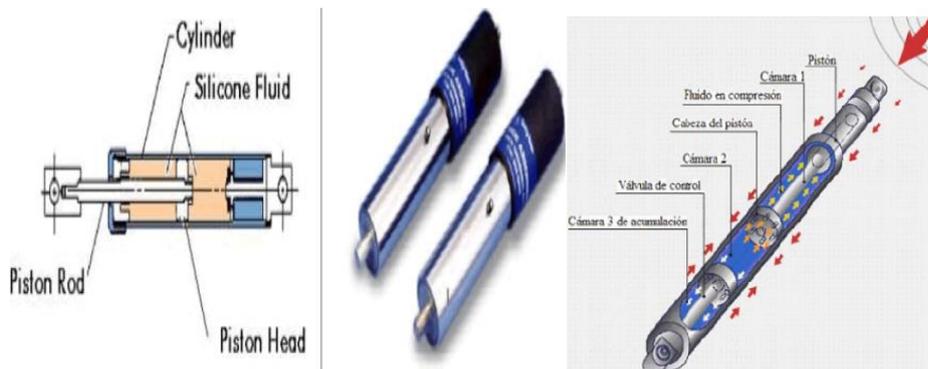


Gómez, Marulanda, & Thomson, (2007). Indican que un amortiguador de fluido viscoso permite disipar energía y consta de un pistón que es movido dentro de un cilindro lleno de un compuesto de silicona.

El dispositivo de fluido viscoso, que depende de la velocidad, se considera el mejor a nivel mundial porque tiene una ventaja significativa sobre los histeréticos gracias a una tecnología que fue patentada por la NASA. También se distinguen de los demás porque no sobrecargan la edificación y no requieren de sustituidos tras un sismo severo. Debido a que estos la resistencia de estos dispositivos varía con la velocidad, los dispositivos de fluido viscoso tienen la propiedad de disminuir simultáneamente las fuerzas y deformaciones de la edificación. (ver Figura 24). (Chavez Aguirre, 2016, p. 35).

**Figura 24:**

*Disipadores de fluidos viscoso - Taylor devices*



Fuente: (Chavez Aguirre, 2016)

Los materiales utilizados deben ser resistentes a esfuerzos de ruptura, a la corrosión y al impacto. Esto es especialmente cierto en el caso del cilindro del dispositivo, que debe soportar esfuerzo triaxial. El fluido debe poseer elevada viscosidad, ser resistente al fuego (es decir, no combustible ni inflamable), ser constante en largos períodos de tiempo y en cambios de temperatura, actualmente, los únicos fluidos que cumplen estos requisitos son basados en siliconas. (Torres Rodas, 2011, p. 36).

Genatios & Lafuente (2016) Indican que un dispositivo de fluido viscoso disipa energía mediante una fuerza resistiva a la velocidad, la fuerza resistiva del dispositivo actúa en sentido contrario al movimiento de la edificación, Como el disipador reacciona según las reglas de la mecánica de fluidos, la magnitud de la fuerza resistiva cambia con respecto a la velocidad en cualquier instante.

#### **2.4.2.3 Disipadores activados por desplazamiento y velocidad(viscoelásticos)**

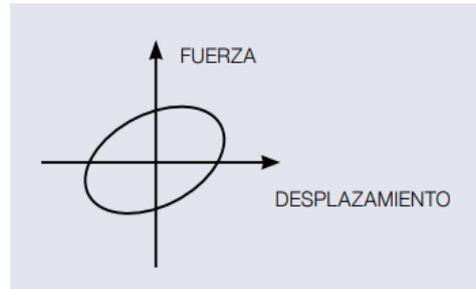
La acción conjunta de velocidades y desplazamientos activan los dispositivos de esta categoría. Estos sistemas suelen añadir amortiguamiento y rigidez a las estructuras. La figura 25 representa un ciclo de fuerza-deformación para este tipo de disipadores. Estos disipadores se realizan con material viscoelástico colocado en medio de placas de acero. En la Figura 26 se entiende que por causa del movimiento de las placas de acero estos disipan la energía mediante la deformación del material viscoelástico. (Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p. 19).

Chavez Aguirre, (2016) menciona que este disipador es considerado como el mejor y de mayor acogida mundialmente, sino que además adiciona a las edificaciones una mayor rigidez, lo que la hace perfecta para las que tienen periodos demasiado grandes. Durante la última década, los dispositivos

viscoelásticos se han utilizado para disminuir la respuesta sísmica de las edificaciones. Existe una clase de material viscoelástico sólido que disipa la energía a cualquier grado de deformación; por ello, se emplean tanto en actividades eólicas como sísmicas.

**Figura 25:**

*Ciclo fuerza-deformación.*



**Figura 26:**

*Disipador sólido viscoelástico.*

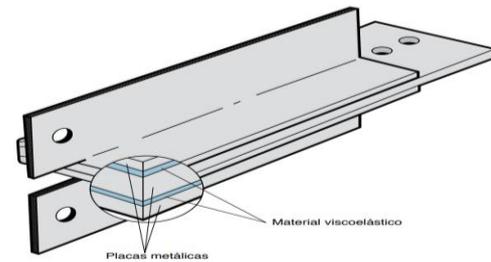
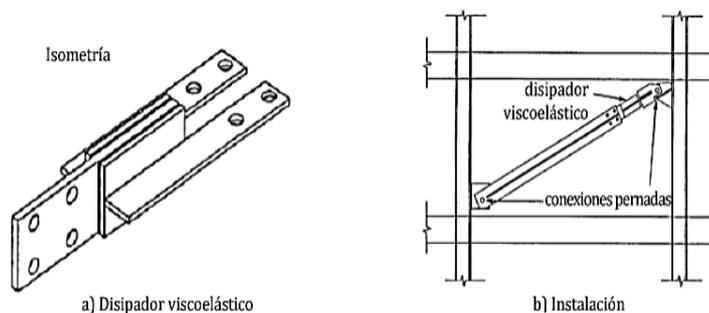


Figura 17. Disipador sólido viscoelástico.

En 1969 se instalaron unos diez mil dispositivos viscoelásticos en las torres gemelas en New York para minimizar los movimientos provocados por el viento. La mayoría del contenido viscoelástico son polímeros que ofrecen la capacidad de disipar energía al deformarse por corte. El diseño general de estos disipadores se expone en la Figura 27, donde la disipación se genera cuando hay movimiento relativo entre el contenido viscoelástico y las placas de acero. La frecuencia de las vibraciones, deformaciones severas y los cambios de temperatura deben tenerse en cuenta en el diseño, ya que pueden alterar el rendimiento del disipador. (Genatios & Lafuente, 2016, pp. 83, 123)

**Figura 27:**

*Disipadores viscoelásticos*



Fuente: (Genatios & Lafuente, 2016)

## 2.5. DISIPADORES SLB (POR PLASTIFICACIÓN DE METALES).

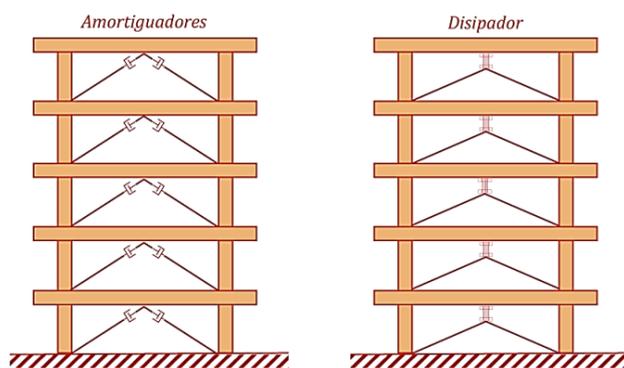
(Aguar falconí et al,2016, p. 1). indica que los disipadores SLB son dispositivos basados en la histéresis o en la fluencia del acero. Bozzo et al (2019) Menciona que el inicio de las conexiones SLB puede remontarse a un diálogo con el profesor Popov en 1989 en la U.C. Berkeley, quien indica, que “Por fuerza de corte, el acero es un extraordinario disipador de energía”, en alusión al utilizado método de pórticos excéntricos metálicos en estructuras. Indica también que los dispositivos histeréticos por plastificación de metales SLB, concentran los requisitos de ductilidad en conexiones producidas comercialmente con cualidades mecánicas específicas, obteniendo una mejora con respecto al diseño tradicional de estructuras que se basa en la ductilidad y hiper-estatismo. Es fundamental reconocer las diferencias entre (1) disipadores, que son sistemas que responden a los desplazamientos y comienzan a resguardar la edificación en función a su rigidez, que para los SLBs es demasiado alta y comienzan a trabajar a décimas de mm, y (2) amortiguadores, son sistemas que dependen de la velocidad del edificio de manera que requieren altas velocidades para comenzar a trabajar y mostrar sus ventajas en la respuesta sísmica.

Amortiguador = periodo constante (Taylor) – velocidad.

Disipador = periodo variante (SLB) – rigidez.

### Figura 28:

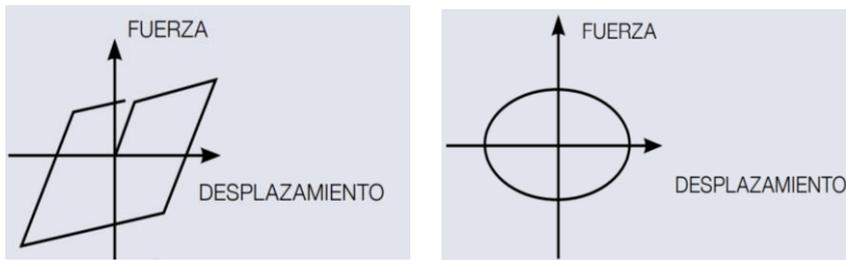
*Sistemas pasivos de control de respuesta*



Fuente: (Genatios & Lafuente, 2016)

### Figura 29:

#### *Ciclos de carga deformación*



Nota: a) Activado por desplazamiento b) Activado por velocidad.

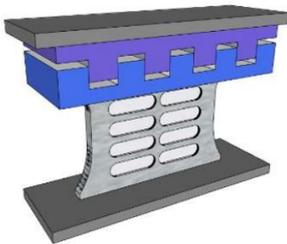
Bozzo L. Nos indica que los amortiguadores trabajan con la velocidad, los disipadores trabajan con la rigidez. Se entiende que los disipadores SLB rigidizan y amortiguan a la edificación. No se debe utilizar amortiguadores si no se ha cumplido con el drif. Si se va a utilizar amortiguadores sus derivas deben estar controladas.

Los dispositivos SLB son conexiones no lineales metálicas basadas en el aumento de ductilidad en el edificio, este método de disipación sísmica cuenta con un doble modo de fallo (por flexión y corte) que posibilita una mayor seguridad, capacidad y reducción considerable de las fuerzas producidas por un sismo intenso, Enciso Navarro, (2019).

Se busca combinar las disciplinas del control actual y el diseño estructural clásico mediante el uso de conexiones “Shear Link Bozzo” incorporando conceptos de flexibilidad, ductilidad y rigidez. (ver figura 30),) (Bozzo & Gaxiola, 2015, p. 1)

### Figura 30:

#### *Disipador histerético tipo SLB*



Estos disipadores concentran los requisitos de ductilidad en conexiones producidas comercialmente y especificados mecánicamente. Sin embargo, Debido a su altísima rigidez inicial, los disipadores SLB pueden considerarse rótulas plásticas que el

diseñador puede colocar según su conocimiento y creatividad, en lugar de un dissipador predefinido. (Bozzo et al, 2019, p. 3).

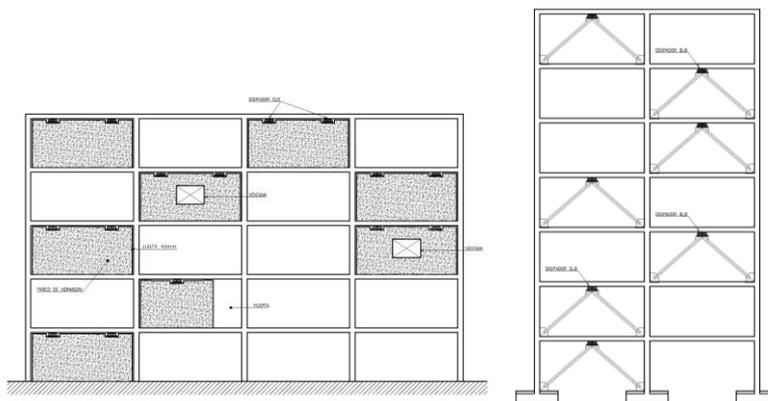
El efecto del desplazamiento de la estructura se desvía a estos lugares construidos específicamente para este fin, evitando que se produzcan daños en la edificación, ya que estos dissipadores presentan un fallo dúctil y no suponen una amenaza para la seguridad de la estructura. (Enciso Navarro, 2019, p. 38).

### 2.5.1. Formas de colocación de dissipadores SLB.

Bozzo & Gaxiola (2015) Entre los ejemplos de aplicación se encuentra el sistema tradicional de diagonales Chevron, así como novedosos muros desacoplados. Véase en la Figura 31.

#### Figura 31:

#### Formas de colocación dissipadores SLB



Nota: a) Aplicación clásica con diagonales b) Aplicación de paredes desacopladas

Fuente: (Bozzo & Gaxiola, 2015)

La opción 1 representa la aplicación sugerida con muros de concreto desacoplados de 15 a 30 cm con dissipadores SLB, que no necesitan estar alineados en altura, porque la conexión no transfiere la carga axial, mientras que la opción 2 muestra la aplicación tradicional con diagonales metálicas que limitan la fuerza transferida a los dissipadores, siendo estos dos los métodos más utilizados. (Bozzo, y otros, 2019, p. 3).

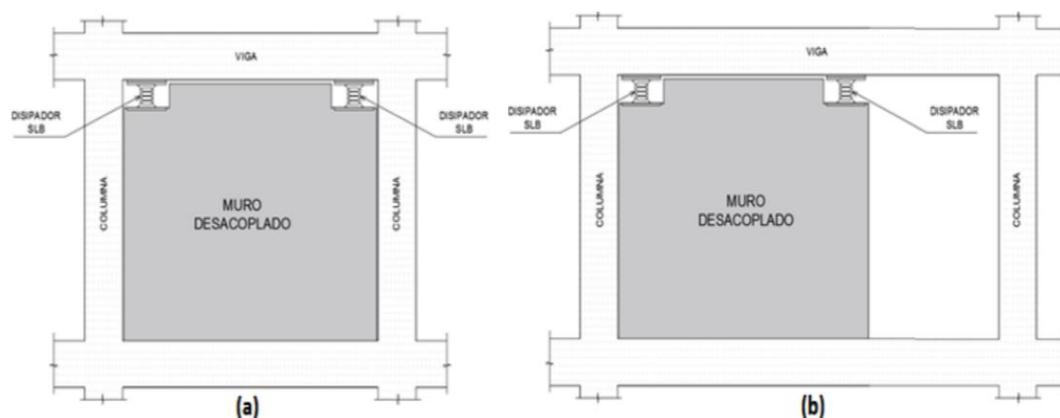
Bozzo L. menciona que se desarrolla así un novedoso sistema de muros desacoplados mediante disipadores que reemplazan al necesario muro continuos. La ubicación en planta depende del funcionamiento de la edificación y se puede utilizar en cualquier dirección de manera independiente, en la medida en que no se produzca esfuerzos de torsión; en altura se permite la ubicación en niveles específicos o en todos los niveles de la edificación del muro desacoplado más disipador SLB, generalmente este enfoque de localización es similar al de muros continuos o placas.

### 2.5.2. Ubicación de los disipadores SLB.

Los dispositivos SLB se fijan en la parte superior del muro desacoplado, como se muestra en la Figura 32, estos deben ubicarse por debajo de los pórticos. Para que se produzcan desplazamientos relativos que inicien el trabajo de los disipadores, éstos deben ubicarse por la parte superior con la viga y por debajo con los muros desacoplados. (Enciso Navarro, 2019, p. 58)

#### Figura 32:

##### Ubicación de disipadores SLB



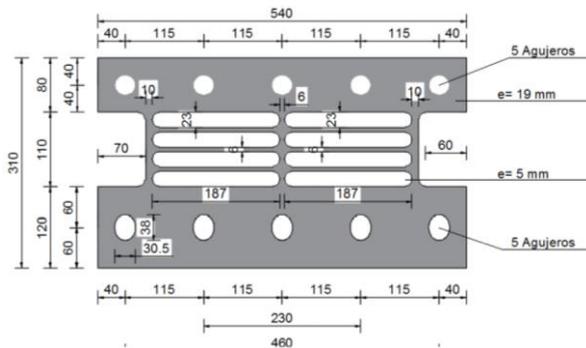
Bozzo et al, (2019) indica que la ubicación es libre tanto en planta y altura, a causa de la conexión tipo almenada o peine que impide la transferencia de carga vertical en los disipadores, lo cual permite el movimiento vertical como resultado, la fuerza axial será igual a cero.

### 2.5.3. Dispositivo *Shear Link Bozzo SLB*.

Se expone la geometría del dispositivo de energía SLB40\_5 en la Figura 33. Se trata de una placa de acero de 19 mm de espesor, que se lamina para crear 8 ventanas de 187mm de largo por 23 mm de alto cada una, así como la manera señalada. (Aguilar Falconí et al, 2016, p. 125).

**Figura 33:**

*Geometría del disipador SLB40\_5*



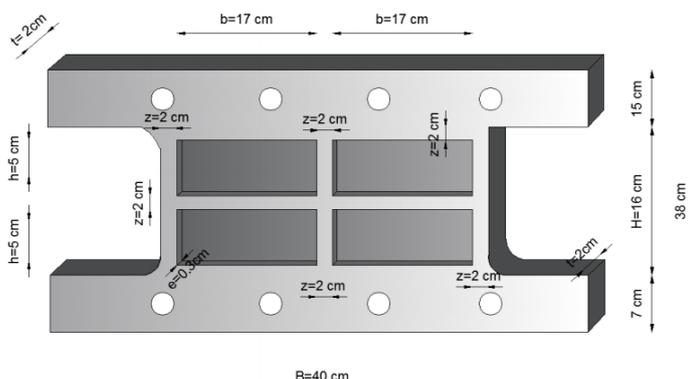
Fuente: (Aguilar Falconí et al, 2016)

- Disipadores de la primera generación
- Disipadores de la segunda generación
- Disipadores de la tercera generación

Para empezar, conviene explicar la distinción entre un disipador SLB de segunda y tercera generación. La figura 34 expone un SLB40\_3, el último dígito está asociado con el espesor de la ventana, para este caso 3 mm.

**Figura 34:**

*Disipador SLB40\_3 de la segunda generación*

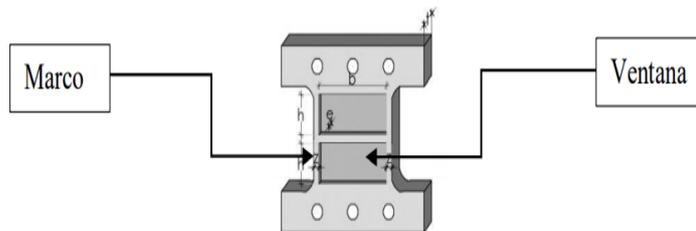


Fuente: (Aguilar falconí et al, 2016)

En los dispositivos de segunda generación, la altura de la ventana es más alta; en la Figura 34, la altura es de 5 cm. Sin embargo, la altura de ventana de la tercera generación es 2.5 cm. De este modo, la tercera generación tiene más ventanas. Cabe destacar que las ventanas sufrirán la plastificación del material. El problema de los dispositivos SLB de segunda generación es que, la plastificación se producía conjuntamente en las ventanas y en el marco al trabajar con cargas laterales, conocido como abolladura. Al ser las ventanas más cortas la plastificación primero se dará en estas. (Aguilar Falconí et al, 2016, p. 125)

**Figura 35:**

*Disipador SLB de dos ventanas.*

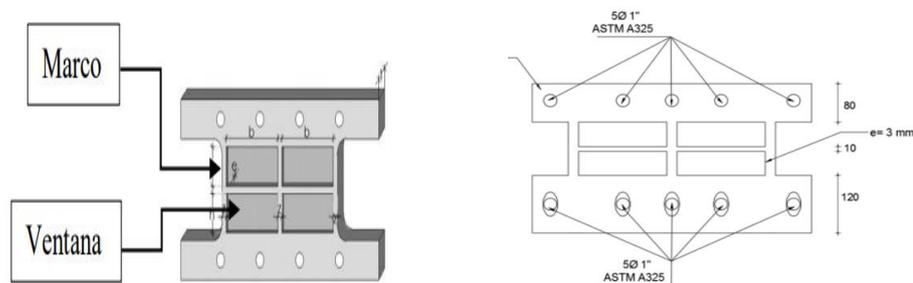


Fuente: (Enciso Navarro, 2019)

La Figura 35 expone un dispositivo que consta de dos marcos rigidizadores y dos ventanas para la dirección lateral. En la Figura 36 se expone otra configuración la cual consta de tres marcos rigidizadores y cuatro ventanas.

**Figura 36:**

*Disipador SLB de cuatro ventanas.*



Fuente: (Enciso Navarro, 2019)

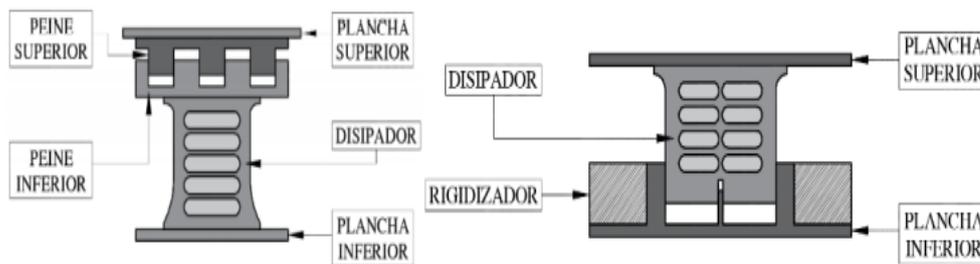
Como menciona (Aguilar et al, 2016, p. 134) para la Figura 37 Los agujeros para los pernos en la parte superior son circulares, mientras que los agujeros para los pernos

en la parte inferior son ovalados verticalmente, así evitar que las cargas axiales se transmitan al muro desacoplado.

El disipador por plastificación de metales SLB, está fabricado con acero  $F_y=2530$  kg/cm<sup>2</sup> A36. Las características y geometría de los disipadores se muestra en la Figura 37

**Figura 37:**

*Disipador SLB con conexión tipo peine*



Fuente: (Enciso Navarro, 2019)

Una característica muy importante es que los dispositivos pueden colocarse libremente en altura y en planta, ya que la conexión tipo almenada o peine impide la transferencia de carga axial. La altura total es de 235 mm pertenece a 155 mm de altura del propio dispositivo y 80 mm de la “conexión almenada” o placa dentada, aunque para el análisis se utiliza la altura del dispositivo, o sea 155 mm. Además, la longitud depende de la fuerza de plastificación inicial, actualmente oscila entre sólo 60 mm para una fuerza de plastificación inicial de 35,6 kN hasta 500 mm para una fuerza de plastificación inicial de 897,7 kN. El disipador SLB de tercera generación satisface todos los requisitos mencionados anteriormente, pero tiene mayor rigidez. (Bozzo et al, 2019, p. 2)

Enciso Navarro, (2019). Nos informa que no se produce ninguna soldadura entre ambas partes ya que son creados por medio de fresado. Las ventanas se describen como zonas débiles que se plastifican como resultado de un movimiento sísmico, debido a sus cortas dimensiones transversales, tienen la ventaja de comenzar a disipar la energía para deformaciones extremadamente pequeñas, con la capacidad de reducir las derivas y ofrecer ventajas para los elementos estructurales.

No es necesario que la edificación alcance una velocidad determinada para que los disipadores empiecen a funcionar, ya que, a la primera fracción milimétrica de movimiento, el disipador comienza su plastificación en la zona débil. En consecuencia, todos estos disipadores comienzan a trabajar de inmediato cuando se detecta desplazamiento, mas no velocidad. (Bozzo L. M., 2014, p. 56).

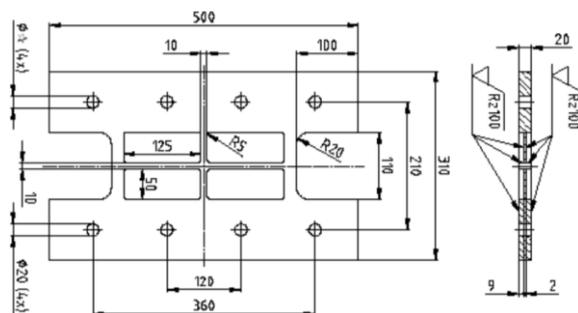
#### 2.5.4. Características mecánicas y modelo bilineal de disipadores SLB.

Histéresis: Ciclos de carga y descarga que viene a estar dado por el comportamiento del material. El modelo bilineal es el más utilizado para describir el comportamiento de los dispositivos SLB, porque describe con mayor precisión las propiedades mecánicas. En el disipador, tanto el marco como la ventana funcionan en el rango elástico, mientras que sólo el marco funciona en el rango plástico. (Enciso, p. 45)

La Figura 38 expone el dispositivo SLB 30\_2 de cuatro ventanas de 2 mm de espesor y de un marco cuadrado de 2 cm de sección transversal. Mientras que la Figura 39 muestra la curva de histéresis del disipador. El desplazamiento de la ventana es idéntico a la del marco. El marco funciona como una columna con una rigidez  $kr$  que en sus extremos está empotrada y las ventanas con rigidez  $kv$  que trabajan a flexión. Estos componentes, pueden considerarse para el comportamiento fuerzas deformación lateral como un modelo bilineal, con una rigidez  $kdis1$  en el rango elástico y  $kdis2$  en el rango plástico, funcionan como dos resortes en paralelo. (Aguiar et al, 2016, pp. 127,129).

#### Figura 38:

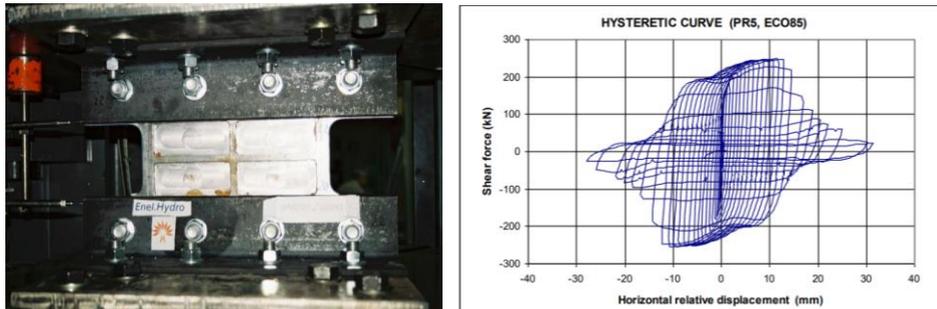
##### Características del disipador SLB 30\_2



Nota: (a) Geometría del dispositivo SL30\_2.

**Figura 39:**

*Disipador antes del ensayo - diagrama de histéresis SLB 30\_2*

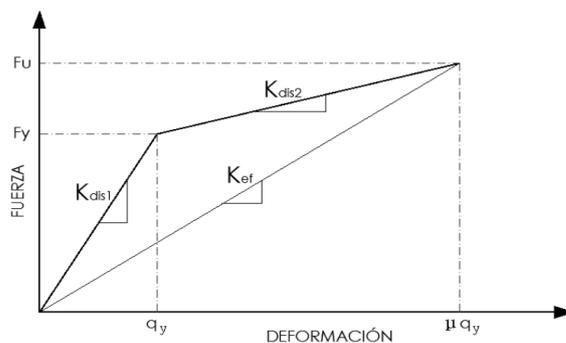


*Nota:* (b) Ensayo en el laboratorio de Ismes en Bergamo, Italia y (c) Curva experimental para este dispositivo *Fuente:* (Aguiar et al, 2016)

Los parámetros del modelo bilineal incluyen el desplazamiento de fluencia ( $q_y$ ), la fuerza de fluencia ( $F_y$ ), la fuerza máxima ( $F_{max}$ ), la rigidez elástica ( $K_{dis1}$ ) y la rigidez pos fluencia ( $K_{dist2}$ ). Gracias a que suministran un adecuado comportamiento no lineal, estos parámetros reflejan con precisión las características de los dispositivos SLB. En la Figura 40 se representa el modelo bilineal o comportamiento de un dispositivo en respuesta a la aplicación de un registro sísmico. (Enciso Navarro, 2019, p. 45)

**Figura 40:**

*Diagrama de histéresis bilineal del disipador*



*Fuente:* (Aguiar et al, 2016)

$$k_{dis1} = kr + kv$$

$$k_{dis2} = \alpha kr$$

La rigidez  $K_{dis1}$  supone el funcionamiento del dispositivo cuando una carga de menor magnitud se empieza a aplicar, la respuesta es lineal en este tramo. La rigidez del tramo  $K_{dist2}$  representa el comportamiento del material después de la fluencia, se dan



grandes deformaciones para incrementos relativamente pequeños de fuerza de corte, en este tramo, se da para cargas cíclicas elevadas, o fuerzas mayores al de la fluencia del material. El proceso de descarga en el disipador, causado por el sismo en sentido contrario, comienza a producirse a partir del punto máximo del diagrama de histéresis. (Enciso Navarro, 2019, p. 46). “El análisis no lineal se puede realizar de dos formas, la primera trabajando con  $k_{dis1}$  y  $k_{dis2}$ , la segunda trabajando con  $kef$ ”. (Nuzzo et al. 2015) citado en (Aguar, 2016, p. 130)

Bozzo L, Menciona que es fundamental comprender que la rigidez del marco y la rigidez de la ventana funcionan conjuntamente, nos indica que los disipadores no son la solución, sino una herramienta más que aporta a la seguridad de la edificación. Para que estos lleguen a romperse tiene que un frift de 0.007 que en centímetros viene a ser de 2 a 3cm, incluso si se rompe sigue trabajando, ya que tiene un doble modo de fallo, este no se toma en cuenta y se considera como un factor de seguridad.

En todos estos disipadores, el desplazamiento de rotura es de 30 mm a 35 mm, se puede calcular el desplazamiento máximo de entrepiso o la deriva (drift) entre 0.01 y 0.012 utilizando una altura de entrepiso de 320 cm. Es fundamental verificar, mediante un análisis tiempo historia no lineal, que los desplazamientos promedios de cada dispositivo para las señales elegidas no superen los límites mencionados. (Bozzo, et al, 2019, p. 4)

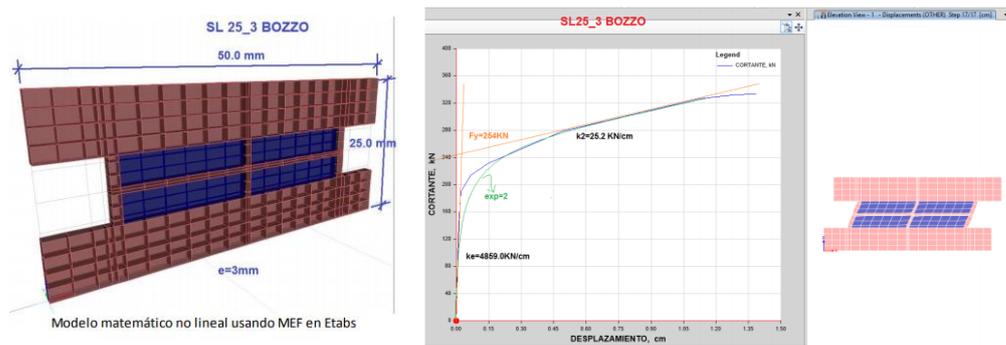
#### **2.5.5. Análisis de plasticidad numérica.**

Aguar et al (2016), expone que las ventanas funcionan a flexión en tanto los marcos funcionan ante fuerzas de corte, Se utilizan softwares informáticos como el RISA, ETABS o ANSYS para el ensayo ante fuerzas monotónicas (pushover) para calcular las propiedades mecánicas de los dispositivos SLB con un acero A36. (Aguilar Falconí et al, 2016, p. 126).

“El estudio se lleva a cabo mediante un modelo de elementos finitos FEM, como se ve en la Figura 41. Con este modelo se estudia la asignación de esfuerzos en el dispositivo y se optimizan sus dimensiones”. (Nuzzo et al, 2015, p. 273)

**Figura 41:**

*Modelo matemático no lineal usando MEF en ETABS*



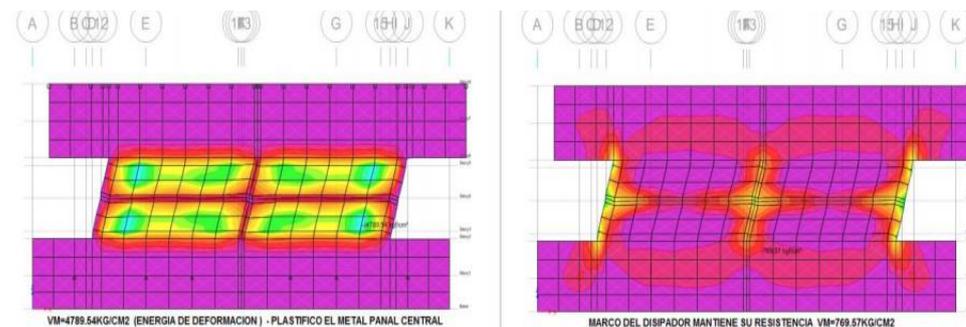
Fuente: (Cabanillas Rodríguez, 2016)

Cuando se realiza un análisis dinámico tiempo historia no lineal o cualquiera del tipo no lineal, se consideran los parámetros mecánicos obtenidos a través del modelo FEM. (Nuzzo, Losanno, Serino, & Bozzo, 2015, p. 274).

Enciso Navarro (2019) expone un modelo de disipador no lineal SLB 25\_3 utilizando FEM. Las Figuras 42 y 43 muestran la zona central plastificada por el metal y la preservación de la capacidad en el marco del dispositivo, respectivamente. Según Bozzo L., la cantidad de energía total disipada crece a medida que se incremente la cantidad de rigidizadores, este fenómeno se explica por el aumento de rigidez, aunque el área de las ventanas disminuya.

**Figura 42:**

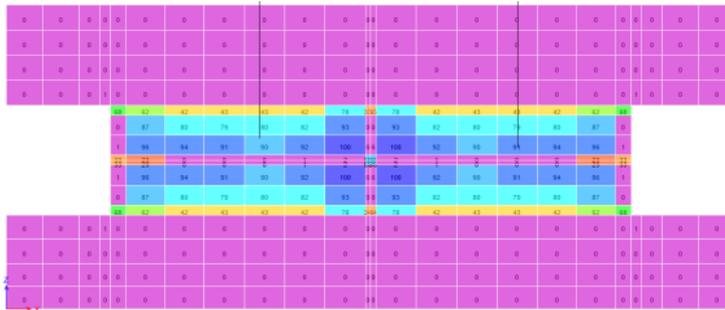
*Modelo de elementos finitos - capacidad del disipador (NoLineal)*



Fuente: (Cabanillas Rodríguez, 2016)

**Figura 43:**

*Disipación de energía de manera estable en el panel central*



Fuente: (Cabanillas Rodríguez, 2016)

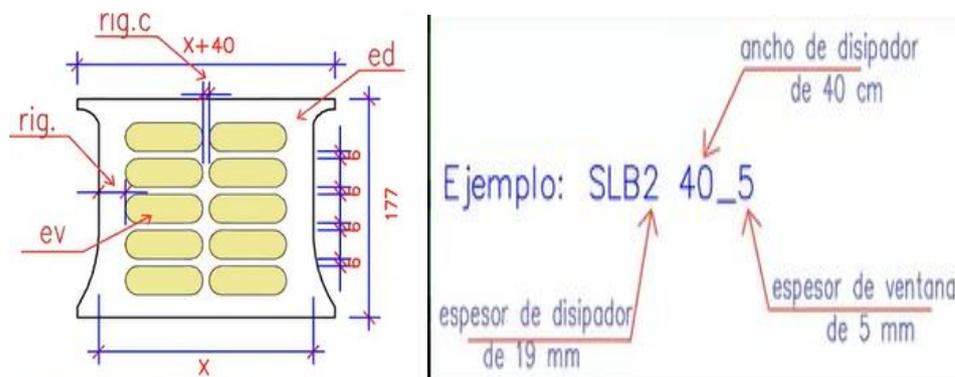
Se modifica la cantidad de marcos rigidizadores y de ventanas para crear una gama de disipadores SLB y, por medio de un análisis plástico se calibran las medidas con modelos FEM. Se muestra en el Anexo 8 la tabla de diseño de los dispositivos SLB, cuyos resultados se someten a una calibración numérico-experimental, se utilizan ensayos experimentales cíclicos para calibrar los modelos no lineales FEM (Hurtado & Bozzo, 2008) citado en (Enciso Navarro, 2019, p. 58).

### 2.5.6. Parámetros de diseño para los disipadores Shear Link Bozzo

Enciso Navarro, (2019). Menciona que la idea fundamental del dispositivo SLB es proveer una articulación plástica para varios tipos de desplazamientos y fuerza de plastificación. Por ello, no se propone un método único ni geometrías específicas, sino que se permite al proyectista elegir entre una variedad de opciones. (p. 41).

**Figura 44:**

*Criterios de distribución y selección de los disipadores SLB*



SLB (ed) X\_Y

X = Ancho en cm del dispositivo  $ed = 19$  mm de placa para 2

Y = Espesor (ev) en mm de la ventana  $ed = 25$  mm de placa para 3

$ed =$  depende del espesor en mm del dispositivo  $ed = 38$  mm de placa para 4

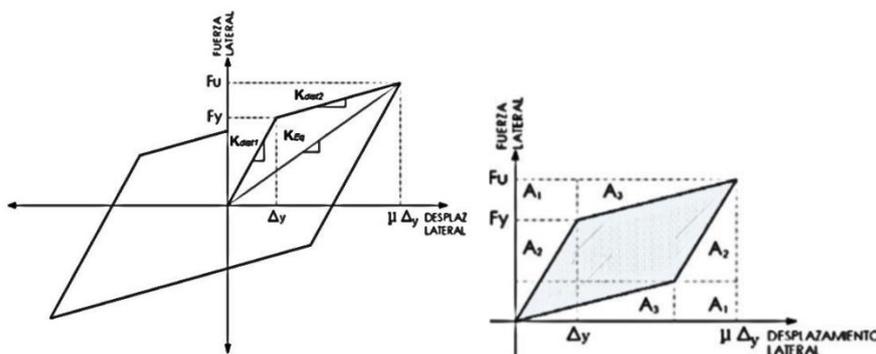
La figura 44 muestra la distribución del disipador tipo SLB, se cuenta con todo un amplio grupo de conexiones no lineales fabricadas en el Perú por la empresa “POSTESA” con características mecánicas definidas mediante ensayos y análisis no lineal listas para ser empleadas en programas como ETABS O SAP.

### 2.5.7. Energía disipada por los disipadores SLB.

Se debe mirar este diagrama fuerza-desplazamiento. El comportamiento numérico bilineal de un dispositivo SLB o de un TADAS se expone en la Figura 45. Se debe calcular la disipación de energía y la energía elástica en un ciclo de histéresis evaluando el rango de amortiguamiento equivalente  $\xi_{eq}$ . (Aguilar Falconí et al, 2016, p. 129).

#### Figura 45:

*Factor de amortiguamiento equivalente. Disipador TADAS y SLB*



Sea  $ED$  la energía disipada ver Figura 45, a causa de que un ciclo de histéresis equivale a la cuarta parte de esta área, al multiplicar la energía por cuatro del área sombreada resulta ser la misma que para un ciclo completo de histéresis. Se debe tener en consideración las áreas que aparecen en el gráfico para el cálculo.

$$E_D = 4 A_{RAY}$$

$$A_{RAY} = Fu \mu \Delta y - 2 A1 - 2 A2 - 2 A3$$

$$A1 = (Fu - Fy)\Delta y$$

$$A2 = \frac{1}{2} Fy \Delta y$$

$$A3 = \frac{(Fu - Fy)(\mu \Delta y - \Delta y)}{2}$$

$$E_D = 4 [Fu \mu \Delta y - 2 \Delta y (Fu - Fy) - Fy \Delta y - (Fu - Fy)(\mu \Delta y - \Delta y)]$$

La energía disipada está relacionada con la ductilidad, el desplazamiento y la fuerza de rotura del disipador.

$$E_D = 4 \Delta y (\mu Fy - Fu)$$

En la figura izquierda, se observa que:

$$Fu = Fy + Kp (\mu \Delta y - \Delta y)$$

$$Fy = ke \Delta y$$

Se tiene la energía disipada al reemplazar estos valores en la ecuación.

$$E_D = 4 \Delta y [Ke \mu \Delta y - Ke \Delta y - Kp (\mu \Delta y - \Delta y)]$$

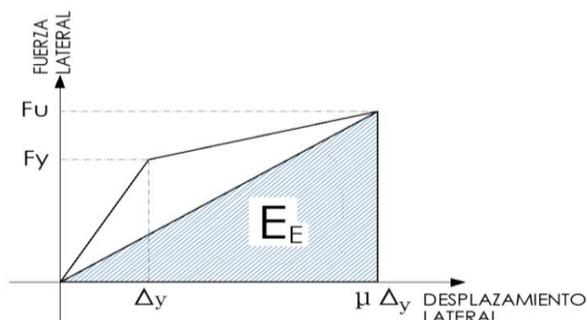
$$E_D = 4 \Delta y (Ke - Kp)(\mu \Delta y - \Delta y)$$

### 2.5.8. Energía elástica de un disipador

Aguilar Falconí et al, (2016) Se denomina energía elástica  $EE$ , al área sombreada que se expone en la Figura 46, que equivale a un ciclo de histéresis del dispositivo.

**Figura 46:**

*Energía elástica en un ciclo de histéresis*



$$EE = \frac{1}{2} Fu \mu \Delta y$$

$$k_{ef} = \frac{Fu}{\mu \Delta y}$$

$$E_E = \frac{1}{2} k_{ef} (\mu \Delta y)^2$$

### **2.5.9. Características y beneficios del disipador SLB**

La eficacia de los edificios utilizando dispositivos SLB frente a sismos recientes y los resultados de las pruebas realizadas en mesa vibrante en laboratorios como LNEC (Napoles), ISMES (Italia) y la Universidad Católica del Perú, (PUCP) muestran varias ventajas y características del disipador SLB que se saben a continuación:

- 1) Estudios experimentales en mesa vibrante mostraron que uno de los objetivos sismorresistentes puede alcanzarse diseñando estructuras con las fuerzas de un sistema flexible, pero con los desplazamientos de un sistema rígido. (Bozzo & Gaxiola, 2015, p. 19)
- 2) El trabajo del doble modo de fallo es que, al principio la energía se disipa en las ventanas por esfuerzos uniformes de cizallamiento, sin embargo, aunque se rompan, el marco seguirá disipando energía por flexión. O sea, después de que la ventana se degrade ofrece un sistema que sigue disipando energía. Aunque solo el primer modo de trabajo se utiliza para el diseño del disipador, el segundo se considera un aspecto adicional términos de seguridad. (Bozzo L. , Curso Análisis, Diseño y Refuerzo Estructural Empleando Disipadores SLB)
- 3) Mediante la plastificación del acero se reduce los esfuerzos sísmicos. Este principio se basa en la idea de ductilidad. (Enciso Navarro, 2019, p. 53)
- 4) Enciso Navarro (2019) También indica que modifica el periodo del edificio instantáneamente, no dependen del tipo de edificación ni de la clase de suelo.

- 5) Bozzo L. Indica que los disipadores son articulaciones plásticas definidas que se pueden colocar en puntos estratégicos se pueden implementar a cualquier sistema y, tras un fuerte sismo, sólo es necesario un control visual en lugar de ser cambiados.
- 6) La protección del edificio se inicia con movimientos inferiores a 1,5 mm, y después de sucesos sísmicos fuertes, la operatividad de los dispositivos persiste y la capacidad de deformación a rotura aumenta. (Enciso Navarro, 2019, p. 53)
- 7) Bozzo L. menciona que es una mejor propuesta técnica y económicamente puesto que el disipador puede aplicarse para proporcionar ductilidad o incrementar la resistencia de estructuras evitando así el fallo frágil en edificios existentes.

#### ***2.5.10. Muros desacoplados con disipadores SLB.***

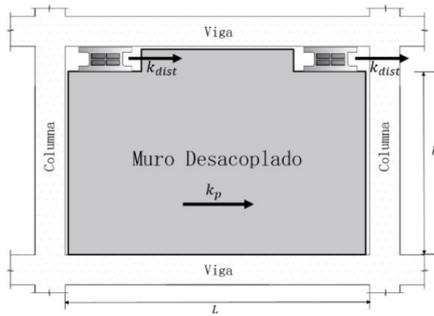
El término “muro desacoplado” se refiere al muro estructural que resiste fuerzas sísmicas pero que no está conectado a la estructura básica. Las juntas sísmicas separan los muros desacoplados de las vigas y columnas. Dicho de otro modo, transmiten sólo carga axial a las columnas mas no momentos. Los disipadores de energía, cuya finalidad es dotar a la edificación de capacidad de deformación y ductilidad, se sitúan en la parte superior de los muros desacoplados. (Bozzo et al, 2019, p. 48).

En los muros desacoplados (ver figura 47), su resistencia a fuerzas cortantes causadas por sismos y su rigidez lateral los convierten en el complemento ideal para el rendimiento del disipador, además proporcionan ductilidad, sirve como soporte base de los disipadores SLB (Bozzo & Gaxiola, 2015, p. 2).

La Figura 48 expone el comportamiento físico conjunto de los disipadores y el muro desacoplado.

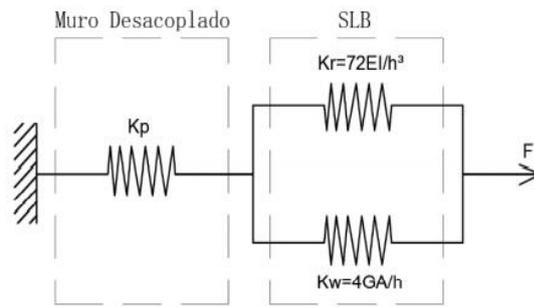
**Figura 47:**

*Muro desacoplado con dispositivos SLB*



**Figura 48:**

*Comportamiento físico disipador muro desacoplado*



De la figura 48, El método tradicional consiste en emplear dos disipadores por muro desacoplado, la rigidez del muro con las rigideces de los disipadores trabaja en serie. Entonces la rigidez equivalente del del sistema se puede determinar mediante la siguiente expresión:

$$\frac{1}{k_{eq}} = \frac{1}{k_p} + \frac{1}{2 \cdot k_{dist}}$$

La rigidez del disipador puede ser  $k_{dist1}$  o  $k_{dist2}$  dependiendo de la cantidad de desplazamiento. Donde  $k_{dist}$  es la rigidez del disipador o puede ser  $k_{ef}$  si se trabaja con la rigidez secante,  $k_{eq}$  es la rigidez equivalente. (Enciso Navarro, p. 55)

La alternativa propuesta consiste en muros desacoplados del marco, también llamados en algunos ejemplos como paneles disipativos y que sirven a su vez como cerramiento donde se ubican, pero conectados en su extremo superior mediante 2 conexiones tipo SLB en sus extremos cercanos a las columnas. Estas conexiones están diseñadas para no transferir fuerza axial por lo que solo están solicitadas a cortante (elemento importante para evitar transferir carga axial acumulativa entre plantas). No existen necesariamente en todos los niveles y no nacen necesariamente en los cimientos, pero se adaptan a las necesidades arquitectónicas y hacen más seguro el diseño convencional, dotando al sistema de ductilidad y rigidez. (Bozzo & Gaxiola, 2015, p. 3).

Como resultado de lo mencionado, los paneles disipativos o muros desacoplados no requieren que estén dispuestos en una misma línea vertical y son de libre ubicación en cualquier piso que se requiera, el espesor máximo espesor es de 30 cm y el mínimo es de 10 cm, no se necesita mayor espesor que 30 cm con este sistema.

### 2.5.11. El concepto rígido-flexible-dúctil.

El ideal sismo resistente es posible gracias a las conexiones SLB, que tiene el grado de desplazamiento de un sistema rígido pero las fuerzas del sistema flexible. Esto concentra las demandas de ductilidad en las conexiones prefabricadas. En mesa vibrante del laboratorio ISMES, se llevó a cabo con éxito experimentos con modelos a escala reducida. Estas pruebas demostraron experimentalmente que era posible construir edificaciones con el nivel de desplazamientos del sistema rígido, pero con el nivel de fuerzas del sistema flexible (Franchioni 2001), tal como exponen las curvas resultantes en la Figura 49, para un modelo a escala de un pórtico metálico incorporando muros de concreto obtenidas en la mesa vibrante de ISMES (Bozzo & Gaxiola, 2015, pp. 1, 2)

Se entiende del concepto que (sin disipador ni pared) es el sistema flexible (con disipador sin plastificar-en sus inicios y pared) es el sistema rígido que a medida que plastifica se acerca más a una respuesta flexible.

#### Figura 49:

a) Desplazamientos máximos b) Respuesta en aceleración máxima

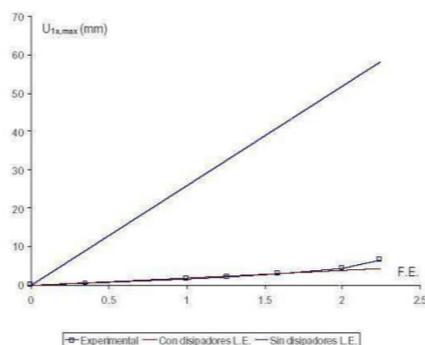


Figura 5.179 Desplazamientos máximos observados en los distintos test, comparados con los de la estructura con y sin disipadores en comportamiento lineal y elástico

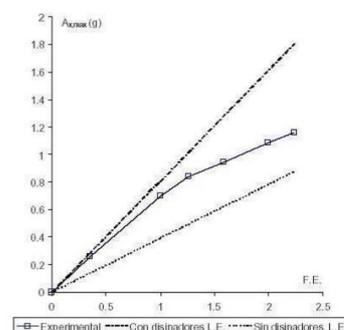


Figura 5.178 Respuesta máxima en aceleración observada en los distintos test, comparada con las respuestas lineales y elásticas de la estructura con disipadores y sin disipadores

Nota: (a) Desplazamiento en la cubierta también para diversos factores de escala del mismo terremoto. (b) Cortante en la base para diversos factores de escala (FE) del terremoto de Loma Prieta. Las dos líneas en cada figura representan al sistema flexible y al sistema rígido bajo respuesta lineal.

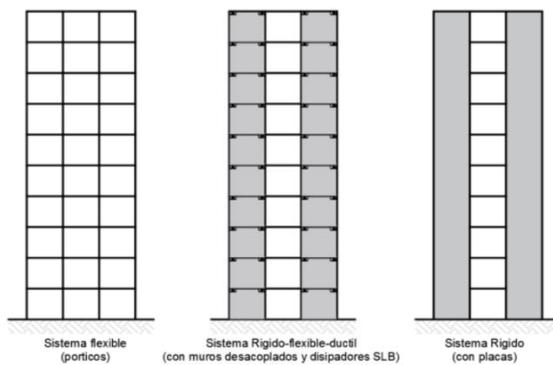
A partir de los cálculos resultantes en mesa vibrante, se concluye que el ideal sismorresistente se puede alcanzar, teniendo el nivel de desplazamientos del sistema rígido y el nivel de fuerzas del sistema flexible. Por otra parte, es claro que el nivel de fuerzas para el inicio de la plastificación de las conexiones tiene un papel importante para alcanzar este resultado para un determinado F.E del sismo. (Bozzo & Gaxiola, 2015, p.2)

La Figura 50 expone gráficamente los componentes de cada uno de los sistemas mencionados. Una edificación que consta del ideal sismo resistente está formada por disipadores SLB conectados a muros desacoplados. (Enciso Navarro, 2019, p. 57)

la tabla 2, expone una comparativa de los resultados de los sistemas mostrados en la Figura 50, entre los principales parámetros considerados son las derivas y la cortante basal. Se entiende que el ideal sismorresistente rígido-flexible-dúctil aporta respuestas que están dentro del sistema rígido y flexible.

**Figura 50:**

*Sistema flexible, sistema rígido-flexible-dúctil, sistema rígido.*



Fuente: (Enciso Navarro, 2019)

**Tabla 2:**

*Comparación sistema flexible, rígido-flexible-dúctil y rígido*

Parámetro	Sistema flexible		Sistema rígido -flexible-dúctil		Sistema rígido
Cortante basal	V1	<	V3	<	V2
Derivas	D1	>	D3	=	D2

Fuente: (Enciso Navarro, 2019)



## CAPÍTULO III

### MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

##### 3.1.1. *Enfoque de la investigación: Cuantitativa*

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) Señalan que el enfoque cuantitativo “*Es una serie de procesos que es secuencial y probatorio. Y los pasos no se pueden brincar o eludir*” (p.4). Dado que las preguntas proporcionan las hipótesis y determinan variables.

##### 3.1.2. *Nivel de la investigación: Descriptiva*

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) indican que la investigación es descriptiva porque pretende medir y recoger información sobre las variables que se estudian de manera individual o grupal. Se identifican las cualidades y rasgos específicos de cualquier fenómeno o evento que se estudie, se limita a medir sus dimensiones para posteriormente describirlas. La investigación busca analizar y especificar las características como fuerzas cortantes, desplazamientos y distorsión de entepiso de las estructuras de once y ocho niveles, implementando disipadores tipo Shear Link Bozzo, para así posteriormente ser comparadas y ser descritas.

##### 3.1.3. *Diseño de la investigación: No experimental*

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) señalan que en el estudio el diseño es no experimental porque “los fenómenos solo se observan en su estado natural para ser examinados”, y “Se lleva a cabo sin manejar deliberadamente las variables, se realiza sin hacer variar de forma intencional las variables”. Se ven los fenómenos en su entorno natural, en el estudio que se realiza no se manipulará variables



como fuerza cortante, desplazamientos y distorsiones de entrepiso sino por decirlo de una manera, se observará la situación existente.

#### ***3.1.4. Clasificación de la investigación: Transversal***

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) mencionan que “Es de tipo transversal el propósito del estudio, ya que recoge datos solo en un tiempo específico, es analizar y describir el impacto de las variables en ese momento concreto”. En el presente estudio se evaluará las estructuras de once y ocho niveles en la ciudad de Puno, implementando disipadores tipo Shear Link Bozzo.

### **3.2. INVESTIGACIÓN PURA O BÁSICA.**

Según (Carrasco Díaz , 2006) “Su objetivo principal es aumentar y ampliar la riqueza de la información científica ya existente sobre la realidad, no tiene aplicaciones prácticas inmediatas. Examina las teorías científicas como objeto de estudio para mejorar su contenido”. El presente trabajo de investigación busca ampliar la información existente en el campo de la ingeniería sísmica así lograr aportar entendimiento acerca de este tipo de disipadores de energía tipo Shear Link Bozzo histeréticos.

### **3.3. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO**

#### ***3.3.1. Población***

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) afirman que “La población es un conjunto total de las situaciones que se ajustan a una serie de criterios” (p.174). La población objetiva será dos edificaciones representativas que no cuentan con supervisión, ni índices de calidad en la ciudad de Puno.

#### ***3.3.2. Muestra***

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) Afirman que, en las muestras no probabilísticas, la selección de los componentes depende de factores



relacionados con las propiedades del estudio y no se basa en la probabilidad. el proceso se basa en la toma de decisiones del investigador, para este caso no se realiza con fórmulas de probabilidad” (p.176). La selección de la muestra no se basa en la probabilidad, sino que es por conveniencia o dirigida, puesto que se está seleccionando dos edificaciones representativas de once y ocho niveles, ubicadas en la provincia de Puno, con áreas construidas de 195.13 m<sup>2</sup> y 90.30 m<sup>2</sup>, además no se cuenta con un registro numérico de construcción de viviendas, sin supervisión, ni índices de calidad, no probabilística puesto que tiene un proceso de elección relacionado con las características que presenta el estudio, los datos solo se generalizan a esta, las muestras con la que se trabaja serán las estructuras de once y ocho niveles, cuentan con características también denominadas variables que serán observables y medibles, para así describir los resultados del fenómeno de interés.

### **3.4. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS PARA RECOLECTAR DATOS**

#### ***3.4.1. Técnicas de recolección de datos***

Niño Rojas, (2011). Manifiesta que “se entiende por técnicas las operaciones, actividades y procedimientos como la entrevista, observación, documentación etc.”. La técnica a usar en el estudio para la recolectar datos, será la documentación con el objeto de estudiar las estructuras de once y ocho niveles en la ciudad de Puno.

#### ***3.4.2. Instrumentos de recolección de datos***

Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio (2014) afirman que “Es aceptable un instrumento de medición que capture resultados medibles que reflejan con precisión las variables o conceptos que el investigador tenga en mente” (p. 199), Para el estudio a realizar según su característica, el instrumento será el análisis, bajo la norma de diseño sismorresistente E-030, en forma de documentos digitales, softwares como Excel y ETABS.



### ***3.4.3. Métodos para lograr los objetivos***

*Primero para obtener la respuesta sísmica:* Se utilizaron formatos en Excel, planos de construcción, esto permite calcular las medidas reales de los elementos estructurales de la edificación, además detalles técnicos y propiedades de materiales utilizados. Los datos conseguidos se examinan para realizar el metrado de cargas y el análisis sísmo resistente utilizando la Norma E-030, el análisis dinámico se realiza con la ayuda del programa computacional ETABS.

*Segundo para conseguir y comparar la respuesta sísmica implementando disipadores tipo SLB:* Se determina realizando en análisis lineal tiempo historia que emplea registros sísmicos, estos serán escalados a un espectro sísmico severo mediante el sistema de ajuste de espectro (spectral matching), para la selección del sismo de diseño del movimiento de terreno, se aplicará al modelo en el análisis tiempo historia no lineal, esta se empleará para ver la no linealidad de los disipadores así entender su comportamiento. Es importante señalar que el presente trabajo puede ser útil para una futura propuesta de norma sobre disipación sísmica, las recomendaciones y/o limitaciones que puedan presentarse.

## CAPÍTULO IV

### RESULTADOS Y DISCUSIÓN

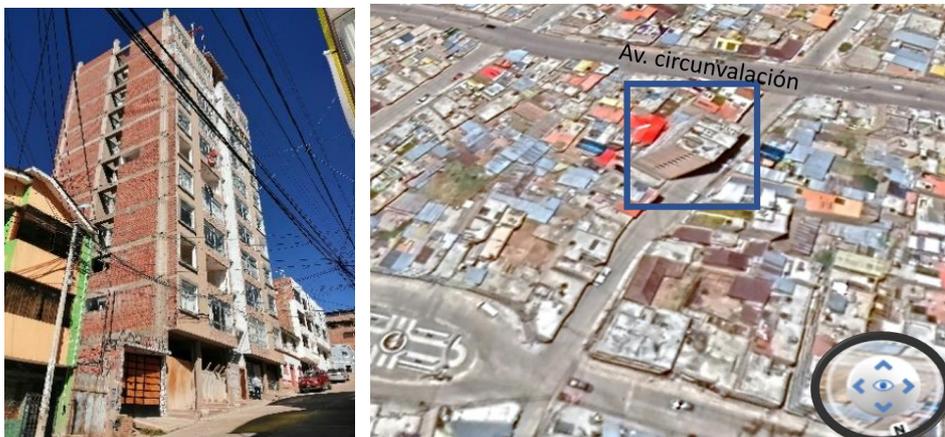
#### 4.1. GENERALIDADES DEL PROYECTO

##### 4.1.1. Descripción de las estructuras evaluadas.

En este capítulo analizaremos las edificaciones de once y ocho niveles, según la Norma E.030 de diseño sismorresistente las cataloga como edificaciones comunes tipo C, ubicadas en la ciudad de Puno. La primera estructura cuenta con once niveles en elevación como se muestra en la figura 51, con una altura del primer piso de 3.90 m y típico de 2.80m, obteniendo en altura un total de 32.10m con respecto a la altitud del terreno natural, además, muestra terreno irregular, con un área analizada en planta de 190.22 m<sup>2</sup>. La segunda estructura cuenta con ocho niveles en elevación como se muestra en la figura 52, con una altura del primer y segundo piso de 2.80 m y típico de 2.60 m, obteniendo en altura un total de 21.20 m respecto a la altitud del terreno natural, además expone un terreno regular, con un área analizada en planta de 90.30 m<sup>2</sup>. Ambas estructuras funcionan como departamentos, las cuales se analizarán sísmicamente, posteriormente ver si es necesario optimizarlas implementando disipadores de energía hysteréticos SLB contra sismo severo.

#### Figura 51:

*Localización de la estructura de once niveles a analizar*



**Tabla 3:**

*Coordenadas UTM de la edificación de once niveles*

Punto	Este	Norte	Elevación
1	390199	8247860	3873
2	390192	8247856	3873
3	390197	8247845	3872
4	390202	8247846	3872
5	390198	8247852	3871
6	390199	8247858	3872
7	390196	8247854	3872
8	390196	8247850	3873
9	390201	8247852	3873

*Nota:* El sistema cartográfico ayuda a referenciar puntos sobre la superficie terrestre, para apreciar la vista de estos puntos (véase el plano de ubicación Anexo 1) *Fuente:* Google Maps.

Seguidamente se muestra los aspectos de la edificación por niveles teniendo la siguiente distribución arquitectónica: Primer nivel (garaje y ascensor). Del segundo nivel al décimo nivel tenemos por nivel dos departamentos, por cada departamento se observa: (3 dormitorios, 2 servicios higiénicos, estudio, lavandería, cocina, sala-comedor), y en el onceavo nivel la azotea.

**Figura 52:**

*Localización de la estructura de ocho niveles a analizar*



*Nota:* La edificación se encuentra situada en el barrio Tribunal.

A continuación, se expone aspectos sobre la edificación de ocho niveles, no se ha constatado las medidas reales de construcción, solo se ha regido en los planos obtenidos, el funcionamiento considerado es como departamentos.

**Tabla 4:**

*Coordenadas UTM de la edificación de ocho niveles*

Punto	Este	Norte	Elevación
1	390129	8249580	3912
2	390136	8249580	3913
3	390135	8249571	3910
4	390128	8249571	3909
5	390129	8249576	3911
6	390132	8249576	3911

*Nota:* En la tabla se expone los puntos de la edificación sobre la superficie terrestre *Fuente:* Google Maps.

#### **4.1.2. Localización de las estructuras evaluadas.**

La edificación de once niveles se localiza

- Ubicación : En el jirón Chucuito N°349
- Departamento: Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno

La edificación de ocho niveles se localiza

- Ubicación : En el barrio Tribunal
- Departamento: Puno
- Provincia : Puno
- Distrito : Puno

#### **4.1.3. Características de los materiales.**

**Tabla 5:**

*Especificaciones técnicas del concreto*

Descripción	Valor	Unidad
Resistencia a la compresión	210.00	$kg/cm^2$
Peso unitario	2,400.00	$kg/m^3$
Módulo de elasticidad del concreto	217,370.65	$kg/cm^2$
Módulo de Poisson	0.20	
Recubrimiento en columnas y vigas	4	$cm$

*Nota:* Las características del cemento es un dato conseguido del plano de la edificación once niveles

**Tabla 6:**

*Especificaciones técnicas del acero.*

Descripción	Valor	Unidad
Esfuerzo de fluencia ( $f_y$ )	4,200.00	$kg/cm^2$
Peso unitario (us)	7,850.00	$kg/m^3$
Módulo de elasticidad del acero (Es)	2'039,000.00	$kg/cm^2$

*Nota:* Las características del acero es un dato conseguido del plano de la edificación once niveles

#### **4.1.4. Cargas vivas y cargas muertas repartidas (E.020)**

Según la información obtenida respecto a la edificación de once niveles en estudio, se efectúa el modelamiento estructural (idealización), ayudado por el programa ETABS, tomando en cuenta las cargas de servicio (carga viva y muerta) y las características no lineales de los materiales mostrados en las Tablas 5 y 6, Se describen seguidamente las cargas actuantes en las edificaciones, respecto a la segunda edificación de ocho niveles se consideran las mismas características del material.

- Concreto  $2,400\text{ kg/m}^3$
- Aligerada de 0.20m  $300\text{ kg/m}^2$
- Piso acabado  $100\text{ kg/m}^2$
- S/C sobre techos  $200\text{ kg/m}^2$  (viviendas-departamentos)
- S/C sobre escaleras  $200\text{ kg/m}^2$
- S/C en azotea  $100\text{ kg/m}^2$

De los materiales, las propiedades para realizar el análisis sísmico son:

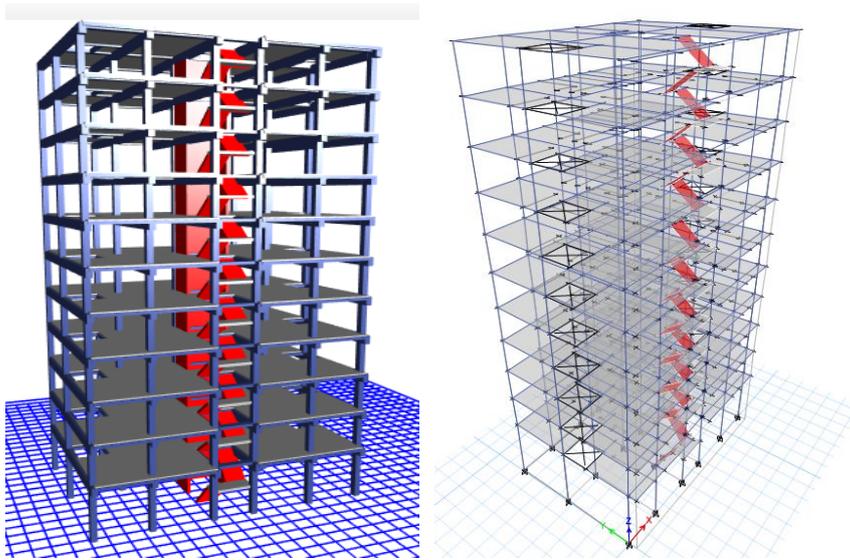
- Concreto  $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$
- $E_c = 15000 * \sqrt{f_c} = 2'173,706.512\text{ tonf/m}^2$
- Acero:  $f_y = 4,200\text{ kg/cm}^2$

Al considerar el peso específico del material se modelan los elementos estructurales principales como son: columnas, losas aligeradas y vigas por medio del programa computacional ETAB, la idealización de la edificación de once niveles (ver la

figura 53), coincide con características mostradas en la Tabla 7 y las cargas vivas y muertas adicionales se han modelado directamente como cargas distribuidas sobre los elementos. (ver figuras 57 y 58). La idealización de la edificación de ocho niveles (ver la figura 54), coincide con características mostradas en la Tabla 13.

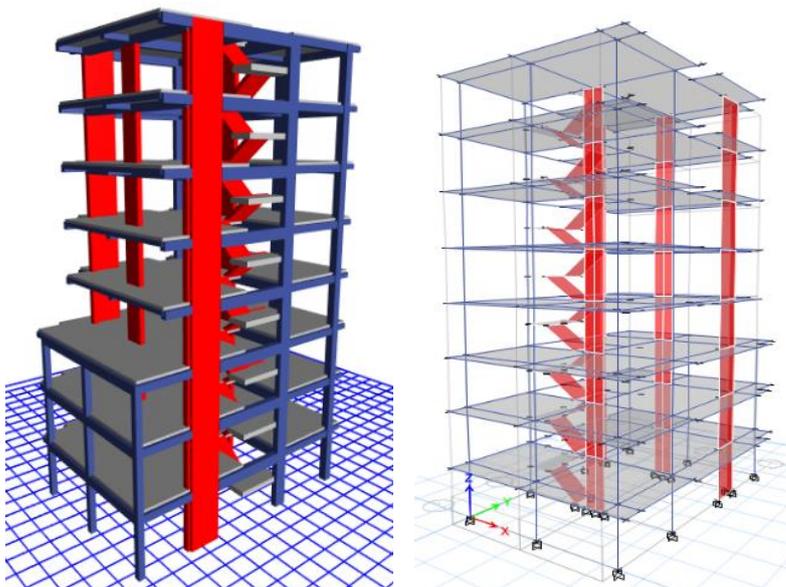
**Figura 53:**

*Idealización de la estructura de once niveles.*



**Figura 54:**

*Idealización de la estructura de ocho niveles*



## 4.2. CRITERIOS Y CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL

### 4.2.1. Configuración estructural de la edificación de once pisos.

La estructura en concreto armado cuenta con un sistema aporricado, teniendo losas de entrepiso aligeradas que descansan sobre las vigas, irregular como se muestra en la sección 4.3.1.7 Las propiedades esenciales del suelo están en función al análisis de mecánica de suelos, así también se detalla la capacidad portante como apunte principal.

#### Tabla 7:

*Características de la edificación de once niveles*

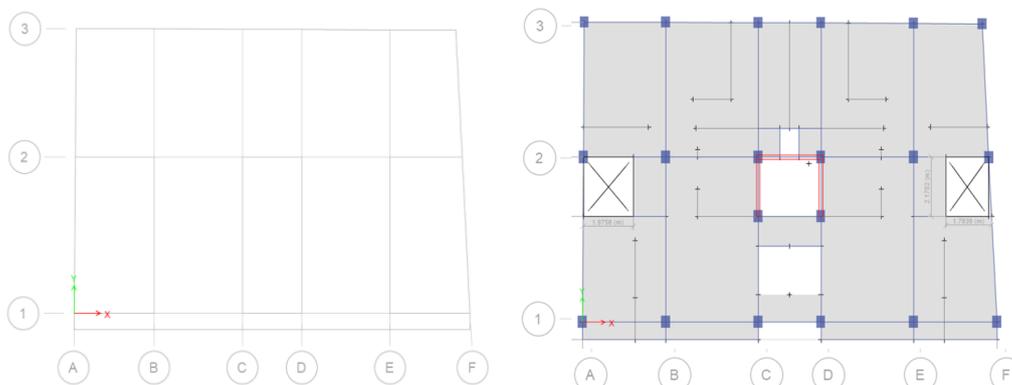
Elementos estructurales	
Columnas en el eje 3	40x35
Columnas en el eje 2	45x35
Columnas en el eje 1	45x35
Vigas principales	60x35
Vigas secundarias chatas en el eje 3	40x20
Vigas secundarias chatas en el eje 2	45x20
Vigas secundarias chatas en el eje 1	45x20
Losas aligeradas	20

*Nota:* La tabla muestra los datos obtenidos de los elementos in situ

Se logró apreciar que la edificación no cuenta con las mismas medidas que se tiene en el plano, así mismo, el modelamiento se trabajará con las medidas las cuales han sido construidas. Considerando la información recolectada sobre el edificio de once niveles de estudio, se tiene un terreno trapezoidal, la idealización se muestra en la Figura 55.

#### Figura 55:

*Modelo estructural en planta y aporricado 3D en Etabs.*



*Nota:* En la presente figura se observa que el terreno visto en planta es trapezoidal.

Primero se realizará un análisis estático convencional. Luego se procederá según la E-030 con el análisis dinámico, que se realiza para ambas direcciones “X” e “Y”. El análisis sísmico se dirige a proveer suficiente ductilidad, rigidez y estabilidad, ante demandas originadas por acontecimientos sísmicos, cargas vivas y cargas muertas. Cumpliendo con la Norma de Diseño Sismo resistente E.030 según la cual:

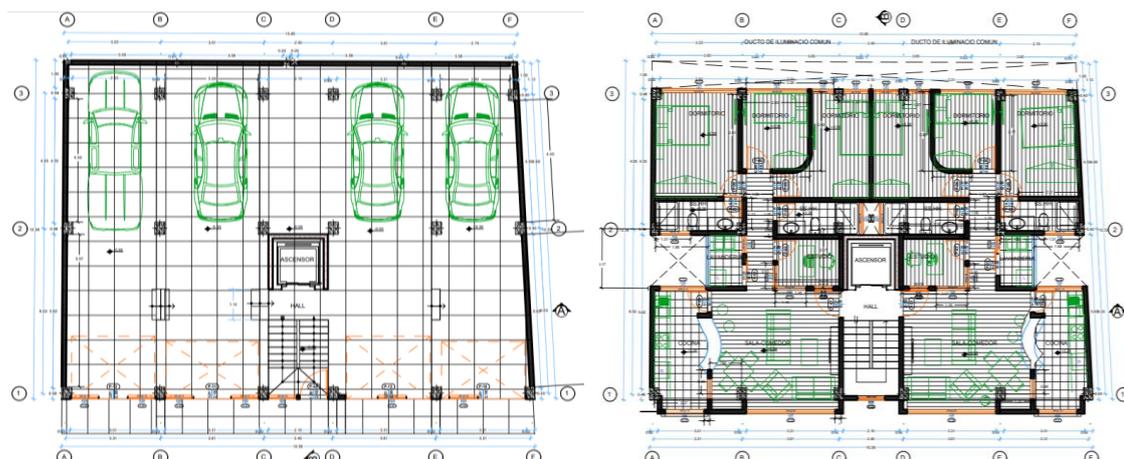
La edificación no debe causar daños a los habitantes, mucho menos colapsar por eventos sísmicos que en el sitio puedan suceder. Los movimientos sísmicos moderados deben ser soportados por la estructura, eventos que puedan tener lugar a lo largo de su vida útil, constatando que los daños están dentro de los límites admisibles. (Bustamante Lapa, 2017, p. 5)

La filosofía de diseño sismorresistente está muy relacionada con:

- Librarse de pérdidas humanas.
- Conseguir la persistencia de los servicios esenciales.
- Disminuir el deterioro de la propiedad.

**Figura 56:**

*Planta primer nivel y planta nivel típico*



*Nota:* La presente figura muestra el funcionamiento del primer nivel como del nivel típico.

**Tabla 8:**

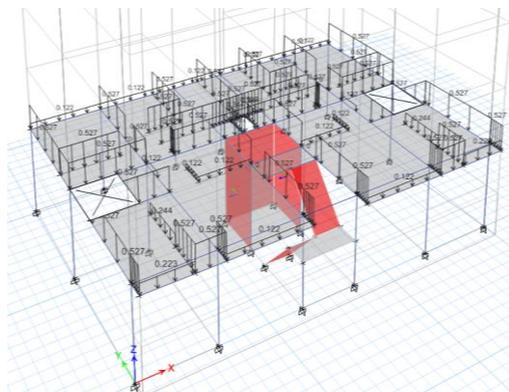
*Metrados de tabiquería.*

	Muro 1	Muro 2	Muro 3	Muro 4	Muro 5	Azotea	Unidad
Espesor	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	m
Altura	2.60	1.70	0.60	1.10	0.40	1.00	m
Peso esp. Albañi.	1350	1350	1350	1350	1350	1350	kg/m <sup>3</sup>
<b>Carga distribuida</b>	<b>527</b>	<b>344</b>	<b>122</b>	<b>223</b>	<b>81</b>	<b>203</b>	<b>kg/m</b>

*Nota:* La presente tabla muestra las cargas distribuidas para las diferentes alturas de tabiquería.

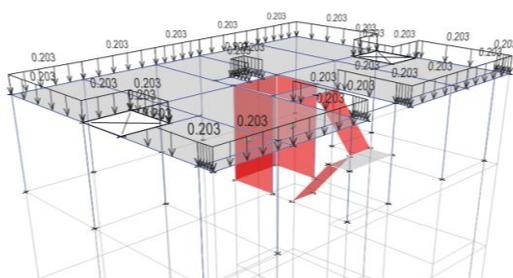
**Figura 57:**

*Idealización planta nivel típico*



**Figura 58:**

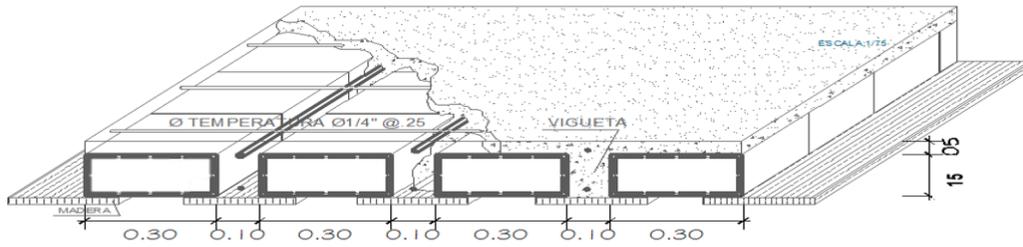
*Idealización nivel azotea.*



Las elevaciones de la edificación de once pisos se pueden apreciar en el Anexo 6. La losa aligerada construida es en una dirección como se expone en la Figura 59, esta descansa sobre las vigas principales. La edificación presenta vigas chatas en el secundario "X", y vigas peraltadas en el eje principal "Y", asimismo se ha contemplado para la caja de ascensor muros de concreto de 15 cm de ancho que rodea la caja del ascensor.

**Figura 59:**

Losa aligerada de 20 cm en una dirección



#### 4.2.2. *Metrado de cargas y peso sísmico del sistema.*

##### 4.2.2.1 **Metrado manual**

Se desarrolla el metrado manual de cargas de la edificación considerando una sobrecarga de 200 kg/m<sup>2</sup>, con los cuales se obtienen su respectiva masa por nivel, y los pesos de cada nivel que corresponde a sus once pisos incluyendo el parapeto del último nivel. Estos resultados se muestran en las Tablas 9, 10 y 11 para el metrado manual. Seguidamente se obtiene el metrado ejecutado por el software, para así demostrar la precisión del modelo utilizado.

**Tabla 9:**

*Resumen metrado manual primer nivel*

<b>Elemento</b>	<b>Carga muerta (Tn)</b>	<b>Carga viva (Tn)</b>
Columnas	28.50	-
Vigas	41.40	-
Losa aligerada	48.45	-
acabados	16.15	-
tabiquería	53.61	-
sobrecarga	-	32.30
Ascensor	9.06	-
Losa de escalera	3.73	-
acabados	0.84	-
sobrecarga	-	1.68
Sumatoria carga muerta		201.74
Sumatoria carga viva		33.98
<b>Peso sísmico 100%CM + 25%CV</b>		<b>210.24</b>

*Nota:* Para apreciar a mayor detalle véase el Anexo 7.



**Tabla 10:**

*Resumen metrado manual nivel típico*

<b>Elemento</b>	<b>Carga muerta (Tn)</b>	<b>Carga viva (Tn)</b>
Columnas	20.46	-
Vigas	41.40	-
Losa aligerada	48.45	-
acabados	16.15	-
tabiquería	53.61	-
sobrecarga	-	32.30
Ascensor	6.50	-
Losa de escalera	3.52	-
acabados	0.80	-
sobrecarga	-	1.59
Sumatoria carga muerta		190.89
Sumatoria carga viva		33.89
<b>Peso sísmico 100%CM + 25%CV</b>		<b>199.37</b>

*Nota:* para apreciar a mayor detalle véase el Anexo 7.

**Tabla 11:**

*Resumen metrado manual azotea*

<b>Elemento</b>	<b>Carga muerta (Tn)</b>	<b>Carga viva (Tn)</b>
Columnas	20.46	-
Vigas	41.40	-
Losa aligerada	48.45	-
acabados	16.15	-
tabiquería	14.11	-
sobrecarga	-	16.15
Ascensor	6.50	-
Losa de escalera	3.52	-
acabados	0.80	-
sobrecarga	-	1.59
Sumatoria carga muerta		151.39
Sumatoria carga viva		17.74
<b>Peso sísmico 100%CM + 25%CV</b>		<b>155.83</b>

*Nota:* para apreciar a mayor detalle véase el Anexo 7.

#### **4.2.2.2 Metrado asistido por el software**

Las masas del peso propio de las columnas y vigas se distribuyen a lo largo de toda su longitud, mientras que la masa proveniente de la sobrecarga, piso

terminado y losa aligerada se concentra en el nivel del centro de masa de cada losa. Posteriormente, el software distribuye la masa de los elementos estructurales a los nudos terminales, estos resultados son mostrados en la Tabla 12.

Para el cálculo de la masa sísmica estructural se ha considerado el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva. (capítulo 4.3 RNE-E-030).

<b>MASA SÍSMICA</b>
100%CM+25%CV

**Tabla 12:**

*Peso por nivel asistido por el software*

<b>Piso</b>	<b>Masa sísmica</b>	<b>Peso (tonf) software etabs</b>	<b>peso por nivel software etabs</b>	<b>Peso por nivel metrado manual</b>
PISO11	100%CM + 25%CV	155.72	155.72	155.82
PISO10	100%CM + 25%CV	354.93	199.20	199.36
PISO 9	100%CM + 25%CV	554.04	199.12	199.36
PISO 8	100%CM + 25%CV	753.16	199.12	199.36
PISO 7	100%CM + 25%CV	952.28	199.12	199.36
PISO 6	100%CM + 25%CV	1151.39	199.12	199.36
PISO 5	100%CM + 25%CV	1350.60	199.20	199.36
PISO 4	100%CM + 25%CV	1549.80	199.20	199.36
PISO 3	100%CM + 25%CV	1748.92	199.12	199.36
PISO 2	100%CM + 25%CV	1948.03	199.12	199.36
PISO 1	100%CM + 25%CV	2158.46	210.43	210.26

*Nota:* La presente tabla muestra el peso por nivel realizado por el software ETABS 2016, y el realizado manualmente.

#### **4.2.3. Configuración estructural de la edificación de ocho pisos.**

La estructura en concreto armado cuenta con un sistema de muros estructurales, teniendo losas de entrepiso aligeradas que descansan sobre las vigas. Las propiedades del suelo se considerarán las mismas de la primera edificación.

**Tabla 13:**

*Características de la edificación de ocho niveles*

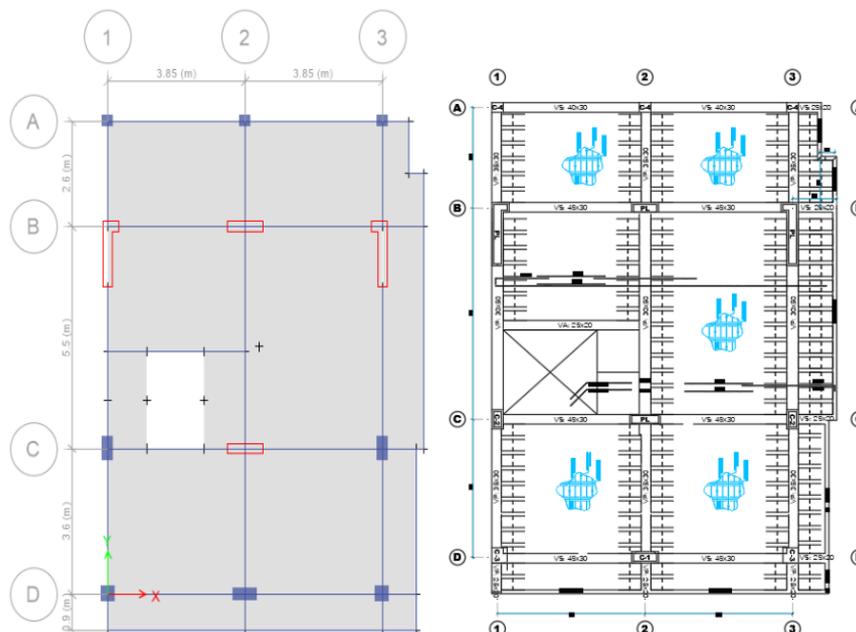
Elementos estructurales	
Columnas tipo C1	70x30
Columnas tipo C2	60x30
Columnas tipo C3	40x40
Columnas tipo C4	30x30
Vigas principales VP1	30x50
Vigas principales VP2	30x35
Vigas principales VP3	25x20
Vigas secundarias VS1	45x30
Vigas secundarias VS2	30x40
Vigas secundarias VS3	25x20
Losas aligeradas	20

*Nota:* La tabla muestra los datos con los que se ha realizado la idealización

Puesto que no se ha realizado una verificación de las medidas in situ, el modelamiento se trabajará con las medidas establecidas del plano del edificio de ocho niveles. Se expone en la Figura 60 la dirección de la losa aligerada, esta descansa sobre las vigas principales peraltadas en el eje "Y". La edificación presenta vigas secundarias en el eje "X".

**Figura 60:**

*Modelo estructural en planta del edificio de ocho niveles.*



*Nota:* La presente figura expone el funcionamiento del terreno visto en planta.

#### **4.2.4. Peso sísmico de la edificación de ocho niveles.**

Para el cálculo de la masa sísmica estructural se ha considerado el 100% de la carga muerta más el 25% de la carga viva.

#### **Tabla 14:**

*Peso por nivel de la edificación de ocho niveles.*

<b>Piso</b>	<b>Masa sísmica</b>	<b>Peso (tonf) software etabs</b>	<b>peso por nivel software etabs</b>
PISO 8	100%CM + 25%CV	79.571	79.571
PISO 7	100%CM + 25%CV	168.520	88.949
PISO 6	100%CM + 25%CV	257.469	88.949
PISO 5	100%CM + 25%CV	346.418	88.949
PISO 4	100%CM + 25%CV	435.366	88.949
PISO 3	100%CM + 25%CV	536.095	100.728
PISO 2	100%CM + 25%CV	638.327	102.233
PISO 1	100%CM + 25%CV	741.222	102.895

*Nota:* La presente tabla muestra el peso acumulado y el peso por nivel.

### **4.3. ANÁLISIS SÍSMICO DE LAS ESTRUCTURAS.**

#### **4.3.1. Análisis estático de la edificación de once niveles**

El objetivo del análisis estático, conocido también como análisis de "fuerzas equivalentes", es imponer una combinación de fuerzas que trabajan sobre el centro de masas final para cada nivel de la estructura. De acuerdo con los requisitos indicados en la Norma E-030, este procedimiento puede utilizarse para:

- Edificios regulares.
- Para determinar el tipo de sistema y su coeficiente de reducción sísmica.
- Para hacer la comparación del porcentaje de fuerza cortante basal.

Cabe señalar que el presente modelo sísmico, no puede utilizarse para analizar la edificación de once niveles en estudio, dado que no cumple con los requisitos y exigencias de la E-030.

#### 4.3.1.1 Periodo fundamental de vibración (T)

Con la siguiente expresión se estima el periodo básico de la edificación:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (1)$$

Dónde:

T = Periodo básico

h<sub>n</sub> = Altura del edificio desde la cota de terreno natural

C<sub>t</sub> = Factor resultante del sistema estructural X y Y.

La estimación de C<sub>t</sub> se obtendrá en función a los siguientes valores:

C<sub>t</sub> = 35    pórticos dúctiles de acero, pórticos de  
concreto armado sin muros de corte.

C<sub>t</sub> = 45    pórticos arriostrados de acero y pórticos más  
muros en la caja de ascensores y escaleras.

C<sub>t</sub> = 60    muros estructurales, concreto armado duales,  
muros de ductilidad limitada y albañilería.

h<sub>n</sub> = 32.10 m, C<sub>t</sub> = Pórticos en las dos direcciones X y Y = 35

$$T_{xy} = \frac{32.10}{45}$$

$$T_{xy} = 0.713 \text{ seg}$$

#### 4.3.1.2 Factor de amplificación sísmica (C)

El factor de amplificación sísmica (C), que depende de las características del lugar, se define mediante las siguientes expresiones:

$$T < T_P \quad C = 2.5 \quad (2)$$

$$T_P < T < T_L \quad C = 2.5x\left(\frac{T_P}{T}\right) \quad (3)$$

$$T > T_L \quad C = 2.5x\left(\frac{T_P x T_L}{T^2}\right) \quad (4)$$

El periodo fundamental que se obtiene para la edificación T<sub>xy</sub> = 0.713 seg

**Tabla 15:***Períodos “TP” Y “TL” según el tipo de suelo*

	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.3	0.4	<b>0.6</b>	1.0
TL (s)	3.0	2.5	<b>2.0</b>	1.6

De acuerdo con la información real y fiable proporcionada de un estudio previo de mecánica de suelos que se adjuntan en el Anexo 5, el tipo de suelo para el lugar donde se ha construido la edificación es S2, en consecuencia, los parámetros obtenidos de la Tabla 15 son:

$$T_p = 0.6$$

$$T_L = 2.0$$

Después del proceso de cálculo, la ecuación 5 se utiliza para calcular el factor de amplificación sísmica.

$$T_p < T \quad C = 2.5 * \frac{T_p}{T} \quad (5)$$

$$0.6 < 0.713 \quad C = 2.1037$$

#### 4.3.1.3 Factor de zona (Z)

La estructura está situada en el departamento de Puno, en la ciudad de Puno, cuya ubicación se identifica en el mapa de la E.030, “Cada zona tiene un factor Z, que se indica como un porcentaje de la aceleración de la gravedad (ver Figura 61), y se entiende como la máxima aceleración horizontal del suelo con un riesgo del 10 % de ser excedida en 50 años, estos valores son mostrados en la Tabla 16”. Por tanto, de la Tabla 16 y del mapa de zonificación se obtiene un valor para la ubicación del edificio de once niveles de **Z = 0.35**

**Figura 61:**

*Mapa de zonificación sísmica 2018*



**Tabla 16:**

*Coefficientes por zona sísmica*

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

Fuente: RNE E-030, 2018

#### 4.3.1.4 Perfil del suelo (S)

Según los resultados de mecánica de suelos realizado para la estructura, se obtiene un suelo de tipo S2, corresponde a suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte de  $\tilde{V}$ , entre 180 m/s y 500 m/s, los coeficientes para los diferentes suelos se exponen en la Tabla 17:

**Tabla 17:**

*Coefficientes "S" del suelo*

zona	suelo	FACTOR DE SUELO "S"			
		S0	S1	S2	S3
	<b>Z4</b>	0.80	1.00	1.05	1.10
	<b>Z3</b>	0.80	1.00	<b>1.15</b>	1.20
	<b>Z2</b>	0.80	1.00	1.20	1.40
	<b>Z1</b>	0.80	1.00	1.60	2.00

*Nota:* Norma de diseño sismorresistente E-030, 2018

La tabla muestra para la edificación de once niveles, con suelo tipo S2 y una zona Z3, un valor obtenido de **S = 1.15**

#### 4.3.1.5 Categoría de la edificación (U)

El edificio de once niveles analizado tiene como uso departamentos, catalogada según la norma dentro del tipo C edificaciones comunes, y que tiene un factor de  $U = 1.0$ , la clasificación del edificio se expone en la Tabla 18.

**Tabla 18:**

*Categoría y factor de uso de la edificación.*

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
C	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes,	
Edificaciones Comunes	depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1.0

*Nota:* La presente tabla expone la descripción para edificaciones comunes.

#### 4.3.1.6 Coeficiente de reducción sísmica (R)

El sistema estructural está a base de muros de concreto en la parte del ascensor y pórticos, estos valores son mostrados en la Tabla 19. Del análisis realizado se ha obtenido que a la edificación le corresponde un  $R = 6$ .

**Tabla 19:**

*Coeficientes "R" de los sistemas estructurales*

Sistema estructural	Coeficiente Básico de Reducción $R_0$
<b>Concreto armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
<b>De muros estructurales</b>	<b>6</b>
Muros de ductilidad Limitada	4

*Nota:* Dato obtenido al finalizar el análisis. Fuente: RNE E-030

#### 4.3.1.7 Regularidad estructural

Para realizar el análisis sísmico con la norma E-030, es esencial identificar si la estructura presenta algún tipo de irregularidad. En la siguiente sección definimos las irregularidades.

##### 4.3.1.7.1 Irregularidades en altura

#### Irregularidad de rigidez – Piso blando

Según la Norma E.030 (2018), Existe cuando la rigidez lateral de un entrepiso en cualquier dirección del análisis es inferior al 70% de la rigidez lateral del entrepiso inmediatamente superior o es inferior al 80% de la rigidez lateral promedio de los tres niveles superiores adyacentes (pág. 17). Los resultados al evaluar la irregularidad por piso blando se muestran en las Tablas 20 y 21, mientras que la irregularidad por resistencia es mostrada en las Tablas 22 y 23.

**Tabla 20:**

*Irregularidad de rigidez piso blando en dirección X.*

Story	Load Case	Rigidez de entrepiso tonf/m	70% de la rigidez de entrepiso		80% rigidez 3 niveles superiores	
PISO 11	Sis_Dinám_X	<b>5350.082</b>	3745.0574	Cumple		
PISO 10	Sis_Dinám_X	<b>4581.666</b>	3207.1662	<b>Irregular</b>		
PISO 9	Sis_Dinám_X	<b>2607.412</b>	1825.1884	<b>Irregular</b>	3343.776	<b>Irregular</b>
PISO 8	Sis_Dinám_X	<b>1690.187</b>	1183.1309	Cumple	2367.804	<b>Irregular</b>
PISO 7	Sis_Dinám_X	<b>1470.275</b>	1029.1925	Cumple	1538.099	Cumple
PISO 6	Sis_Dinám_X	<b>1615.394</b>	1130.7758	Cumple	1273.561	Cumple
PISO 5	Sis_Dinám_X	<b>2094.231</b>	1465.9617	Cumple	1381.306	Cumple
PISO 4	Sis_Dinám_X	<b>3108.621</b>	2176.0347	Cumple	1818.198	Cumple
PISO 3	Sis_Dinám_X	<b>4832.434</b>	3382.7038	Cumple	2676.076	Cumple
PISO 2	Sis_Dinám_X	<b>7811.388</b>	5467.9716	Cumple	4200.651	Cumple
PISO 1	Sis_Dinám_X	<b>12312.828</b>				

*Nota:* Seguidamente se expone el criterio usado para verificar los resultados en las columnas cinco y siete

**Tabla 21:***Irregularidad de rigidez piso blando en dirección Y*

Story	Load Case	Rigidez de entrepiso tonf/m	70% de la rigidez de entrepiso		80% rigidez 3 niveles superiores	
PISO 11	Sis_Dinám_Y	<b>12278.424</b>	8594.896	Cumple		
PISO 10	Sis_Dinám_Y	<b>11240.499</b>	7868.349	<b>Irregular</b>		
PISO 9	Sis_Dinám_Y	<b>6566.766</b>	4596.736	<b>Irregular</b>	8022.850	<b>irregular</b>
PISO 8	Sis_Dinám_Y	<b>4133.214</b>	2893.249	Cumple	5850.794	<b>irregular</b>
PISO 7	Sis_Dinám_Y	<b>3065.064</b>	2145.544	Cumple	3670.678	<b>irregular</b>
PISO 6	Sis_Dinám_Y	<b>2762.083</b>	1933.458	Cumple	2656.096	Cumple
PISO 5	Sis_Dinám_Y	<b>2976.345</b>	2083.441	Cumple	2347.597	Cumple
PISO 4	Sis_Dinám_Y	<b>3714.942</b>	2600.459	Cumple	2520.898	Cumple
PISO 3	Sis_Dinám_Y	<b>5259.765</b>	3681.835	Cumple	3186.947	Cumple
PISO 2	Sis_Dinám_Y	<b>5810.154</b>	4067.107	Cumple	3942.629	Cumple
PISO 1	Sis_Dinám_Y	<b>5760.361</b>				

*Nota:* Seguidamente se expone el criterio usado para verificar los resultados en las columnas cinco y siete

Cumple (columna 5) = Rigidez de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) > 70% de la rigidez de entrepiso 2 (fila 2 - columna 4).

Irregular (columna 5) = Rigidez de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) < 70% de la rigidez de entrepiso 2 (fila 2 - columna 4).

Cumple (columna 7) = Rigidez de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) > 80% rigidez tres niveles superiores (fila 2 - columna 6).

Irregular (columna 7) = Rigidez de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) < 80% rigidez tres niveles superiores (fila 2 - columna 6).

La edificación presenta irregularidad por piso blando como se muestra en las Tablas 20 y 21, puesto que, la rigidez de cada entrepiso no siempre es mayor al 70% de la rigidez del entrepiso inmediato superior. esta irregularidad es evaluada al culminar el modelo, puesto que, al iniciar no se cuenta con los datos, esta será evaluada con el sismo dinámico.

**Irregularidad de resistencia – Piso débil****Tabla 22:***Irregularidad de resistencia piso débil en X*

Story	Load Case	Cortante X tonf	80% cortante piso superior	
PISO11	Sis_Dinám_XX	<b>31.1745</b>	24.9396	Cumple
PISO10	Sis_Dinám_XX	<b>62.633</b>	50.1064	Cumple
PISO 9	Sis_Dinám_XX	<b>84.2606</b>	67.40848	Cumple
PISO 8	Sis_Dinám_XX	<b>99.8162</b>	79.85296	Cumple
PISO 7	Sis_Dinám_XX	<b>112.3224</b>	89.85792	Cumple
PISO 6	Sis_Dinám_XX	<b>123.834</b>	99.0672	Cumple
PISO 5	Sis_Dinám_XX	<b>135.4852</b>	108.38816	Cumple
PISO 4	Sis_Dinám_XX	<b>147.3831</b>	117.90648	Cumple
PISO 3	Sis_Dinám_XX	<b>158.7475</b>	126.998	Cumple
PISO 2	Sis_Dinám_XX	<b>168.2295</b>	134.5836	Cumple
PISO 1	Sis_Dinám_XX	<b>174.3047</b>		

*Nota:* Se muestra a continuación el criterio usado para verificar los resultados de la columna 5.

**Tabla 23:***Irregularidad de resistencia piso débil en Y*

Story	Load Case	Cortante Y tonf	80% cortante piso superior	
PISO11	Sis_Dinám_YY	<b>35.8297</b>	28.66376	Cumple
PISO10	Sis_Dinám_YY	<b>77.2374</b>	61.78992	Cumple
PISO 9	Sis_Dinám_YY	<b>111.0175</b>	88.814	Cumple
PISO 8	Sis_Dinám_YY	<b>138.9689</b>	111.17512	Cumple
PISO 7	Sis_Dinám_YY	<b>162.6131</b>	130.09048	Cumple
PISO 6	Sis_Dinám_YY	<b>183.0987</b>	146.47896	Cumple
PISO 5	Sis_Dinám_YY	<b>201.1102</b>	160.88816	Cumple
PISO 4	Sis_Dinám_YY	<b>216.7691</b>	173.41528	Cumple
PISO 3	Sis_Dinám_YY	<b>229.73</b>	183.784	Cumple
PISO 2	Sis_Dinám_YY	<b>239.2861</b>	191.42888	Cumple
PISO 1	Sis_Dinám_YY	<b>244.7961</b>	195.83688	

*Nota:* Se muestra a continuación el criterio usado para verificar los resultados de la columna 5.

Cumple (columna 5) = Cortante de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) > 80%  
cortante piso superior 2 (fila 2 - columna 4).

Irregular (columna 5) = Cortante de entrepiso 1 (fila 1 - columna 3) < 80%  
cortante piso superior 2 (fila 2 - columna 4).

Se entiende que, la resistencia ante fuerzas de corte es mayor al 80% de la resistencia del entrepiso inmediatamente superior, en cualquier dirección de análisis, esta irregularidad es evaluada al culminar el modelo, puesto que, al iniciar no se cuenta con el dato del desplazamiento que la estructura sufrirá, esta será evaluada con el sismo dinámico. Al evaluarse no muestra irregularidad por piso débil, estos resultados son mostrados en las Tablas 22 y 23.

### **Irregularidad de Masa o Peso**

Según la Norma E.030 (2018), Existe cuando un piso pesa más de 1.5 veces el piso adyacente. En sótanos y azoteas no se aplica este criterio (pág. 17), como se observa en la Tabla 24 al evaluar la estructura, los resultados obtenidos del peso con el software, Se logra apreciar que el peso de cada piso es aproximadamente cercano al adyacente superior, por lo tanto, no presenta esta irregularidad.

**Tabla 24:**

*Irregularidad de masa o peso de la edificación*

<b>Story</b>	<b>Load Case/Combo</b>	<b>Peso por nivel tonf</b>	<b>Ratio</b>
PISO 11	PESO = 100%CM + 25%CV	155.7213	
PISO 10	PESO = 100%CM + 25%CV	199.2042	
PISO 9	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1167	0.9996
PISO 8	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1167	1.0000
PISO 7	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1174	1.0000
PISO 6	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1167	1.0000
PISO 5	PESO = 100%CM + 25%CV	199.2035	1.0004
PISO 4	PESO = 100%CM + 25%CV	199.2043	1.0000

Story	Load Case/Combo	Peso por nivel tonf	Ratio
PISO 3	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1166	0.9996
PISO 2	PESO = 100%CM + 25%CV	199.1167	1.0000
PISO 1	PESO = 100%CM + 25%CV	210.4258	1.0568

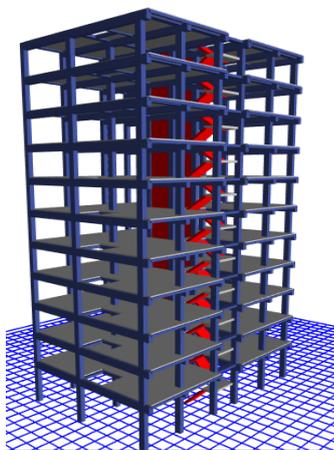
*Nota:* En la tabla el piso adyacente se refiere al piso inmediatamente superior o inferior.

### Irregularidad geométrica vertical

La Norma E-030 (2018), Existe cuando la dimensión en planta de la edificación que resiste las cargas laterales es superior en 1.3 veces la dimensión de un piso adyacente para cualquier dirección de análisis de la edificación. En sótanos y azoteas no se aplica este criterio (pág. 17). Se observa la Figura 62 para cada dirección de análisis que, en planta todos los pisos son regulares. Por lo que, no se sobrepasa el 130% de la dimensión del piso inmediato superior; por lo tanto, no se presenta esta irregularidad.

### Figura 62:

*Edificación en vista diagonal*

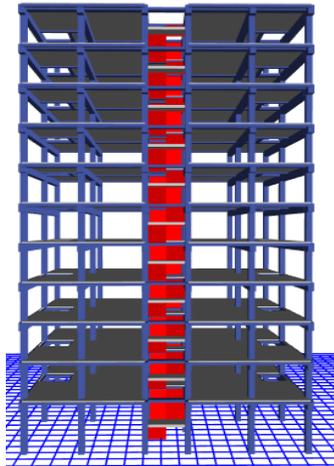


### Discontinuidad en los sistemas resistentes

Se tiene en cuenta cuando existe desalineamiento vertical de los elementos, ya sea por un desplazamiento del eje o un cambio de alineación, como se puede muestra en la Figura 63. Esta forma de irregularidad se descarta al no existir ningún tipo de desalineamiento.

**Figura 63:**

*Edificación en vista lateral*



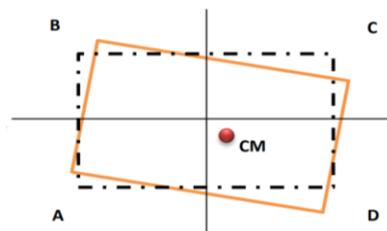
#### 4.3.1.7.2 Irregularidades en planta

##### Irregularidad torsional

Según la Norma E.030 (2018), Existe cuando la máxima deriva relativa de entrepiso (Máx. drift) en cualquier dirección de análisis es superior en 1.3 veces la deriva en el centro de masa (Avg drift) para la misma situación de carga. (pág. 18). De la Figura 64 se puede entender que si el Ratio es superior a 1.3, la estructura presenta irregularidad torsional. Los resultados al evaluar esta irregularidad se muestran en las Tablas 25 y 26.

**Figura 64:**

*Irregularidad torsional*



$$\text{Ratio} = \frac{\text{máximo desplazamiento}}{\text{desplazamiento promedio}} = \frac{\text{Max Drift}}{\text{Avg Drift}} \quad (6)$$



**Tabla 25:**

*Irregularidad torsional de la edificación en “X”*

Story	Load Case/Combo	Diafragma	Max Drift	Avg Drift	Ratio
PISO 11	Deriva_XX Max	Diaph D11 X	0.008014	0.007876	<b>1.018</b>
PISO 10	Deriva_XX Max	Diaph D10 X	0.00865	0.008555	<b>1.011</b>
PISO 9	Deriva_XX Max	Diaph D9 X	0.009109	0.009081	<b>1.003</b>
PISO 8	Deriva_XX Max	Diaph D8 X	0.00952	0.009502	<b>1.002</b>
PISO 7	Deriva_XX Max	Diaph D7 X	0.009795	0.009745	<b>1.005</b>
PISO 6	Deriva_XX Max	Diaph D6 X	0.009856	0.00977	<b>1.009</b>
PISO 5	Deriva_XX Max	Diaph D5 X	0.009664	0.009536	<b>1.013</b>
PISO 4	Deriva_XX Max	Diaph D4 X	0.009163	0.008983	<b>1.02</b>
PISO 3	Deriva_XX Max	Diaph D3 X	0.008277	0.008025	<b>1.031</b>
PISO 2	Deriva_XX Max	Diaph D2 X	0.006856	0.006536	<b>1.049</b>
PISO 1	Deriva_XX Max	Diaph D1 X	0.003821	0.003601	<b>1.061</b>

*Nota:* Max Drift= máximo desplazamiento, Avg Drift= desplazamiento promedio (ecuación 6)

**Tabla 26:**

*Irregularidad torsional de la edificación en “Y”*

Story	Load Case/Combo	Diafragma	Max Drift	Avg Drift	Ratio
PISO 11	Deriva_YY Max	Diaph D11 Y	0.004151	0.00395	<b>1.051</b>
PISO 10	Deriva_YY Max	Diaph D10 Y	0.004814	0.004486	<b>1.073</b>
PISO 9	Deriva_YY Max	Diaph D9 Y	0.005499	0.005041	<b>1.091</b>
PISO 8	Deriva_YY Max	Diaph D8 Y	0.006135	0.005548	<b>1.106</b>
PISO 7	Deriva_YY Max	Diaph D7 Y	0.006677	0.005958	<b>1.121</b>
PISO 6	Deriva_YY Max	Diaph D6 Y	0.007093	0.006246	<b>1.136</b>
PISO 5	Deriva_YY Max	Diaph D5 Y	0.007349	0.006386	<b>1.151</b>
PISO 4	Deriva_YY Max	Diaph D4 Y	0.007393	0.006336	<b>1.167</b>
PISO 3	Deriva_YY Max	Diaph D3 Y	0.007166	0.006036	<b>1.187</b>
PISO 2	Deriva_YY Max	Diaph D2 Y	0.006595	0.005378	<b>1.226</b>
PISO 1	Deriva_YY Max	Diaph D1 Y	0.005105	0.003977	<b>1.284</b>

*Nota:* Max Drift= máximo desplazamiento, Avg Drift= desplazamiento promedio (ecuación 6).

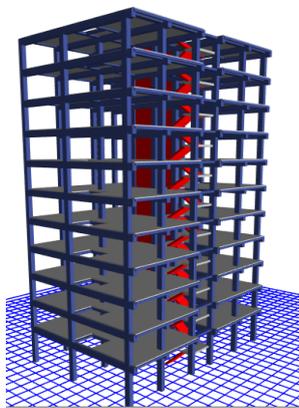
Como puede observarse en las Tablas predecesoras 25 y 26, la deriva de cada piso es inferior que 1.3 veces la deriva promedio del entrepiso en cualquiera de las direcciones; por consiguiente, la edificación no muestra irregularidad torsional. Entonces se puede deducir que no se tendrá irregularidad torsional extrema. Así mismo esta irregularidad es evaluada al culminar el modelo, puesto que al iniciar no se puede saber cuánto es el desplazamiento que la estructura sufrirá.

### **Esquinas entrantes**

La Norma E.030 (2018) Considera a una estructura con esta irregularidad cuando las dimensiones de las esquinas entrantes sean superiores al 20% de la dimensión total en planta para ambas direcciones (pág. 18), se logra apreciar en la Figura 65 que, la edificación no presenta esquinas entrantes.

### **Figura 65:**

*Edificación sin esquinas entrantes*

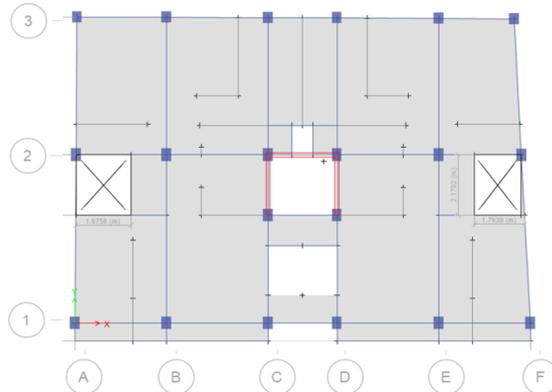


### **Discontinuidad del diafragma**

Según la Norma E.030 (2018), Existe cuando las aberturas son superiores al 50% del área bruta del diafragma, o los diafragmas tengan variaciones en rigidez o discontinuidades abruptas (pág. 18). Se tienen dos ductos, sin embargo, estos no presentan este tipo de irregularidad como exponen los resultados de la Tabla 27, sus aberturas no superan el 50% del área bruta de losa (ver Figura 66).

**Figura 66:**

*Evaluación del ducto vista en planta*



*Nota:* En la figura se logra apreciar los dos ductos que han sido evaluados

**Tabla 27:**

*Cálculo del área de losa construida*

	Base mayor	Base menor	Ancho	Área
Área construida	16.64	15.96	11.67	190.22
menos ducto 1	1.98	2.17	-	4.30
menos ducto 2	1.79	1.68	2.17	3.76
menos ascensor	2.45	2.17	-	5.32
menos ducto pequeño	0.75	1.06	-	0.80
menos escaleras	2.45	3.43	-	8.40
Área de losa				<b>167.64</b>

*Nota:* Se realiza el cálculo del área de losa para evaluar la discontinuidad del diafragma.

**Tabla 28:**

*Ductos evaluados por discontinuidad del diafragma*

	Largo x	Ancho y	Área	% Respecto al área de losa	
ducto 1 (eje 2-A)	1.98	2.17	4.30	3%	
ducto 2 (eje 2-F)	1.79	1.68	2.17	3.76	2%

*Nota:* Se puede apreciar en porcentaje de los dos ductos evaluados respecto al área de la losa.

**Evaluación de la configuración:**

- Irregularidad de rigidez-piso blando // Presenta Página (100)
- Irregularidad de masa // No presenta Página (103)
- Irregularidad geométrica vertical // No presenta Página (104)
- Discontinuidad en el sistema resistente //No presenta Página (105)

- Irregularidad torsional // No presenta Página (106)
- Esquinas entrantes // No presenta Página (108)
- Discontinuidad en el diafragma // No presenta Página (108)
  - La edificación se considera: Irregular en dirección X
  - La edificación se considera: Irregular en dirección Y

Así, se concluye que la edificación analizada solo presenta en altura irregularidad por piso blando con un coeficiente de 0.75 (véase la Tabla 29)

**Tabla 29:**

*Evaluación irregularidades en altura y planta.*

DIRECCIÓN X		DIRECCIÓN YY	
$I_a$	$I_P$	$I_a$	$I_P$
0.75	1.00	0.75	1.00

*Nota:*  $I_a$ = irregularidad en altura,  $I_P$ = irregularidad en planta.

**4.3.1.8 Fuerza cortante en la base**

Considerando la dirección, en la base de la edificación la fuerza de corte total, se expresa como:

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \quad (7)$$

Dónde:

V = Cortante basal

Z = Zona

U = Categoría de la edificación

C = Coeficiente de amplificación sísmica

S = Factor del suelo

R = Coeficiente de reducción sísmica

P = Peso sísmico de la estructura

**Tabla 30:**

*Peso sísmico por piso de la estructura*

Nivel	PESO PROMEDIO
PISO 11	139.698
PISO 10	199.2043
PISO 9	199.1167
PISO 8	199.1167
PISO 7	199.1174
PISO 6	199.1167
PISO 5	199.2035
PISO 4	199.2043
PISO 3	199.1167
PISO 2	199.1167
PISO 1	204.7717
<b><math>\Sigma=2136.7824</math></b>	

*Nota.* La tabla expone el peso por nivel que se utiliza para el análisis

Debiendo considerarse como valor mínimo:

$$\frac{C}{R} > 0.11 \quad (8)$$

#### **4.3.1.8.1 Periodos y masa participativa**

Como se observa en la Tabla 31, la estructura analizada debe cumplir como indica la norma, con una cantidad específica de modos de vibración para ambas direcciones en donde participe mínimamente el 90% de la masa de la edificación, para el eje “X” solo bastaría analizar los primeros siete modos, mientras que para el eje “Y” solo se necesita analizar los primeros seis modos, ya que en cada dirección se logró superar el mínimo de masa participativa del 90%, por otra parte se considera mínimamente los tres primeros modos, estos son mostrados en la Figura 67.

**Tabla 31:**

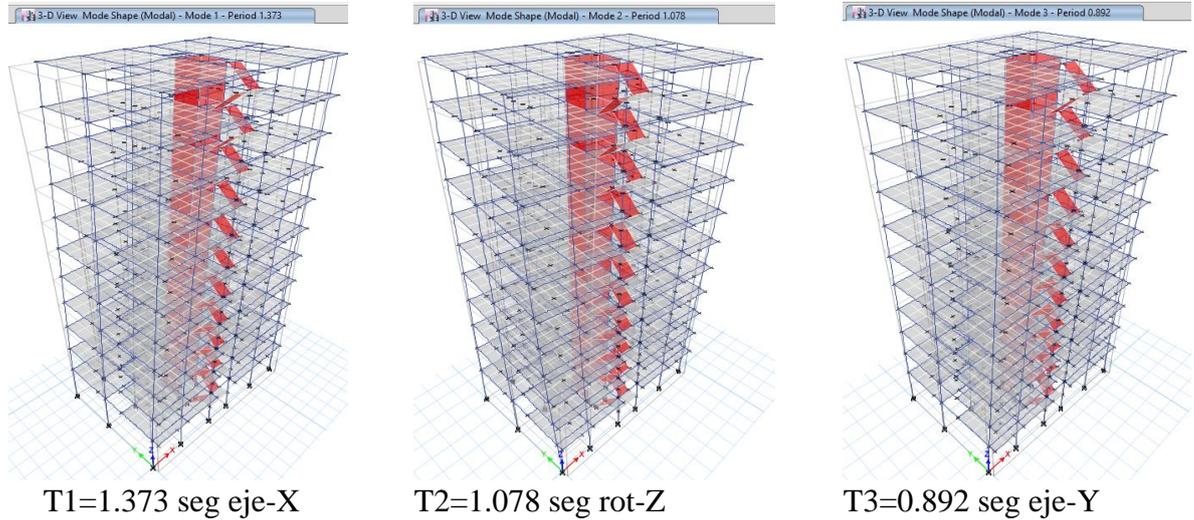
*Modos de vibración de la estructura*

Case	Mod	Periodo (sec)	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	<b>1.373</b>	<b>0.7314</b>	0.0001	0.7314	0.0001	0
Modal	2	<b>1.078</b>	0.0003	0.0505	0.7317	0.0506	<b>0.799</b>
Modal	3	<b>0.892</b>	0.000022	<b>0.7135</b>	0.7317	0.764	0.054
Modal	4	0.361	0.109	0.0022	0.8407	0.7662	0.028
Modal	5	0.348	0.0584	0.0033	0.8991	0.7696	0.065
Modal	6	0.257	0.000028	0.1408	0.8991	<b>0.9104</b>	0.004
Modal	7	0.202	0.0014	0.0027	<b>0.9005</b>	0.9131	0.024

Fuente: Etabs2016 V16.2.1

**Figura 67:**

*Periodos de la estructura*



#### 4.3.1.8.2 Corrección por periodo real sísmico

Seguidamente se determinó el coeficiente de cortante basal para la dirección X.

$$T_X = 1.373 \text{ seg} > T_P = 0.6 \text{ seg}$$

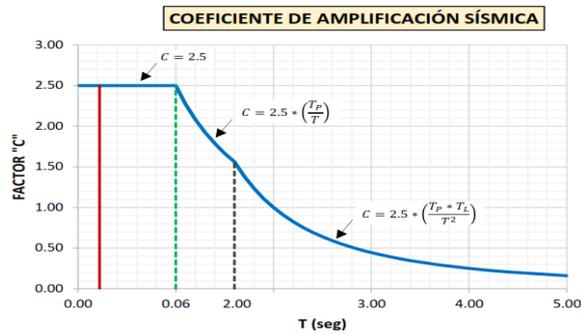
$$T_L > T_X > T_P \tag{9}$$

$$C = 2.5 * \left( \frac{0.6}{1.373} \right) = 1.0924$$

$$C_x = \frac{0.35 * 1.0 * 1.092 * 1.15}{4.5} = 0.0977$$

**Figura 68:**

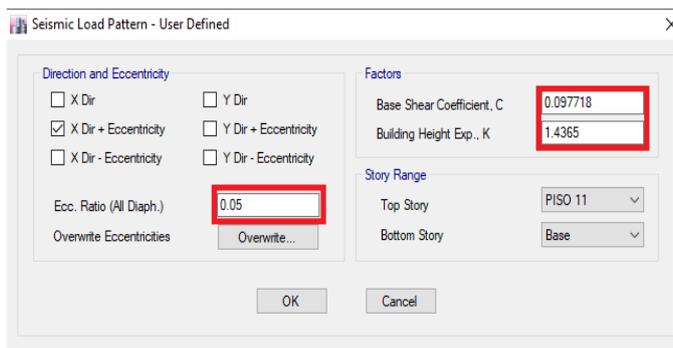
*Factor de amplificación sísmica*



El coeficiente de corte total en la base para la dirección X, se coloca al software (ver Figura 69), así este genere el análisis estático con el “C” verdadero.

**Figura 69:**

*Asignación del coeficiente sísmico C<sub>x</sub>.*



Fuente: ETABS 2016 v.16.2.1

Se establece el coeficiente de corte total en la base para la dirección Y

$$T_y = 0.892 \text{ seg} > T_p = 0.6 \text{ seg}$$

$$T_L > T_y > T_p \quad (10)$$

$$C = 2.5 * \left( \frac{0.6}{0.892} \right) = 1.682$$

$$C_y = \frac{0.35 * 1.0 * 1.682 * 1.15}{4.5} = 0.1504$$

El coeficiente de corte total en la base para la dirección Y, se coloca al software (ver Figura 70), así este genere el análisis estático con el “C” verdadero.

**Figura 70:**

*Asignación del coeficiente sísmico  $C_y$*

#### 4.3.1.8.3 Nueva cortante en la base

Una vez obtenido los resultados de los parámetros, periodos e irregularidad, estos son reemplazados en la ecuación 7, así obtener las cortantes estáticas de la edificación para la dirección X y Y.

$$V_x = \frac{0.35 * 1.0 * 1.092 * 1.15}{4.5} * 2136.78 = 208.80 \text{ tn}$$

$$V_y = \frac{0.35 * 1.0 * 1.682 * 1.15}{4.5} * 2136.78 = 321.39 \text{ tn}$$

Los cálculos del análisis asistido por el programa ETABS respaldan estos resultados, estos se exponen en la Figura 71.

**Figura 71:**

*Cortantes estáticas en la base de la edificación*

Load Pattern	Type	Direction	Eccentricity %	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
Sis_Est_XX	Seismic	X + Ecc. Y	5	0.097718	1.4365	2138.4403	208.9639
Sis_Est_YY	Seismic	Y + Ecc. X	5	0.150411	1.196	2138.4403	321.6451

Fuente: ETABS 2016 v.16.2.1

#### 4.3.1.8.4 Distribución de la cortante en el eje "X"

De acuerdo a la dirección considerada las fuerzas sísmicas horizontales son mostradas en las Tablas 32 y 33, se calculan mediante las ecuaciones 11 y 12:

$$F_i = \alpha_i * V \quad (11)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i * h_i^k}{\sum P_i * h_i^k} \quad (12)$$

$$k = 0.75 + 0.5 * T_X \Rightarrow T_X = 1.373$$

$$k = 1.437$$

**Tabla 32:**

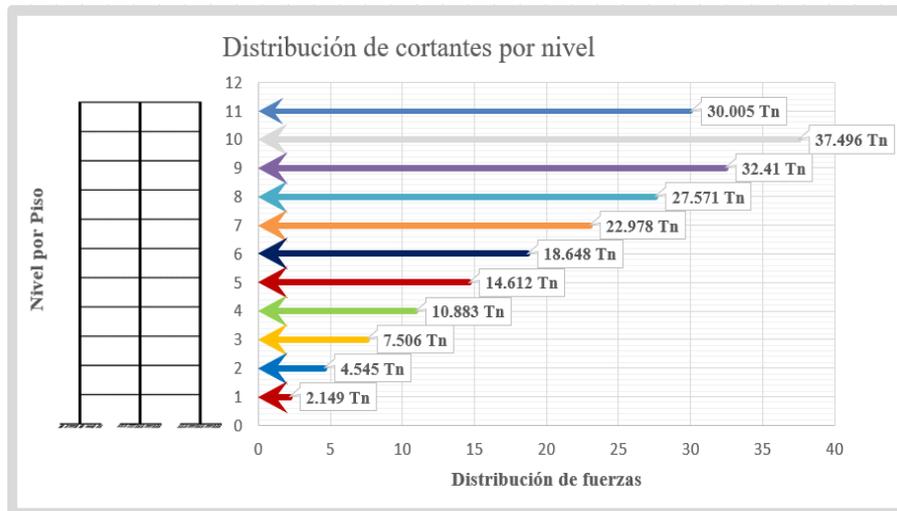
*Distribución de fuerzas laterales en "X"*

Story	Peso	Alturas	Pi*(Hi)^k	$\alpha_i$	Fuerza (Ton)
TECHO 11	139.698	31.9	20201.58	0.144	30.005
TECHO 10	199.204	29.1	25245.32	0.180	37.496
TECHO 09	199.117	26.3	21820.97	0.155	32.410
TECHO 08	199.117	23.5	18562.94	0.132	27.571
TECHO 07	199.117	20.7	15470.37	0.110	22.978
TECHO 06	199.117	17.9	12555.41	0.089	18.648
TECHO 05	199.204	15.1	9837.79	0.070	14.612
TECHO 04	199.204	12.3	7327.36	0.052	10.883
TECHO 03	199.117	9.5	5053.68	0.036	7.506
TECHO 02	199.117	6.7	3060.30	0.022	4.545
TECHO 01	204.772	3.9	1446.55	0.010	2.149
SumaPi*(Hi)^k =			140582.3	VEXX=	208.802

Nota: Distribución de la cortante en el eje "X"

**Figura 72:**

*Distribución de cortantes por nivel en el eje "X"*



Nota: Estos resultados son mostrados en la tabla 27.

#### 4.3.1.8.5 Distribución de la cortante en el eje "Y"

$$k = 0.75 + 0.5 * T_Y \Rightarrow T_Y = 0.892$$

$$k = 1.196$$

**Tabla 33:**

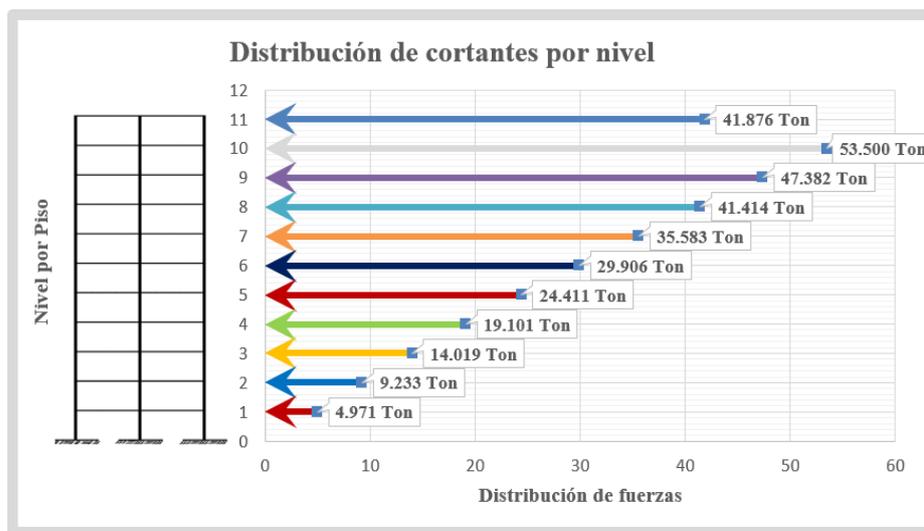
*Distribución de fuerzas laterales en "Y"*

Story	Peso	Alturas	Pi*(Hi)^k	$\alpha_i$	Fuerza (Ton)
TECHO 11	139.698	31.9	8784.63	0.130	41.876
TECHO 10	199.204	29.1	11223.15	0.166	53.500
TECHO 09	199.117	26.3	9939.73	0.147	47.382
TECHO 08	199.117	23.5	8687.70	0.129	41.414
TECHO 07	199.117	20.7	7464.66	0.111	35.583
TECHO 06	199.117	17.9	6273.65	0.093	29.906
TECHO 05	199.204	15.1	5120.98	0.076	24.411
TECHO 04	199.204	12.3	4007.05	0.059	19.101
TECHO 03	199.117	9.5	2940.80	0.044	14.019
TECHO 02	199.117	6.7	1936.84	0.029	9.233
TECHO 01	204.772	3.9	1042.76	0.015	4.971
SumaPi*(Hi)^k =			67421.94	VEXX=	321.396

*Nota:* Distribución de la cortante en el eje "Y"

**Figura 73:**

*Distribución de cortantes por nivel en el eje "Y"*



*Nota:* Estos resultados son mostrados en la tabla 28.

#### 4.3.1.9 Tipo de sistema estructural por cortante

**Muros estructurales:** un sistema en el que los muros estructurales proporcionan la mayor parte de la resistencia sísmica sobre los que se ejerce al menos el 70% de la fuerza corte en la base, Estos resultados para cada dirección se muestran en las Tablas 34 y 35.

**Tabla 34:**

*Distribución de cortante en la base "X"*

Dirección XX (SHEAR 2-2)		
Cortante total	208.9639	100%
Cortante columnas	46.3227	22%
Cortante muros	162.6412	78%

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 35:**

*Distribución de cortante en la base "Y"*

Dirección YY (SHEAR 3-3)		
Cortante total	321.6451	100%
Cortante columnas	78.0711	24%
Cortante muros	243.5713	76%

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.1.10 Análisis de resultados (fuerzas equivalentes)

Según la Norma E.030 en su artículo 28.1.1 Puede emplearse este procedimiento de análisis en edificaciones que no presenten irregularidad de no más de 30m de altura, y para edificaciones de albañilería armada o confinada y de concreto armado de no más de 15m de altura, por lo tanto, este análisis no es usado para la edificación en estudio. Entonces se entiende que el análisis por fuerzas equivalentes, nos sirve con 2 propósitos. (artículo 29.4.1 de la norma E.030).

- Para conocer el tipo de sistema el coeficiente de reducción sísmica.
- Para hacer la comparación del porcentaje de corte en la base.

#### 4.3.2. Análisis dinámico de la edificación de once niveles.

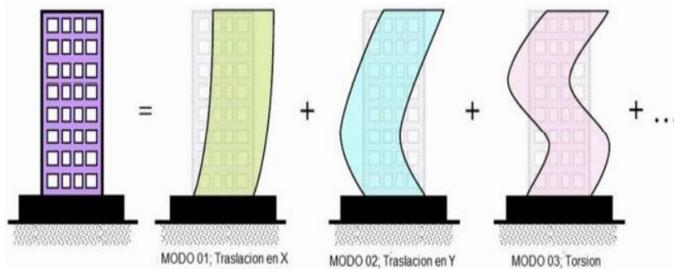
Se puede diseñar cualquier estructura utilizando los resultados del análisis dinámico mediante combinación modal espectral, tal y como se especifica en este numeral, estableciendo las frecuencias propias de la edificación y aplicando una fuerza externa conocida como espectro de respuesta, que consiste en el periodo vs aceleraciones.

Determinaremos del modal análisis – espectral:

- Modos o formas de vibración libre de la estructura. (ver Figura 74).
- la distribución de masas y propiedades de rigidez.
- el 90% de la masa participativa en la vibración.
- Los primeros tres modos principalmente en la dirección de análisis.

**Figura 74:**

*Modos principales de vibración en la estructura*



##### 4.3.2.1 Cálculo de masas rotacionales y traslacionales

Considerando en el análisis tres grados de libertad, una de rotación y dos de traslación, se consigue estimar las masas impuestas a la edificación.

**Masa traslacional:**

$$M_t = M_x = M_y = \frac{P_{\text{sismico por piso}}}{g}; \frac{tn. s^2}{m} \quad (13)$$

**Primer nivel:**

$$M_t = M_x = M_y = \frac{204.77165}{9.80665} = 20.88089 \frac{tn. s^2}{m}$$

**Del segundo al décimo nivel:**

$$M_t = M_x = M_y = \frac{199.11665}{9.80665} = 20.30424 \frac{tn \cdot s^2}{m}$$

**Azotea nivel:**

$$M_t = M_x = M_y = \frac{139.69795}{9.80665} = 14.24522 \frac{tn \cdot s^2}{m}$$

#### 4.3.2.3 Aceleración espectral

Se emplea un espectro no lineal de pseudo aceleraciones para cada dirección horizontal que se estudie, definido como se expone en la Figura 75, los datos de este se exponen en la Tabla 36 y 37. Se realiza el análisis dinámico por superposición modal espectral. utilizando la fórmula de combinación cuadrática completa para la superposición de los modos, teniendo en cuenta un amortiguamiento crítico de 5%.

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g \quad (14)$$

**Tabla 36:**

*Parámetros para el cálculo del espectro de respuesta*

Parámetros	Valores obtenidos
Factor de zona	Z=0.35 (Zona 3)
Factor de uso	U=1.00 (categoría C)
Factor de suelo	S=1.15 (según E.M.S – S2)
Periodo que define la plataforma del espectro	TP=0.60 TL=2.00
Factor de básico de reducción de fuerza sísmica	Rox=6 (sistema muros estructurales) Roy=6 (sistema muros estructurales)
Factor de reducción de fuerza sísmica	Iax=0.75 Ipx=1 R=Ia*Ip*Ro=0.75*1*6=4.5 Iay=0.75 Ipy=1 R=Ia*Ip*Ro=0.75*1*6=4.5
Aceleración de la gravedad	G=9.81 m/s <sup>2</sup>

*Nota:* La presente tabla muestra un resumen de los parámetros, estos nos servirán para realizar el gráfico del espectro de respuesta.



### 4.3.2.3 Espectro de respuesta

**Tabla 37:**

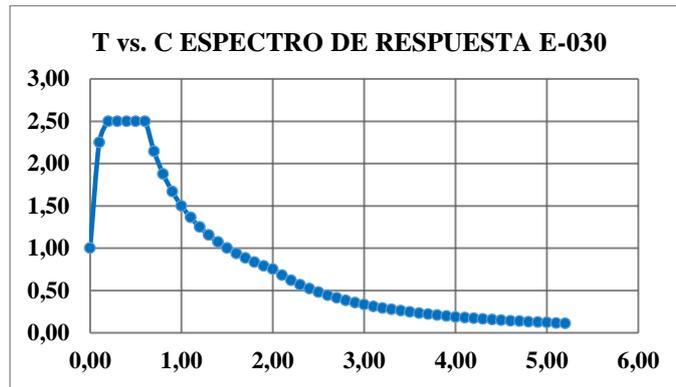
*Espectro de respuesta T vs. C*

T vs. C	
0.00	1.00
0.10	2.25
0.20	2.50
0.40	2.50
0.50	2.50
0.60	2.50
0.80	1.88
0.90	1.67
1.00	1.50
1.10	1.36
1.20	1.25
1.40	1.07
1.50	1.00
1.80	0.83
1.90	0.79
2.00	0.75
2.10	0.68
2.20	0.62
2.40	0.52
2.50	0.48
2.60	0.44
2.90	0.36
3.00	0.33
3.20	0.29
3.40	0.26
3.50	0.24
3.80	0.21
3.90	0.20
4.00	0.19
4.20	0.17
4.40	0.15
4.50	0.15
4.80	0.13
4.90	0.12
5.00	0.12
5.10	0.12
5.20	0.11

*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 75:**

*Espectro periodo vs amplificación sísmica E-030-Suelo S2*



**Tabla 38:**

*Factor de la aceleración espectral*

Factor $XX=Z*U*S*g/Rx=$	$0.35*1.0*1.15*9.81/4.5=0.87745$
Factor $YY=Z*U*S*g/Ry=$	$0.35*1.0*1.15*9.81/4.5=0.87745$

Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2.4 Cortante estático vs cortante dinámico.

Las fuerzas cortantes basales dinámicas para las dos direcciones fueron calculadas por el software, estos resultados son mostrados en la Tabla 39.

**Tabla 39:**

*Cortante dinámico vs cortante estático*

Story	Load Case/Combo	VX tonf	VY tonf
PISO 1	Sis_Dinám_XX Max	174.3047	4.3192
PISO 1	Sis_Dinám_YY Max	4.3192	244.7961
PISO 1	Sis_Estático_XX	208.9639	0
PISO 1	Sis_Estático_YY	0	321.6451

Fuente: Elaboración propia

**Tabla 40:**

*Parámetros y factor de aceleración para cada dirección*

Parámetros			
Z=	0.35	TP=	0.6
U=	1.00	TL=	2.0
S=	1.15		
Fx	0.87	Tx=	1.373

Parámetros			
<b>Fy=</b>	0.87	<b>Ty=</b>	0.892
<b>Rx=</b>	4.50	<b>Cx/Rx&gt;0.11</b>	0.243
<b>Ry=</b>	4.50	<b>Cy/Ry&gt;0.11</b>	0.374

Fuente: Elaboración propia

El factor sísmico considerando para el análisis en la dirección X y Y se expone en la Tabla 41. Según nuestra Norma, se debe cumplir con los mínimos señalados, si es necesario se debe aumentar la fuerza de cortante del análisis dinámico, en relación al análisis estático no podrá ser inferior al 80% del valor calculado para edificios regulares, ni inferior al 90 % para edificios irregulares, todos los resultados obtenidos se deben escalar adecuadamente.

**Tabla 41:**

*Factor sísmico de la edificación*

CORTANTE ESTÁTICA	CORTANTE DINÁMICA	FACTOR SÍSMICO
363.1336926	280.8824	<b>1.0781217</b>
498.58256	370.3629	<b>1.1816206</b>

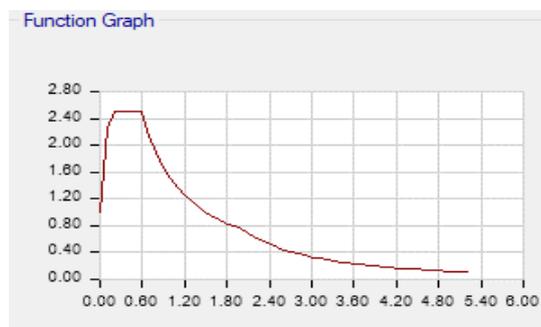
Nota. La presente tabla muestra el factor de escala para las direcciones X y Y.

#### 4.3.2.5 Modelo asistido por el software.

La Figura 76 muestra el espectro de respuesta colocado en el software.

**Figura 76:**

*Asignación del espectro al software*



Nota: La figura muestra es espectro cargado al software mostrado en la figura 72.

Se expone la asignación del caso de carga en la Figura 77 para la dirección "X", en la presente investigación el sismo vertical, no se toma en cuenta, puesto

que al ejecutar el análisis lineal y no lineal tiempo historia para cada dirección, se emplea solo las direcciones horizontales o conocidos como sismos superficiales.

**Figura 77:**

*Asignación del factor de escala al software*

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	T vs _C	0.8775
Acceleration	U3	T vs _C	0.585

Las derivas inelásticas se han calculado mediante la ecuación 17, los resultados para la dirección "X" son mostrados en la Tabla 43 y para la dirección "Y" en la Tabla 44, teniendo en cuenta el ingreso en la zona no lineal o inelástica, el drift límite determinado por la Norma E.030, se muestran en la Tabla 42.

$$R = R_o I_a I_p \quad (15)$$

$$R = 4.5$$

$$Drift_{inelástico} = Drift_{elástico} * 0.85R \Leftrightarrow \text{si es irregular} \quad (16)$$

$$Drift_{inelástico} = Drift_{elástico} * 3.825 \quad (17)$$

**Tabla 42:**

*Límites para la distorsión del entrepiso*

<b>Material predominante</b>	<b>(<math>\Delta i / h_{ei}</math>)</b>
Concreto armado	0.007
Acero	0.01
Albañilería	0.005
Madera	0.01
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

### 4.3.2.6 Control de derivas análisis dinámico.

**Tabla 43:**

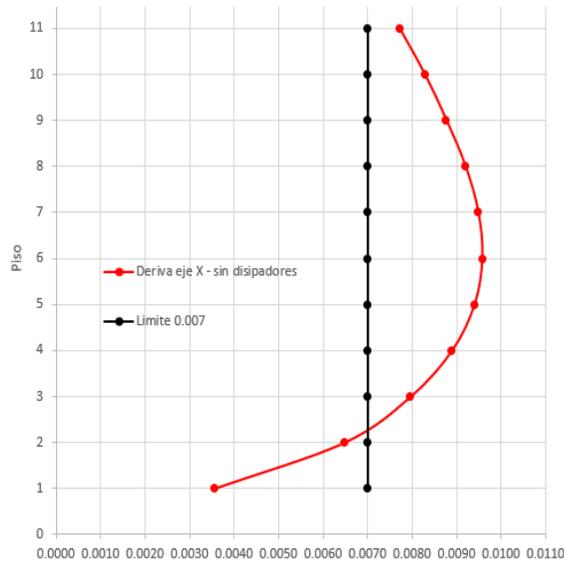
*Derivas del análisis dinámico en dirección "X"*

Diafragma	Sismo	UX m	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030
PISO 11	S_DINX Max	0.0664	0.0056	2.8	0.0020	0.0077	No pasa
PISO 10	S_DINX Max	0.0607	0.0061	2.8	0.0022	0.0083	No pasa
PISO 9	S_DINX Max	0.0547	0.0064	2.8	0.0023	0.0088	No pasa
PISO 8	S_DINX Max	0.0482	0.0067	2.8	0.0024	0.0092	No pasa
PISO 7	S_DINX Max	0.0415	0.0069	2.8	0.0025	0.0095	No pasa
PISO 6	S_DINX Max	0.0346	0.0070	2.8	0.0025	0.0096	No pasa
PISO 5	S_DINX Max	0.0276	0.0069	2.8	0.0025	0.0094	No pasa
PISO 4	S_DINX Max	0.0207	0.0065	2.8	0.0023	0.0089	No pasa
PISO 3	S_DINX Max	0.0142	0.0058	2.8	0.0021	0.0080	No pasa
PISO 2	S_DINX Max	0.0084	0.0047	2.8	0.0017	0.0065	Pasa
PISO 1	S_DINX Max	0.0036	0.0036	3.9	0.0009	0.0036	Pasa

*Nota:* La presente tabla muestra los desplazamientos derivas elásticas e inelásticas en dirección X.

**Figura 78:**

*Derivas para el sismo dinámico en dirección "X"*



*Nota:* El presente gráfico muestra las derivas de entrepiso en el sentido "X", respecto a la deriva

límite 0.007 que establece la norma E-030, resultados mostrados en la tabla 40.

**Tabla 44:**

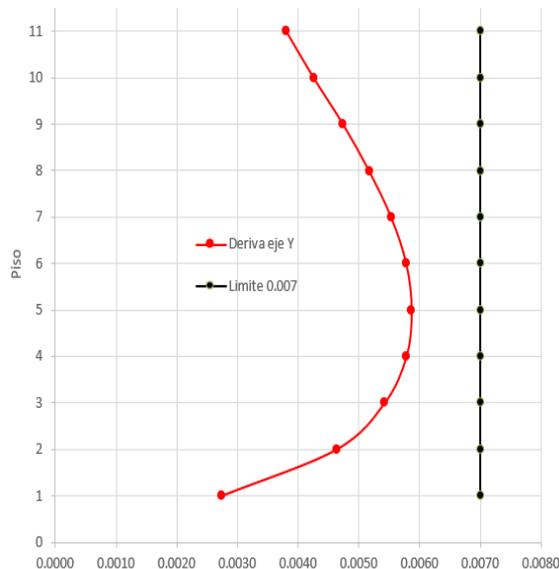
*Derivas del análisis dinámico en dirección "Y"*

Diafragma	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030
PISO 11	S_DINY Max	0.0401	0.0028	2.8	0.0010	0.0038	<b>Pasa</b>
PISO 10	S_DINY Max	0.0373	0.0031	2.8	0.0011	0.0043	<b>Pasa</b>
PISO 9	S_DINY Max	0.0342	0.0035	2.8	0.0012	0.0047	<b>Pasa</b>
PISO 8	S_DINY Max	0.0307	0.0038	2.8	0.0014	0.0052	<b>Pasa</b>
PISO 7	S_DINY Max	0.0270	0.0040	2.8	0.0014	0.0055	<b>Pasa</b>
PISO 6	S_DINY Max	0.0229	0.0042	2.8	0.0015	0.0058	<b>Pasa</b>
PISO 5	S_DINY Max	0.0187	0.0043	2.8	0.0015	0.0059	<b>Pasa</b>
PISO 4	S_DINY Max	0.0144	0.0042	2.8	0.0015	0.0058	<b>Pasa</b>
PISO 3	S_DINY Max	0.0102	0.0040	2.8	0.0014	0.0054	<b>Pasa</b>
PISO 2	S_DINY Max	0.0062	0.0034	2.8	0.0012	0.0046	<b>Pasa</b>
PISO 1	S_DINY Max	0.0028	0.0028	3.9	0.0007	0.0027	<b>Pasa</b>

*Nota:* La presente tabla muestra los desplazamientos derivas elásticas e inelásticas en dirección Y.

**Figura 79:**

*Derivas para el sismo dinámico en dirección "Y"*



*Nota:* El presente gráfico muestra las derivas de entrepiso en el sentido "Y", respecto a la deriva límite 0.007 que establece la norma E-030, resultados mostrados en la tabla 41.

La edificación ha sido diseñada con la antigua norma E-030 del 2006, para la dirección "X" se contempla que no cumple con la deriva estipulada en la Norma de 0.007 como máximo en el rango inelástico, para lo cual se busca reforzar este

eje implementando un método de protección sísmica, para el trabajo de investigación son los disipadores tipo SLB, que hace uso de muros desacoplados, en esta investigación se colocan entre las columnas que sufren mayor cortante en este sentido, así lograr reducir las derivas de entrepiso.

#### 4.3.3. Análisis estático de la edificación de ocho niveles.

Como se ha visto, la edificación de once niveles ha sido evaluada. Se ha realizado la explicación del análisis sísmico detalladamente. De la misma forma se realiza para la segunda edificación de ocho niveles, la Tabla 46 muestra los parámetros con los cuales se realiza el análisis sísmico. Cabe mencionar que se utilizará las mismas características del suelo.

##### 4.3.3.1 Periodos y parámetros utilizados.

La estructura analizada para ambas direcciones cumple con una cantidad de modos de vibración donde participa mínimamente el 90% de la masa como se observa en la Tabla 45. Seguidamente se considera mínimamente los tres primeros modos, estos son mostrados en la Figura 80.

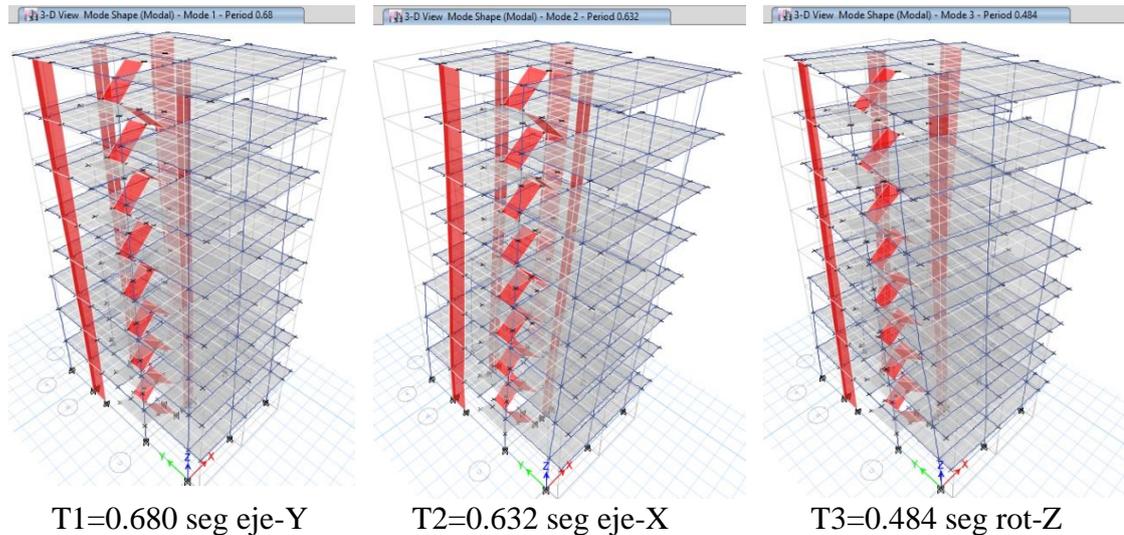
**Tabla 45:**

*Modos de vibración de la estructura de ocho niveles*

Case	Mod	Periodo (sec)	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	<b>0.680</b>	0.0326	<b>0.6737</b>	0.0326	0.6737	0.0399
Modal	2	<b>0.632</b>	<b>0.7416</b>	0.0349	0.7742	0.7086	0.0035
Modal	3	<b>0.484</b>	0.0049	0.0326	0.7791	0.7411	<b>0.7133</b>
Modal	4	0.209	0.0041	0.1253	0.7832	0.8664	0.0078
Modal	5	0.203	0.1207	0.0047	<b>0.904</b>	0.871	0.0031
Modal	6	0.159	0.0002	0.0088	0.9041	0.8799	0.1223
Modal	7	0.107	0.0363	0.0009	0.9405	0.8808	0.0001
Modal	8	0.102	0.001	0.0452	0.9414	<b>0.9259</b>	0.0042

**Figura 80:**

*Periodos de la estructura de ocho niveles.*



Se concluye que la edificación presenta en altura irregularidad por piso blando con un coeficiente de 0.75 Además un sistema de muros estructurales para ambas direcciones. La Tabla 46 expone un resumen de los parámetros para el cálculo sísmico de la edificación de ocho niveles. Mientras que el peso por nivel se expone en la Tabla 47.

**Tabla 46:**

*Parámetros para el cálculo de la edificación de ocho niveles*

Parámetros	Valores obtenidos
Factor de amplificación	Cx=2.373    Cy=2.206
Factor de zona	Z=0.35 (Zona 3)
Factor de uso	U=1.00 (categoría C)
Factor de suelo	S=1.15 (según E.M.S – S2)
Periodos en función al tipo de suelo	TP=0.60 TL=2.00
Factor de básico de reducción de fuerza sísmica	Rox=6 (sistema muros estructurales) Roy=6 (sistema muros estructurales)
Factor de reducción de fuerza sísmica	Iax=0.75 Ipx=1    R=Ia*Ip*Ro=0.75*1*6=4.5 Iay=0.75 Ipy=1    R=Ia*Ip*Ro=0.75*1*6=4.5
Aceleración de la gravedad	G=9.81 m/s <sup>2</sup>

*Nota:* La presente tabla muestra un resumen de los parámetros, estos nos servirán para realizar

**Tabla 47:**

*Peso sísmico de la estructura de ocho niveles.*

Piso	Masa sísmica	Peso de la edificación	peso por nivel (tonf)
PISO 8	100%CM + 25%CV	79.571	79.571
PISO 7	100%CM + 25%CV	168.52	88.949
PISO 6	100%CM + 25%CV	257.469	88.949
PISO 5	100%CM + 25%CV	346.418	88.949
PISO 4	100%CM + 25%CV	435.366	88.949
PISO 3	100%CM + 25%CV	536.095	100.728
PISO 2	100%CM + 25%CV	638.327	102.233
PISO 1	100%CM + 25%CV	741.222	102.895

*Nota:* La tabla expone el peso por piso utilizado para el análisis.

#### 4.3.3.2 Fuerza cortante en la base

Considerando la dirección en la base de la edificación la fuerza de corte total, se calcula con la ecuación 7. Primeramente, se determina el coeficiente de cortante basal para la dirección X y para la dirección Y, este se colocará al software ETABS, así los cálculos realizados serán corroborados por el software.

$$C_x = \frac{0.35 * 1.0 * 2.373 * 1.15}{4.5} = 0.2123$$

$$C_y = \frac{0.35 * 1.0 * 2.206 * 1.15}{4.5} = 0.1973$$

Una vez obtenido los resultados de los parámetros, periodos e irregularidad, estos son reemplazados en la ecuación, así obtener las cortantes estáticas de la edificación para la dirección X y Y.

$$V_x = \frac{0.35 * 1.0 * 2.373 * 1.15}{4.5} * 741.222 = 157.326 \text{ tn}$$

$$V_y = \frac{0.35 * 1.0 * 2.206 * 1.15}{4.5} * 741.222 = 146.254 \text{ tn}$$

Los cálculos del análisis asistido por el programa ETABS respaldan estos resultados, si bien se ve una mínima variación, estos se exponen en la Figura 81.

**Figura 81:**

*Cortantes estáticas de la edificación de ocho niveles*

Load Pattern	Type	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
Sis_Est_X	Seismic	0.212289	1.066	742.6148	157.649
Sis_Est_Y	Seismic	0.197304	1.09	742.6148	146.5208

*Nota:* La figura expone las cortante que genera el software ETABS para ambas direcciones.

#### 4.3.3.3 Distribución de la cortante en el eje "X"

De acuerdo a la dirección considerada, las fuerzas sísmicas horizontales son mostradas en la Tabla 48 para la dirección X y en la Tabla 49 en dirección Y.

$$T_x = 0.632$$

$$k = 1.066$$

**Tabla 48:**

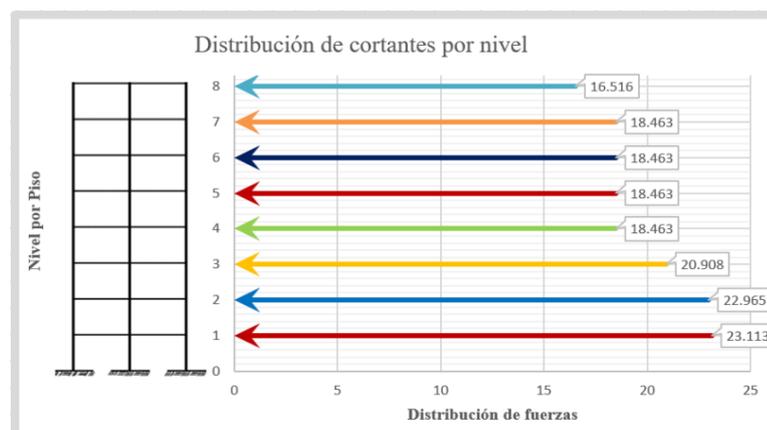
*Distribución de fuerzas laterales para la dirección "X"*

Story	Peso	Alturas	Pi*(Hi)^k	$\alpha_i$	Fuerza (Ton)
TECHO 08	79.57	2.60	220.35	0.10496	16.516
TECHO 07	88.95	2.60	246.32	0.11733	18.463
TECHO 06	88.95	2.60	246.32	0.11733	18.463
TECHO 05	88.95	2.60	246.32	0.11733	18.463
TECHO 04	88.95	2.60	246.32	0.11733	18.463
TECHO 03	100.73	2.60	278.94	0.13287	20.908
TECHO 02	102.23	2.80	306.38	0.14594	22.965
TECHO 01	102.89	2.80	308.36	0.14689	23.113
SumaPi*(Hi)^k =			2099.32	VEXX=	157.353

*Nota:* Distribución de la cortante en el eje "X"

**Figura 82:**

*Distribución de cortantes por nivel en el eje "X"*



*Nota:* Estos resultados son mostrados en la tabla 48.

#### 4.3.3.4 Distribución de la cortante en el eje “Y”

$$T_Y = 0.680$$

$$k = 1.090$$

**Tabla 49:**

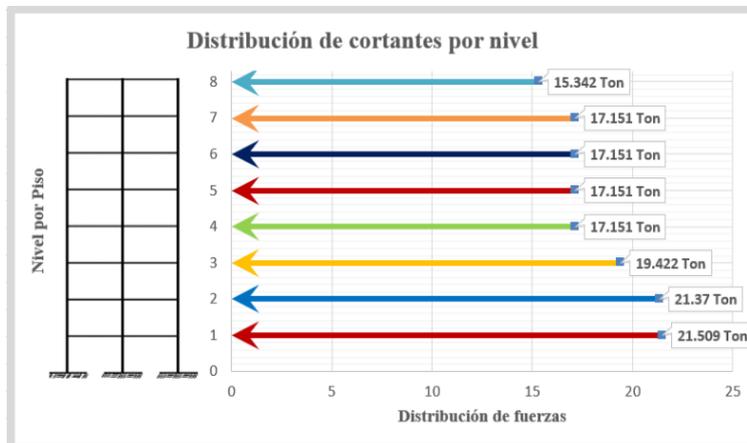
*Distribución de fuerzas laterales para la dirección “Y”*

Story	Peso	Alturas	$P_i \cdot (H_i)^k$	$\alpha_i$	Fuerza (Ton)
TECHO 08	79.57	2.60	225.46	0.10491	15.342
TECHO 07	88.95	2.60	252.04	0.11727	17.151
TECHO 06	88.95	2.60	252.03	0.11727	17.151
TECHO 05	88.95	2.60	252.04	0.11727	17.151
TECHO 04	88.95	2.60	252.03	0.11727	17.151
TECHO 03	100.73	2.60	285.41	0.13280	19.422
TECHO 02	102.23	2.80	314.05	0.14613	21.370
TECHO 01	102.89	2.80	316.08	0.14707	21.509
	Suma $P_i \cdot (H_i)^k =$		2149.14	VEXX=	146.246

*Nota:* Distribución de la cortante en el eje “Y”

**Figura 83:**

*Distribución de cortantes por nivel en el eje "Y"*



*Nota:* Estos resultados son mostrados en la tabla 49.

#### 4.3.4. Análisis dinámico de la edificación de ocho niveles

Como ya se ha mencionado se puede diseñar cualquier edificación usando los resultados del análisis dinámico, tal y como se especificó para la edificación de once niveles, se emplea un espectro de respuesta.

#### 4.3.4.1 Aceleración espectral

Se realiza el análisis dinámico por superposición modal espectral empleando un espectro de pseudo aceleraciones para cada dirección horizontal, definido como se expone en la Figura 86, los datos se exponen en la Tabla 46.

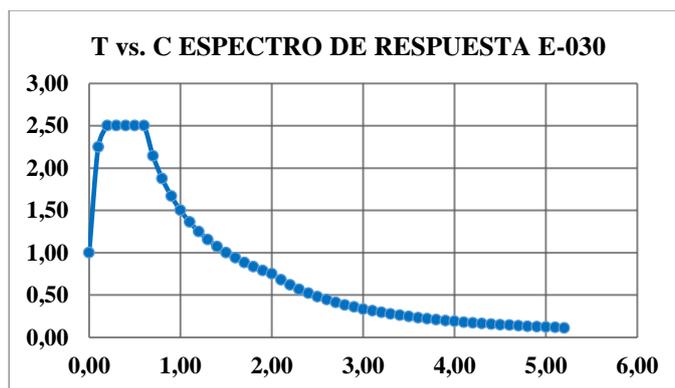
$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g \quad (18)$$

#### 4.3.4.2 Espectro de respuesta

Se calcula el espectro periodo vs amplificación sísmica expuesta en la Figura 86, este se multiplica por el factor de aceleración espectral mostrada en la Tabla 52, lo que nos brinda el espectro de pseudo aceleración espectral.

#### Figura 84:

*Espectro periodo vs amplificación sísmica Suelo S2*



#### Tabla 50:

*Factor de la aceleración espectral*

Factor XX= $Z*U*S*g/R_x$ =	$0.35*1.0*1.15*9.81/4.5=0.87745$
Factor YY= $Z*U*S*g/R_y$ =	$0.35*1.0*1.15*9.81/4.5=0.87745$

*Nota:* El factor de aceleración multiplicado por el espectro nos da la aceleración espectral

#### 4.3.4.3 Cortante estático vs cortante dinámico.

Se ha calculado las fuerzas cortantes basales para las dos direcciones, estos resultados se muestran en la Tabla 51. Para edificios irregulares el factor sísmico se debe escalar al 90 % de la cortante estática para cumplir con lo señalado.

**Tabla 51:**

*Factor sísmico de la edificación de ocho niveles.*

CORTANTE ESTÁTICA	CORTANTE DINÁMICA	FACTOR SÍSMICO
157.353	122.958	<b>1.152</b>
146.246	106.097	<b>1.241</b>

*Nota.* La presente tabla muestra el factor sísmico de escala para ambas direcciones.

#### 4.3.4.4 Control de derivas análisis dinámico.

Teniendo en cuenta el ingreso en la zona inelástica, la Norma indica que para edificaciones de concreto el límite de la deriva no debe ser mayor a 0.007

**Tabla 52:**

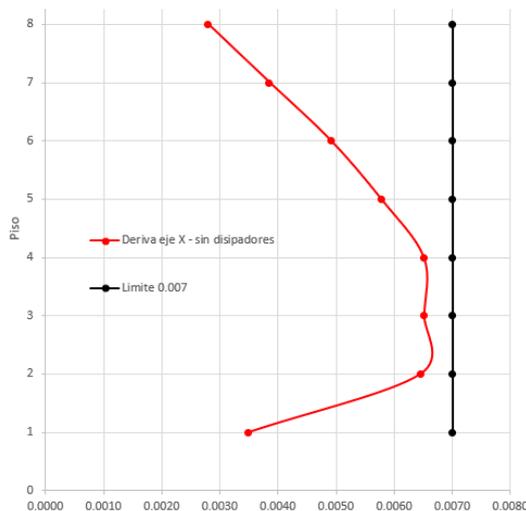
*Derivas de la edificación de ocho pisos en dirección "X"*

Diafragma	Sismo	UX m	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030
PISO 8	S_DINX Max	0.0279	0.0019	2.60	0.0007	0.0028	<b>Pasa</b>
PISO 7	S_DINX Max	0.0260	0.0026	2.60	0.0010	0.0039	<b>Pasa</b>
PISO 6	S_DINX Max	0.0234	0.0033	2.60	0.0013	0.0049	<b>Pasa</b>
PISO 5	S_DINX Max	0.0200	0.0039	2.60	0.0015	0.0058	<b>Pasa</b>
PISO 4	S_DINX Max	0.0161	0.0044	2.60	0.0017	0.0065	<b>Pasa</b>
PISO 3	S_DINX Max	0.0117	0.0044	2.60	0.0017	0.0065	<b>Pasa</b>
PISO 2	S_DINX Max	0.0073	0.0047	2.80	0.0017	0.0064	<b>Pasa</b>
PISO 1	S_DINX Max	0.0026	0.0026	2.80	0.0009	0.0035	<b>Pasa</b>

*Nota:* La presenta tabla muestra los desplazamientos derivas elásticas e inelásticas en dirección X.

**Figura 85:**

*Derivas para el sismo dinámico en dirección "X"*



*Nota:* El presente gráfico muestra las derivas en el sentido "X", respecto a la deriva límite 0.007, resultados mostrados en la tabla 52.

**Tabla 53:**

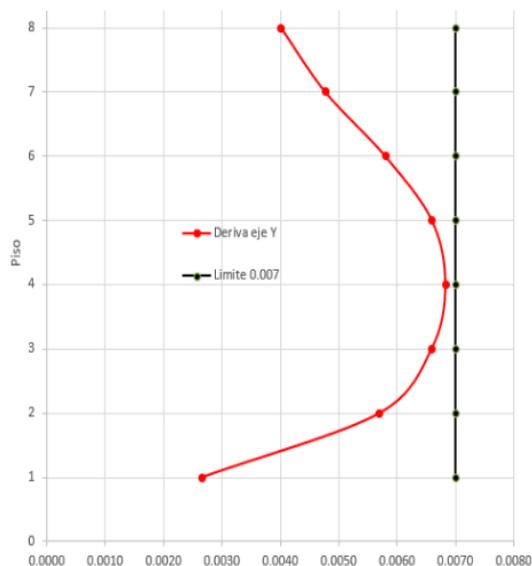
*Derivas de la edificación de ocho pisos en dirección "Y"*

Diafrag	Sismo	UX m	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030
PISO 8	S_DINX Max	0.0296	0.0027	2.60	0.001	0.004	<b>Pasa</b>
PISO 7	S_DINX Max	0.0269	0.0032	2.60	0.0012	0.0048	<b>Pasa</b>
PISO 6	S_DINX Max	0.0237	0.0039	2.60	0.0015	0.0058	<b>Pasa</b>
PISO 5	S_DINX Max	0.0197	0.0045	2.60	0.0017	0.0066	<b>Pasa</b>
PISO 4	S_DINX Max	0.0152	0.0046	2.60	0.0018	0.0068	<b>Pasa</b>
PISO 3	S_DINX Max	0.0106	0.0045	2.60	0.0017	0.0066	<b>Pasa</b>
PISO 2	S_DINX Max	0.0061	0.0042	2.80	0.0015	0.0057	<b>Pasa</b>
PISO 1	S_DINX Max	0.0019	0.0019	2.80	0.0007	0.0027	<b>Pasa</b>

*Nota:* La presente tabla muestra los desplazamientos derivas elásticas e inelásticas en dirección Y.

**Figura 86:**

*Derivas para el sismo dinámico en dirección "Y"*



*Nota:* El presente gráfico muestra las derivas en el sentido "Y", respecto a la deriva límite 0.007, resultados mostrados en la tabla 53.

Los resultados para la dirección "X" son mostrados en la Tabla 52 y para la dirección "Y" en la Tabla 53. Se contempla que la edificación cumple con la deriva estipulada en la norma de 0.007 para ambas direcciones "X" y "Y", entonces se entiende que para esta edificación no se reducirá las derivas de entrepiso. Por lo cual no se busca reforzar, ni hacer uso del método de protección sísmica.

#### 4.4. ANÁLISIS SÍSMICO IMPLEMENTANDO DISIPADORES SLB

Se opta por este tipo de disipadores puesto que aprovecha el sistema sísmico existente, incorporando una serie de dispositivos que obligan a la edificación a concentrar gran parte de la energía sísmica en estas, proporcionando amortiguamiento y rigidez, evitando que el daño se extienda por toda la edificación y permitiendo que se concentre en lugares en los que se puedan reparar más adelante donde la deriva es mucho mayor.

##### 4.4.1. Análisis sísmico y parámetros para obtención de sismo de diseño

La edificación de once niveles se considera, con irregularidad de rigidez y como sistema estructural muros de corte, se entiende que la mayor parte de la fuerza es aplicada al ascensor, donde las placas absorben más del 70% de la fuerza de corte basal.

##### 4.4.1.1 Análisis sísmico dinámico modal – espectral con R=1

Para acceder al rango no lineal o inelástico frente a un sismo severo, será esencial primero realizar un análisis modal espectral dinámico con un espectro de diseño utilizando R=1. Los resultados se comparan con los del análisis lineal tiempo historia, y los datos seleccionados servirán para calcular las características del sistema de disipación, estos son los que mejor se ajustan al espectro de diseño severo, es decir el resultado de dividir las derivas del análisis lineal tiempo-historia y las del análisis con el espectro R=1, posteriormente se define el sismo de diseño, la Tabla 54 muestra los parámetros que se tuvieron en cuenta durante el análisis dinámico, con la excepción de que el factor de reducción sísmica será igual a la unidad para las dos direcciones de análisis, la norma menciona que se escalen los registros al espectro de diseño (ver Figura 87), el cálculo del factor de aceleración espectral para las dos direcciones se exponen en la Tabla 55.

$$T < 0,2T_p \quad C = 1 + 7,5\left(\frac{T}{T_p}\right) \quad (19)$$

**Tabla 54:**

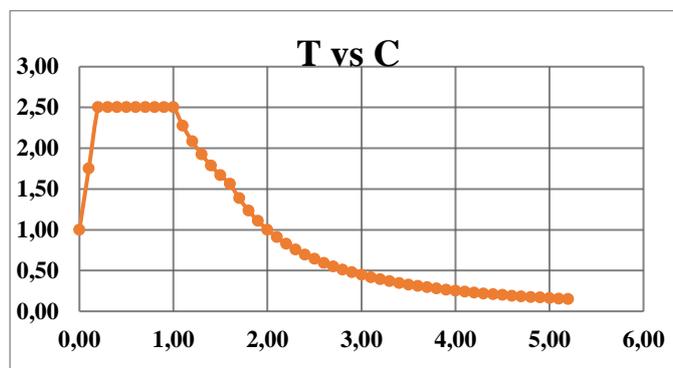
*Parámetros del espectro de respuesta  $R=1$*

Parámetros	Valores obtenidos
Factor de zona	$Z=0.35$ (Zona 3)
Factor de uso	$U=1.00$ (Categoría C)
Factor de suelo	$S=1.15$ (Según E.M.S – S2)
Factor de básico de reducción de fuerza sísmica	$R_x=1$ $R_y=1$
Aceleración de la gravedad	$G=9.81 \text{ m/s}^2$

Fuente: Elaboración propia

**Figura 87:**

*Espectro de pseudo-aceleraciones E030-Suelo S2 -  $R=1$*



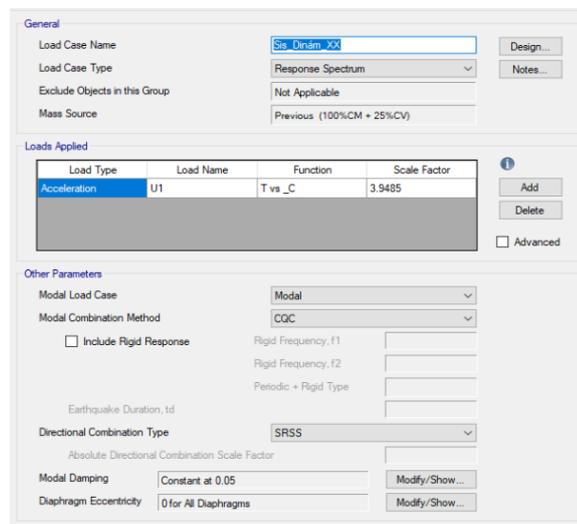
**Tabla 55:**

*Factor de la aceleración espectral*

Factor $XX=Z*U*S*g/R_x=$	$0.35*1.0*1.15*9.81/1=3.9485$
Factor $YY=Z*U*S*g/R_y=$	$0.35*1.0*1.15*9.81/1=3.9485$

**Figura 88:**

*Asignación del factor de escala al software  $R=1$*



### Control de derivas en análisis con R=1

La Figura 88 muestra la asignación del espectro severo utilizando R=1, Así mismo en las Tablas 56 y 57 se observa los resultados obtenidos de las derivas para la dirección "X" y "Y".

**Tabla 56:**

*Derivas análisis dinámico R=1 en dirección "X"*

Diafragma	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 $\leq$ 0.007
PISO 11	Sis din XX R=1	0.299	0.025	2.8	<b>0.0091</b>	No pasa
PISO 10	Sis din XX R=1	0.273	0.027	2.8	<b>0.0097</b>	No pasa
PISO 9	Sis din XX R=1	0.246	0.029	2.8	<b>0.0103</b>	No pasa
PISO 8	Sis din XX R=1	0.217	0.030	2.8	<b>0.0108</b>	No pasa
PISO 7	Sis din XX R=1	0.187	0.031	2.8	<b>0.0112</b>	No pasa
PISO 6	Sis din XX R=1	0.156	0.032	2.8	<b>0.0113</b>	No pasa
PISO 5	Sis din XX R=1	0.124	0.031	2.8	<b>0.0110</b>	No pasa
PISO 4	Sis din XX R=1	0.093	0.029	2.8	<b>0.0105</b>	No pasa
PISO 3	Sis din XX R=1	0.064	0.026	2.8	<b>0.0094</b>	No pasa
PISO 2	Sis din XX R=1	0.038	0.021	2.8	<b>0.0076</b>	No pasa
PISO 1	Sis din XX R=1	0.016	0.016	3.9	<b>0.0042</b>	Pasa

**Tabla 57:**

*Derivas análisis dinámico R=1 en dirección "Y"*

Diafragma	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 $\leq$ 0.007
PISO 11	Sis din YY R=1	0.178	0.013	2.8	<b>0.0045</b>	Pasa
PISO 10	Sis din YY R=1	0.165	0.014	2.8	<b>0.0050</b>	Pasa
PISO 9	Sis din YY R=1	0.151	0.016	2.8	<b>0.0055</b>	Pasa
PISO 8	Sis din YY R=1	0.136	0.017	2.8	<b>0.0060</b>	Pasa
PISO 7	Sis din YY R=1	0.119	0.018	2.8	<b>0.0064</b>	Pasa
PISO 6	Sis din YY R=1	0.101	0.019	2.8	<b>0.0067</b>	Pasa
PISO 5	Sis din YY R=1	0.082	0.019	2.8	<b>0.0068</b>	Pasa
PISO 4	Sis din YY R=1	0.063	0.019	2.8	<b>0.0067</b>	Pasa
PISO 3	Sis din YY R=1	0.045	0.017	2.8	<b>0.0062</b>	Pasa
PISO 2	Sis din YY R=1	0.027	0.015	2.8	<b>0.0053</b>	Pasa
PISO 1	Sis din YY R=1	0.012	0.012	3.9	<b>0.0032</b>	Pasa

#### 4.4.1.2 Registros de aceleración para espectro de diseño.

Para el análisis lineal tiempo historia, utilizamos tres registros sísmicos de aceleraciones del terreno, los datos de estos son mostrados en las Tablas 58 y 59, cada uno de ellos tiene dos componentes que serán escaladas en direcciones ortogonales, las cuales son considerados a nivel nacional como los más severos, corresponden a los terremotos de Ica 2007, Lima 1974 y Lima 1966.

**Tabla 58:**

*Datos de estaciones acelerométricas.*

Localización de la estación	Fecha de sismo
Universidad Nacional San Luis Gonzaga (Ica)	15 de agosto de 2007
Parque de la reserva (Lima)	3 de octubre de 1974
Parque de la reserva (Lima)	17 de octubre de 1966

*Nota.* En la tabla se observa la localización y la fecha de los registros sísmicos.

**Tabla 59:**

*Datos de los registros sísmicos considerados*

Sismo	Duración (seg)	Número total de muestras	Componentes	Aceleración máxima (cm/seg/seg)
Ica 2007	218.06	21806	E - W	-272.2
			N - S	334.1
Lima 1974	97.96	4899	E - W	-192.5
			N - S	179
Lima 1966	197.64	9882	E - W	-180.59
			N - S	-269.34

*Nota.* En la tabla se muestra la duración, así como la aceleración máxima de sus componentes

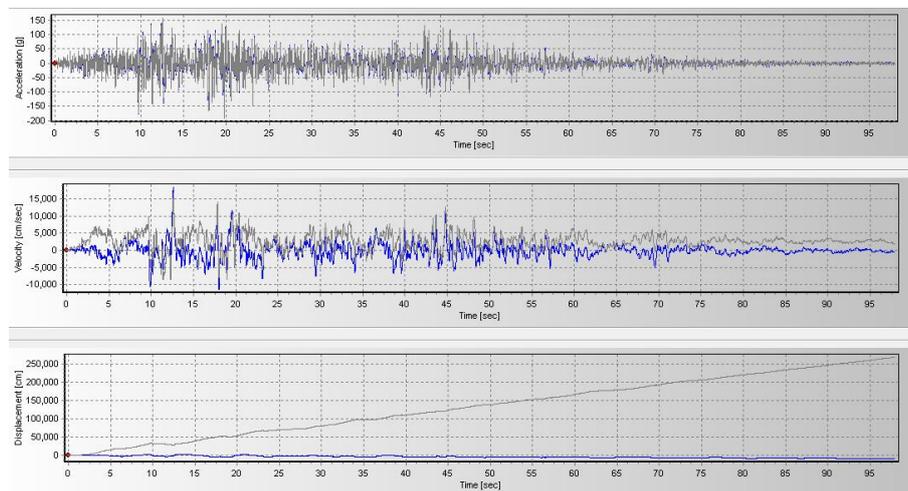
Estos registros vienen a ser los más representativos de nuestro país y bajo los cuales se ha regido la norma. Cada registro de aceleración consta de dos componentes ortogonales de aceleración que han sido seleccionadas y escaladas a partir de registros únicos. Los registros sísmicos de aceleración son alcanzados por sismos cuyos mecanismos de origen, magnitudes y distancia a las fallas sean coherentes con el máximo sismo considerado.

#### 4.4.1.3 Corrección de línea base y filtrado de la señal

Para la realización de este proceso, se ha hecho uso del programa informático SeismoSignal que nos sirve para el proceso de los registros (filtrado y rectificación de línea base). La Figura 89 nos muestra el proceso de filtrado en la componente E – W, mientras que la Figura 90 nos muestra el proceso de filtrado en la componente N – S, este es utilizado para eliminar componentes frecuencia no esperados para el registro, como el sonido de alta y baja incidencia que puedan oírse en los lugares de grabación o relacionados con el sonido ambiental, tráfico de vehículos, etc. Como resultado, la señal original se superpone con otra señal de nivel específico que puede ocultar aspectos importantes de la señal original. Este proceso se repite usando el mismo algoritmo para los tres registros de aceleración, cada uno cuenta con dos componentes en direcciones ortogonales E - O y N – S.

#### Figura 89:

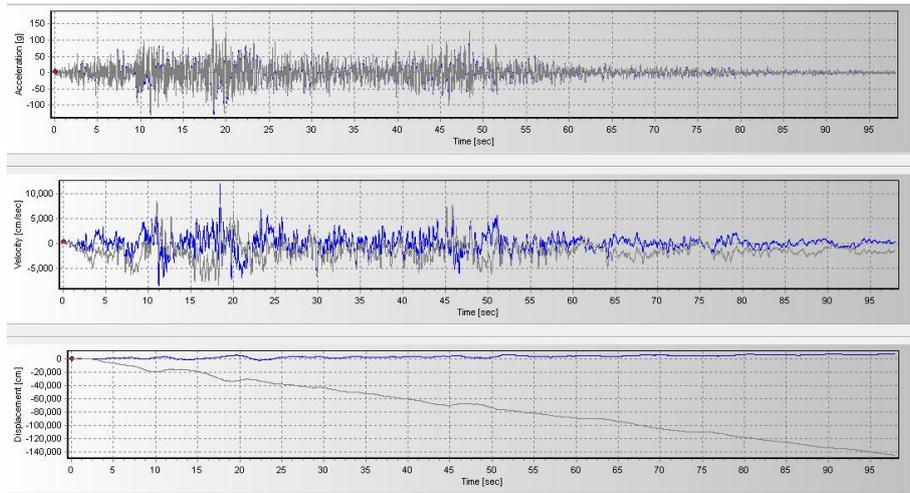
##### *Acelerograma corregido coordenadas E–O Lima 1974*



Fuente: seismo - signal

**Figura 90:**

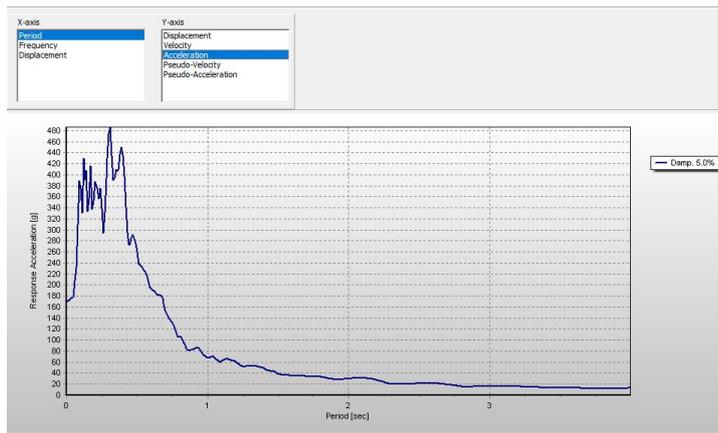
*Acelerograma corregido coordenadas N-S Lima 1974*



Fuente: seismo - signal

**Figura 91:**

*Periodo vs pseudo-aceleración con corrección de línea y filtrado*



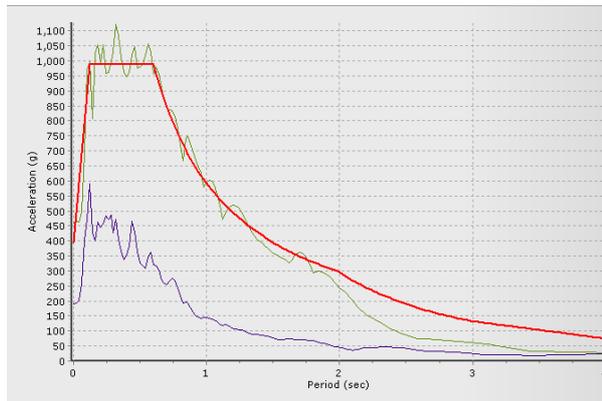
Fuente: seismo - signal

#### 4.4.1.4 Escalamiento de acelerogramas - Método de ajuste espectral

Seguidamente se escala los acelerogramas filtrados y corregidos al espectro severo  $R=1$ , por el método de ajuste espectral, haciendo uso del programa Seismo Match, la Figura 92 muestra un ejemplo para el sismo de Lima 1974 en la componente N – S, las componentes restantes siguen el mismo procedimiento, los datos al término de este procedimiento se muestran en la Tabla 60.

**Figura 92:**

*Registro sísmico escalado Lima 1974 E - W*



*Nota:* Se observa el registro sísmico sin escalar (color azul), el registro sísmico escalado (color verde) al espectro de diseño (color rojo). Fuente: Seismo – Match.

**Tabla 60:**

*Máximas aceleraciones de registros escalados al espectro de diseño*

Sismo	Componentes	Aceleración máxima original	Aceleración máxima corregido	Aceleración máxima escalado
Ica 2007	E - W	-272.2	291.973	509.30069
	N - S	334.1	364.508	457.34488
Lima 1974	E - W	-192.5	190.361	520.81824
	N - S	179	169.368	496.16985
Lima 1966	E - W	-180.59	175.423	488.45341
	N - S	-269.34	267.848	547.01877

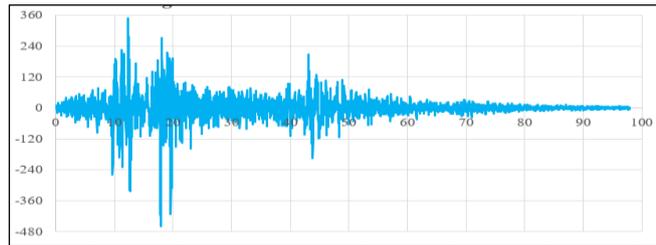
*Nota.* La tabla muestra las diferentes aceleraciones de los registros sísmicos.

#### 4.4.1.5 Análisis dinámico tiempo – historia lineal

Con los acelerogramas escalados al espectro severo, se realiza el análisis lineal tiempo historia, cada conjunto de registros sísmico cuenta con dos componentes N – S y E – W (véase las Figuras 93 y 94), aplicados en fuerza horizontal; de manera que la metodología de análisis adecuado se expone en las Figuras 95 y 96. Se analiza dos casos distintos por cada registro sísmico. El caso 1, cuando en la dirección "X" actúa la componente E – W, mientras que en la dirección "Y" actúa la componente N – S del registro, seguidamente en el caso 2, sobre la dirección "X" actúa la componente N – S, mientras que en la dirección "Y" actúa la componente E - W. Luego se procede a obtener los desplazamientos.

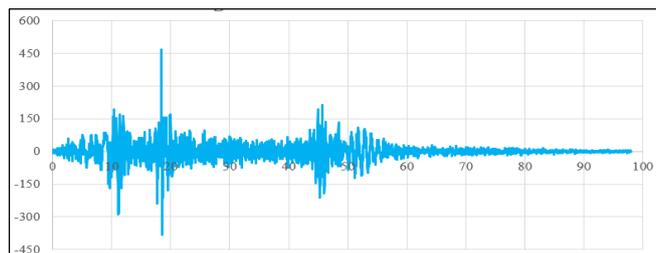
**Figura 93:**

Registro sísmico escalado Lima 1974 E – O



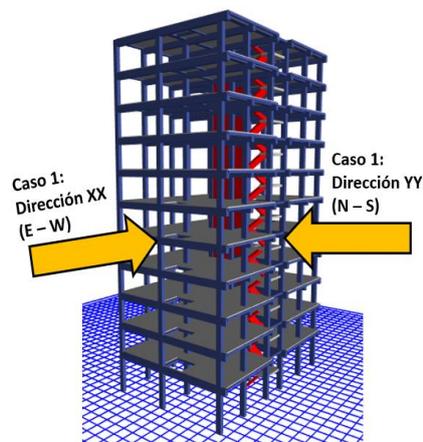
**Figura 94:**

Registro sísmico escalado Lima 1974 N – S



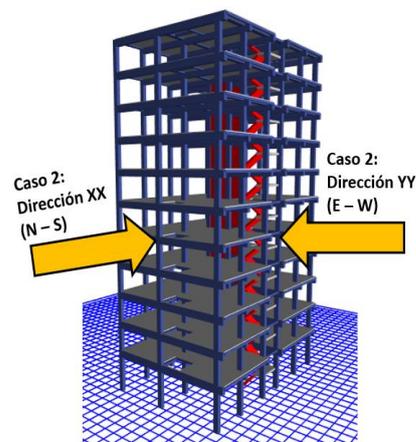
**Figura 95:**

*Primer caso de análisis*



**Figura 96:**

*Segundo caso de análisis*



### Modelo asistido por el software análisis tiempo historia lineal

Las Figuras 97 y 98 muestran el ingreso del análisis tiempo historia lineal al software, las derivas que se alcanzan del sismo Lima 1974, para la dirección "X" se muestran en la Tabla 61, mientras que para la dirección "Y" se expone en la Tabla 62, mismos resultados son mostrados mediante una representación gráficamente en las Figuras 99 y 100.

**Figura 97:**

Caso 1 asistido por software

**Figura 98:**

Caso 2 asistido por software

**Tabla 61:**

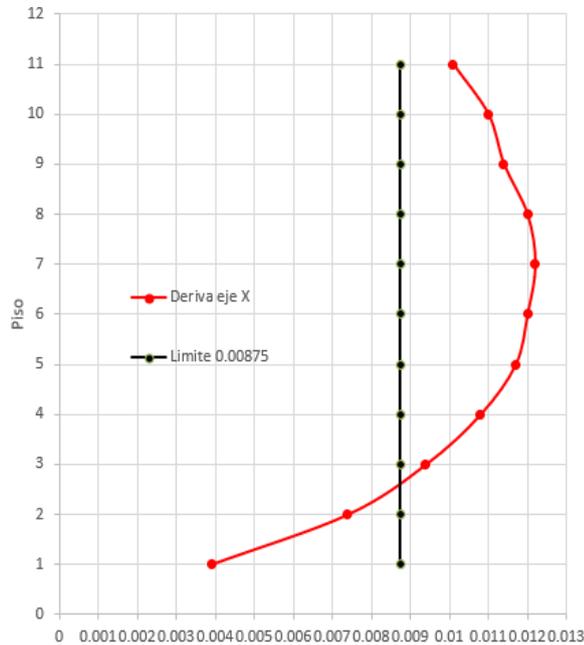
*Derivas de entrepiso para el caso 2 Lima 1974 en "X"*

Piso Diafragma	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
PISO 11	CASO 2 - 1974	0.3178	0.0282	2.8	0.0101
PISO 10	CASO 2 - 1974	0.2896	0.0307	2.8	0.0110
PISO 9	CASO 2 - 1974	0.2589	0.0319	2.8	0.0114
PISO 8	CASO 2 - 1974	0.2270	0.0335	2.8	0.0120
PISO 7	CASO 2 - 1974	0.1934	0.0343	2.8	0.0122
PISO 6	CASO 2 - 1974	0.1592	0.0337	2.8	0.0120
PISO 5	CASO 2 - 1974	0.1254	0.0328	2.8	0.0117
PISO 4	CASO 2 - 1974	0.0926	0.0301	2.8	0.0108
PISO 3	CASO 2 - 1974	0.0625	0.0264	2.8	0.0094
PISO 2	CASO 2 - 1974	0.0361	0.0207	2.8	0.0074
PISO 1	CASO 2 - 1974	0.0154	0.0154	3.9	0.0039

*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 99:**

*Derivas para el sismo severo R=1 en dirección "X"*



*Nota:* El presente gráfico muestra las derivas de entrepiso en el sentido "X", escalando el registro sísmico al espectro con R=1 respecto a la deriva límite 0.00875 que establece la norma E-030, resultados mostrados en la tabla 61.

**Tabla 62:**

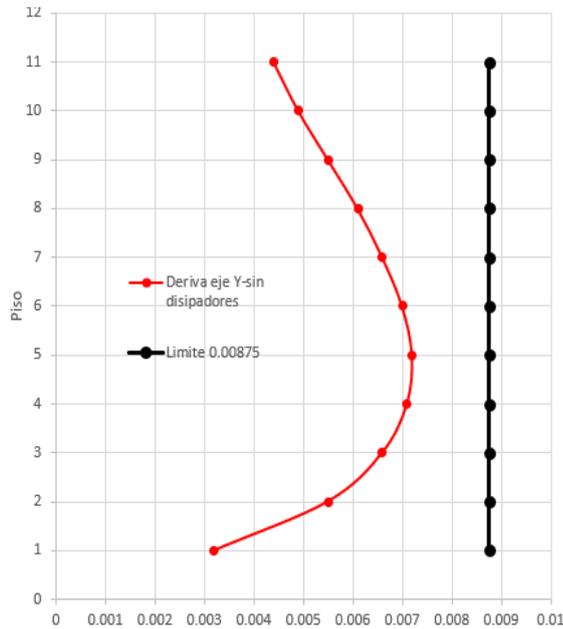
*Derivas de entrepiso para el caso 2 Lima 1974 en "Y"*

Piso Diafragma	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
PISO 11	CASO 2 - 1974	0.1831	0.0123	2.8	0.0044
PISO 10	CASO 2 - 1974	0.1708	0.0137	2.8	0.0049
PISO 9	CASO 2 - 1974	0.1571	0.0154	2.8	0.0055
PISO 8	CASO 2 - 1974	0.1416	0.0171	2.8	0.0061
PISO 7	CASO 2 - 1974	0.1246	0.0186	2.8	0.0066
PISO 6	CASO 2 - 1974	0.1060	0.0197	2.8	0.0070
PISO 5	CASO 2 - 1974	0.0864	0.0201	2.8	0.0072
PISO 4	CASO 2 - 1974	0.0663	0.0198	2.8	0.0071
PISO 3	CASO 2 - 1974	0.0465	0.0184	2.8	0.0066
PISO 2	CASO 2 - 1974	0.0280	0.0155	2.8	0.0055
PISO 1	CASO 2 - 1974	0.0125	0.0125	3.9	0.0032

*Fuente:* Elaboración propia

**Figura 100:**

*Derivas para el sismo severo R=1 en dirección "Y"*



*Nota:* el presente gráfico muestra las derivas de entrepiso en el sentido "Y", escalando el registro sísmico al espectro con R=1 respecto a la deriva límite 0.00875 que establece la norma E-030, resultados mostrados en la tabla 62.

Después de que cada caso de registro sísmico ha sido sometido al análisis lineal tiempo historia, los resultados de las derivas para la dirección "X" se observan en la Tabla 63 y para la dirección "Y" se observa en la Tabla 64.

**Tabla 63:**

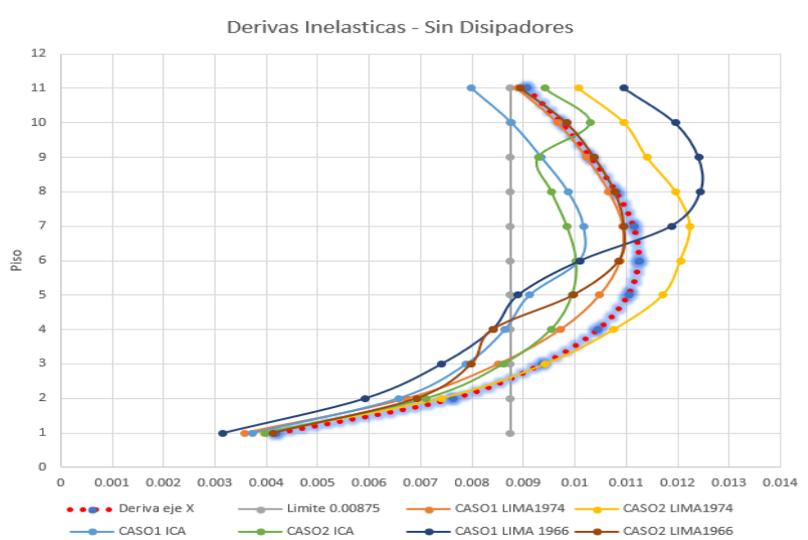
*Análisis dinámico tiempo - historia en X-X para cada caso*

NIVEL	LIMA 1974		ICA 2007		LIMA 1966	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
11	0.00888	0.01007	0.00799	0.00941	0.01096	0.00895
10	0.00966	0.01096	0.00877	0.0103	0.01195	0.00984
9	0.01022	0.0114	0.00935	0.00929	0.01241	0.01038
8	0.01066	0.01196	0.00987	0.00955	0.01245	0.01078
7	0.01093	0.01224	0.01017	0.00985	0.01188	0.01096
6	0.01088	0.01205	0.01009	0.01003	0.01011	0.01086
5	0.01048	0.01171	0.00912	0.00995	0.0089	0.00997
4	0.00972	0.01076	0.00864	0.00954	0.0084	0.0084
3	0.00851	0.00943	0.00789	0.00861	0.00741	0.00799
2	0.00673	0.0074	0.00657	0.0071	0.00592	0.00692
1	0.00357	0.00395	0.00374	0.00397	0.00316	0.00413

*Nota:* Drift en eje X

**Figura 101:**

*Selección de derivas análisis tiempo historia lineal en dirección "X"*



*Nota:* en el presente gráfico se muestran las derivas para cada uno de los casos (ver tabla 63), se selecciona aquel que se ajuste más a las derivas del análisis dinámico R=1 (línea iluminada).

Se exponen las derivas obtenidas, los resultados de la Tabla 63, son mostrados gráficamente en la Figura 101 para la dirección "X", y los resultados de la Tabla 64, se muestran gráficamente en la Figura 102 para la dirección "Y"

**Tabla 64:**

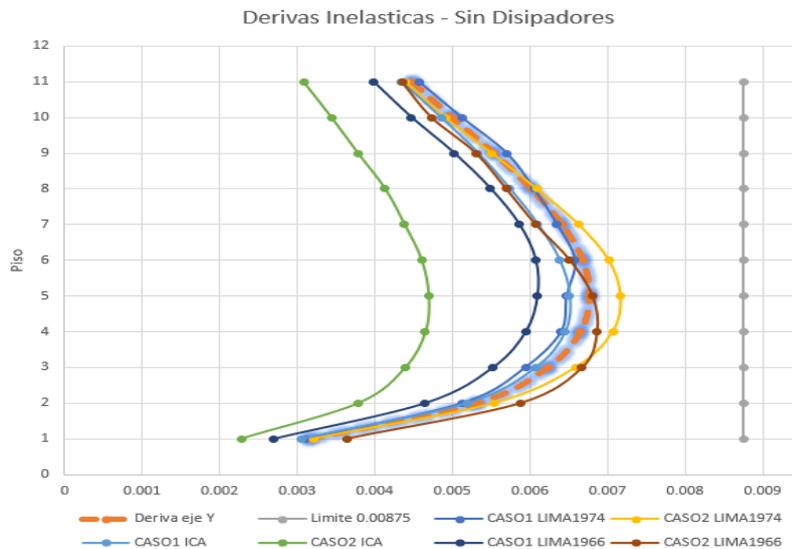
*Análisis dinámico tiempo - historia en Y-Y para cada caso*

NIVEL	LIMA 1974		ICA 2007		LIMA 1966	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
11	0.00457	0.0044	0.00434	0.00308	0.00398	0.00435
10	0.00512	0.00491	0.00485	0.00344	0.00447	0.00473
9	0.0057	0.00551	0.00533	0.00378	0.00502	0.0053
8	0.00605	0.00609	0.00574	0.00413	0.00549	0.00569
7	0.00635	0.00663	0.0061	0.00438	0.00586	0.00607
6	0.00658	0.00702	0.00638	0.0046	0.00607	0.00651
5	0.00647	0.00717	0.00651	0.00469	0.00609	0.0068
4	0.0064	0.00707	0.00645	0.00465	0.00594	0.00686
3	0.00594	0.00659	0.00607	0.00439	0.00552	0.00667
2	0.00513	0.00554	0.00519	0.00379	0.00465	0.00588
1	0.0031	0.00321	0.00306	0.00228	0.0027	0.00364

*Nota:* La presenta tabla muestra el Drift en el eje Y. Fuente: Elaboración propia

**Figura 102:**

*Selección de derivas análisis tiempo historia lineal en dirección "Y"*



*Nota:* En el presente gráfico se muestran las derivas para cada uno de los casos (ver tabla 64), se selecciona aquel que se ajuste más a las derivas del análisis dinámico  $R=1$  (línea iluminada).

#### 4.4.1.6 Determinación del sismo de diseño

Una vez completado el análisis tiempo historia lineal y teniendo en función al espectro severo de diseño las derivas máximas. En esta investigación uno de los registros sísmicos usados será elegido para representar como sismo de diseño final. A continuación, las Tablas 65 y 66 muestran el resultado del procedimiento expuesto, las derivas obtenidas son divididas entre las derivas del análisis con espectro severo  $R=1$ , se elige el caso en el que la dirección examinada este más próxima a la unidad, lo que garantiza la menor diferencia con respecto al espectro severo de diseño. Este será el registro utilizado para realizar los procedimientos de cálculo del método de protección sísmica, con lo cual se excluyen las variaciones de los registros sísmicos que sean menores al valor de 0.80, ya que respecto a las derivas del análisis con espectro severo se estaría a menos 20%.

**Tabla 65:**

*Derivas tiempo historia lineal entre dinámico espectral en X*

NIVEL	LIMA 1974		ICA 2007		LIMA 1966	
	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
11	0.97944	<b>1.11113</b>	0.88076	1.03758	1.2089	0.98716
10	0.99222	<b>1.12558</b>	0.90095	1.05782	1.2276	1.01097
9	0.99169	<b>1.10618</b>	0.90743	0.90095	1.20378	1.00641
8	0.98563	<b>1.10663</b>	0.91309	0.88349	1.15188	0.99716
7	0.98005	<b>1.09801</b>	0.91163	0.88328	1.06531	0.9829
6	0.9667	<b>1.07056</b>	0.89634	0.89154	0.89872	0.96515
5	0.94831	<b>1.06003</b>	0.82534	0.90102	0.80559	0.90215
4	0.92957	<b>1.02927</b>	0.82648	0.91218	0.80367	0.80346
3	0.90877	<b>1.00694</b>	0.8426	0.91975	0.79095	0.85282
2	0.88307	<b>0.97062</b>	0.86273	0.93172	0.77692	0.90833
1	0.85094	<b>0.94211</b>	0.89285	0.94799	0.75321	0.98568

*Nota:* Los valores que mejor se ajustan a las derivas obtenidas del análisis dinámico con R=1, para la dirección “X” es el caso2 Lima 1974, esto se apoya con los resultados mostrados en la figura 101.

**Tabla 66:**

*Derivas tiempo historia lineal entre dinámico espectral en Y*

NIVEL	LIMA 1974		ICA 2007		LIMA 1966	
	CASO1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
11	1.0187	<b>0.98051</b>	0.96762	0.68587	0.88694	0.96921
10	1.02371	<b>0.98179</b>	0.97029	0.68852	0.89415	0.94522
9	1.02763	<b>0.99427</b>	0.96194	0.68077	0.90462	0.95589
8	1.00391	<b>1.01139</b>	0.95304	0.68495	0.91147	0.94444
7	0.98826	<b>1.03187</b>	0.95071	0.68221	0.91233	0.94565
6	0.98344	<b>1.04951</b>	0.95359	0.68782	0.90771	0.97346
5	0.95626	<b>1.05988</b>	0.96133	0.6934	0.8998	1.0048
4	0.96237	<b>1.06313</b>	0.96978	0.69834	0.893	1.03055
3	0.95377	<b>1.05747</b>	0.97528	0.70526	0.8861	1.07054
2	0.96498	<b>1.04329</b>	0.9762	0.71242	0.87611	1.10715
1	0.98061	<b>1.01485</b>	0.96852	0.72264	0.85284	1.15089

*Nota:* Los valores que mejor se ajustan a las derivas obtenidas del análisis dinámico con R=1, para la dirección “Y” es el caso2 Lima 1974, esto se apoya con los resultados mostrados en la figura 102.

Finalmente, el sismo de diseño se determina que es Lima 1974 caso 2, porque demuestra mayor cercanía a la unidad, lo que aseguraría comportamiento del espectro severo de diseño. Se excluye los registros de Ica 2007 y Lima 1966,

puesto que en sus dos direcciones de análisis algunos diafragmas tienen poca proximidad a la unidad.

#### 4.4.2. Análisis sísmico de la estructura con disipadores SLB

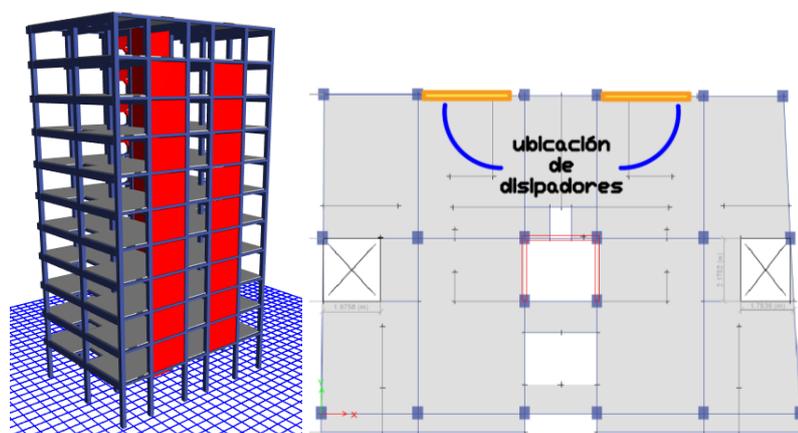
La edificación excede en diferentes niveles de entrepiso la deriva objetivo aceptada de 7‰ por la Norma Sismorresistente E.030, en la dirección "X" se procede a implementar los disipadores tipo Shear Link Bozzo (SLB) hysteréticos, ya que la deriva máxima obtenida de (9.56‰) es mayor a la permitida, mientras que en la dirección "Y" por tener una deriva de (5.86‰) no se hace uso de estas.

##### 4.4.2.1 Ubicación de los dispositivos SLB.

La colocación de los disipadores es un asunto importante, ya que su efectividad será mayor o menor basado en su ubicación dentro de la edificación, estas se ubicarán entre las columnas que sufren mayor cortante como se muestra en la Figura 103, zonas donde la deriva es mayor, para evitar que se obstaculice la libre circulación en el interior de la edificación, lo mejor será colocar los dispositivos de energía mediante un sistema de muros desacoplados, ubicados al perímetro de la edificación y siendo éstos los más alejados de la caja de ascensores.

#### Figura 103:

*Ubicación de los disipadores SLB en el edificio de once niveles*



*Nota:* para ver más a detalle véase el anexo del plano ubicación de los disipadores

#### 4.4.2.2 Selección del tipo de dissipador SLB

La técnica consiste en utilizar el sistema de resistencia ya existente y acoplarlo con los disipadores que obligan a la edificación a concentrar la mayor parte de la energía sísmica entrante en estas regiones específicas, lo que hace que los daños se concentren en ciertas zonas que pueden ser reparadas posteriormente. Los dispositivos SLB para la primera iteración se modelaron como elementos tipo barra (frame – véase la Figura 104), estos son utilizados restringiendo a fuerza axial toda la barra y los momentos M3 y M2 en su extremo superior ó como conexiones (Non Linear Link – NLINK – como se muestra en las Figuras 108 y 109), que con los muros desacoplados trabaja conjuntamente, este se expone en la Figura 105.

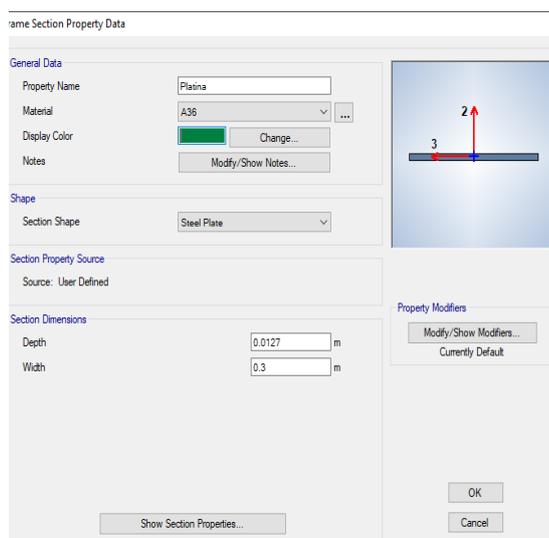
##### 4.4.2.2.1 Definición de platina elemento frame

Se define la platina de ½ in. (1.27cm x 30cm)

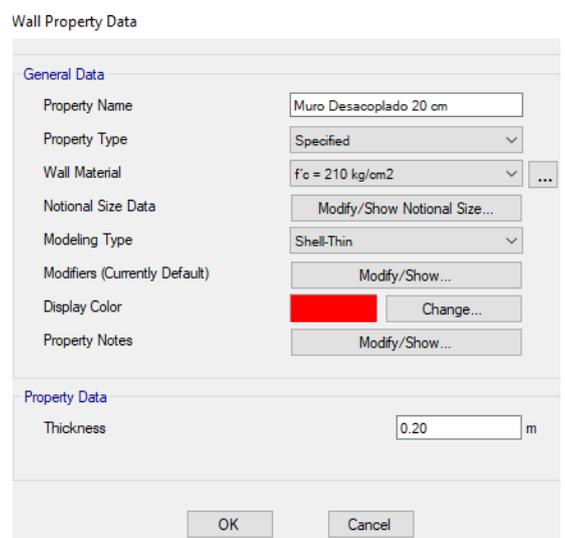
##### 4.4.2.2.3 Definición de muro desacoplado

Se define el muro desacoplado de 20 cm.

**Figura 104:**  
Definición de la platina



**Figura 105:**  
Definición de muro desacoplado

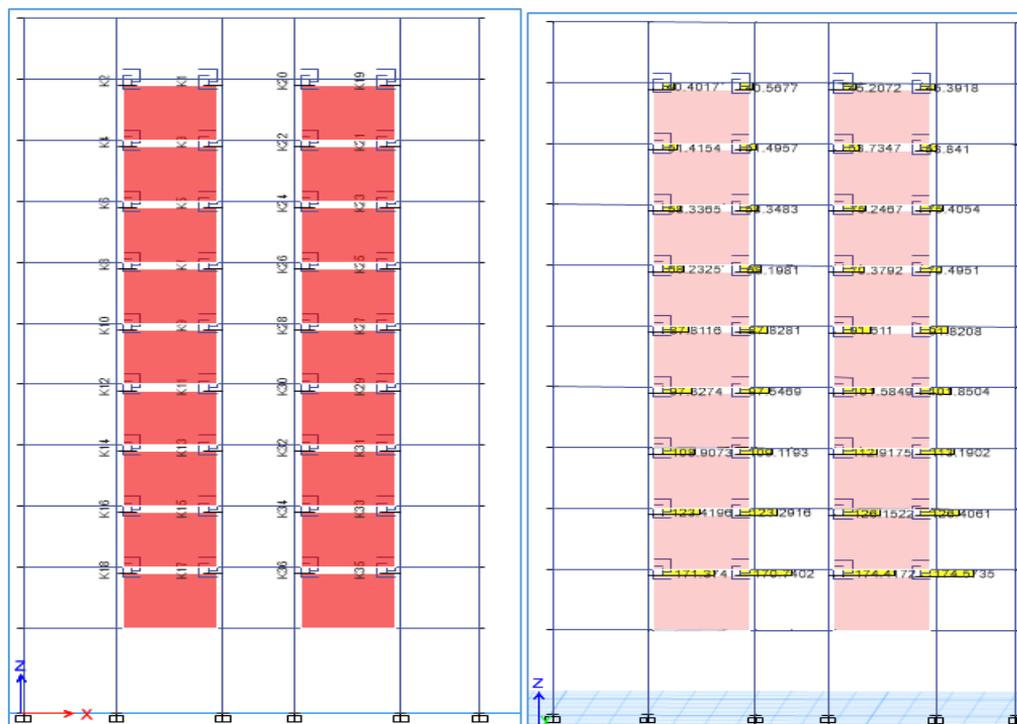


#### 4.4.2.3 Primera iteración utilizando elementos Link

Se modela utilizando un mismo link para apreciar la cortante inicial como un prediseño, tras obtener la fuerza de corte de cada link, pasamos a la tabla de los dispositivos, parámetros de diseño Shear Link Bozzo (ver figura 107 para más detalle ver el Anexo 8). La ecuación 20 muestra como se ha seleccionado el dispositivo SLB2 15\_3, se realiza de acuerdo con la demanda por fuerza cortante de plastificación -  $F_y$ , el disipador se seleccionó de manera que el resultado de la fuerza de plastificación  $F_y$  se acerque al resultado de la fuerza sísmica de corte del elemento link. La asignación de los dispositivos links se expone en la Figura 106, y la selección de estos en la Tabla 67.

**Figura 106:**

*Asignación de elementos Links en la estructura - primera iteración.*



*Nota:* Como se muestra en la figura 103, se colocaron en el eje 3, en unidades de KN.

**Tabla 67:**

*Cortante y selección de los dispositivos Link en unidades KN*

Datos en los dispositivos				
<b>PISO 10</b>	<b>K2</b>	<b>K1</b>	<b>K20</b>	<b>K19</b>
Cortante	40.4	40.56	45.2	45.39
Dispositivo	SLB2 6_3	SLB2 6_3	SLB2 6_3	SLB2 6_3
<b>PISO 9</b>	<b>K4</b>	<b>K3</b>	<b>K22</b>	<b>K21</b>
Cortante	51.41	51.49	53.73	53.84
Dispositivo	SLB2 8_2	SLB2 8_2	SLB2 8_2	SLB2 8_2
<b>PISO 8</b>	<b>K6</b>	<b>K5</b>	<b>K24</b>	<b>K23</b>
Cortante	58.33	58.34	75.24	75.4
Dispositivo	SLB2 8_2	SLB2 8_2	SLB2 8_5	SLB2 8_5
<b>PISO 7</b>	<b>K8</b>	<b>K7</b>	<b>K26</b>	<b>K25</b>
Cortante	68.23	68.19	70.37	70.49
Dispositivo	SLB2 8_5	SLB2 8_5	SLB2 8_5	SLB2 8_5
<b>PISO 6</b>	<b>K10</b>	<b>K9</b>	<b>K28</b>	<b>K27</b>
Cortante	87.81	87.82	91.61	91.82
Dispositivo	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3
<b>PISO 5</b>	<b>K12</b>	<b>K11</b>	<b>K30</b>	<b>K29</b>
Cortante	97.32	97.54	101.58	101.85
Dispositivo	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3
<b>PISO 4</b>	<b>K14</b>	<b>K13</b>	<b>K32</b>	<b>K31</b>
Cortante	108.9	109.11	112.91	113.19
Dispositivo	SLB2 10_5	SLB2 10_5	SLB2 10_5	SLB2 10_5
<b>PISO 3</b>	<b>K16</b>	<b>K15</b>	<b>K34</b>	<b>K33</b>
Cortante	123.41	123.29	126.15	126.4
Dispositivo	SLB2 15_3	SLB2 15_3	SLB2 15_3	SLB2 15_3
<b>PISO 2</b>	<b>K18</b>	<b>K17</b>	<b>K36</b>	<b>K35</b>
Cortante	171.37	170.74	174.41	174.57
Dispositivo	SLB2 20_3	SLB2 20_3	SLB2 20_3	SLB2 20_3

*Nota:* La presente tabla muestra la selección de los dispositivos para la primera iteración.

**Figura 107:**

*Propiedades de los dispositivos Shear Link Bozzo.*

DISPOSITIVO	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS					
	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	Rigidez inicial $K_1$ (KN/cm)	Rigidez post-plasticación $K_2$ (KN/cm)	Desplaz. de plasticación $D_p$ (mm)	Fuerza de plasticación $F_p$ (KN)	Fuerza máxima $F_{MAX}$ (KN)	Energía disipada $E_D$ (KN.cm)
SLB2 10_2	19.00	20.00	-	2.00	893.40	19.15	0.76	68.00	128.71	168.89
SLB2 10_3	19.00	20.00	-	3.00	1039.13	21.57	0.78	81.10	148.63	198.84
SLB2 10_4 *	19.00	20.00	-	4.00	1149.53	22.96	0.81	93.00	166.26	224.54
SLB2 10_5 *	19.00	20.00	-	5.00	1237.80	14.93	0.91	112.20	182.26	246.55
SLB2 15_2	19.00	20.00	-	2.00	1571.47	31.17	0.65	101.80	199.61	258.66
SLB2 15_3	19.00	20.00	-	3.00	1961.47	37.36	0.64	126.10	240.45	318.16
SLB2 15_4	19.00	20.00	-	4.00	2290.27	42.03	0.65	149.70	276.57	373.16

*Nota:* para apreciar a más detalle y ver el cuadro completo dirigirse al anexo 8.

$$Cortante \text{ que nos da el ETABS} > Cortante \text{ de la tabla}(f_y) \quad (20)$$

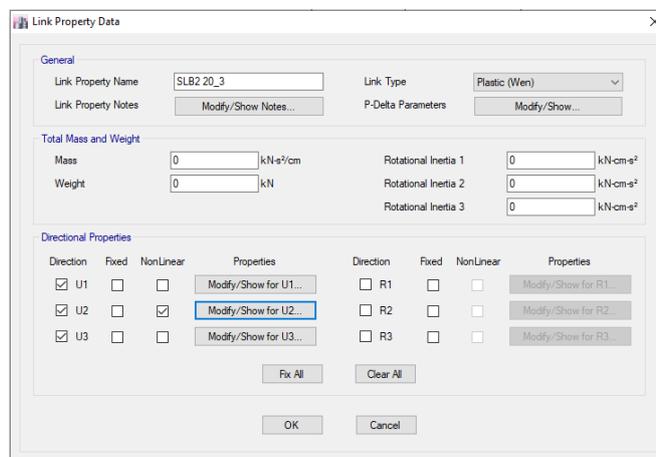
$$127.66KN > 126.10KN$$

#### 4.4.2.4 Asignación de propiedades lineales y no lineales.

Las Figuras 108 y 109 muestran la asignación de la respuesta no lineal del dispositivo SLB2 20\_3, se utiliza el modelo plástico de Wen, respecto a la dirección del análisis sísmico. Se deberán incluir para U2 las propiedades no lineales, en nuestro caso el funcionamiento del disipador actúa en la dirección “X”, plano ZX.

#### Figura 108:

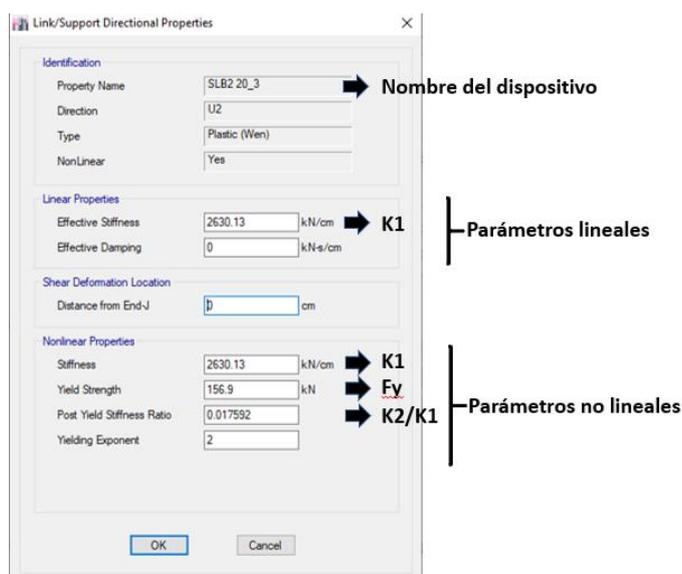
##### Definición del disipador SLB2 20\_3



Fuente: ETABS 2016 v.16.2.1

#### Figura 109:

##### Propiedades del disipador SLB2 20\_3



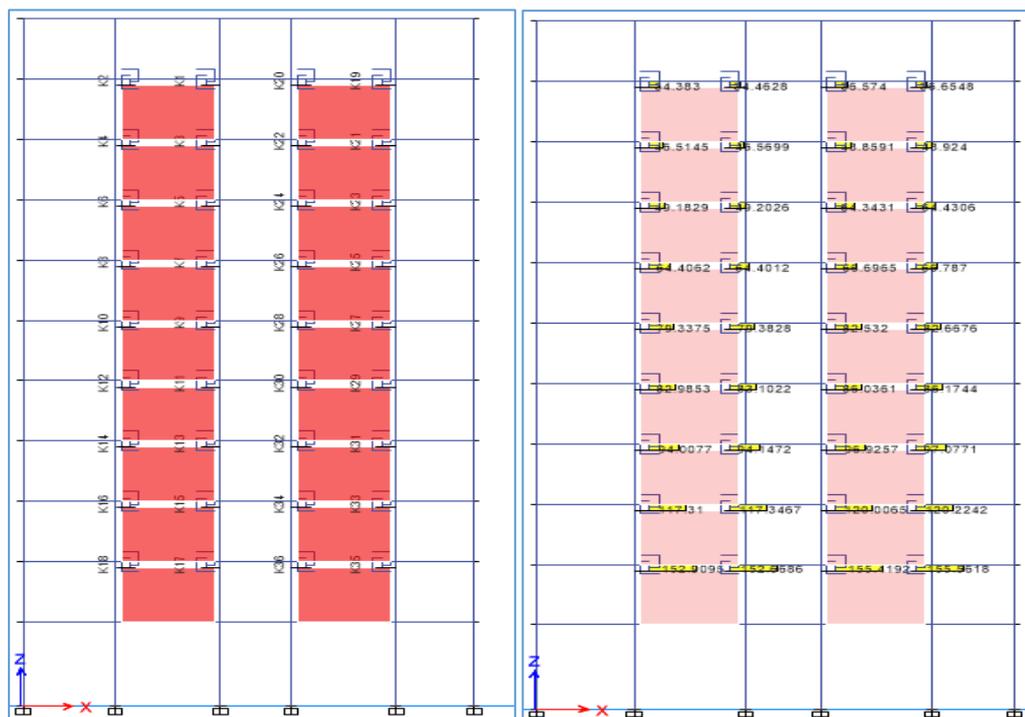
Fuente: ETABSv.16.2.1

#### 4.4.2.5 Segunda iteración nuevas cortantes usando elementos link

En el ciclo de prediseño (primera iteración), se ha establecido un dispositivo link. Se revisa nuevamente las cortantes en los elementos para verificar si hay variación de la demanda sísmica, en esta fase los elementos asignados nos dan otra cortante, entonces se entiende que también cambia el dispositivo (segunda iteración). Se puede ver la fuerza admisible máxima al que está expuesto cada disipador después de haber realizado el análisis, si la variación por fuerza cortante no es mucha, se puede optar por utilizar este disipador. Al ejecutar la verificación de las derivas de entrepiso. Si se cumplen estas condiciones, quiere decir que el proceso de selección se culmina; sin embargo, en caso de que no se cumplan, habrá que realizar más iteraciones. Las nuevas cortantes obtenidas de los elementos links se muestran en la Figura 110, mismos resultados se exponen en la Tabla 68.

**Figura 110:**

*Asignación de elementos Links en la estructura - segunda iteración.*



*Nota:* como se muestra en la figura 103, se colocaron en el eje 3, en unidades de KN.

**Tabla 68:***Variación de cortante y nueva selección de dispositivos Link en KN*

Datos en los dispositivos 2da iteración				
<b>PISO 10</b>	<b>K2</b>	<b>K1</b>	<b>K20</b>	<b>K19</b>
Cortante	34.38	34.46	36.57	36.65
Dispositivo	SLB2 6_2	SLB2 6_2	SLB2 6_2	SLB2 6_2
<b>PISO 9</b>	<b>K4</b>	<b>K3</b>	<b>K22</b>	<b>K21</b>
Cortante	46.51	46.56	48.85	48.92
Dispositivo	SLB2 6_4	SLB2 6_4	SLB2 6_4	SLB2 6_4
<b>PISO 8</b>	<b>K6</b>	<b>K5</b>	<b>K24</b>	<b>K23</b>
Cortante	49.18	49.2	64.34	64.43
Dispositivo	SLB2 6_4	SLB2 6_4	SLB2 8_3	SLB2 8_3
<b>PISO 7</b>	<b>K8</b>	<b>K7</b>	<b>K26</b>	<b>K25</b>
Cortante	64.4	64.4	66.69	66.78
Dispositivo	SLB2 8_3	SLB2 8_3	SLB2 8_3	SLB2 8_3
<b>PISO 6</b>	<b>K10</b>	<b>K9</b>	<b>K28</b>	<b>K27</b>
Cortante	79.33	79.38	82.53	82.66
Dispositivo	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3
<b>PISO 5</b>	<b>K12</b>	<b>K11</b>	<b>K30</b>	<b>K29</b>
Cortante	82.98	83.1	86.03	86.17
Dispositivo	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3	SLB2 10_3
<b>PISO 4</b>	<b>K14</b>	<b>K13</b>	<b>K32</b>	<b>K31</b>
Cortante	94	94.14	96.92	97.07
Dispositivo	SLB2 10_4	SLB2 10_4	SLB2 10_4	SLB2 10_4
<b>PISO 3</b>	<b>K16</b>	<b>K15</b>	<b>K34</b>	<b>K33</b>
Cortante	117.31	117.34	120	120.22
Dispositivo	SLB2 10_5	SLB2 10_5	SLB2 10_5	SLB2 10_5
<b>PISO 2</b>	<b>K18</b>	<b>K17</b>	<b>K36</b>	<b>K35</b>
Cortante	152.9	152.66	155.41	155.56
Dispositivo	SLB2 15_4	SLB2 15_4	SLB2 15_4	SLB2 15_4

*Nota:* La presente tabla muestra la selección de los dispositivos para la segunda iteración.

Se procede nuevamente a verificar la variación de la respuesta en los dispositivos, se observan en la Figura 111 los resultados de esta, mostrando que la variación de la cortante en los dispositivos SLB no ha sido mucha, entonces se entiende que estos serán los dispositivos seleccionados, otra consideración a tener en cuenta es que si el drift no cumpliera se tiene que seguir iterando.

**Figura 111:**

*Asignación de LINK SLB en la estructura, eje 3*

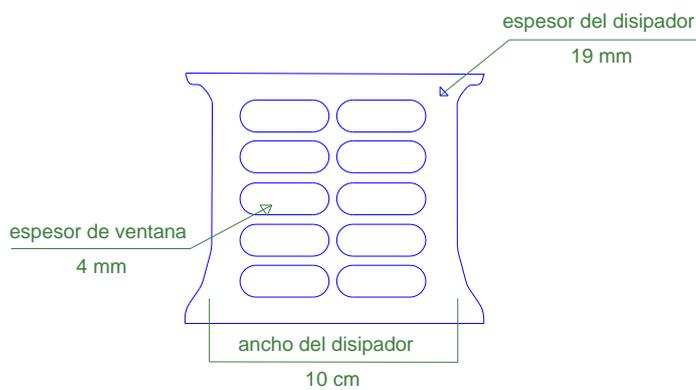


Fuente: ETABS 2016 v.16.2.1

La Figura 112 muestra las medidas de distribución del dispositivo SLB2 10\_4, en la Figura 113 se observa la colocación del disipador y del muro desacoplado. En la Tabla 69 se expone la cuantificación de los dispositivos utilizados, y en la Tabla 70 se observa la variación del periodo implementando disipadores en la estructura.

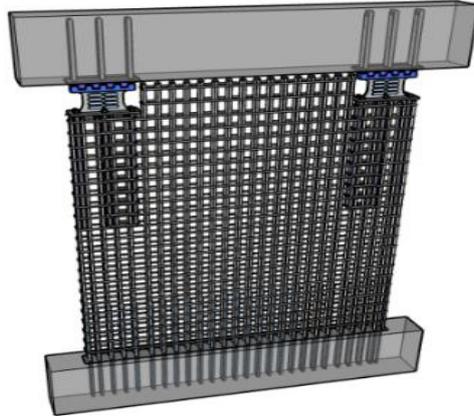
**Figura 112:**

*Medidas de distribución del disipador SLB2 10\_4*



**Figura 113:**

*Colocación de disipador sobre el muro desacoplado.*



**Tabla 69:**

*Cuantificación de los disipadores*

Tipo	Cantidad
SLB2 6_2	4
SLB2 6_4	6
SLB2 8_3	6
SLB2 10_3	8
SLB2 10_4	4
SLB2 10_5	4
SLB2 15_4	4
total =	36

#### 4.4.3. Verificación nuevos modos de vibración

**Tabla 70:**

*Nuevos periodos de vibración*

Case	Modo	Periodo (seg)	UX	UY	Sum UX	Sum UY	RZ
Modal	1	<b>1.233</b>	<b>0.5522</b>	0.0069	0.5522	0.0069	0.2074
Modal	2	<b>0.938</b>	0.1199	<b>0.395</b>	0.672	0.4019	0.2845
Modal	3	<b>0.883</b>	0.0647	0.3639	0.7368	0.7658	<b>0.3743</b>
Modal	4	0.358	0.0847	0.0033	0.8215	0.769	0.0397
Modal	5	0.288	0.0827	0.0086	0.9041	0.7777	0.0516
Modal	6	0.26	0.0005	0.134	0.9047	0.9117	0.0091

*Nota.* Se expone los periodos con la implementación de los disipadores para la edificación de once pisos

Se tiene una reducción en los periodos:

XX de 1.373 seg a 1.233

YY de 0.892 seg a 0.938

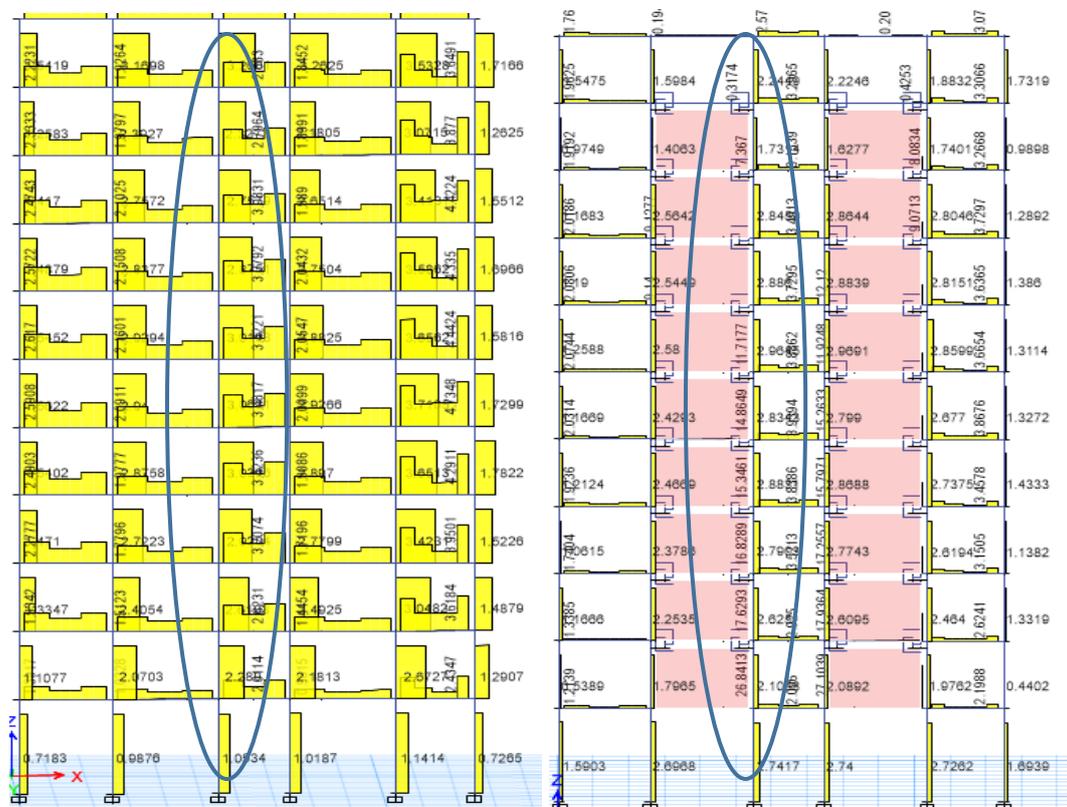
Rot de 1.078 seg a 0.883

#### 4.4.4. Fuerzas cortantes máxima con reforzamiento sísmico

Para la implementación de los muros desacoplados se ubican las columnas que sufren mayor cortante, una vez implementado los disipadores Shear Link Bozzo, se vuelve a verificar la nueva cortante. Se seleccionó la columna C-14 para la comparación, esta se explica en la Figura 114. La Tabla 71 expone las cortantes de la columna sin disipadores, y la Tabla 72 muestra el resultado de las cortantes implementando disipadores histeréticos SLB, así como la reducción en porcentaje.

**Figura 114:**

*Fuerzas cortantes en las columnas sin y con disipadores.*



Fuente: ETABS 2016 v.16.2.1

**Tabla 71:***Fuerzas cortantes en la columna C14, para el sismo dinámico en X-X*

Story	Columna	Load Case/Combo	V2 tonf
PISO 11	C14	Sis_Dinám_XX Max	3.1698
PISO 10	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.3927
PISO 9	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.7572
PISO 8	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.8377
PISO 7	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.9294
PISO 6	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.94
PISO 5	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.8758
PISO 4	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.7223
PISO 3	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.4054
PISO 2	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.0703

*Nota:* se muestra las cortantes de la columna C14, cuando esta no cuenta con disipadores.

La Tabla 73 muestra la fuerza cortante total sin disipadores, así también la Tabla 74 expone los resultados por fuerza cortante implementando disipadores. Si bien hay un aumento de cortante en la base, esta se distribuye mejor al implementar los disipadores.

**Tabla 72:***Porcentaje de reducción de fuerzas cortantes en la columna C14.*

Story	Column	Load Case/Combo	V2 tonf	Porcentaje reducción
PISO 11	C14	Sis_Dinám_XX Max	1.5984	50%
PISO 10	C14	Sis_Dinám_XX Max	1.4063	41%
PISO 9	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.5642	7%
PISO 8	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.5449	10%
PISO 7	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.58	12%
PISO 6	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.4293	17%
PISO 5	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.4669	14%
PISO 4	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.3786	13%
PISO 3	C14	Sis_Dinám_XX Max	2.2535	6%
PISO 2	C14	Sis_Dinám_XX Max	1.7965	13%

*Nota:* se muestra las cortantes de la columna C14, cuando esta cuenta con disipadores, seguidamente se hace la comparación con las cortantes mostradas en la tabla 59 sin disipadores.

**Tabla 73:***Fuerza cortante basal sin disipadores*

Case/ Combo	FX (tonf)	FY (tonf)	Total
Sis_Dinám_X Max	174.3047	4.3192	178.62
Sis_Dinám_Y Max	4.3192	244.7961	249.12

Nota: La tabla expone las cortantes en la base de la edificación convencional de once niveles.

**Tabla 74:***Fuerza cortante basal implementando disipadores*

Case/ Combo	FX (tonf)	FY (tonf)	Total
Sis_Dinám_X Max	165.247	50.084	215.33
Sis_Dinám_Y Max	50.084	242.711	292.80

Nota: La tabla expone las cortantes en la base de la edificación reforzada con disipadores de once niveles.

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

Culminada la asignación de los dispositivos SLB en el edificio, se verifica los nuevos desplazamientos relativos de entrepiso, estos resultados se exponen para la dirección "X" en la Tabla 75, y para la dirección "Y" en la Tabla 76, considerando que el máximo desplazamiento relativo de entrepiso para concreto armado debe ser 0.007.

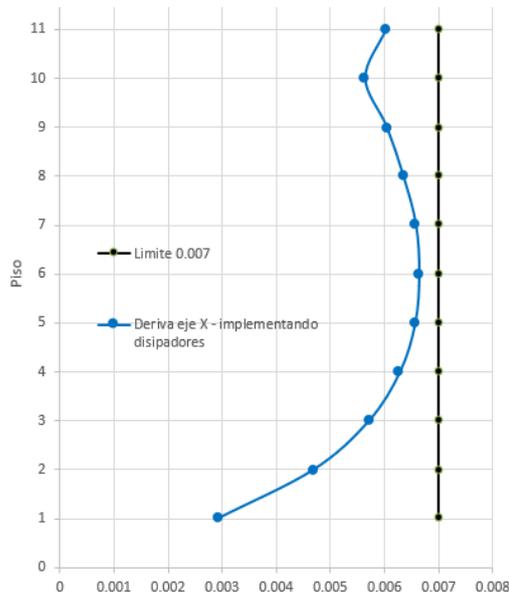
**Tabla 75:***Control derivas implementando disipadores - análisis dinámico en X.*

Piso Diafrag	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007	Porcentaje de Reducción
PISO 11	DINX Max	0.047	0.0044	2.8	0.0016	0.0060	PASA	21.86%
PISO 10	DINX Max	0.043	0.0041	2.8	0.0015	0.0056	PASA	31.89%
PISO 9	DINX Max	0.039	0.0044	2.8	0.0016	0.0060	PASA	31.15%
PISO 8	DINX Max	0.034	0.0046	2.8	0.0017	0.0063	PASA	31.05%
PISO 7	DINX Max	0.030	0.0048	2.8	0.0017	0.0066	PASA	30.69%
PISO 6	DINX Max	0.025	0.0049	2.8	0.0017	0.0066	PASA	30.70%
PISO 5	DINX Max	0.020	0.0048	2.8	0.0017	0.0066	PASA	30.17%
PISO 4	DINX Max	0.015	0.0046	2.8	0.0016	0.0063	PASA	29.37%
PISO 3	DINX Max	0.011	0.0042	2.8	0.0015	0.0057	PASA	28.32%
PISO 2	DINX Max	0.006	0.0034	2.8	0.0012	0.0047	PASA	27.67%
PISO 1	DINX Max	0.003	0.0030	3.9	0.0008	0.0029	PASA	17.90%

Nota: La reducción es resultado de compararlas con las derivas sin disipadores mostrados en la tabla 52.

**Figura 115:**

*Derivas implementando disipadores-sismo dinámico-dirección X*



*Nota:* el presente gráfico muestra los resultados obtenidos en la tabla 75

**Tabla 76:**

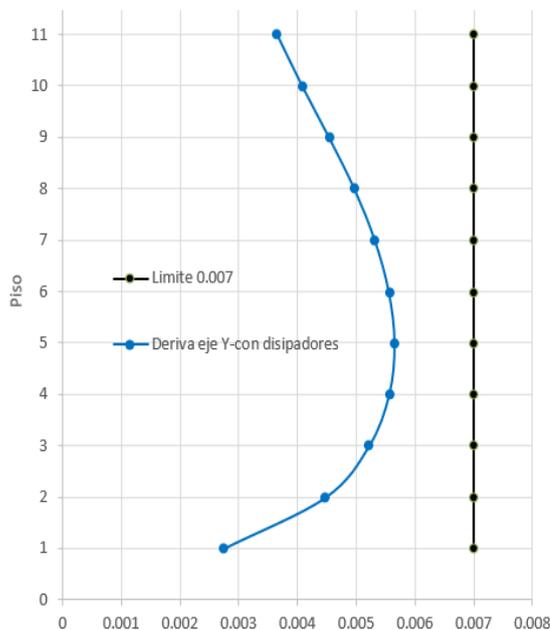
*Control derivas implementando disipadores - análisis dinámico en Y*

Piso Diafrag	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007	Porcentaje de Reducción
PISO 11	DINY Max	0.039	0.0027	2.8	0.0010	0.0037	<b>Pasa</b>	4.02%
PISO 10	DINY Max	0.036	0.0030	2.8	0.0011	0.0041	<b>Pasa</b>	4.14%
PISO 9	DINY Max	0.033	0.0033	2.8	0.0012	0.0045	<b>Pasa</b>	4.29%
PISO 8	DINY Max	0.030	0.0036	2.8	0.0013	0.0050	<b>Pasa</b>	3.86%
PISO 7	DINY Max	0.026	0.0039	2.8	0.0014	0.0053	<b>Pasa</b>	3.90%
PISO 6	DINY Max	0.022	0.0041	2.8	0.0015	0.0056	<b>Pasa</b>	3.95%
PISO 5	DINY Max	0.018	0.0041	2.8	0.0015	0.0057	<b>Pasa</b>	3.72%
PISO 4	DINY Max	0.014	0.0041	2.8	0.0015	0.0056	<b>Pasa</b>	3.87%
PISO 3	DINY Max	0.010	0.0038	2.8	0.0014	0.0052	<b>Pasa</b>	3.78%
PISO 2	DINY Max	0.006	0.0033	2.8	0.0012	0.0045	<b>Pasa</b>	3.25%
PISO 1	DINY Max	0.003	0.0028	3.9	0.0007	0.0027	<b>Pasa</b>	-0.18%

*Nota:* El Porcentaje de reducción es resultado de comparar las derivas con las derivas sin disipadores mostrados en la tabla 53.

**Figura 116:**

*Derivas implementando disipadores-sismo dinámico-dirección Y*



*Nota:* El presente gráfico muestra los resultados obtenidos en la tabla 76

Se puede ver que los desplazamientos en la dirección "X" cumplen, se puede notar una considerable disminución, en la dirección "Y" puesto que no se ha reforzado en este sentido, también se puede observar mínima disminución del drift, llegándose a cumplir con los desplazamientos para ambas direcciones considerados en la Norma E-030.

#### **4.5. ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO – HISTORIA NO LINEAL**

El análisis tiempo historia no lineal es del tipo dinámico, incluye a los dispositivos SLB como elementos no lineales NL-LINK, y se emplea para verificar el funcionamiento inelástico de la estructura. El programa ETABS utiliza el método de análisis que se denomina Fast Nonlinear Analysis (FNA), considera el comportamiento no lineal en los dispositivos de tipo Shear Link Bozzo (SLB), por medio de vectores Ritz como muestra la Figura 117, con el propósito de analizar el funcionamiento histerético de los dispositivos y la respuesta energética. Como se ha visto en el análisis tiempo historia lineal, en nuestro caso utilizamos el registro anteriormente seleccionado. Definimos el registro de diseño sísmico Lima 1974 caso 2, como se indica en la Figura 118, que es el

que más se aproxima a las derivas cuando el espectro es severo, utiliza dos componentes en direcciones perpendiculares.

**Figura 117:**

*Caso modal con vectores Ritz detecta la no linealidad*

Load Type	Load Name	Maximum Cycles	Target Dyn. Par. Ratio, %
Acceleration	UY	0	99
Acceleration	UZ	0	99
Link	All	0	99

**Figura 118:**

*Caso Ramp – utiliza el peso de forma no lineal*

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Load Pattern	Dead	Default Uniform	1
Load Pattern	Live	Default Uniform	0.25

**Figura 119:**

*Definir Caso 2 lima 1974 - Fast Nonlinear Analysis (FNA).*

#### 4.5.1. Máxima deriva de entrepiso en análisis no lineal tiempo historia

El valor enumerado en la Tabla 11 de la norma E-030 para estructuras de concreto es 0.007. Las derivas de entrepiso máximas no pueden superar 1.25 veces este valor, que multiplicado nos da una derivada máxima de 0.00875. A continuación, la Tabla 77 expone las derivas implementando disipadores en caso de sismo severo en la dirección "X", los mismos son mostrados en la Figura 120 de manera gráfica.

**Tabla 77:**

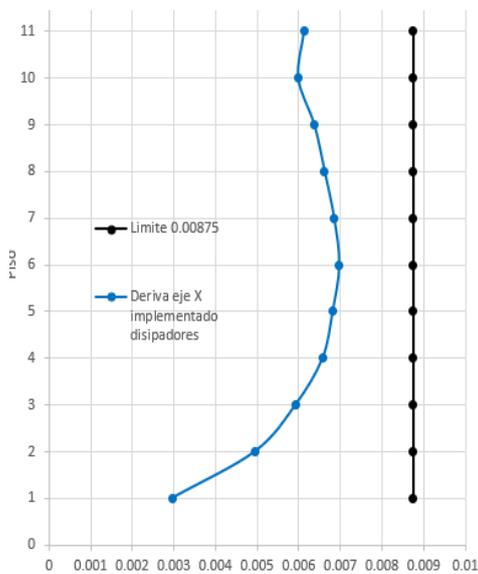
*Control derivas implementando disipadores - sismo severo en X.*

Diafragma	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.00875	Porcentaje de Reducción
PISO 11	TH-NL 1974	0.188401	0.017144	2.8	0.0061	Pasa	39.22%
PISO 10	TH-NL 1974	0.171257	0.016765	2.8	0.0060	Pasa	45.36%
PISO 9	TH-NL 1974	0.154492	0.017846	2.8	0.0064	Pasa	44.11%
PISO 8	TH-NL 1974	0.136646	0.018538	2.8	0.0066	Pasa	44.66%
PISO 7	TH-NL 1974	0.118108	0.019172	2.8	0.0068	Pasa	44.07%
PISO 6	TH-NL 1974	0.098936	0.019508	2.8	0.0070	Pasa	42.16%
PISO 5	TH-NL 1974	0.079428	0.019063	2.8	0.0068	Pasa	41.87%
PISO 4	TH-NL 1974	0.060365	0.018386	2.8	0.0066	Pasa	38.99%
PISO 3	TH-NL 1974	0.041979	0.016571	2.8	0.0059	Pasa	37.23%
PISO 2	TH-NL 1974	0.025408	0.01385	2.8	0.0049	Pasa	33.13%
PISO 1	TH-NL 1974	0.011558	0.011558	3.9	0.0030	Pasa	24.93%

*Nota:* La reducción es resultado de compararlas con las derivas sin disipadores mostrados en la tabla 61.

**Figura 120:**

*Derivas implementando disipadores-sismo severo en dirección X*



*Nota:* El presente gráfico muestra los resultados obtenidos en la tabla 77.

La Tabla 78 expone las derivas implementando disipadores en caso de sismo severo en dirección "Y", los mismos son mostrados en la Figura 121 de manera gráfica.

**Tabla 78:**

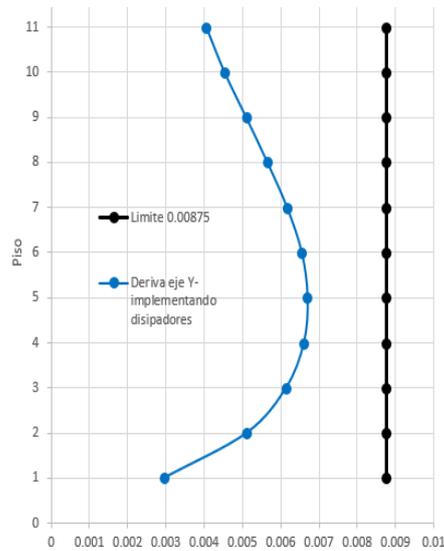
*Control derivas implementando disipadores - sismo severo en Y*

Diafragma	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.00875	Porcentaje de Reducción
PISO 11	TH-NL 1974	0.169706	0.011341	2.8	0.0041	Pasa	7.97%
PISO 10	TH-NL 1974	0.158365	0.01267	2.8	0.0045	Pasa	7.83%
PISO 9	TH-NL 1974	0.145695	0.014252	2.8	0.0051	Pasa	7.69%
PISO 8	TH-NL 1974	0.131443	0.015801	2.8	0.0056	Pasa	7.36%
PISO 7	TH-NL 1974	0.115642	0.017237	2.8	0.0062	Pasa	7.08%
PISO 6	TH-NL 1974	0.098405	0.018311	2.8	0.0065	Pasa	6.81%
PISO 5	TH-NL 1974	0.080094	0.018732	2.8	0.0067	Pasa	6.75%
PISO 4	TH-NL 1974	0.061362	0.018456	2.8	0.0066	Pasa	6.80%
PISO 3	TH-NL 1974	0.042906	0.017149	2.8	0.0061	Pasa	6.99%
PISO 2	TH-NL 1974	0.025757	0.014275	2.8	0.0051	Pasa	8.02%
PISO 1	TH-NL 1974	0.011482	0.011482	3.9	0.0029	Pasa	8.22%

*Nota:* El porcentaje de reducción es resultado de comparar las derivas implementando disipadores con las derivas sin disipadores mostrados en la tabla 62.

**Figura 121:**

*Derivas implementando disipadores-sismo severo en dirección Y*



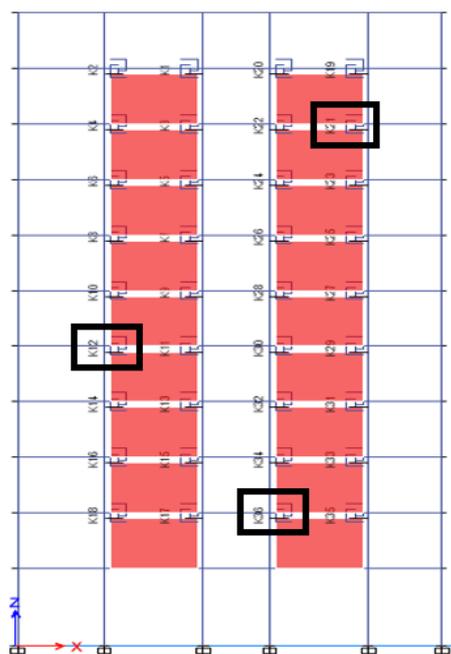
*Nota:* El presente gráfico expone los resultados obtenidos en la tabla 78.

#### 4.5.2. Revisión de fuerza cortante y máximo STRUCK

El objetivo es demostrar la fuerza de corte y el desplazamiento máximos a los que el dispositivo estará sometido mediante un análisis tiempo historia no lineal, para ver si esta es adecuada para trabajar correctamente, revisando la curva histéresis del dispositivo.

**Figura 122:**

*Verificación de Links SLB en la estructura.*

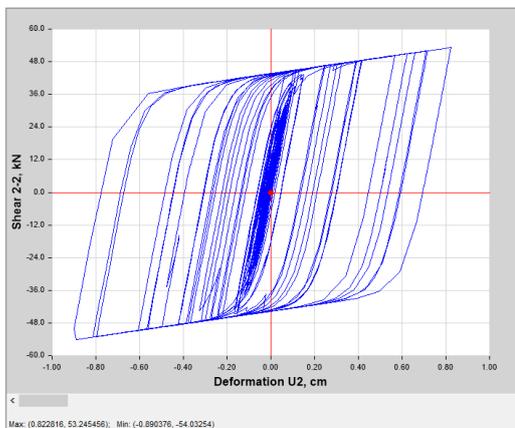


*Fuente:* ETABS 2016 v.16.2.1

La Figura 122 muestra la selección de los tres dispositivos los cuales se verifica, en las Figuras 123, 124 y 125 se exponen las curvas de histéresis de los tres dispositivos frente al sismo de diseño empleado, también se expone en cada uno la fuerza de corte máxima generada, dado que esta se encuentra entre el rango mayor a la fuerza de plastificación y menores a las admisibles, se acepta el correcto uso de los dispositivos.

**Figura 123:**

*Curva de histéresis "K-21" SLB2 6\_4*



$$f_{y_{plast}} = 44.90 \text{ KN}$$

$$f_{y_{cortante}} = 53.24 \text{ KN}$$

$$f_{y_{m\acute{a}xima}} = 88.58 \text{ KN}$$

*Máximo Struck*

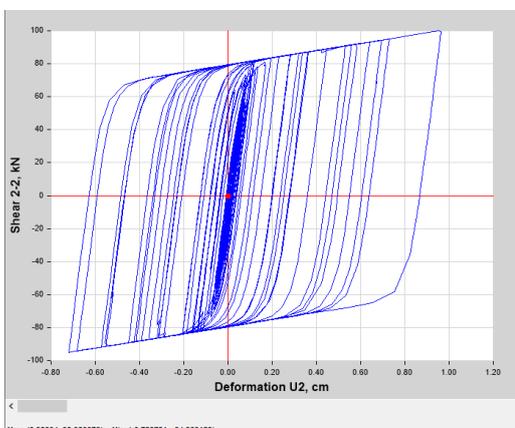
*Máxima deformación*

$$deformaci\acute{o}n = 8.23 \text{ mm}$$

$$fuerza \text{ ton} = 5.43 \text{ Tn}$$

**Figura 124:**

*Curva de histéresis "K-12" SLB2 10\_3*



$$f_{y_{plast}} = 81.10 \text{ KN}$$

$$f_{y_{cortante}} = 99.98 \text{ KN}$$

$$f_{y_{m\acute{a}xima}} = 148.63 \text{ KN}$$

*Máximo Struck*

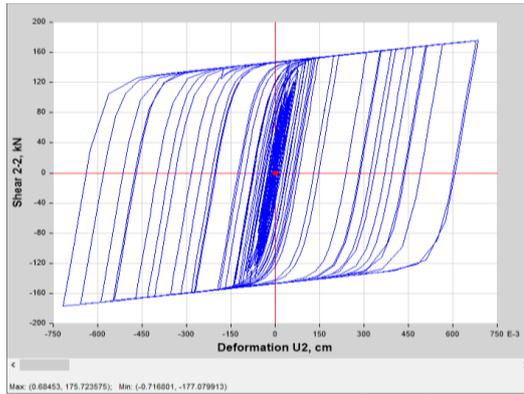
*Máxima deformación*

$$deformaci\acute{o}n = 9.53 \text{ mm}$$

$$fuerza \text{ ton} = 10.195 \text{ Tn}$$

**Figura 125:**

*Curva de histéresis "K-36" SLB2 15\_4*



$$f_{y_{plast}} = 149.70 \text{ KN}$$

$$f_{y_{cortante}} = 175.72 \text{ KN}$$

$$f_{y_{máxima}} = 276.57 \text{ KN}$$

*Máximo Struck*

*Máxima deformación*

$$deformación = 6.84 \text{ mm}$$

$$fuerza \text{ ton} = 17.918 \text{ Tn}$$

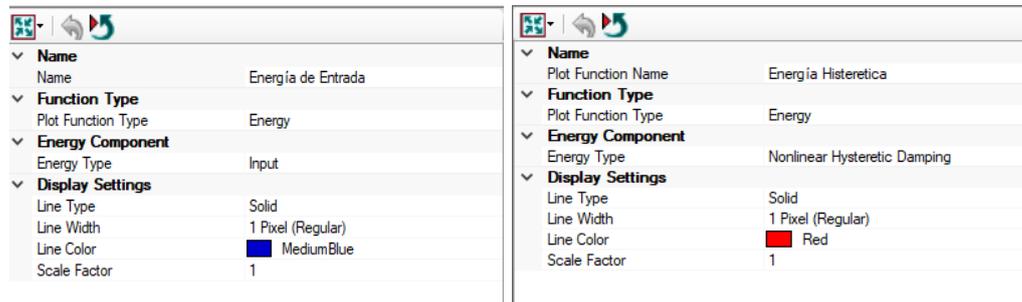
Se determina que el predimensionamiento realizado es adecuado y, lo que es más importante, se confirma que los dispositivos están funcionando de forma predeterminada. Además, se observa que la fuerza en los disipadores no trabajaba a su máximo potencial, lo que permite optimizar su aplicación. De acuerdo con lo mencionado anteriormente, los dispositivos disiparán la energía sin experimentar el fallo. El mismo procedimiento se utiliza para examinar todos los disipadores incluidos en el modelo estructural.

#### **4.5.3. Energía disipada – balance energético**

En función al área encerrada bajo la curva de histéresis, se puede determinar la energía disipada, la Figuras 127 muestra el balance energético en dirección "X"; la energía ingresada del sismo de diseño (Input Energy), y la energía disipada por los dispositivos histeréticos SLB (Nonlinear Hysteretic Energy). De la misma manera en la Figura 128 se muestra el balance energético en dirección "Y". Para evitar que la edificación sufra todo el daño, el ingeniero Genner Villarreal y Luis Bozzo nos menciona que, los disipadores deben de disipar entre un 20 a un 40% de la energía ingresada, así su comportamiento es totalmente eficiente. La estructura sísmicamente reforzada no solo disminuye las derivas de entrepiso, también la protege al disminuir la cantidad de energía disipada por los elementos estructurales.

**Figura 126:**

*Energías de entrada*

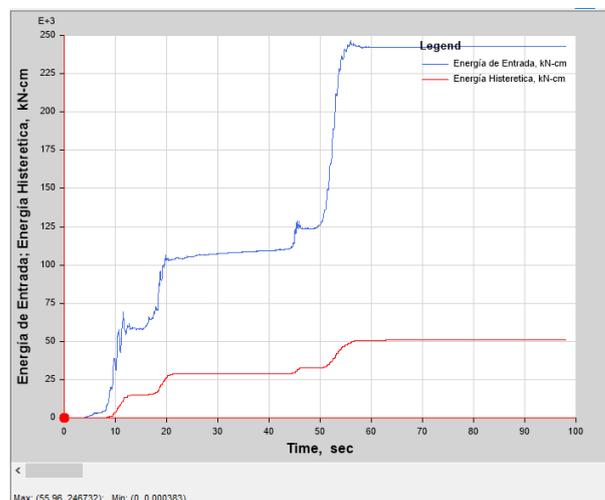


Nota: a) Energía de entrada total b) Energía absorbida por los disipadores

Para nuestro caso en la dirección "X" verificaremos la energía absorbida en el segundo=21.62, como se expone en la ecuación 20 donde se llega a disipar la mayor cantidad de energía. Para nuestro caso en la dirección "Y" verificaremos la energía absorbida en el segundo=24.02, como se muestra en la ecuación 21 donde se llega a disipar la mayor cantidad de energía.

**Figura 127:**

*Energía disipada por los disipadores SLB en dirección X.*



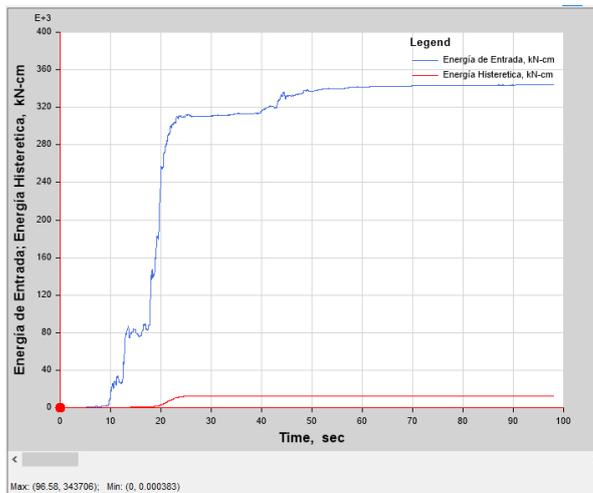
$$\% \text{ Energía}_{t=21.62} = \frac{\text{absorbida en "X"}}{\text{input} - \text{total en "X"}} \quad (21)$$

$$\% \text{ Energía}_{t=21.62} = \frac{28745.945 \text{ KN} - \text{cm}}{103598.037 \text{ KN} - \text{cm}}$$

$$\% \text{ Energía}_{t=21.62} = 27.75\%$$

**Figura 128:**

*Energía disipada por los disipadores SLB en dirección Y*



$$\% \text{ Energía}_{t=24.02} = \frac{\text{absorbida en "Y"}}{\text{imput} - \text{total en "Y"}} \quad (22)$$

$$\% \text{ Energía}_{t=24.02} = \frac{11705.922 \text{ KN} - \text{cm}}{310340.160 \text{ KN} - \text{cm}}$$

$$\% \text{ Energía}_{t=24.02} = 3.77\%$$

$$\% \text{ Energía}_{t=24.02} = 4\%$$

Este porcentaje de disipación que se expone en el gráfico indica que cuando la edificación opere en el rango inelástico o no lineal ante la presencia de un sismo extremo, lo primero que ocurrirá es que los dispositivos absorberán la energía sísmica, dejando la diferencia a la estructura. A partir de ahí, es de esperar que se produzca una disminución de desplazamientos y distorsiones que superen la E-030, así como una reducción de la fuerza en los elementos estructurales, logrando así su correcta redistribución, lo que producirá un comportamiento apropiado.

## 4.6. DISCUSIÓN CUMPLIMIENTO DE OBJETIVOS.

### 4.6.1. Discusión correspondiente al objetivo específico primero

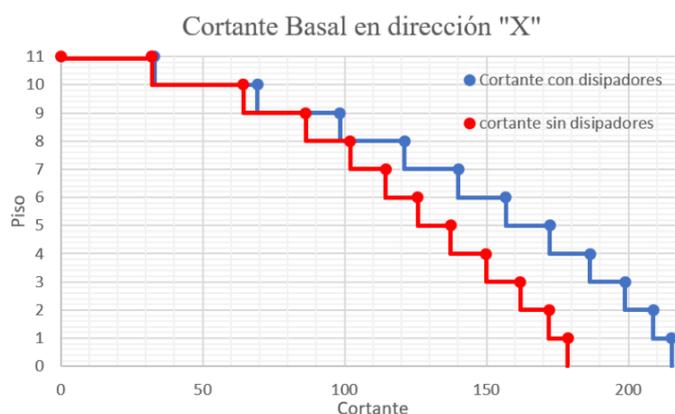
Resultados obtenidos de comparar las fuerzas cortantes con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

#### 4.6.1.1 fuerzas cortantes basales en el edificio de once niveles

La fuerza de corte basales logradas para la dirección "X" y para la dirección "Y" en la edificación de once niveles convencional es de 178.62 Tn y 249.12 Tn (ver Tabla 61), mientras que para la misma estructura implementando disipadores fue de 215.33 Tn y 292.80 Tn (ver Tabla 62). Obteniéndose de esta manera aumentos porcentuales de 17.04 % en la dirección "X" y de 14.91 % en la dirección "Y". Los porcentajes de variación advierten que la edificación implementando disipadores presenta mayor fuerza de corte total que la edificación convencional, se debe al hecho de que la edificación con disipadores y muros desacoplados es mucho más rígida y estas se distribuyen de mejor manera dentro de la estructura. La Figura 129 muestra la comparación de las cortantes basales en la dirección "X", mientras la Figura 130 lo hace para la dirección "Y".

#### Figura 129:

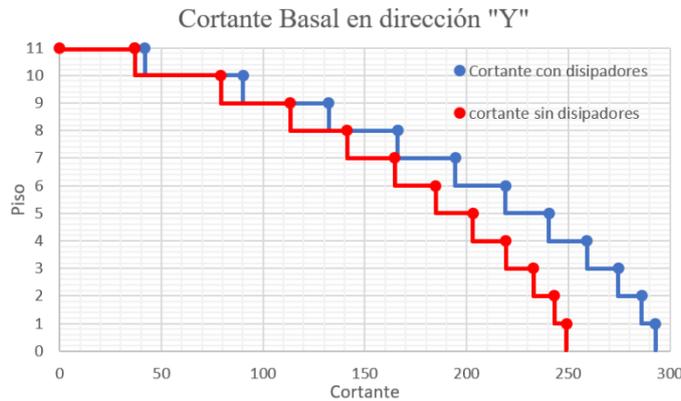
*Comparación de cortante para el sismo dinámico en dirección X*



Nota: Las cortantes sin disipadores de color rojo, cortantes con disipadores de color azul

**Figura 130:**

*Comparación de cortantes para el sismo dinámico en dirección Y*



*Nota:* Las cortantes sin disipadores de color rojo, cortantes con disipadores de color azul

#### 4.6.1.2 Las fuerzas cortantes internas en el edificio de once niveles

Los dispositivos SLB absorben parte de la cortante al entrar en el rango no lineal incrementando la ductilidad, estas se distribuyen de mejor manera, originando que las fuerzas cortantes disminuyan en los elementos estructurales, permitiendo disminuir las demandas sísmicas internas como se puede ver en la Tabla 79 para la columna C14.

**Tabla 79:**

*Fuerza cortante en la columna C14-sismo dinámico en X*

Nivel	Estructura sin disipadores	Estructura con disipadores	Porcentaje de Reducción
PISO 11	3.17	1.598	50.00%
PISO 10	2.393	1.406	41.00%
PISO 9	2.757	2.564	7.00%
PISO 8	2.838	2.545	10.00%
PISO 7	2.929	2.58	12.00%
PISO 6	2.94	2.429	17.00%
PISO 5	2.876	2.467	14.00%
PISO 4	2.722	2.379	13.00%
PISO 3	2.405	2.254	6.00%
PISO 2	2.07	1.797	13.00%

*Nota:* Resumen de resultados para el sismo dinámico en dirección X, ver las tablas 71-72.



La columna C14 para la estructura convencional presenta en promedio una fuerza de corte de 2.71 Tn entretanto que para la edificación implementando disipadores presenta en promedio una fuerza de 2.20 Tn determinándose porcentajes de diferencia del 18.30 % en promedio respectivamente. Entonces se entiende que la estructura implementando disipadores tipo SLB presenta menores fuerzas cortantes internas que la estructura convencional.

Estos resultados obtenidos se corroboran con los periodos obtenidos, observándose que el periodo en la estructura convencional fue de 1.373seg en X, 1.078seg en Z y de 0.892seg en Y respectivamente (véase la tabla 28), y para la estructura implementando disipadores fue de 1.233seg en X, 0.938seg en Y y de 0.883seg en Z respectivamente (véase la tabla 58). Se permite apreciar que al emplear los paneles disipativos el modo de torsión deja de ser el principal. Resultados semejantes a los obtenidos por (Bozzo & Gaxiola, 2015), en su artículo “El Concepto Rígido-Flexible-Dúctil y las conexiones SLB”, donde se comparó una edificación con tres alternativas, un sistema aporticado, un sistema con pórticos más muros apeados y un tercer sistema de muros desacoplados, obteniendo resultados de cortantes basales 786.37Tn, 1025.00Tn y 864.00Tn y como resultados de desplazamientos 23.52cm, 15.05cm y 15.6cm respectivamente. Así mismo (Bozzo et al, 2019), realiza una comparación experimental ensayo MINVI en mesa vibratoria llevada a cabo en la Pontificia Universidad Católica donde se han obtenido desplazamientos para el módulo sin disipadores de 88.73 mm y los desplazamientos del módulo con disipadores de 41.34 mm. obteniendo una disminución en aproximadamente 46.59 %. Demostrándose que la estructura implementando disipadores presentan mayor fuerza cortante total respecto a la edificación convencional y menores

desplazamientos. Respecto al edificio de ocho niveles no se ha realizado la comparación, se debe al hecho de que esta presenta muros continuos que son mucho más rígidos que los disipadores tipo SLB, cumpliendo así las exigencias de la norma E030.

#### ***4.6.2. Discusión correspondiente al objetivo específico segundo***

Resultados obtenidos de comparar los desplazamientos y derivas con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

##### **4.6.2.1 Desplazamiento y derivas del edificio de once niveles sismo dinámico**

Se logró comparar los desplazamientos y derivas para la dirección X, a través del análisis sísmico dinámico, los resultados de la estructura convencional se exponen más detalladamente en la Tabla 43, mientras que para la edificación implementando disipadores se explican más detalladamente en la Tabla 75. Los resultados conseguidos de las derivas se exponen en la Tabla 80, la deriva promedio para la estructura convencional resultó 0.0081 con una desviación estándar del 0.0017, resultados que sobrepasan la deriva límite de 0.007, mientras que para la estructura implementando disipadores se tiene una deriva promedio de 0.0057 con una desviación estándar del 0.0011, resultados que se encuentran dentro de la deriva límite, determinándose porcentajes de diferencia en promedio de 29.27% respectivamente.

La Figura 131 muestra una comparación gráfica de las derivas, las derivas de color rojo representan a la estructura convencional (véase con más detalle la Figura 78), mientras que las derivas de color azul representan a la estructura implementando disipadores (véase con más detalle la Figura 115), esto teniendo en cuenta el sismo dinámico.

**Tabla 80:**

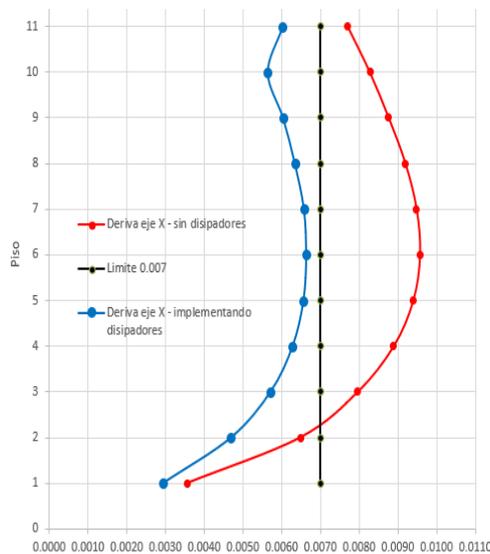
*Derivas para el sismo dinámico - dirección X*

Nivel	Estructura sin disipadores	Estructura con disipadores	Porcentaje de reducción
PISO 11	0.0077	0.006	21.86%
PISO 10	0.0083	0.0056	31.89%
PISO 9	0.0088	0.006	31.15%
PISO 8	0.0092	0.0063	31.05%
PISO 7	0.0095	0.0066	30.69%
PISO 6	0.0096	0.0066	30.70%
PISO 5	0.0094	0.0066	30.17%
PISO 4	0.0089	0.0063	29.37%
PISO 3	0.008	0.0057	28.32%
PISO 2	0.0065	0.0047	27.67%
PISO 1	0.0036	0.0029	17.90%

*Nota:* En la tabla se expone los valores de las derivas y el porcentaje de reducción

**Figura 131:**

*Comparación de derivas para el sismo dinámico en dirección "X"*



*Nota:* En la figura se presenta la comparación de las derivas y deriva límite

Se logró comparar los desplazamientos y derivas en la dirección Y, a través del análisis sísmico dinámico, los resultados para la edificación convencional se exponen más detalladamente en la Tabla 44, mientras que para la edificación implementando disipadores se explican más detalladamente en la Tabla 76. Los

resultados conseguidos de las derivas se exponen en la Tabla 81, la deriva promedio para la edificación convencional resultó 0.0048, entretanto que para la estructura implementando disipadores se tiene una deriva promedio de 0.0047, ambas con una desviación estándar del 0.0009, resultados que se encuentran dentro de la deriva límite, determinándose porcentajes de diferencia en promedio de 3.43% respectivamente.

**Tabla 81:**

*Derivas para el sismo dinámico - dirección Y*

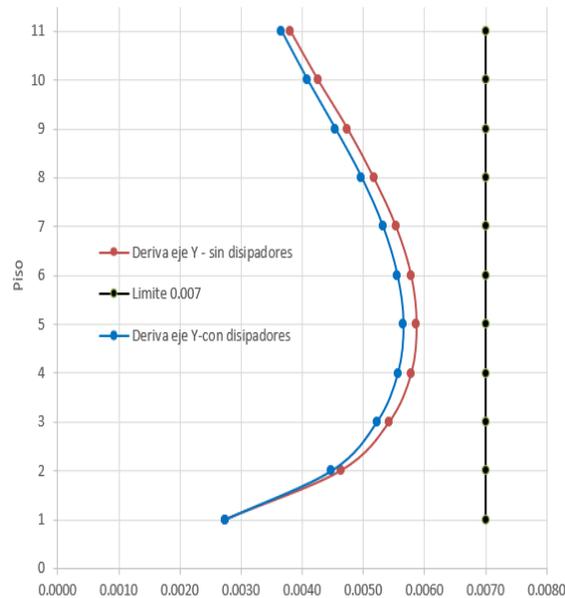
Nivel	Estructura sin disipadores	Estructura con disipadores	Porcentaje de Reducción
PISO 11	0.0038	0.0037	2.83%
PISO 10	0.0043	0.0041	4.14%
PISO 9	0.0047	0.0045	4.29%
PISO 8	0.0052	0.005	3.86%
PISO 7	0.0055	0.0053	3.90%
PISO 6	0.0058	0.0056	3.95%
PISO 5	0.0059	0.0057	3.72%
PISO 4	0.0058	0.0056	3.87%
PISO 3	0.0054	0.0052	3.78%
PISO 2	0.0046	0.0045	3.25%
PISO 1	0.0027	0.0027	0.18%

*Nota:* En la tabla se presenta los resultados de las derivas y el porcentaje de reducción

La figura 132 muestra una comparación gráfica de las derivas, las derivas de color rojo representan a la estructura convencional (véase con más detalle la figura 79), mientras que las derivas de color azul representan a la estructura implementando disipadores (véase con más detalle la figura 116), esto teniendo en cuenta el sismo dinámico

**Figura 132:**

*Comparación de derivas para el sismo dinámico en dirección "Y"*



*Nota:* En la figura se presenta la comparación de las derivas y deriva límite

#### 4.6.2.2 Desplazamientos y derivas del edificio de once niveles sismo severo

Se logró comparar los desplazamientos y derivas en la dirección X, a través del análisis sísmico tiempo historia no lineal, el resultado para la estructura convencional se muestran más detalladamente en la Tabla 61, mientras que para la edificación implementando disipadores se exponen en la Tabla 77. Los resultados conseguidos de las derivas se exponen en la Tabla 82, siendo la deriva promedio para la estructura convencional de 0.0102, con una desviación estándar del 0.0025, resultados que sobrepasan la deriva límite de 0.00875, mientras que para la estructura implementando disipadores se tiene una deriva promedio de 0.0060, con una desviación estándar del 0.0011, resultados que se encuentran dentro de la deriva límite, determinándose porcentajes de diferencia en promedio de 39.61%.

**Tabla 82:**

*Derivas para el sismo severo - Dirección X*

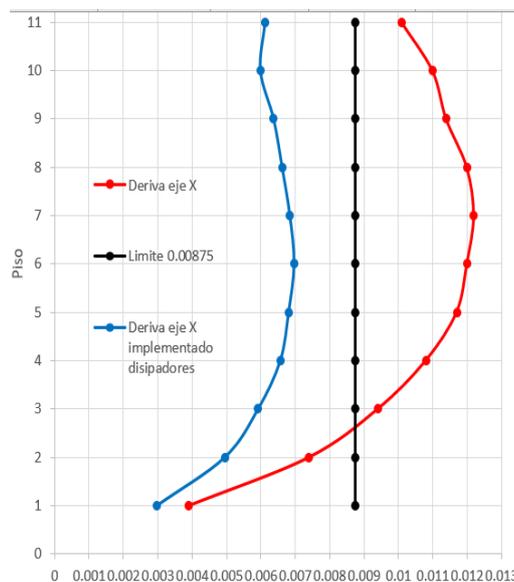
Nivel	Estructura sin disipadores	Estructura con disipadores	Porcentaje de Reducción
PISO 11	0.0101	0.0061	39.22%
PISO 10	0.011	0.006	45.36%
PISO 9	0.0114	0.0064	44.11%
PISO 8	0.012	0.0066	44.66%
PISO 7	0.0122	0.0068	44.07%
PISO 6	0.012	0.007	42.16%
PISO 5	0.0117	0.0068	41.87%
PISO 4	0.0108	0.0066	38.99%
PISO 3	0.0094	0.0059	37.23%
PISO 2	0.0074	0.0049	33.13%
PISO 1	0.0039	0.003	24.93%

*Nota:* En la tabla se presenta los resultados de las derivas y el porcentaje de reducción

La figura 133 muestra una comparación gráfica, las derivas de color rojo representan a la estructura convencional (ver figura 99), mientras que las derivas de color azul representan a la estructura implementando disipadores (ver figura 120) esto teniendo en cuenta el sismo severo.

**Figura 133:**

*Comparación de derivas para el sismo severo  $R=1$  en dirección "X"*



*Nota:* En la figura se presenta la comparación de las derivas y deriva límite.

Se logró comparar los desplazamientos y derivas en la dirección Y, a través del análisis sísmico no lineal tiempo historia, los resultados para la estructura convencional se muestran más detalladamente en la Tabla 62, mientras que en la edificación implementando disipadores se expone más detalladamente en la Tabla 78. Los resultados conseguidos de las derivas se exponen en la tabla 83, siendo la deriva promedio para la edificación convencional de 0.0058, entretanto que para la edificación implementando disipadores se tiene una deriva promedio de 0.0054, ambos con una desviación estándar de 0.0012, resultados que se encuentran dentro de la deriva límite, determinándose porcentajes de diferencia en promedio de 7.41% respectivamente.

**Tabla 83:**

*Derivas para el sismo severo - Dirección Y*

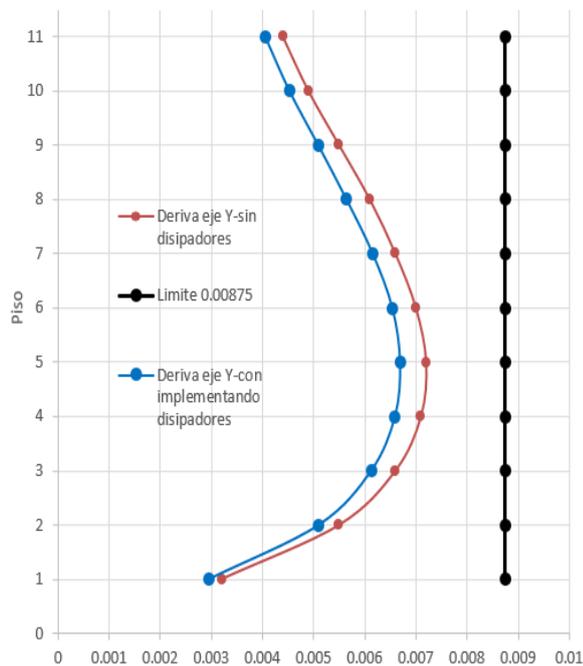
Nivel	Estructura sin disipadores	Estructura con disipadores	Porcentaje de Reducción
PISO 11	0.0044	0.0041	7.97%
PISO 10	0.0049	0.0045	7.83%
PISO 9	0.0055	0.0051	7.69%
PISO 8	0.0061	0.0056	7.36%
PISO 7	0.0066	0.0062	7.08%
PISO 6	0.007	0.0065	6.81%
PISO 5	0.0072	0.0067	6.75%
PISO 4	0.0071	0.0066	6.80%
PISO 3	0.0066	0.0061	6.99%
PISO 2	0.0055	0.0051	8.02%
PISO 1	0.0032	0.0029	8.22%

*Nota:* En la tabla se presenta los resultados de las derivas y el porcentaje de reducción

La figura 134 muestra una comparación gráfica de las derivas, las derivas de color rojo representan a la estructura convencional (véase con más detalle la figura 100), mientras que las derivas de color azul representan a la estructura implementando disipadores (véase la figura 121), considerando el sismo severo.

**Figura 134:**

*Comparación de derivas para el sismo severo  $R=1$  en dirección "Y"*



*Nota:* En la figura se presenta la comparación de las derivas y deriva límite.

Los resultados obtenidos, se respaldan con el estudio realizado según (Bozzo & Gaxiola, 2015), de “El Concepto Rígido-Flexible-Dúctil y las conexiones SLB”, donde comparan tres edificaciones, las dos primeras utilizando el sistema de muros desacoplados, obteniendo como resultados reducciones en el desplazamiento para la primera edificación 50%, para la segunda edificación del 40%. Resultados semejantes a los obtenidos por (Quispe Huamán & García Urrutia), quienes en su investigación compararon las derivas de entrepiso entre un sistema con disipadores tipo SLB y un sistema convencional, obteniendo derivas en la dirección X del edificio reforzado sísmicamente con disipadores SLB de (0.0066) y del edificio sin reforzamiento sísmico de (0.0138), obteniendo una reducción en su punto máximo de un 52.10%. y para la dirección Y, derivas del edificio reforzado sísmicamente con disipadores SLB de (0.0065) y del edificio sin reforzamiento sísmico de (0.0136), obteniendo una reducción en su punto máximo de un 52.04%. Adicionalmente se puede mencionar la investigación realizada por (Ley Cuen) quien en su tesis titulada “Reforzamiento estructural de un

edificio aporcado de concreto armado de cinco niveles mediante el uso de disipadores de energía metálicos (SLB) en el distrito de Comas-Lima” quien concluye que la aplicación de disipadores metálicos SLB, permitió la reducción de los máximos desplazamientos laterales en la dirección X, con valores que van desde los 16cm hasta los 5cm logrando una reducción de hasta el 70% resultados similares se pueden comentar en la dirección Y. En la presente investigación se comparó los desplazamientos y derivas de la estructura de once niveles implementando disipadores tipo SLB, demostrándose nuevamente que al implementar disipadores presenta menores desplazamientos y derivas. Respecto al edificio de ocho niveles no se ha realizado la comparación, se debe al hecho de que esta presenta muros continuos con desplazamientos y derivas menores. Logrando cumplir para ambas edificaciones el valor límite de 0.007% que fija la Norma E-030.

#### ***4.6.3. Discusión correspondiente al objetivo específico tercero***

Resultados obtenidos de comparar el porcentaje de energía disipada con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

Para el primer edificio de once niveles, se logró verificar la curva de histéresis del dispositivo SLB2 6\_4, se muestra en la figura 123. Indica una fuerza cortante de 53.24KN y una deformación de 8.323mm. Incluso se puede notar que la fuerza en el dispositivo no trabajaba a su mayor capacidad, pudiéndose optimizar su aplicación. Lo mismo se puede mencionar al verificar el dispositivo SLB2 10\_3, en la figura 124 y para el dispositivo SLB2 15\_4 en la figura 125. Cabe mencionar que los dispositivos seleccionados se ubican en los pisos con diferentes drift en la edificación, ya que en ellos actúa diferentes fuerzas a cortante, demostrando que los dispositivos trabajan correctamente.

Esto se relaciona con la energía disipada, la figura 127 y el desarrollo de la ecuación 21 (ver página 168), muestra la energía disipada de 27.75%, en la dirección "X".

Así mismo, La figura 128 y el desarrollo de la ecuación 22 (ver página 169), muestra la energía disipada de 3.77% en la dirección "Y". Estos resultados se ajustan a lo mencionado por (Villareal 2016), quien menciona que la energía disipada debe encontrarse entre un 20% y 40%, puesto que si se logran disipar menos del 20% el efecto que estos ofrecen al sistema no es considerable y si logramos disipar más del 40% esto está permitido, pero no se logra un comportamiento adecuado para que la edificación trabaje correctamente considerándose sus fines de diseño innecesario. Bozzo L., (2014). Indica que las rótulas se colocan a propósito desde el inicio en lugares estratégicos en la edificación mediante el uso de disipadores SLB, y son estos dispositivos los que disipan energía. Enciso Frank (2019). Menciona que la deformación histerética lo generan los disipadores histeréticos SLB, dicho de otro modo, cuando la edificación entra en el rango inelástico, la energía histerética no procede de los elementos estructurales a través de su degradación, sino que procede de los dispositivos histeréticos SLB, que generan esta energía impidiendo de esta manera que los elementos estructurales se degraden o deformen y los mantiene en el rango elástico y por medio de estos se va disipando energía. Respecto al edificio de ocho niveles no se ha realizado la comparación, se debe al hecho de que esta cumple las exigencias de la norma E030.

#### ***4.6.4. Discusión correspondiente al objetivo general***

Resultados obtenidos de comparar la respuesta sísmica con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en dos edificios de once y ocho niveles, ciudad de Puno.

Para cumplimiento de este objetivo se comparó las fuerzas cortantes (ver discusión de objetivos específico primero), desplazamientos y derivas (ver discusión de objetivos específico segundo), así como también la energía disipada (ver discusión de objetivos específicos tercero). Los resultados obtenidos logran demostrar que la



edificación de once niveles implementando disipadores tipo SLB, presenta mejor respuesta sísmica que la edificación convencional en dirección X, mientras que en dirección Y. Se logra apreciar que la respuesta sísmica no varía mucho puesto que no se ha reforzado la edificación en este sentido. Bozzo L., (2014). menciona que los beneficios del uso de disipadores sísmicos SLB van más allá de la filosofía sismorresistente convencional. Respecto al edificio de ocho niveles no se ha implementado disipadores SLB, se debe al hecho de que esta presenta muros continuos que son mucho más rígidos, cumpliendo así las exigencias de la norma E030. Por lo que no se realiza la comparación de respuesta sísmica.

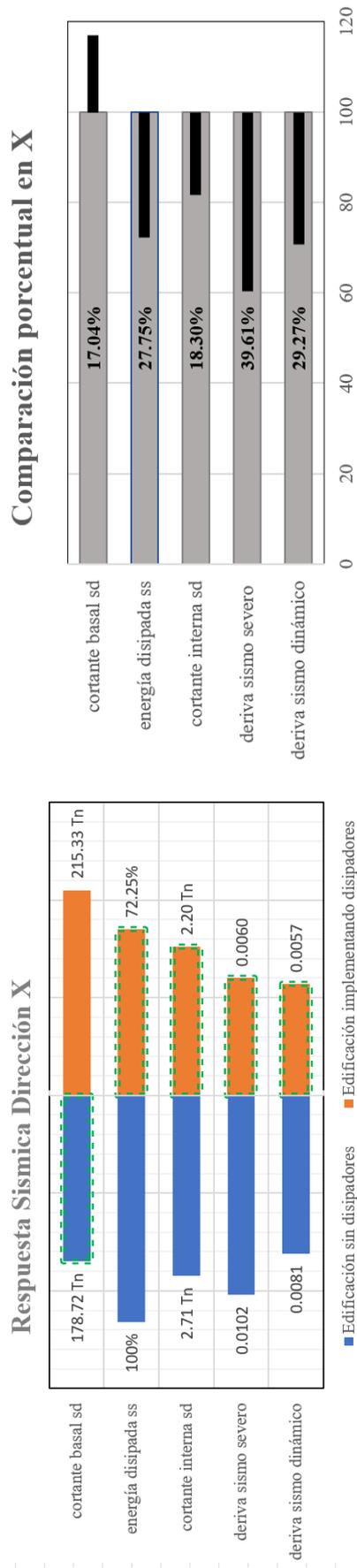
#### **4.7. VERIFICACIÓN DE HIPÓTESIS**

La comprobación de la hipótesis general se realizó mediante diagramas de tornado y variación porcentual, los cuales exponen gráficamente la respuesta sísmica obtenida.

Para el edificio de once niveles la Figura 135 expone el mejor comportamiento con líneas punteadas, así como la verificación de la hipótesis general en la dirección X. Se observa que el edificio convencional presenta mejor respuesta para el caso de cortante basal, mientras que, para el caso de energía disipada, cortante interna, deriva para el sismo severo y deriva para el sismo dinámico el edificio implementando disipadores presenta mejor respuesta sísmica. De igual forma la Figura 126 expone la comprobación de la hipótesis general para la dirección Y, mostrando que la respuesta sísmica implementando disipadores de energía tipo Shear Link Bozzo hysteréticos en la edificación de once niveles en la ciudad de Puno, es significativamente más eficiente al método constructivo tradicional. Respecto al edificio de ocho niveles no se ha realizado la implementación con disipadores SLB, se debe al hecho de que esta ya cumple las exigencias de la norma E030. Por lo que no se realiza la verificación de hipótesis.

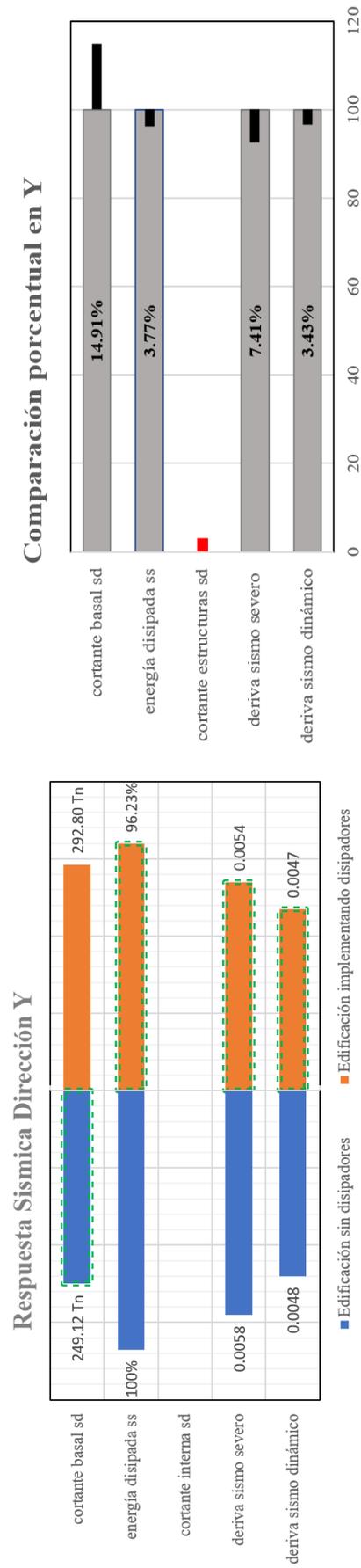
**Figura 135:**

*Resultados y comparación de respuesta sísmica en dirección X*



**Figura 136:**

*Resultados comparación de respuesta sísmica en dirección Y*





## V. CONCLUSIONES

- En la investigación llevada a cabo, se ha comparado las fuerzas cortantes con la implementación de disipadores de energía tipo Shear Link Bozzo en la edificación de once niveles, respecto a la fuerza de corte en la base al implementar disipadores, en la dirección "X" se ha obtenido aumentos porcentuales del 17.04%, mientras que en la dirección "Y" se ha obtenido aumentos porcentuales del 14.91%, esto debido al aumento de la rigidez por causa de los muros desacoplados. Respecto a la fuerza cortante interna al implementar disipadores, se ha obtenido una disminución porcentual del 18.30% en promedio como se puede notar para la columna "C14", esto a causa de los disipadores; por consiguiente, para la estructura de once niveles implementando disipadores concluimos que presenta mayor fuerza cortante total que la estructura convencional, sin embargo, presenta menores fuerzas cortantes internas que la estructura convencional, mientras que para la estructura de ocho niveles no se ha realiza la implementación con disipadores SLB, debido a que ya cumple las exigencias de la norma E030.
- En la investigación llevada a cabo, se ha comparado los desplazamientos y derivas con la implementación de disipadores de energía histeréticos tipo Shear Link Bozzo en la edificación de once niveles, tanto para el sismo dinámico como para el sismo severo, En la dirección X se ha obtenido una reducción porcentual del 29.27% en promedio para el sismo dinámico y del 39.61% en promedio para el sismo severo, mientras que en la dirección Y se ha obtenido una reducción porcentual del 3.43% en promedio para el sismo dinámico y del 7.41% en promedio para el sismo severo, la variación es mínima puesto que en este sentido no se han realizado reforzamiento, concluyendo que, para el edificio de once



niveles los desplazamientos y derivas de la estructura implementando disipadores tipo SLB son menores al método constructivo tradicional, mientras que para la estructura de ocho niveles no se realiza la implementación con disipadores SLB, debido a que ya cumple las exigencias de la norma E030.

- En la investigación llevada a cabo, se ha comparado el porcentaje de energía disipada implementando disipadores histeréticos de energía tipo Shear Link Bozzo en la edificación de once niveles, se obtuvo en la dirección "X" que los disipadores llegan a absorber el 27.75% de la energía sísmica de entrada, mientras que en la dirección "Y" que el porcentaje de energía sísmica absorbida fue de 3.77%, permitiendo que la absorción de la estructura se reduzca, para la primera edificación de once niveles se llegó a la conclusión que, el porcentaje de energía que disipa la edificación implementando disipadores es menor al método constructivo tradicional, mientras que para el edificio de ocho niveles no se realiza la implementación de disipadores SLB, debido a que ya cumple las exigencias de la norma E030.
- En la investigación llevada a cabo, al comparar la respuesta sísmica con la implementación de disipadores de energía tipo histeréticos Shear Link Bozzo en la edificación de once niveles. La edificación requiere reforzamiento en la dirección "X", se logra mejorar de manera notable la respuesta sísmica, los valores obtenidos para el eje "X" y en el eje "Y", cumplen las exigencias de la Norma E.030 así tener un adecuado comportamiento, por consiguiente, concluimos que la respuesta sísmica de la edificación once niveles implementando disipadores es más eficiente respecto al método constructivo tradicional, mientras que el edificio de ocho niveles no se realiza la implementación con disipadores SLB debido a que ya cumple las exigencias de la norma E030.



## VI. RECOMENDACIONES

Se aconseja a los profesionales en la ingeniería estructural que utilicen la técnica de disipación de energía, que es una alternativa viable en otros países para disminuir el riesgo de que edificaciones colapsen. Esto es adecuado porque durante el tiempo de servicio, la estructura funcionará con cargas de gravitatorias, y cuando se produzca un sismo, ambos sistemas se activarán como se puede ver al realizar el análisis de la edificación de once niveles que no cuenten con supervisión ni índices de calidad, se detecta las debilidades de esta en caso de sismo.

Se ha observado por medio de los desplazamientos y derivas que la edificación de once niveles necesita ser reforzada en el sentido X, se aconseja aprovechar el sistema de protección sísmica SLB en zonas de mayor concentración de esfuerzos; es una gran ventaja importante que permitirá un adecuado comportamiento, reflejado en menores derivas y, menores desplazamientos.

Cuando se utilice este tipo de técnica, es recomendable usar el análisis historia en el tiempo, así ver en el rango no lineal el comportamiento, ya que es más completo y los resultados son más aproximados a la realidad.

Se aconseja utilizar muros desacoplados en proyectos que tengan las primeras plantas destinadas para estacionamiento o necesiten zonas arquitectónicas significativas en las que se desee evitar la presencia de muros o placas, estas recomendaciones también incluyen información sobre la evaluación de estos sistemas y la información de contacto del proveedor, así los propietarios conozcan las características de su propiedad.



## VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar Falconí, R., Zeballos Loor, M., Palacios Rodríguez, J., García Vincés, L., & Menéndez Menéndez, E. (2016). *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía. terremoto de ecuador del 16 de abril de 2016*. Portoviejo-Ecuador: Instituto Panamericano de Geografía e Historia IPGH.
- Aguiar, R., Bozzo, L., Coyago, H., & Andino, C. (2016). Análisis sísmico de bloque estructural 4 de ufa-espe con disipadores de energía shear link bozzo.
- Aguiar, R., Bozzo, L., Coyago, H., & Andino, C. (2016). Análisis sísmico de bloque estructural 4 de ufa-espe con disipadores de energía Shear Link Bozzo. *Revista CIENCIA*, 123-160.
- Aro Aro, U., & Torricos Supa, C. (2018). *Estudio comparativo del análisis y diseño de un edificio de 15 pisos de la Universidad Nacional del Altiplano, aplicando las normas E-030-2003 y E-030-2016*. Lima-Perú.
- Bozzo , L. M., & Gaxiola, G. (2015). El concepto “rígido-flexible-ductil” y las conexiones SLB. *Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica*.
- Bozzo, L. (2014). Disipadores sísmicos en estructuras industriales: caso megaplanta Pucusana de corporación Lindley. 54-59.
- Bozzo, L. (s.f.). *Curso Análisis, Diseño y Refuerzo Estructural Empleando Disipadores SLB*.
- Bozzo, L., & Gaxiola, G. (2015). El concepto “rígido-flexible-ductil” y las conexiones SLB. *CONGRESO NACIONAL DE INGENIERIA SÍSMICA*.
- Bozzo, L., Gonzales, H., Pantoja, M., Muñoz, E., Herrera, G., Pérez, L., . . . Ramírez, J. (2019). *Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB*. Barcelona.
- Cabanillas Rodríguez, J. (2016). Sistemas de protección sísmica en centros de salud y otros. *Disepro ingenieros estructurales*.



- Cámara Chilena de la Construcción. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras*.  
Santiago de Chile: Corporación de Desarrollo Tecnológico.
- Carpio, J., Zamudio, Y., & Salas, H. (2002). Características Generales del Tsunami Asociado al Terremoto de Arequipa del 23 de Junio del 2001 (Mw=8.2) .  
*Terremoto de la Región Sur de Perú del 23 de Junio de 2001*. CNDG, 121-128.
- Carrasco Díaz , S. (2006). *Metodología de la investigación científica*. Lima - Perú.
- Chavez Aguirre, J. N. (2016). “*Análisis, Diseño y Efectos de Interacción Sísmica Suelo – Estructura con Disipadores de Energía Viscosos – Taylor, en un Edificio Aporticado de 5 Niveles en la Urbanización Buenos Aires, Distrito de Nuevo Chimbote - 2016*”. Nuevo Chimbote.
- Enciso Navarro, F. (2019). *Análisis comparativo del diseño sísmico de una estructura con muros continuos y con muros desacoplados incorporando disipadores SLB en la ciudad de Huancayo*.
- Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). *Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras*. Caracas.
- Gómez, D., Marulanda, J., & Thomson, P. (4 de Diciembre de 2007). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. México: McGRAW-HILL/INTERAMERICANA EDITORES.
- Ley Cuen, C. (2019). “*Reforzamiento estructural de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles mediante el uso de disipadores de energía metálicos (SLB) en el distrito de comas-lima 2018*”.
- Lopez Otiniano, S. Y., & Plasencia Ninatanta, C. S. (2017). *Diseño estructural del edificio multifamiliar las flores del golf de 9 niveles empleando disipadores de energía “Shear Link Bozzo”*. Trujillo-Perú.



- Muñoz, A., Tinman, M., & Quiun, D. (s.f.). Riesgo sísmico de Edificios Peruanos.  
*Pontificia Universidad Católica del Perú.*
- Norma E.020 Cargas. (2014). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima - Perú:  
Grupo universitario.
- Norma E.030 Diseño Sismo Resistente. (2018). Reglamento Nacional de Edificaciones.  
Lima-Perú.
- Ortiz Tolentino, K. I. (2017). *Análisis de la respuesta sísmica de 3 instituciones  
educativas diseñadas con la norma e.030-2006 en contraste con la norma e.030-  
2016*". Lima-Perú.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en  
edificaciones. *Revista EIA*, 106.
- Quispe Huamán, C., & García Urrutia, P. (2019). *Reforzamiento sísmico mediante el  
uso de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo en un edificio de 14  
niveles en la ciudad de Lima.*
- Resistente, E. D. (2018). Reglamento Nacional de Edificaciones. Lima - Perú.
- Segovia David, J. (2016). *Diseño de disipadores de energía metálicos para una  
edificación de baja altura de concreto armado.* Lima.
- Torres Rodas, P. (2011). *Estudio de los disipadores de energía en el diseño  
sismoresistente.* Cuenca-Ecuador.
- Villarreal Castro, G., & Díaz La Rosa Sánchez, M. (2016). *Edificaciones con  
disipadores viscosos.* Lima: Editora & Imprenta Gráfica Norte S.R.L.
- Villarreal Castro, G., & Oviedo Sarmiento, R. (2009). *Edificaciones con disipadores de  
energía.* Lima.



## ANEXOS

- ANEXO 1- PLANOS DE UBICACIÓN DE LAS DOS EDIFICACIONES.
- ANEXO 2- FOTOS DE LA EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES
- ANEXO 3- ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES
- ANEXO 4- FOTOS ENSAYO DE ESCLEROMETRÍA
- ANEXO 5- ESTUDIO DE SUELOS EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES
- ANEXO 6- PLANOS DE ARQUITECTURA DE LAS DOS EDIFICACIONES
- ANEXO 7- METRADO MANUAL EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES
- ANEXO 8- TABLA PROPIEDADES DE LOS DISIPADORES SLB.
- ANEXO 9- MEMORIA DESCRIPTIVA EDIFICACIÓN DE ONCE NIVELES
- ANEXO 10- COSTO DE LOS DISIPADORES HISTERÉTICOS SLB
- ANEXO 11- PLANO DETALLE Y DISEÑO IMPLEMENTANDO DISIPADORES