

**UNIVERSIDAD NACIONAL HERMILO VALDIZAN**

**FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL Y ARQUITECTURA  
ESCUELA ACADÉMICO PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



---

**“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”**

---

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE  
INGENIERO CIVIL

TESISTA:

CELESTE ANAHI SAMILLAN LEY CUEN

ASESOR:

ING. MARX L. TUCTO TARAZONA

**HUANUCO – PERÚ**

**2019**

## **DEDICATORIA**

A mis padres por ser partícipes activos en mi formación profesional y en mis valores como persona, por brindarme su apoyo incondicional durante toda mi vida y en especial durante mis años de carrera profesional.

## **AGRADECIMIENTO**

A Dios, por haberme dado las fuerzas, voluntad, paciencia y perseverancia para poder concluir el desarrollo de mi tesis.

A mis amados padres por su constante apoyo incondicional e insuperable día a día para llegar a mi meta, por valorarme como hija y hacerme conocer su infinito afecto hacia mi persona, y el apoyo para lograr de mí ser un profesional de éxito.

A mi asesor y todos los profesores quienes compartieron sus experiencias, nuevos conocimientos, nuevas ideas y por exigirnos día a día a superarnos más.

## RESUMEN

Los sismos vividos en las ciudades de Arequipa y Pisco han demostrado que el Perú es un país altamente vulnerable a los sismos, en especial las estructuras basadas en pórticos de concreto armado. Debido a la extendida práctica de la autoconstrucción es de esperarse que estas estructuras tengan un comportamiento inadecuado frente a la acción de un sismo. Ante esta situación, la presente tesis propone el uso de disipadores de energía metálicos, un sistema que permite concentrar el posible daño en ciertas zonas de la estructura y evitar así el colapso del sistema. La metodología empleada para comprobar la efectividad de tales sistemas consistió en el modelamiento de la estructura reforzada con disipadores de energía metálicos. Tal evaluación hizo uso de análisis tiempo historias no lineales basadas en la técnica numérica conocida como *Faster Nonlinear Analysis* (FNA), implementada en el software ETABS. Los resultados han mostrado con claridad que la aplicación de los dispositivos mencionados permitió incrementar la rigidez del sistema estructural, localizando la mayor demanda de fuerza cortante en tales dispositivos. Tales dispositivos fueron diseñados para fluir ante determinados niveles de fuerza sísmica por lo que el sistema resistente a cargas gravitacionales queda protegido.

## ABSTRACT

The earthquakes experienced in the cities of Arequipa and Pisco have shown that Peru is a country highly vulnerable to earthquakes, especially structures based on reinforced concrete frames. Due to the widespread practice of handmade build, it is expected that these structures have an inadequate behavior in response to the action of an earthquake. Faced with this situation, the present thesis proposes the use of metallic energy dissipaters, a system that allows to concentrate the possible damage in certain areas of the structure and thus avoid the collapse of the system. The methodology used to verify the effectiveness of such systems consisted in the modeling of the structure reinforced with metallic energy dissipaters. Such evaluation made use of non-linear time history analysis based on the numerical technique known as Faster Nonlinear Analysis (FNA), implemented in the ETABS software. The results have clearly shown that the application of the mentioned devices allowed to increase the rigidity of the structural system, locating the higher demand of shear force in such devices. Such devices were designed to yield at certain levels of seismic force so that the system resistant to gravitational loads is protected.

## CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1 1. MARCO TEÓRICO.....	16
1.1 Planteamiento del problema.....	16
1.1.1 Antecedentes y Fundamentación del Problema:.....	16
1.1.2 Formulación del problema:.....	23
1.2 Objetivos.....	24
1.2.1 Objetivo General: .....	24
1.2.2 Objetivos Específicos: .....	24
1.3 Justificación e Importancia: .....	25
1.4 Hipótesis, variables, indicadores y definiciones operacionales.....	26
1.4.1 Hipótesis .....	26
1.4.2 Sistema de Variables-Dimensiones e Indicadores.....	26
1.5 Universo/población y muestra .....	27
1.5.1 Universo .....	27
1.5.2 Población.....	27
1.5.3 Selección de la Muestra.....	27

---

1.6	Definición de términos básicos.....	29
1.6.1	Desplazamiento lateral .....	29
1.6.2	Distorsión lateral .....	29
1.6.3	Fuerzas internas .....	30
1.6.4	Reforzamiento De Estructuras.....	30
1.6.5	Normativa peruana .....	30
1.6.6	Normativa internacional .....	31
1.6.7	Dispositivos de disipación de energía .....	32
1.6.8	Tipos de disipadores .....	33
1.6.9	Disipadores histeréticos.....	33
1.6.10	Disipadores por plastificación de metales .....	35
1.6.11	Disipadores por flexión.....	36
1.6.12	Disipadores por fricción.....	37
1.6.13	Disipadores SLB .....	38
1.6.14	Modelamiento de dispositivos SLB en ETABS .....	40
1.6.15	Tipos de análisis.....	41
1.6.16	Ubicación de los dispositivos SLB .....	42
1.6.17	Requerimientos de diseño de acuerdo con ASCE 7-10 .....	44

---

1.6.18	Cortante basal Modal.....	45
1.6.19	Factor de Participación Modal.....	45
1.6.20	Modo Fundamental; Coeficiente de Respuesta .....	46
1.6.21	Modo Fundamental Efectivo; Determinación del Periodo Natural 46	
1.6.22	Distorsiones .....	47
1.6.23	Comportamiento bilineal del disipador.....	47
1.7	Matriz de Consistencia.....	52
2.1	Tipo y nivel de investigación.....	55
2.1.1	Tipo de Investigación: .....	55
2.1.2	Diseño de Investigación: .....	55
2.2	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	56
2.2.1	Fuentes.....	56
3.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....	58
3.1	Características de la edificación .....	58
3.2	Evaluación del desempeño sísmico actual.....	60
1.8	Evaluación del punto de desempeño.....	73
3.3	Propuesta de reforzamiento .....	75

---

3.3.1	Elección del objetivo de desempeño .....	75
3.3.2	Deriva objetivo .....	75
3.3.3	Asignación de cargas .....	77
3.3.4	Predimensionamiento de los dispositivos de disipación sísmica análisis lineal de la estructura. ....	84
3.4	Modelo simplificado de los disipadores sísmicos para el predimensionamiento. ....	89
3.5	Masa sísmica, centro de masa y rigidez.....	90
3.6	Revisión de periodos.....	91
3.7	Método estático.....	92
3.8	Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso.....	93
3.9	Revisión de cortante basal .....	94
3.10	Cálculo de fuerza cortante en dispositivos para su predimensionamiento 96	
3.11	Revisión de periodos .....	107
3.12	Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso .....	111
3.13	Revisión del cortante basal análisis espectral .....	112
3.13.1	Evaluación de los resultados.....	117

3.13.2 Propuesta de diseño final .....	120
CONCLUSIONES.....	122
RECOMENDACIONES .....	124
BIBLIOGRAFÍA.....	125

## INDICE DE FIGURAS

FIGURA 1-1: PLANO DE UBICACIÓN DEL DISTRITO DE COMAS. FUENTE: CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES (CISMID, 2011). .....	18
FIGURA 1-2: TIPO DE SUELOS PRESENTES EN EL DISTRITO DE COMAS. FUENTE: CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES (CISMID, 2011). .....	20
FIGURA 1-3: COMPORTAMIENTO CÍCLICO TÍPICO DE UN DISIPADOR POR FLUENCIA TIPO SLB. FUENTE: NUZZO ET. AL (2015). .....	33
FIGURA 1-4: GEOMETRÍA DE LOS DISIPADORES METÁLICOS. A) VIGA A TORSIÓN B) VIGA A FLEXIÓN C) PLACAS EN U. FUENTE: PASSIVE ENERGY DISSIPATION SYSTEMS IN STRUCTURAL ENGINEERING [SOO1997]. .....	34
FIGURA 1-5: COMPORTAMIENTO IDEALIZADO DE LOS DISIPADORES DE FLUENCIA. ....	35
FIGURA 1-6: DISIPADOR METÁLICO DE FLUENCIA POR FLEXIÓN, FUENTE: BOZZO ET. AL (2015). ....	36
FIGURA 1-7: DISPOSITIVO ADAS (FLEXIÓN). FUENTE: UNIVERSIDAD DE BUFFALO [BUFF0001]. ....	37
FIGURA 1-8: COMPORTAMIENTO IDEALIZADO DE LOS DISIPADORES FRICCIONANTES. ....	38
FIGURA 1-9: DISIPADORES PALL. FUENTE: CONCORDIA UNIVERSITY [CON0002]. ....	38
FIGURA 1-10: DISIPADOR METÁLICO DE FLUENCIA SLB ( <i>SHEAR LINK BOZZO</i> ). FUENTE: GAXIOLA ET. AL (2016). ....	39
FIGURA 1-11: COMPORTAMIENTO CÍCLICO CARACTERÍSTICO DE UN DISIPADOR SLB METÁLICO. FUENTE: GAXIOLA ET. AL (2016). ....	39
FIGURA 1-12: MODELAMIENTO DEL COMPORTAMIENTO CÍCLICO DE DISIPADORES SLB EN ETABS. FUENTE: GAXIOLA ET. AL (2015). ....	40
FIGURA 1-13: POSIBLES LUGARES DE COLOCACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS SLB. FUENTE: BOZZO ET. AL (2015). ....	43
FIGURA 1-14: COLOCACIÓN DE DISPOSITIVOS SLB DENTRO DE UN SISTEMA APORTICADO O DE UN SISTEMA DE ALBAÑILERÍA. FUENTE: BOZZO ET. AL (2015). ....	44
FIGURA 1-15 : MODELO HISTERÉTICO Y VISCOELÁSTICO. ....	47

FIGURA 1-16: DISIPADOR SLB DE DOS VENTANAS.....	48
FIGURA 1-17: MODELO BILINEAL PARA DISIPADOR SLB DE DOS VENTANAS.....	50
FIGURA 3-1: MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA, GENERADA EN EL SOFTWARE ETABS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	59
FIGURA 3-2: PLANTA TÍPICA DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	59
FIGURA 3-3: ELEVACIÓN CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	60
FIGURA 3-4: SECCIÓN TRANSVERSAL TÍPICA DE LAS COLUMNAS EXISTENTES EN LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	60
FIGURA 3-5: SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA VIGA TÍPICA EXISTENTE EN LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	61
FIGURA 3-6: DEFINICIÓN DE LAS MASAS SÍSMICAS A PARTIR DE LAS CARGAS MUERTAS Y VIVAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	61
FIGURA 3-7: APLICACIÓN DE CARGAS MUERTAS Y VIVAS EN UN PISO TÍPICO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	62
FIGURA 3-8: APLICACIÓN DE LAS CARGAS MUERTAS Y VIVAS EN LA AZOTEA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	62
FIGURA 3-9: ESPECTRO DE ACELERACIONES DEFINIDOS PARA LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .....	63
FIGURA 3-10: ESPECTRO DE DESPLAZAMIENTOS ASOCIADO A LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. .....	63
FIGURA 3-11: INGRESO DEL ESPECTRO DE ACELERACIONES PARA EL ANÁLISIS MODAL ESPECTRAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	64
FIGURA 3-12: CUATRO PRIMERAS FORMAS DE MODO DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. 65	
FIGURA 3-13: QUINTA Y SEXTA FORMAS DE MODO DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	66
FIGURA 3-14: DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS ENCONTRADOS FRENTE A LA ACCIÓN SÍSMICA CONSIDERADA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	68

FIGURA 3-15: DISTORSIONES MÁXIMAS ENCONTRADOS FRENTE A LA ACCIÓN SÍSMICA CONSIDERADA. FUENTE:	
ELABORACIÓN PROPIA. ....	68
FIGURA 3-16: MÁXIMAS FUERZAS CORTANTES ENCONTRADAS FRENTE A LA ACCIÓN SÍSMICA CONSIDERADA. FUENTE:	
ELABORACIÓN PROPIA. ....	69
FIGURA 3-17: SECCIONES TRANSVERSALES TÍPICAS DE LAS COLUMNAS Y VIGAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	69
FIGURA 3-18: DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LAS COLUMNAS EXISTENTES EN EL EJE FUERTE. FUENTE:	
ELABORACIÓN PROPIA. ....	70
FIGURA 3-19: DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA COLUMNA TÍPICA EN EL EJE DÉBIL. FUENTE: ELABORACIÓN	
PROPIA. ....	70
FIGURA 3-20: DIAGRAMA MOMENTO CURVATURA DE LA VIGA TÍPICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	71
FIGURA 3-21: DEFINICIÓN DE LAS ROTULAS PLÁSTICAS. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	71
FIGURA 3-22: CURVA DE COMPORTAMIENTO EN DIRECCIÓN X. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	72
FIGURA 3-23: CURVA DE COMPORTAMIENTO EN DIRECCIÓN Y. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	72
FIGURA 3-24: COMPORTAMIENTO NO LINEAL DE UNA VIGA TÍPICA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	73
FIGURA 3-25: EVALUACIÓN DEL PUNTO DE DESEMPEÑO SÍSMICO EN DIRECCIÓN X. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	74
FIGURA 3-26: PUNTO DE DESEMPEÑO EN DIRECCIÓN Y. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	74
FIGURA 3-27: MODELO TRIDIMENSIONAL DE LA ESTRUCTURA ANALIZADA, ANTES DEL REFORZAMIENTO. FUENTE:	
ELABORACIÓN PROPIA. ....	78
FIGURA 3-28: CUANTÍA DE ACERO REQUERIDO EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	79
FIGURA 3-29: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7035). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	80
FIGURA 3-30: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE NS (TH 7035). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	80
FIGURA 3-31: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7036). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	81
FIGURA 3-32: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE NS (TH 7036). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	81
FIGURA 3-33: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7039). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82

FIGURA 3-34: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7039). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	82
FIGURA 3-35: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7050). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	83
FIGURA 3-36: REGISTRO SÍSMICO PERUANO, COMPONENTE EW (TH 7050). FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	83
FIGURA 3-37: UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN LOS PÓRTICOS 1 Y 6, EJE X-X. ....	84
FIGURA 3-38: UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS EN LOS PÓRTICOS A Y F, EJE Y-Y. ....	85
FIGURA 3-39: VISTA ISOMÉTRICO DE LA EDIFICACIÓN EN ESTUDIO, ADICIONADO MUROS DESACOPLADOS Y LOS DISIPADORES TIPO SLB. ....	86
FIGURA 3-40: DEFINICIÓN DEL PANEL DE ESPESOR= 20CM Y CALIDAD DEL CONCRETO 280KG/CM2.....	87
FIGURA 3-41: MODELADO DE DISIPADOR MEDIANTE ELEMENTOS FRAME CON GEOMETRÍA RECTANGULAR Y PROPIEDADES DE ACERO ESTRUCTURAL TIPO A36 (ETAPA INICIAL).....	87
FIGURA 3-42 : ESPECTRO DE LA NORMA E030-2016.....	88
FIGURA 3-43: MODELO DE EDIFICIO CON PANELES DISIPADORES. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	89
FIGURA 3-44: MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS LATERALES OBTENIDOS USANDO DISPOSITIVOS SLB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	93
FIGURA 3-45: MÁXIMOS NIVELES DE DISTORSIONES LATERALES OBTENIDOS USANDO DISPOSITIVOS SLB. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	94
FIGURA 3-46: DISTRIBUCIÓN DE FUERZAS CORTANTES APLICADAS A LA ESTRUCTURA. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA...	95
FIGURA 3-47: FUERZAS CORTANTES EN CADA CONEXIÓN TIPO SL DIRECCIÓN "X", FUERZAS REDUCIDAS POR FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO R=8 .....	96
FIGURA 3-48: CORTANTES EN CADA CONEXIÓN TIPO SL DIRECCIÓN "Y", FUERZAS REDUCIDAS POR FACTOR DE COMPORTAMIENTO SÍSMICO R=8 .....	97
FIGURA 3-49: SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO SÍSMICO SL, DIRECCIÓN "X" .....	99
FIGURA 3-50: SELECCIÓN DEL DISPOSITIVO SÍSMICO SL, DIRECCIÓN "X" .....	100
FIGURA 3-51: ASIGNACIÓN PROPIEDADES DEL DISPOSITIVO EN EL SOFTWARE ETABS.....	101

FIGURA 3-52: ASIGNACIÓN DE RIGIDEZ LATERAL DEL DISIPADOR.....	102
FIGURA 3-53 ASIGNACIÓN LOS PARÁMETROS DE DISEÑO DEL DISIPADOR.....	103
FIGURA 3-54: ASIGNACIÓN DE LOS DISIPADORES DE ACUERDO AL PREDISEÑO EN CADA DIRECCIÓN RESPECTIVAMENTE. ....	104
FIGURA 3-55: DEFINICIÓN DEL ANÁLISIS MODAL UTILIZANDO VECTORES RITZ. ....	105
FIGURA 3-56: DEFINIR LA FUNCIÓN TIEMPO HISTORIA AGREGANDO EL REGISTRO DE ACELERACIONES. EJ. REGISTRO SÍSMICO PERUANO 1966 CON UN INTERVALO DE ACELERACIONES DE $\Delta T=0.02$ SEG.....	105
FIGURA 3-57: DEFINIR EL ANÁLISIS NO LINEAL TIEMPO HISTORIA (FNA).....	106
FIGURA 3-58: ASIGNAR EL AMORTIGUAMIENTO DE LA ESTRUCTURA.....	106
FIGURA 3-59: REVISIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE PISO MÁXIMA (EJE X) = 1.30 CM.....	110
FIGURA 3-60: REVISIÓN DE DESPLAZAMIENTO DE PISO MÁXIMA (EJE Y) = 1.32 CM.....	110
FIGURA 3-61: REVISIÓN DE DERIVA DE ENTREPISO MÁXIMA (EJE X) = 0.0065 – CUMPLE.....	111
FIGURA 3-62 : REVISIÓN DE DERIVA DE ENTREPISO MÁXIMA (EJE Y) = 0.0065 – CUMPLE.....	111
FIGURA 3-63: CORTANTES DE ENTREPISO DIRECCIÓN “X”. V BASAL(X)=556 TON.....	112
FIGURA 3-64: CORTANTES DE ENTREPISO DIRECCIÓN “Y”. V BASAL (Y)=557 TON.....	112
FIGURA 3-65: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7035 XX =789.68 TON.....	113
FIGURA 3-66: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7035 YY =773.95 TON.....	113
FIGURA 3-67: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL: TH7036 XX =657.24 TON.....	114
FIGURA 3-68: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7036 YY =659.24 TON.....	114
FIGURA 3-69: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7039 XX =455.97 TON.....	115
FIGURA 3-70: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7039 YY =455.64 TON.....	115
FIGURA 3-71: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7050 XX =578.68 TON.....	116
FIGURA 3-72: CORTANTE BASAL MÁXIMO SEÑAL TH7050 YY =579.53 TON.....	116
FIGURA 3-73 : COMPARACIÓN DE LOS MÁXIMOS DESPLAZAMIENTOS OBTENIDAS EN X E Y, PARA LOS CASOS REFORZADO Y SIN REFORZAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	117

---

FIGURA 3-74: COMPARACION DE LAS MÁXIMAS DISTORSIONES OBTENIDAS EN X E Y, PARA LOS CASOS REFORZADO Y SIM REFORZAMIENTO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	118
FIGURA 3-75: REVISIÓN DE DISIPADOR SÍSMICO, CONEXIÓN NO LINEAL K15 EN LA DIRECCIÓN X MEDIANTE EL PROMEDIO DE LOS REGISTROS SÍSMICOS. ....	119
FIGURA 3-76: REVISIÓN DE DISIPADOR SÍSMICO, CONEXIÓN NO LINEAL K1 EN LA DIRECCIÓN Y MEDIANTE EL PROMEDIO DE LOS REGISTROS SÍSMICOS.....	120

**INDICE DE TABLAS**

TABLA 3-1: DATOS GENERALES DE LA EDIFICACIÓN. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	58
TABLA 3-2: CARGAS APLICADAS POR PISO. FUENTE: ELABORACION PROPIA .....	58
TABLA 3-3: MASAS TÍPICAS DE ENTREPISO. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA. ....	66
TABLA 3-4: FORMAS DE MODO Y FACTORES DE PARTICIPACIÓN MODAL. FUENTE: ELABORACIÓN PROPIA.....	67
TABLA 3-5: OBJETIVOS DE DESEMPEÑO PARA ESTRUCTURAS BÁSICAS.....	75
TABLA 3-6: DESCRIPCIÓN DE DAÑO Y DERIVA CARACTERÍSTICA PARA EDIFICIOS TIPO CM1 (HAZUS). ....	76
TABLA 3-7: NIVELES DE DESEMPEÑO Y DERIVAS OBJETIVO PARA EDIFICIOS TIPO CM1 (HAZUS Y SEAOC VISION 2000). .....	77
TABLA 3-8. MASA DE LA EDIFICACIÓN, CENTRO DE MASA Y CENTRO DE RIGIDEZ DE LA ESTRUCTURA.....	90
TABLA 3-9. REVISIÓN DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA. ....	91
TABLA 3-10. LOS PARÁMETROS DE DISEÑO MÁS RELEVANTES PARA LOS DISPOSITIVOS .....	98
TABLA 3-11. REVISIÓN DE LOS MODOS DE VIBRACIÓN DE LA ESTRUCTURA .....	107
TABLA 3-12. COMPARACIÓN DE DERIVAS DE ENTREPISO (‰): EDIFICIO SIN AMORTIGUADORES Y EDIFICIO CON AMORTIGUADORES EN EL EJE X.....	119
TABLA 3-13. AGRUPACIÓN DE DISPOSITIVOS.....	121

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país situado en una de las regiones de mayor sismicidad del mundo, por lo que la probabilidad de que se vea expuesto a grandes niveles de aceleración lateral del suelo, en algún momento específico, es muy elevada. De hecho, en los últimos años, el Perú se ha visto sometido a eventos sísmicos de gran magnitud. Tales eventos son, por ejemplo, el sismo de Arequipa, en el año 2001, y el de Pisco, en el año 2007. Estos eventos sísmicos demostraron que además de estar expuestos a niveles de aceleración peligrosos, las estructuras que deben enfrentarse a estos requerimientos carecen de la capacidad mínima para garantizar un desempeño estructural adecuado y por tanto garantizar la vida de las personas u ocupantes.

Esto lleva a considerar que además de la amenaza de un evento sísmico de gran intensidad, la que dentro del estado del conocimiento actual no es susceptible de ser manipulada, es importante e imprescindible considerar la capacidad de las estructuras construidas para afrontar los niveles de demanda de aceleraciones esperados en el Perú. En este sentido es de esperarse que muchas de las estructuras existentes, carezcan de la rigidez y resistencia adecuadas para poder afrontar las demandas de aceleración provenientes de un sismo. En especial aquellas estructuras que, por su falta de rigidez, pueden ser dañadas muy seriamente ante la ocurrencia de un sismo, tales como los pórticos de concreto armado existentes.

Las estructuras con niveles de rigidez lateral inadecuadas tienden a ser muy susceptibles frente a aceleraciones laterales, por lo que pueden llegar a ser dañadas

muy seriamente en el caso de un evento sísmico de intensidad considerable, por lo que deben ser reforzadas, para mejorar estas deficiencias. Aunque existen numerosas técnicas para incrementar la resistencia lateral de elementos verticales, tales como columnas, o muros de concreto armado, técnicas que caerían dentro del denominado método clásico de diseño o diseño por ductilidad, en este trabajo de investigación se ha preferido el uso de dispositivos que permitan disipar gran parte de la energía ingresada a la estructura por la acción de un sismo, dejando así a los elementos verticales con una menor demanda sísmica y conservando la integridad gravitacional de la estructura.

Tales elementos son conocidos como disipadores metálicos, pues a diferencia de sus pares comerciales (disipadores de fluido viscoso) basan su capacidad de disipar energía en la fluencia de los metales. Además, a diferencia de los disipadores de fluido viscoso, cuyo principal objetivo es incrementar el coeficiente de amortiguamiento del sistema, los disipadores de energía metálicos no incrementan el amortiguamiento del sistema, por lo que su adición sí tiene efectos en el periodo natural de la estructura. Finalmente, una de las mayores ventajas de estos dispositivos son sus bajos costos de fabricación, al ser comparados con disipadores de fluido viscoso. Los costos de estos tipos de dispositivos pueden llegar a ser de 1/20 de los de disipadores de fluido viscoso.

# CAPÍTULO I

---

“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”

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1 Planteamiento del problema

#### 1.1.1 Antecedentes y Fundamentación del Problema:

El Perú es un país situado en una de las zonas de mayor sismicidad del mundo, hecho que incrementa notablemente la probabilidad de que las estructuras construidas en el país puedan, en algún momento, estar sometidas a fuertes niveles de aceleración lateral, dando como resultado el daño y/o colapso de estructuras, en especial en una ciudad de 9 millones de habitantes, como es la ciudad de Lima. Esto resulta alarmante en todo sentido, ya que, de acuerdo a las experiencias previas sufridas en los terremotos de Arequipa, en el 2001, e ICA, en el 2007, este tipo de eventos dejan gran cantidad de víctimas mortales, personas heridas, gran cantidad de damnificados y cuantiosas pérdidas materiales, asociadas no sólo a la pérdida de estructuras, sino también a los costos de limpieza, reconstrucción y paro de las actividades económicas (Blanco, 2005; San Bartolomé et. al. 2007).

Lo anterior resulta aún más alarmante, si se tiene en cuenta que la práctica de la construcción informal, es una de las más extendidas a en todo el país, de hecho, según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), el 60% de las viviendas son producto de la construcción informal o autoconstrucción, y según numerosos especialistas del medio, este tipo de edificaciones tienen serias deficiencias técnicas, específicamente en cuanto a la calidad del concreto, ya que se observa que en la mayor

parte de los casos, estos no llegan a alcanzar la resistencia a la compresión mínima recomendada en zonas sísmicas, y lo mismo puede mencionarse cuando se habla del acero de refuerzo, ya que aunque en general se terminan usando la mismas calidad de varillas usadas por proyectos de construcción formal, la disposición y cantidades de estas en los elementos estructurales con responsabilidad sísmica, termina siendo ineficiente e insuficiente, dando como consecuencia una estructura con una elevada probabilidad de colapso frente a un sismo consecuente con lo que se especifica en la norma peruana de diseño sísmico (E030, 2018).

En cuanto al distrito de Comas, se puede mencionar que es uno de los más populosos de la provincia de Lima, y está ubicada al norte de la ciudad de Lima, con una extensión territorial de 48.75 km<sup>2</sup> y con una población que bordea los 530 000 habitantes, de acuerdo a los datos que se registran por el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI), un plano del mencionado distrito, elaborado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), se muestra en la figura 1-1.

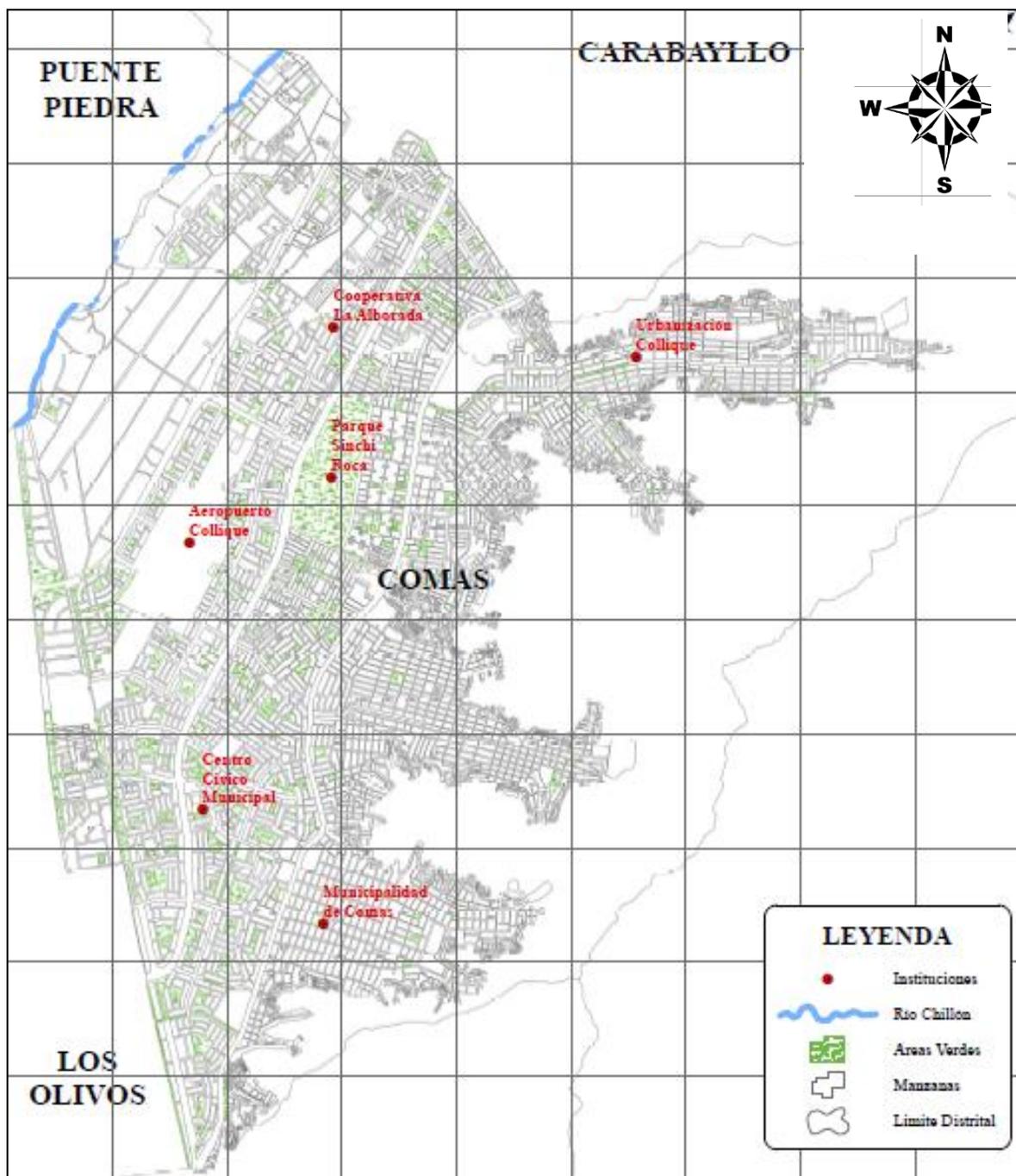


Figura 1-1: Plano de ubicación del distrito de comas. Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2011).

De acuerdo con el registro Nacional de Municipalidades, información recopilada por el INEI (2014), Comas es uno de los distritos con los menores índices de licencias de construcción en el cono Norte, representado la cantidad de licencias emitidas, tan sólo el 1.8%, del total de licencias emitidas en el cono norte, lo que es un fuerte indicador del nivel de informalidad en la construcción de viviendas dentro de este distrito.

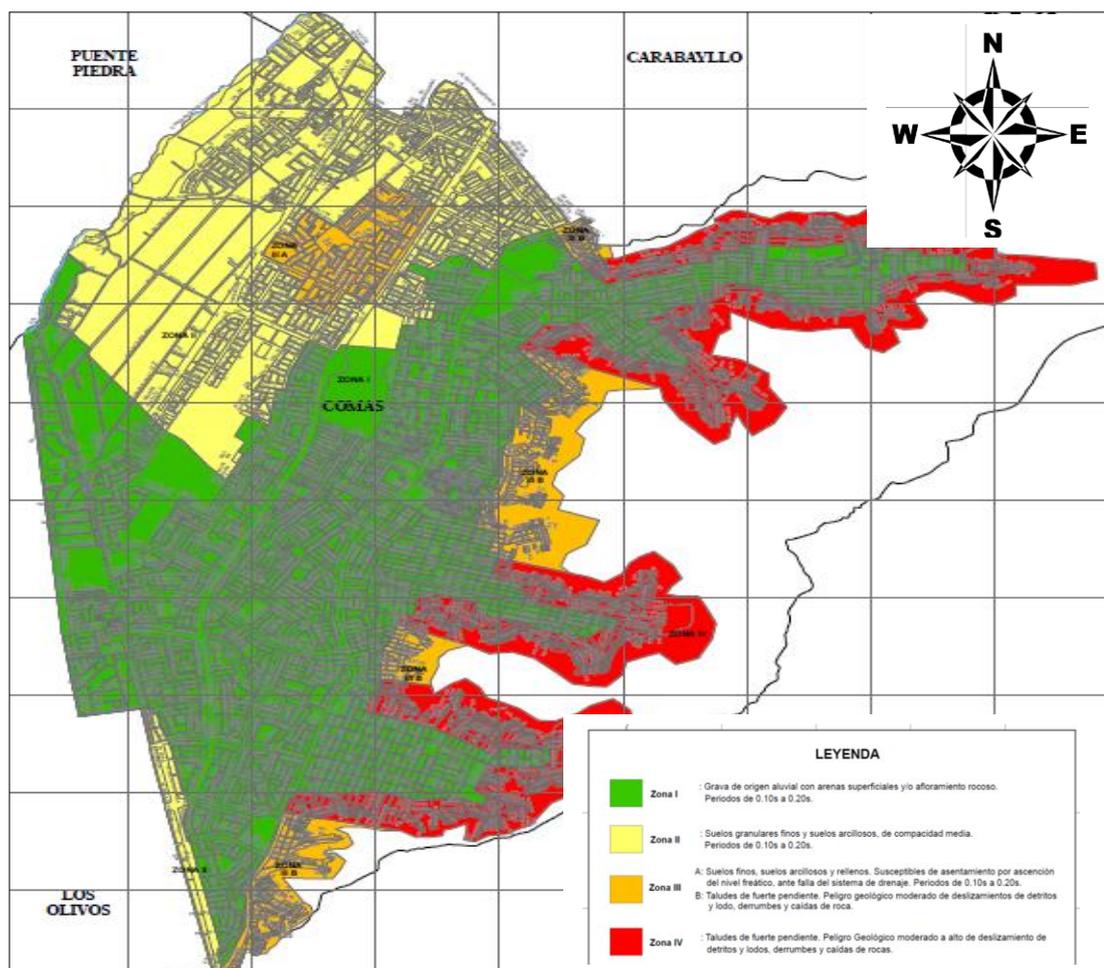


Figura 1-2: Tipo de suelos presentes en el distrito de Comas. Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2011).

Además, de acuerdo a los estudios de microzonificación sísmica realizados por el CISMID (2011), el distrito de Comas presenta cuatro tipos de suelos ubicadas en cuatro zonas, que se han coloreados en el mapa presentado en la Figura 1-2, de tal manera que el color verde representa la zona 1, es decir aquellos suelos de origen aluvial con arenas superficiales y/o afloramiento rocoso; la Zona 2, coloreada de amarillo, que

representan suelos granulares finos y suelos arcillosos, de compacidad media; la zona 3, coloreada de color naranja, que hace referencia a los suelos finos, suelos arcillosos y rellenos; finalmente también se encuentran presentes la zona4, coloreada de color rojo que hace referencia a las zonas del distrito ubicadas en los cerros, que presentan taludes de fuerte pendiente.

Como se puede observar existen zonas del distrito que unidas al nivel de informalidad en la construcción de viviendas en el distrito de Comas, ponen en riesgo la vida de sus ocupantes y además ponen en riesgo la incipiente economía de un país en vías de desarrollo como el Perú, y que de acuerdo con el índice de riesgo de ciudades 2015-2025, del mercado inglés de seguros (LLoyds, 2015), el Perú es uno de los países más vulnerables a la acción de un sismo, y se espera que el costo en pérdidas para el país, sea de alrededor de los 35 500 millones de dólares.

Frente a esta realidad, el presente trabajo propone el uso de disipadores metálicos SLB, como un medio para disminuir el nivel vulnerabilidad sísmica de estas edificaciones, que, de acuerdo con estudios previos, resulta una alternativa viable técnica y económica, para tratar de minimizar el posible número de daños materiales y fundamentalmente daños a la vida de las personas.

### **GAXIOLA, GONZALES Y BOZZO (2016), PROCESO DE ANÁLISIS Y DISEÑO UTILIZANDO DISIPADORES SISMICOS TIPO SLB**

En este trabajo de investigación se presentan las técnicas de análisis típicas para el estudio de una estructura con disipadores de energía tipo SLB (Shear Link Bozzo).

Tales técnicas van desde el análisis modal espectral, como técnica de diseño hasta los métodos de análisis tiempo historia no lineales, como técnica para la comprobación del comportamiento sísmico de la estructura. Los resultados de la aplicación de los dispositivos tipo SLB, muestran una notable reducción de las fuerzas sísmicas inducidas, por lo que su uso es recomendable para minimizar el riesgo de colapso en estructuras vulnerables.

### **BOZZO Y GAXIOLA (2015), EL CONCEPTO “RIGIDO FLEXIBLE DUCTIL” Y LAS CONEXIONES SLB**

En este trabajo de investigación se propone la unificación de los conceptos tradicionales de diseño con los nuevos conceptos de desacoplamiento de sistemas resistentes frente a cargas gravitacionales y laterales. Es decir, de acuerdo con el diseño tradicional de estructuras, el daño es aceptado, sin embargo, este daño se debe localizar en ciertas zonas de la estructura. Estas zonas, usualmente, serán diseñadas para ser capaces de disipar grandes cantidades de energía.

### **NUZZO, LOSANNO SERINO Y BOZZO (2015), A SESIMIC-RESISTANT PRECAST RC SYSTEM EQUIPPED WITH SHEAR LINK DISIPATORS FOR RESIDENTIAL BUILDINGS**

De acuerdo con esta investigación, el Perú, así como muchos otros países de américa del sur, están expuestos a elevados niveles de peligro sísmico, esto junto al hecho de que la practica constructiva en la edificación de edificios residenciales es a menudo deficiente, imponen un elevado nivel de riesgo sísmico, es decir que, ante la

eventualidad de un sismo de gran magnitud, gran cantidad de las viviendas existentes resulten seriamente dañadas o incluso alcancen el colapso.

Ante esta situación, el trabajo de investigación mencionado propone la aplicación de la construcción prefabricada, como sistema resistente frente a cargas laterales y el uso de disipadores de energía metálicos, llamados usualmente *Shear Link*, como sistema resistente frente a cargas laterales. Encontrando, a partir de numerosos análisis tiempo historias no lineales, que las respuestas sísmicas resultaron satisfactorias y que el sistema propuesto resulta en un sistema práctico, económico y sísmicamente seguro.

### **1.1.2 Formulación del problema:**

#### **1.1.2.1 Formulación del problema general**

¿Es posible el uso de disipadores de energía metálicos SLB, como técnica para el reforzamiento de una estructura aporticada de concreto armado de cinco niveles?

#### **1.1.2.2 Formulación de los problemas específicos**

1. ¿Es posible la reducción de los desplazamientos laterales mediante el uso de disipadores metálicos SLB, en una edificación de pórticos de concreto armado de cinco niveles?
2. ¿Es posible la reducción de las distorsiones laterales mediante el uso de disipadores metálicos SLB, en una edificación de pórticos de concreto armado de cinco niveles?

3. ¿Es posible la reducción de las fuerzas sísmicas en los elementos estructurales de un pórtico de concreto armado de cinco niveles, mediante el uso de disipadores metálicos SLB?

## **1.2 Objetivos**

### **1.2.1 Objetivo General:**

Demostrar que los dispositivos de disipación de energía metálicos SLB, permiten la mejora de la respuesta sísmica de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles, vulnerable a sismos.

### **1.2.2 Objetivos Específicos:**

1. Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de los desplazamientos laterales, inducidos por la acción de un sismo en un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.
2. Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de las distorsiones laterales, inducidas por la acción de un sismo en un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.
3. Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de las fuerzas internas en los elementos estructurales, inducidos por la acción de sismos en un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.

### **1.3 Justificación e Importancia:**

Se determinó como tema de investigación el reforzamiento de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles, mediante el uso de disipadores SLB en razón de que es parte de la realidad nacional, la extendida práctica de la autoconstrucción dentro de nuestro país, lo que nos lleva a una situación de gran peligro, ya que estas edificaciones son enteramente deficientes ante las exigencias de una alta probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud, lo que causaría terribles daños tanto en pérdidas humanas como económicas.

Por ello la investigación proyectada pretende aportar nuevos datos de valor en la generación de técnicas de reforzamiento de viviendas con vulnerabilidad sísmica, como las viviendas autoconstruidas. Los beneficios que se derivarán de la investigación proyectada, serán directamente aplicables a este tipo de viviendas, puesto que la técnica de disipación

de energía, bien estudiada y difundida, podría convertirse en una alternativa viable para disminuir el peligro de colapso de estas edificaciones.

## **1.4 Hipótesis, variables, indicadores y definiciones operacionales**

### **1.4.1 Hipótesis**

#### **1.4.1.1 Hipótesis general**

Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible la mejora de la respuesta sísmica de un edificio de pórticos de concreto armado de cinco niveles frente a sismos.

#### **1.4.1.2 Hipótesis específicas**

- 1) Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de los desplazamientos laterales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.
- 2) Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de las distorsiones laterales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.
- 3) Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de las fuerzas internas en los elementos estructurales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.

### **1.4.2 Sistema de Variables-Dimensiones e Indicadores**

#### **1.4.2.1 Variable independiente**

Disipadores de energía metálicos SLB (X)

### **1.4.2.2 Variable dependiente**

Reforzamiento estructural de un edificio aporticado de concreto armado de cinco niveles vulnerable ante movimientos sísmicos (Y)

## **1.5 Universo/población y muestra**

### **1.5.1 Universo**

El universo de esta investigación es unitario y está constituido de una estructura de pórticos de concreto armado de cinco niveles.

### **1.5.2 Población**

La población del estudio consiste en un edificio de pórticos de concreto armado de cinco niveles, ubicados en el distrito de Comas, Lima, Perú.

### **1.5.3 Selección de la Muestra**

Con la finalidad de estudiar la capacidad de los dispositivos de disipación de energía SLB, como técnica de reforzamiento de estructuras aporticadas, se eligió una edificación de cinco niveles, la que está construida con base en pórticos de concreto armado y ubicado en la Av. Tupac Amaru con la Av. Carlos Izaguirre, perteneciente al distrito de Comas, Lima, Perú.

En cuanto a la edificación analizada para el desarrollo del presente trabajo de investigación se puede mencionar que se trata de una edificación de pórticos de concreto armado de cinco niveles, como se puede observar en la figura 1-2-A. Esta

edificación fue elegida debido a que, por su configuración estructural, y las dimensiones de los elementos resistentes a cargas laterales, se prevé que no cumple con los requisitos de rigidez exigidos por la norma peruana de diseño sísmico. Este hecho, provocará que las máximas distorsiones inducidas por la acción de un sismo superen los límites máximos permitidos por la norma de diseño E030, por lo que es de esperarse que esta estructura sufra de daño severo, incluso el colapso, sino se toman medidas preventivas.



Figura 1-2-A: Edificación de cinco niveles de pórticos de concreto armado, ubicada en la Av. Metropolitana, del distrito de Comas.

## 1.6 Definición de términos básicos

### 1.6.1 Desplazamiento lateral

Los desplazamientos laterales son una medida del cambio de posición de una estructura respecto de su posición no deformada. En el caso de edificaciones, los desplazamientos laterales vienen definidos por las coordenadas de traslación del diafragma rígido, entendiéndose por diafragma rígido al movimiento de traslación y rotación de un piso típico.

### 1.6.2 Distorsión lateral

Las distorsiones laterales son una medida del cambio de configuración de una estructura, debido a la acción de fuerzas sísmicas, con respecto a la configuración no deformada. Matemáticamente se define como el máximo desplazamiento relativo de un entrepiso dividido por la altura de este, es decir:

$$\delta_i = \frac{D_{i+1} - D_i}{H_i}$$

Donde,  $D$ , denota los desplazamientos de un piso cualquiera,  $H$ , la altura de ese entrepiso y  $\delta_i$ , la medida de la distorsión lateral de ese entrepiso.

Es importante aclarar que la medida de la distorsión lateral de una estructura resulta de gran valor en la evaluación de las respuestas de una estructura, esto debido a que numerosos estudios han demostrado que el nivel de daño presente en las estructuras está directamente relacionado con este parámetro, de hecho, la norma de diseño

sismorresistente peruana (E030, 2018), limita los máximos valores de distorsión de ciertos tipos de sistemas estructurales, con la finalidad de evitar que los daños superen los niveles de desempeño esperados en las estructuras.

### **1.6.3 Fuerzas internas**

Se denominan fuerzas internas al conjunto de fuerzas, axiales, cortantes y momentos flectores, que surgen al interior de un cuerpo, como consecuencia de la aplicación de fuerzas externas.

### **1.6.4 Reforzamiento De Estructuras**

El reforzamiento de estructuras es un proceso que implica el aumento de la capacidad de los elementos estructurales y por tanto el aumento de la capacidad de la estructura. El requerimiento de incremento de capacidad puede ser debido a alguna deficiencia de la estructura analizada al confrontar su respuesta frente contra las nuevas sollicitaciones de demanda debido a sismo o viento o cambios de uso (Proaño, 2014).

Algunas de estas situaciones pueden ser:

1. Edificios diseñados con deficiencia de capacidad por sismo o vientos.
2. Edificios con cambios de uso para los cuales no fueron diseñados.

### **1.6.5 Normativa peruana**

De acuerdo con la norma de diseño sismorresistente peruana, el reforzamiento es un procedimiento que debe aplicarse en estructuras que hayan sido sufrido la acción de un evento sísmico y que haya disminuido su capacidad deformación o su resistencia

lateral, con la finalidad de que estas recuperen su capacidad de resistir un nuevo evento sísmico y cumplan con la filosofía de diseño sísmico de la misma normativa.

En este punto es importante aclarar que la mencionada norma es una norma de diseño, por lo que no muestra ninguna metodología relacionada al reforzamiento estructural, en su lugar, se propone la aplicación de los lineamientos presentados por la Federal Emergency Management Administration (FEMA), específicamente el documento FEMA P420.

### **1.6.6 Normativa internacional**

Como se mencionó en la sesión anterior, la norma peruana de diseño sísmico brinda apenas un esbozo de lo que se debería hacer en el caso de estructuras con capacidades inferiores a las requeridas por esta. Sin embargo, recomienda la aplicación de los lineamientos de la *Federal Emergency Management Administration* (FEMA), específicamente el documento FEMA P420. Por lo que aquí se da un esbozo de las recomendaciones dadas por esta normativa, para los lectores que deseen más información al respecto, se les sugiere dirigirse a las referencias mencionada.

Evaluación del peligro sísmico: Dentro de este acápite, el mencionado documento recomienda la evaluación del nivel de peligro sísmico existente en la zona de estudio, ya que reconoce que las intervenciones en la estructura estudiada, dependerán del nivel de aceleración que se presente.

Para esto recomienda el uso del espectro de aceleraciones, calculadas de acuerdo con los lineamientos de la norma ASCE 7-10, *Minimum lateral Loads*.

Evaluación de la capacidad actual: Dentro de este acápite, se recomienda la evaluación de la capacidad lateral de la estructura estudiada, para esto se recomienda la evaluación de la curva de capacidad de la estructura.

Propuesta de reforzamiento: En este ítem, se debe proponer el sistema de reforzamiento, su disposición espacial dentro de la estructura y así como los medios para su colocación y puesta en funcionamiento. Es recomendable que las propuestas de reforzamiento estén basadas en estudios previos que hayan mostrado ser eficientes a la hora de incrementar la capacidad de las estructuras, o que los sistemas propuestos hayan mostrado en el laboratorio su capacidad para incrementar tanto la rigidez como la resistencia.

#### **1.6.7 Dispositivos de disipación de energía**

Son un grupo de elementos que tienen como finalidad absorber gran parte de la energía introducida a la estructura por medio de un sismo, salvaguardando de esta manera, los componentes de la estructura que resisten el conjunto de cargas gravitacionales, los que finalmente evitaran el colapso de la estructura.

Los dispositivos de amortiguación incluyen todos los pernos, tornillos, placas de unión, extensiones del apoyo, y otros componentes necesarios para conectar dispositivos a los otros elementos de la estructura. Los dispositivos de disipación

pueden ser clasificados como: dependientes del desplazamiento o dependiente de la velocidad, o una combinación de los mismos, y pueden ser configuradas para actuar ya sea en una manera lineal o no lineal.

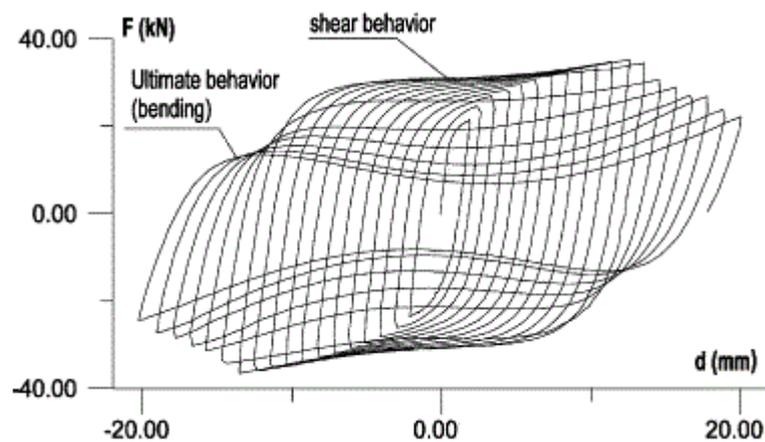


Figura 1-3: Comportamiento cíclico típico de un disipador por fluencia tipo SLB. Fuente: Nuzzo et. al (2015)

### 1.6.8 Tipos de disipadores

En la actualidad existen numerosos tipos de disipadores de energía, entre estos están, por ejemplo, los disipadores histeréticos, que trabajan por medio de ciclos de desplazamiento inelástico; disipadores viscoelásticos, que funcionan en base al desplazamiento y la velocidad; y disipadores de fluido-viscoso, que actúan de manera proporcional a la velocidad.

### 1.6.9 Disipadores histeréticos

Los disipadores histeréticos son aquellos que trabajan por medio del desplazamiento de entrepiso de la estructura y pueden ser de fluencia ó friccionantes.

Los dispositivos por fluencia disipan energía introduciendo comportamiento inelástico en el metal mediante ciclos de deformación inelástica por flexión, corte, torsión o extrusión. En estos dispositivos la fuerza del disipador ( $F$ ) y el desplazamiento de entrepiso ( $\Delta$ ) guardan una relación como la mostrada en la Figura 1-5.

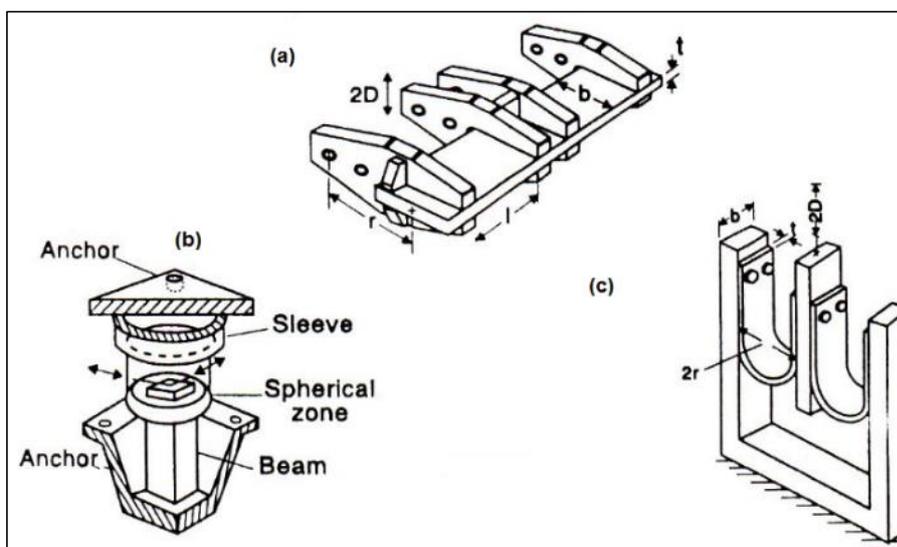


Figura 1-4: Geometría de los disipadores metálicos. a) Viga a torsión b) Viga a Flexión c) Placas en

U. Fuente: Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering [SOO1997].

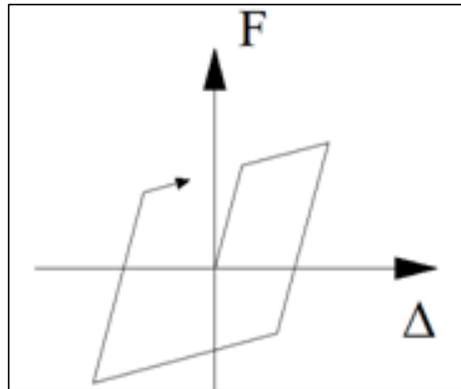


Figura 1-5: Comportamiento idealizado de los disipadores de fluencia.

### 1.6.10 Disipadores por plastificación de metales

(Villarreal Castro, y otros, 2009) Existen resultados experimentales que indican que el acero ensayado bajo condiciones cuasiestáticas puede llegar a manifestar valores del límite de fluencia y de tensión máxima de rotura inferiores en un 17% y 3% respectivamente a los obtenidos con velocidades de deformación del 10%/s. Pese a estos resultados se han venido realizando estos ensayos.

Probablemente, dada la alta variabilidad de la acción sísmica, y observado el buen comportamiento de los modelos adoptados basándose en la caracterización estática, la observación de una caracterización dinámica aumenta la complejidad del problema de forma desproporcionada.

Estos disipadores se han basado en la plastificación por esfuerzo cortante, dando como resultados dispositivos de elevada rigidez, esfuerzos de plastificación de valores reducidos y gran uniformidad en la distribución de la deformación plástica.

### 1.6.11 Disipadores por flexión

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

Los disipadores por flexión llevan a la sección transversal del dispositivo a la fluencia de manera uniforme. Unos de los más conocidos son los dispositivos ADAS (Added Damping and Stiffness) que poseen una sección en forma de X.

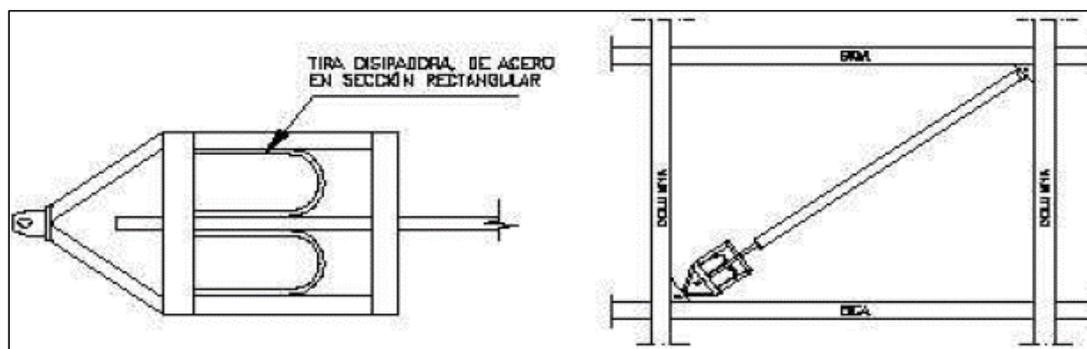


Figura 1-6: Disipador metálico de fluencia por flexión, Fuente: Bozzo et. al (2015).

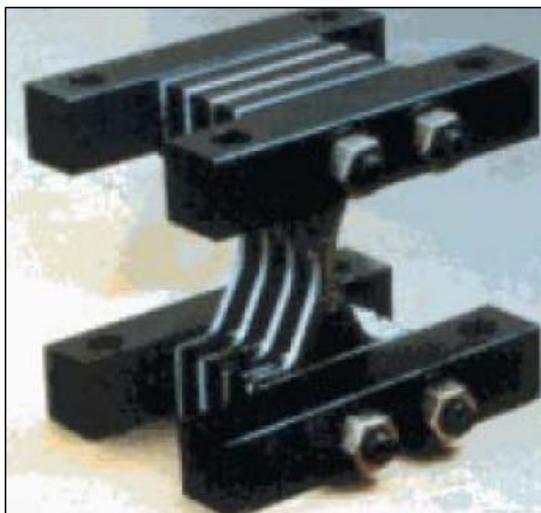


Figura 1-7: Dispositivo ADAS (flexión). Fuente: Universidad de Buffalo [BUFF0001].

### 1.6.12 Disipadores por fricción

(Villarreal Castro, y otros, 2009) Los sistemas de fricción disipan energía, basándose en el rozamiento existente entre dos superficies en contacto bajo presión y en el deslizamiento entre ellas. La fuerza de fricción en cada conexión es igual al producto de la fuerza normal por el coeficiente de rozamiento.

Los disipadores friccionantes son aquellos que funcionan en base al desplazamiento relativo ( $\Delta$ ) de 2 placas que están unidas con pernos de alta resistencia. Son diseñados para actuar a partir de una fuerza determinada ( $F$ ) y limitan la cantidad de energía que puede ingresar al sistema. Una de las marcas que comercializa este tipo de disipadores es Pall Dinamycs.

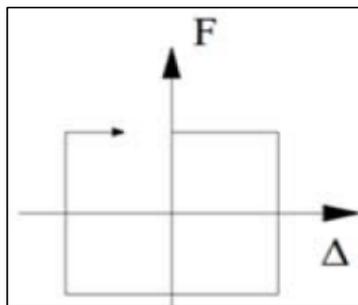


Figura 1-8: Comportamiento idealizado de los disipadores friccionantes.



Figura 1-9: Disipadores Pall. Fuente: Concordia University [CON0002].

### 1.6.13 Disipadores SLB

Los disipadores *Shear Link Bozzo* (SLB), son un tipo de disipadores metálicos basados en la fluencia de estos, decir, el principio de disipación de energía está basado en la plasticidad del material que la compone. En las Figura 1-10 y Figura 1-11, se muestran un disipador SLB y su comportamiento típico.

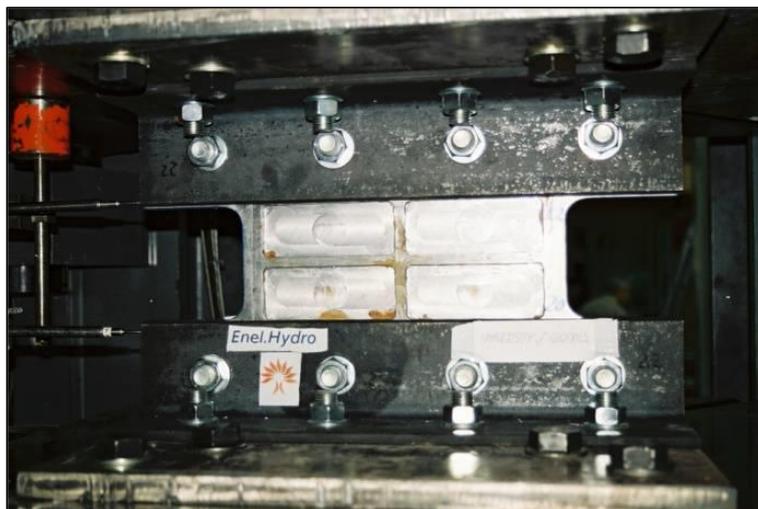


Figura 1-10: Disipador metálico de fluencia SLB (*Shear Link Bozzo*). Fuente: Gaxiola et. al (2016).

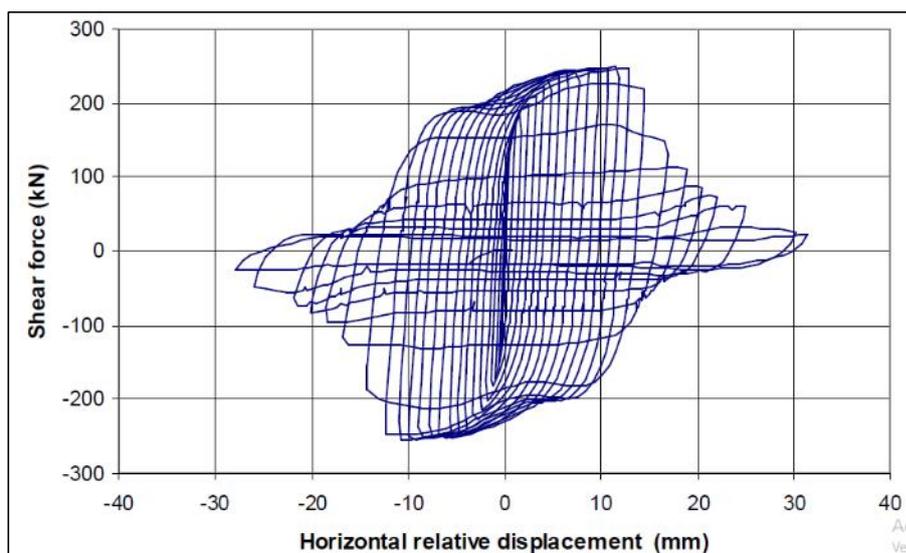


Figura 1-11: Comportamiento cíclico característico de un disipador SLB metálico. Fuente: Gaxiola et. al (2016).

“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”

### 1.6.14 Modelamiento de dispositivos SLB en ETABS

Aunque el comportamiento cíclico de un dispositivo SLB es en general complejo, como se puede observar en la Figura 1-11, en la práctica es posible modelar su comportamiento hasta cierto rango como se observa en la Figura 1-12.

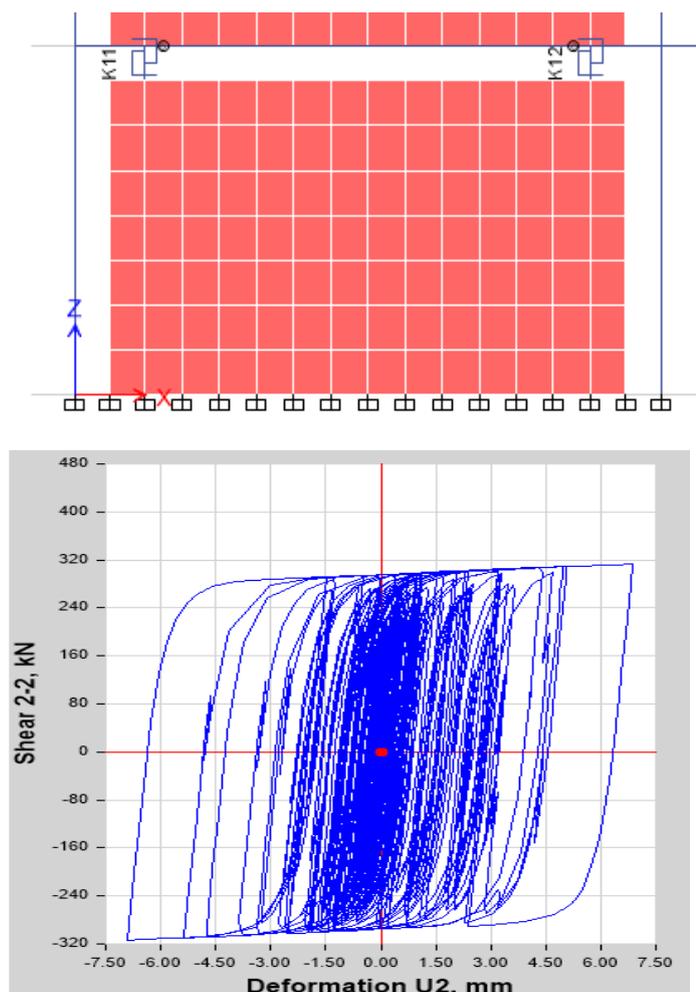


Figura 1-12: Modelamiento del comportamiento cíclico de disipadores SLB en ETABS.

Fuente: Gaxiola et. al (2015).

Como se puede observar de la figura mencionada, el software de análisis no lineal ETABS es capaz de representar adecuadamente el comportamiento cíclico del dissipador SLB. Esto es posible mediante el uso de los elementos Link y gracias a modelos constitutivos como los de Wen (Gaxiola et. al, 2016 y Bozzo et. al 2015).

En este punto resulta interesante comentar las características más importantes del comportamiento cíclico del dissipador de energía. Como se puede observar del grafico anterior, el dissipador exhibe un comportamiento lineal hasta alcanzar el esfuerzo de fluencia, a partir de este punto existe una perdida notable de la rigidez, hasta alcanzar el punto de máxima demanda de desplazamiento de ese ciclo. Además, como se puede observar, la rigidez de descarga tiene esencialmente la misma pendiente que la etapa inicial, lo que es una característica típica del acero.

#### **1.6.15 Tipos de análisis**

Con la finalidad de poder evaluar la respuesta sísmica de una edificación con dispositivos SLB, será necesario efectuar un análisis tiempo historia no lineal, es decir, un análisis paso a paso en el tiempo, que además sea capaz de considerar el comportamiento no lineal de los dissipadores SLB.

El software ETABS, es capaz de desarrollar un análisis como el requerido, de hecho, de acuerdo con las notas técnicas de este programa, dentro de la actual versión, ETABS v17, está disponible el uso de la herramienta *Fast Nonlinear Analysis* (FNA),

la que nos permite el análisis tiempo historia de estructuras con elementos de plasticidad concentrada, como es el caso de los disipadores SLB, permitiéndonos encontrar soluciones numéricas de manera rápida.

#### **1.6.16 Ubicación de los dispositivos SLB**

La ubicación de los dispositivos dentro de una edificación es un asunto muy importante, ya que, dependiendo su posición relativa dentro de la estructura, su efectividad será mayor o menor. De hecho de acuerdo con una serie de investigaciones previas, se ha observado que las mejores posiciones para los dispositivos SLB son como parte de un sistema arriostrado tipo chevron, como parte de un sistema de diagonales o formando un acople entre muros de concreto y el sistema resistente a cargas de gravedad, como se puede observar en la Figura 1-13.

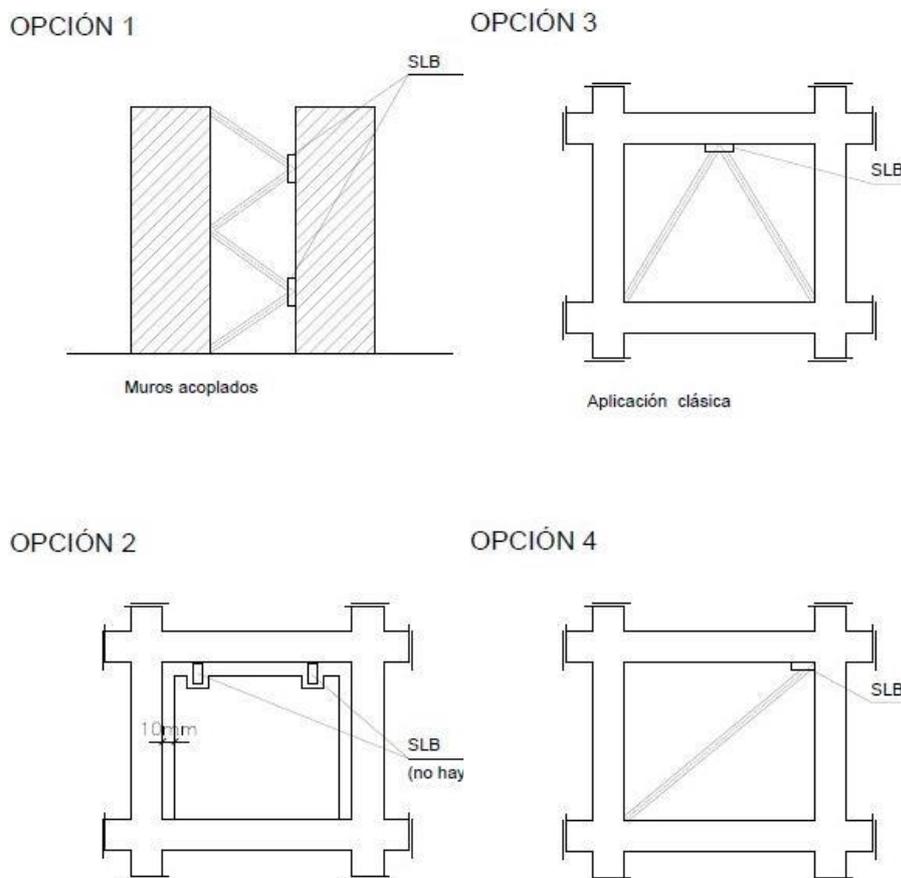


Figura 1-13: Posibles lugares de colocación de los dispositivos SLB. Fuente: Bozzo et. al (2015).

Aunque, existen una serie de configuraciones posibles a la hora de colocar los dispositivos de disipación de energía SLB, no todas estas son útiles en el caso estudiado, es decir, en el reforzamiento de viviendas autoconstruidas, las que usualmente son hechas con base en pórticos de concreto armado y/o albañilería confinada, como se ha podido establecer en una serie de trabajos presentados con anterioridad por diferentes autores (Salinas et. al, 2015 y Zavala et. al, 2014).

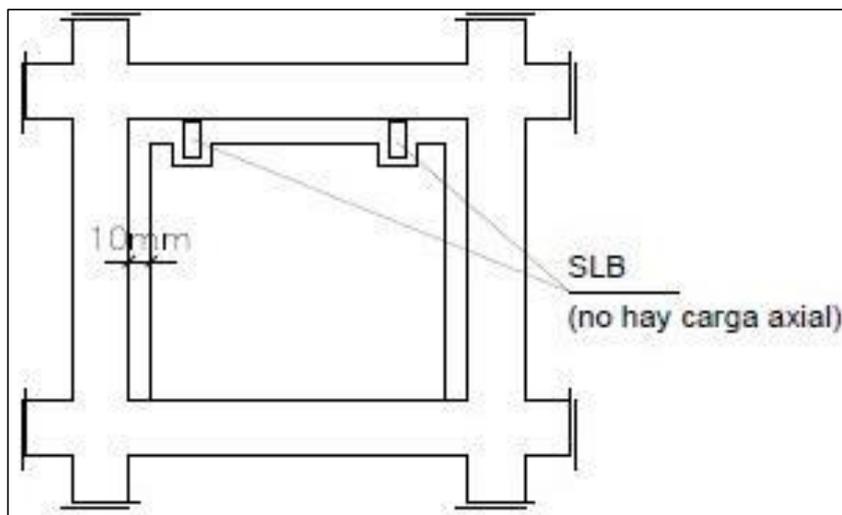


Figura 1-14: Colocación de dispositivos SLB dentro de un sistema aporticado o de un sistema de albañilería. Fuente: Bozzo et. al (2015).

En el caso de edificaciones construidas con base en pórticos de concreto armado o albañilería confinada, lo más recomendable es colocar los dispositivos de disipación de energía mediante el uso de un sistema de muros desacoplados, tal como se muestra en la Figura 1-14. La idea esencial de este acople es lograr que los dispositivos de disipación de energía absorban las fuerzas cortantes inducidas por la acción de un sismo, por lo que esta disposición presenta una configuración ideal para dicho objetivo.

#### 1.6.17 Requerimientos de diseño de acuerdo con ASCE 7-10

El cortante basal sísmico,  $V$ , de la estructura en una dirección dada se determinará como la combinación de componentes modales,  $V_M$ , además debe cumplir que:

$$V \geq V_{\min}$$

El cortante basal sísmico,  $V$ , de la estructura será determinada por la suma del método de la raíz cuadrada (SRSS) o la combinación cuadrática completa de componentes cortante en la base modal,  $V_m$ .

### 1.6.18 Cortante basal Modal

Cortante modal en la base del modo  $n$ -ésimo de vibración,  $V_m$ , de la estructura en la dirección de interés se fijará de acuerdo a las siguientes ecuaciones:

$$V_m = C_m \overline{W}$$

$$\overline{W}_m = \frac{(\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im})^2}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im}^2}$$

Dónde:

$C_m$  = coeficiente de respuesta sísmica de la  $n$ -ésimo de modo de vibración de la estructura en la dirección de interés.

$\overline{W}_m$  = Peso sísmica eficaz del modo  $n$ -ésimo de la vibración de la estructura.

### 1.6.19 Factor de Participación Modal

El factor de participación modal del  $n$ -ésimo modo de vibración,  $\Gamma_m$ , de la estructura en la dirección de interés se fijará de acuerdo con la siguiente expresión:

$$\Gamma_m = \frac{\overline{W}_m}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{im}}$$

Dónde:

$\phi_{im}$  = Amplitud desplazamiento del i-esimo nivel de la estructura en el modo n-esimo de vibración en la dirección de interés, normalizado para unidad de nivel de techo.

### 1.6.20 Modo Fundamental; Coeficiente de Respuesta

El Coeficiente de Respuesta Sísmica en el modo fundamental ( $m = 1$ ),  $C_{s1}$ , en la dirección de interés serán determinadas de acuerdo con las ecuaciones.

Para  $T_{1D} < T_s$

$$C_{s1} = \left(\frac{R}{C_d}\right) \frac{S_{DS}}{\Omega_0 B_{1D}}$$

Para  $T_{1D} \geq T_s$

$$C_{s1} = \left(\frac{R}{C_d}\right) \frac{S_{D1}}{T_{1D}(\Omega_0 B_{1D})}$$

### 1.6.21 Modo Fundamental Efectivo; Determinación del Periodo Natural

El modo fundamental efectivo ( $m = 1$ ) será el periodo para un sismo de diseño, TD1, y para el sismo máximo esperado MCER, T1M, se basará en cualquiera consideración explícita en la post-cedencia cuyas características de fuerza-deformación de la estructura se determinará de acuerdo con las siguientes expresiones:

$$T_{1D} = T_1 \sqrt{\mu_D}$$

$$T_{1M} = T_1 \sqrt{\mu_M}$$

### 1.6.22 Distorsiones

Se evalúan si las derivas máximas de entrepiso obtenidas usando el sistema de amortiguamiento caracterizados por el factor “C” y “ $\alpha$ ” estimados en la primera iteración han alcanzado la deriva objetivo. Si no fuera el caso, se procede a iterar el valor de las constantes “C” y “ $\alpha$ ”, la cantidad de dispositivos e inclusive la posición ó disposición de los mismos; en este orden de importancia cuantas veces sea necesario.

### 1.6.23 Comportamiento bilineal del disipador

Para determinar adecuadamente las propiedades mecánicas de diferentes tipos de disipadores han sido investigadas intensamente elaborándose distintos modelos matemáticos histeréticos y viscoelásticos, que representen mejor el comportamiento dinámico.

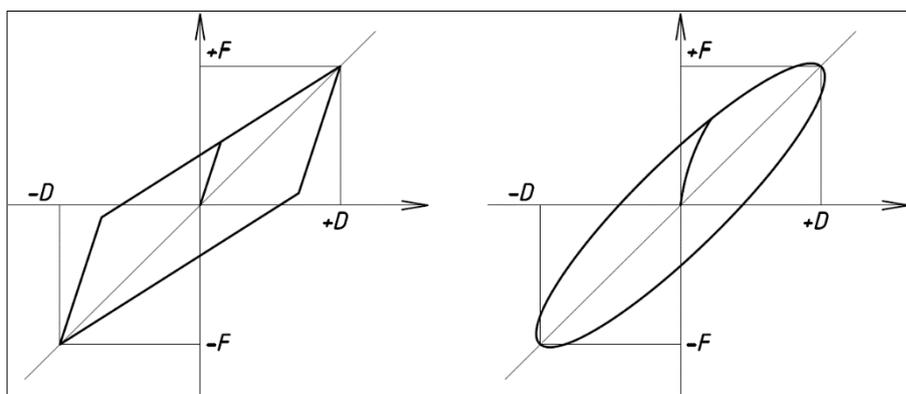


Figura 1-15 : Modelo Histerético y Viscoelástico

Para el modelo histerético se encontró que las propiedades de los disipadores eran independientes de la velocidad. En este modelo los desplazamientos máximos y mínimos ocurren al cortante máximo y mínimo respectivamente (Gaxiola et. al. 2015)

Para el modelo viscoelástico se encontró que las propiedades de los disipadores eran dependientes de la velocidad, aquí los cortantes máximos y mínimos ocurren antes de los desplazamientos máximos y mínimos respectivamente (Gaxiola et. al. 2015).

Sin embargo, el modelo que ha sido más aceptado para la investigación y el diseño es el modelo bilineal, esto se debe a que caracteriza las propiedades mecánicas de los disipadores adecuadamente (Aguiar et. al. 2016)

La determinación de un modelo bilineal se inicia definiendo tres parámetros básicos, según las propiedades de cada tipo de disipador cabe resaltar que se ocupan ecuaciones específicas para calcular cada uno de los parámetros básicos.

Otras propiedades del disipador tales como amortiguamiento efectivo y rigidez vertical son también introducidas para el desarrollo del modelo del disipador.

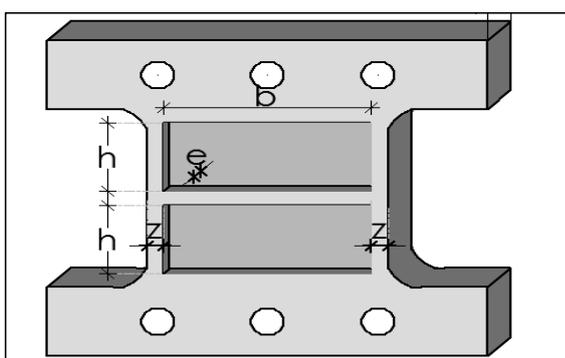


Figura 1-16: Disipador SLB de dos ventanas.

Para la generación de la curva histerética de un disipador de 2 ventanas se emplearán las siguientes expresiones a partir de las dimensiones geométricas de estos.

Rigidez al corte de ventana:

$$k_w = n \frac{GA}{h}$$

$$G = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y$$

$$A = be$$

Donde:

$n$ : número de ventanas.

$A$ : área de sección transversal que trabaja a corte.

$b$ : base de la ventana.

$e$ : espesor de la ventana.

$h$ : altura de la ventana.

$G$ : módulo de corte.

**Rigidez al corte del marco:**

$$k_r = np \frac{12EI}{h^3}$$

$$I = \frac{tz^3}{12}$$

Donde:

$n_p$ : número de elementos verticales que contienen las ventanas.

$E$ : módulo de elasticidad del material.

$I$ : momento de inercia a flexión.

$t$ : espesor del marco.

$z$ : ancho del marco.

$h$ : altura de la ventana.

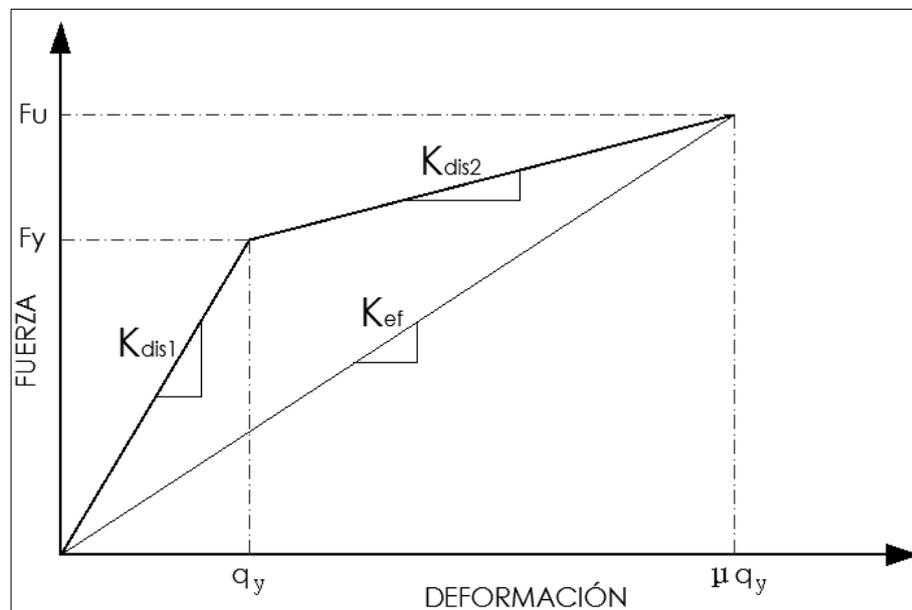


Figura 1-17: Modelo bilineal para Disipador SLB de dos ventanas.

Como el desplazamiento del marco es igual al desplazamiento de la ventana, estos dos elementos están trabajando en paralelo. Luego la rigidez elástica,  $K_{dis1}$ , del modelo bilineal es la suma de los dos.

$$K_{dis1} = k_w + k_r$$

La rigidez plástica  $K_{dis2}$  es igual a  $k_r$  ya que solo trabaja el marco en el rango no lineal.

$$K_{dis2} = k_r$$

La fuerza de fluencia  $F_y$  es igual a la fuerza a nivel de fluencia de la ventana  $F_w$  más la fuerza del marco  $F_r$ .

$$F_w = n\tau A_w$$

$$\tau = \frac{1}{\sqrt{3}} f_y$$

Donde:

$n$ : es el número de ventanas.

$\tau$ : es el esfuerzo de corte.

$f_y$ : es el esfuerzo de fluencia del material.

El desplazamiento en la fluencia del dissipador  $q_y$  es igual a:

$$q_y = \frac{F_r}{k_r} = \frac{F_w}{k_w}$$

$$F_r = \frac{k_r}{k_w} F_w$$

$$F_y = n\tau A_w + \frac{k_r}{k_w} F_w$$

Finalmente, la rigidez efectiva del disipador SLB para efectos de análisis lineales está dada por la siguiente expresión:

$$q_y = \mu q_y$$

$$F_u = F_y + k_{dis1} q_y (\mu - 1)$$

$$k_{ef} = \frac{F_u}{\mu q_y}$$

## 1.7 Matriz de Consistencia

MATRIZ DE CONSISTENCIA

FORMULACION DEL PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLE INDEPENDIENTE	INDICADORES
¿Es posible el uso de disipadores de energía metálicos SLB, como técnica para el reforzamiento de una estructura apuntalada de concreto armado de cinco niveles?	Demostrar que los dispositivos de disipación de energía SLB, permiten la mejora de la respuesta sísmica de edificaciones de pórticos de concreto armado, vulnerables a sismos.	Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible la mejora de la respuesta sísmica un edificio de pórticos de concreto armado de cinco niveles frente a sismos.	Disipadores de energía metálicos SLB (X)	Dimensiones medidas en cm. Esfuerzos de fluencia medida en Ton/m.
<b>Problemas específicos</b>	<b>Objetivos específicos</b>	<b>Hipótesis específicas</b>	<b>Variable Dependiente</b>	<b>Indicadores</b>
¿Es posible la reducción de los desplazamientos laterales mediante el uso de disipadores metálicos SLB, en una edificación de pórticos de concreto armado de cinco niveles?	Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de los desplazamientos laterales, inducidos por la acción de un sismo en un edificio apuntalado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.	Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de los desplazamientos laterales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.		Fuerza lateral máxima en la estructura, medida en t. Fuerza requerida para desplazar horizontalmente a la estructura, medida en t/cm.
¿Es posible la reducción de las distorsiones laterales mediante el uso de disipadores metálicos SLB, en una edificación de pórticos de concreto armado de cinco niveles?	Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de las distorsiones laterales, inducidas por la acción de un sismo en un edificio apuntalado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.	Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de las distorsiones laterales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.	Reforzamiento estructural de un edificio apuntalado de concreto armado de cinco niveles vulnerable ante movimientos sísmicos (Y)	Desplazamiento máximo que un elemento es capaz de tolerar sin fallar, medido en cm.
¿Es posible la reducción de las fuerzas sísmicas en los elementos estructurales de un pórtico de concreto armado de cinco niveles, mediante el uso de disipadores metálicos SLB?	Demostrar que el uso de disipadores metálicos SLB, permite la reducción de las fuerzas internas en los elementos estructurales, inducidos por la acción de sismos en un edificio apuntalado de concreto armado de cinco niveles vulnerable a sismos.	Si se utilizan disipadores metálicos SLB, entonces, es posible lograr reducciones de las fuerzas internas en los elementos estructurales en pórticos de concreto armado vulnerables frente a sismos.		

TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACION	UNIVERSO, POBLACION, MUESTRA	DISEÑO DE INVESTIGACION	TECNICAS DE RECOLECCION DE INFORMACION	INSTRUMENTOS DE RECOLECCION DE INFORMACION
<p><b>1. Tipo de investigación</b></p> <p>El tipo de investigación es aplicada con un enfoque cuantitativo, en razón de ello se abocará en la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica, con la finalidad de aportar evidencia en la explicación tentativa al problema de la investigación.</p> <p><b>2. Nivel de investigación</b></p> <p>El nivel de investigación es el diseño no experimental.</p>	<p><b>Universo</b></p> <p>El universo de esta investigación es unitario y está constituido de una estructura de pórticos de concreto armado de cinco niveles.</p> <p><b>Población</b></p> <p>La población del estudio consiste en un edificio de pórticos de concreto armado de cinco niveles, ubicados en el distrito de Comas, Lima, Perú.</p> <p><b>Muestra</b></p> <p>La muestra elegida es una edificación de cinco niveles, la que está construida con base en pórticos de concreto armado</p>	<p><b>Tipo de diseño</b></p> <p>El diseño de investigación es el diseño no experimental en razón que, para el desarrollo de dicha investigación, no se elaborará una situación controlada en la que el investigador manipule de forma intencionada la variable independiente, en consecuencia, no existirá intervención planificada del investigador sobre el control de las variables durante el estudio.</p>	<p><b>Técnicas Bibliográficas</b></p> <p><b>Técnicas de campo</b></p> <p>La observación</p>	<p><b>Instrumentos:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Material Bibliográfico.</li> <li>• Internet</li> </ul> <p><b>Instrumentos de campo</b></p> <p>Libreta de campo, Registro de datos de los elementos estructurales del edificio aportado de concreto armado.</p>

# CAPÍTULO II

---

“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”

## 2. MARCO METODOLÓGICO

### 2.1 Tipo y nivel de investigación

#### 2.1.1 Tipo de Investigación:

La presente Tesis proyecta un tipo de investigación aplicada con un enfoque cuantitativo, en razón de ello se abocará en la recolección de datos para probar una hipótesis con base en la medición numérica, con la finalidad de aportar evidencia en la explicación tentativa al problema de la investigación.

#### 2.1.2 Diseño de Investigación:

El diseño de investigación que se empleó para el desarrollo de la tesis es el DISEÑO NO EXPERIMENTAL en razón que, para el desarrollo de dicha investigación, no se elaboró una situación controlada en la que el investigador manipule de forma intencionada la variable independiente, en consecuencia, no existió intervención planificada del investigador sobre el control de las variables durante el estudio.

En la presente investigación se recolecto la información de una realidad ya dada, en este caso se recolecto información respecto a una vivienda vulnerable ante movimientos sísmicos que se ha construido en el distrito de Comas. Se recolecto información referente a las dimensiones en planta, niveles de la edificación, distribución de los elementos verticales, y la evaluación de los materiales usados en dicha construcción; finalmente se evaluó el efecto que produce el uso de disipadores de energía SLB, en la respuesta sísmica, en términos de desplazamientos, distorsiones laterales y fuerzas internas.

## **2.2 Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se eligió una edificación de pórticos de concreto armado ubicada dentro de la circunscripción de la jurisdicción administrativa del distrito de Comas, se procedió al estudio del nivel de vulnerabilidad que presenta dicha edificación. Posteriormente se propuso el uso de disipadores de energía SLB, como técnica para reforzar las estructuras y así disminuir los niveles de vulnerabilidad frente a las acciones sísmicas.

### **2.2.1 Fuentes**

Los datos que se obtuvieron fueron producto de la Observación de Campo no Experimental; La observación de campo no experimental (entendida como: aquella que se realiza cuando el investigador observa de manera neutral sin involucrarse en el medio o realidad en la que se realiza el estudio), es el recurso principal que se utilizó en la investigación, dicha observación de la realidad es la fuente de la información que el investigador utilizó para el desarrollo de la investigación; se realizó en los lugares donde ocurren los hechos o fenómenos que se investigan.

# CAPÍTULO III

### 3. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

#### 3.1 Características de la edificación

Tabla 3-1: Datos generales de la edificación. Fuente: Elaboración propia.

Características de la edificación analizada	
Sistema estructural	Pórticos de concreto armado
Número de pisos	cinco
Largo (m)	18.6
Ancho (m)	10.9
Área (m)	202.74
Columnas (cm)	40x60
Vigas (cm)	25x40

Tabla 3-2: Cargas aplicadas por piso. Fuente: Elaboracion propia

Piso	Altura (m)	Acabados (kg/m <sup>2</sup> )	Tabique (kg/m <sup>2</sup> )	SC piso típico (kg/m <sup>2</sup> )	SC azotea (kg/m <sup>2</sup> )	Dead (kg/m <sup>2</sup> )	Live (kg/m <sup>2</sup> )
1	4.0	100	100	200	0	200	200
2	3.5	100	100	200	0	200	200
3	3.5	100	100	200	0	200	200
4	3.5	100	100	200	0	200	200
5	3.5	0	100	0	100	100	100

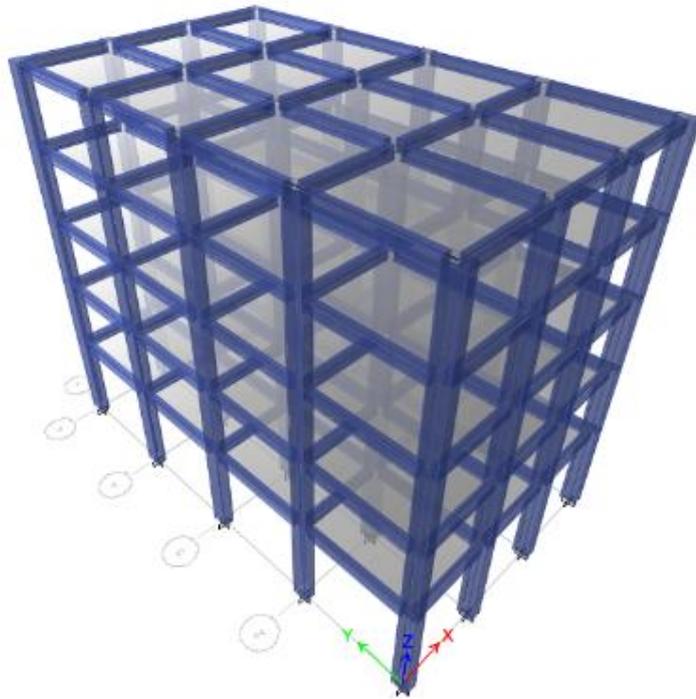


Figura 3-1: Modelo tridimensional de la estructura analizada, generada en el software ETABS.

Fuente: Elaboración propia.

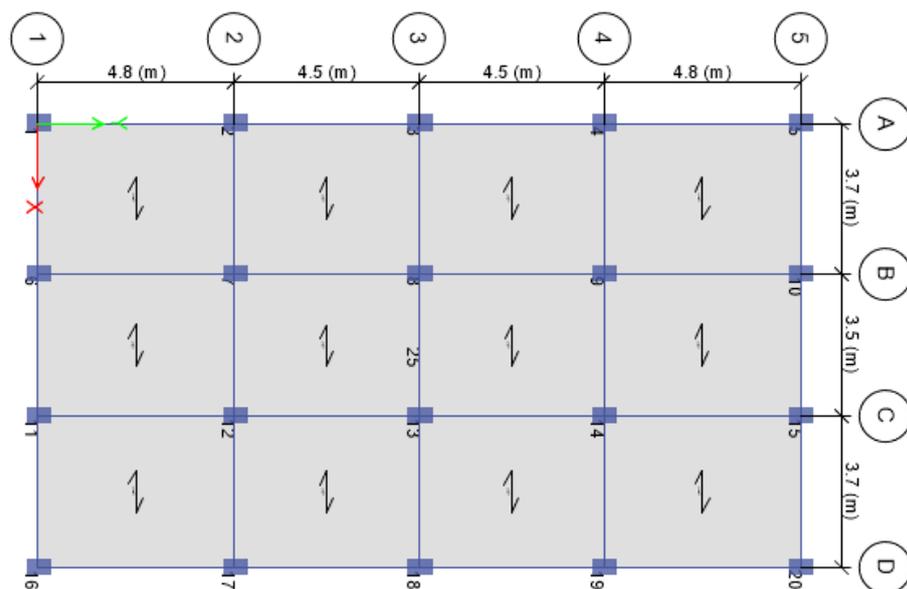


Figura 3-2: Planta típica de la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

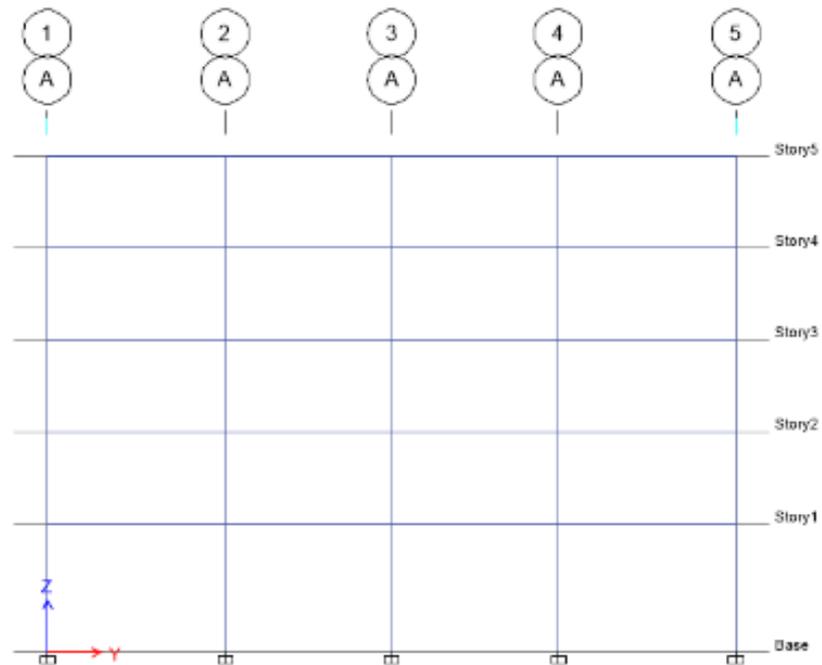


Figura 3-3: Elevación características de la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

### 3.2 Evaluación del desempeño sísmico actual



Figura 3-4: Sección transversal típica de las columnas existentes en la estructura analizada.

Fuente: Elaboración propia.

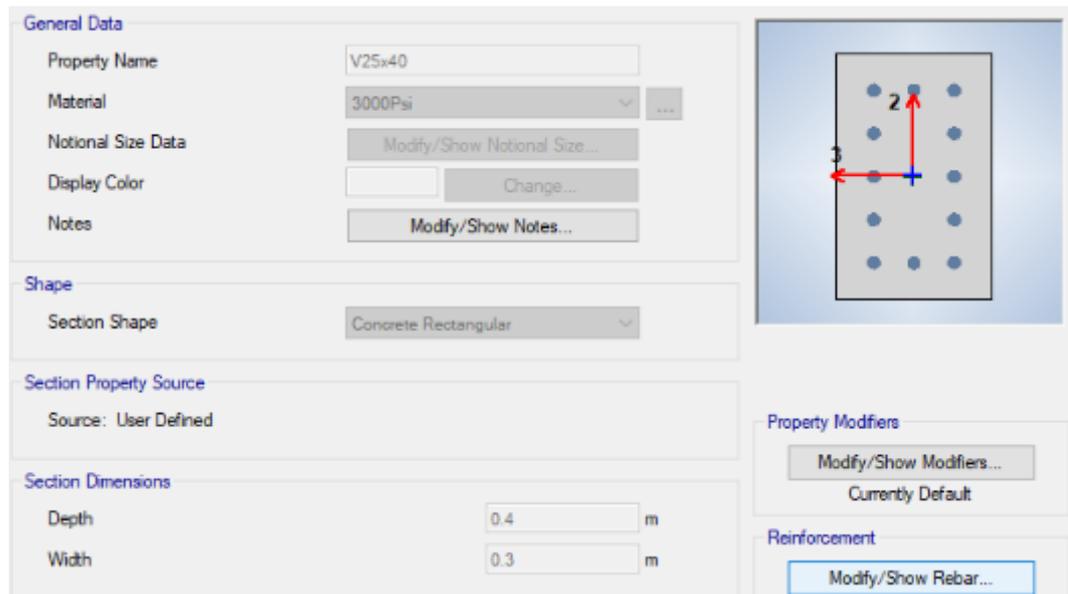


Figura 3-5: Sección transversal de la viga típica existente en la estructura analizada. Fuente:

Elaboración propia.

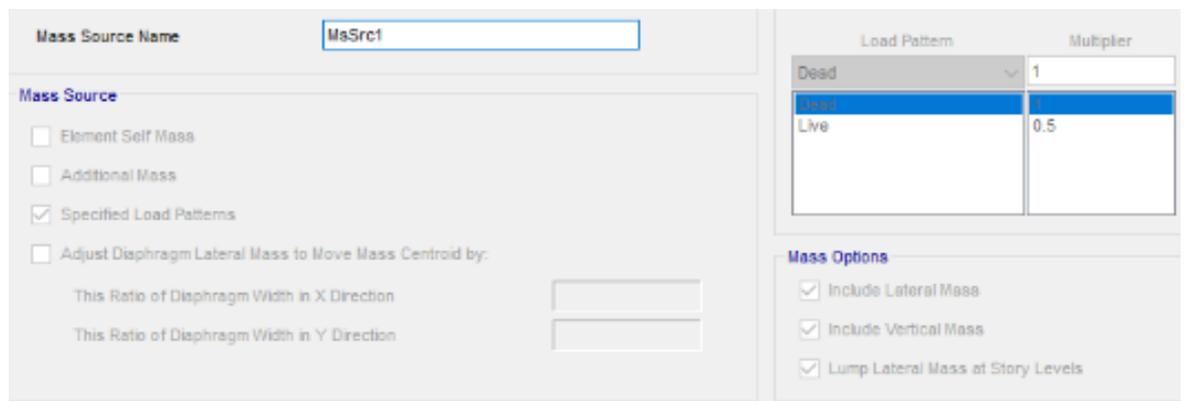


Figura 3-6: Definición de las masas sísmicas a partir de las cargas muertas y vivas. Fuente:

Elaboración propia.

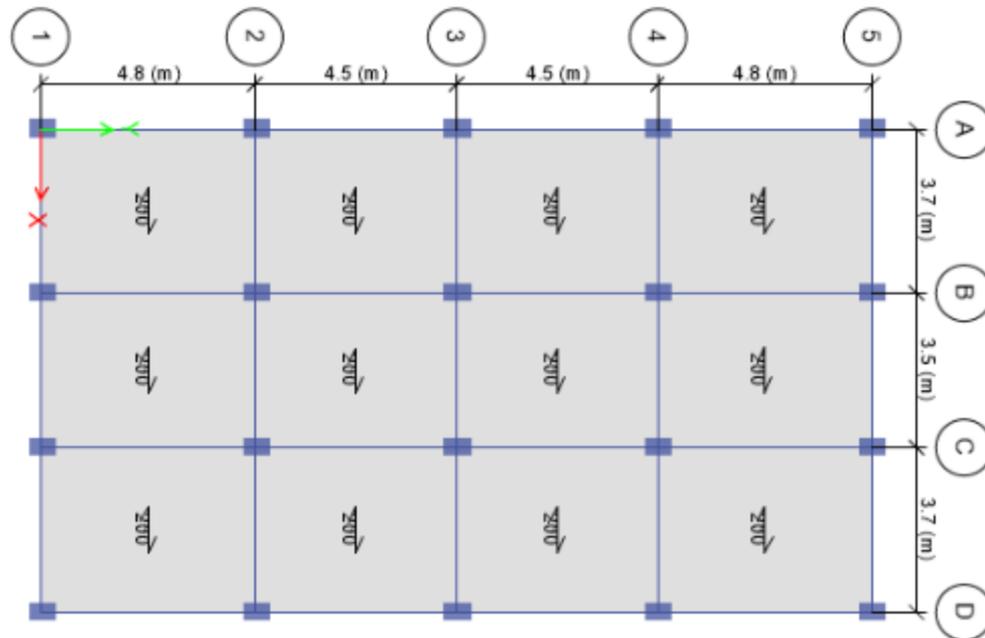


Figura 3-7: Aplicación de cargas muertas y vivas en un piso típico. Fuente: Elaboración propia.

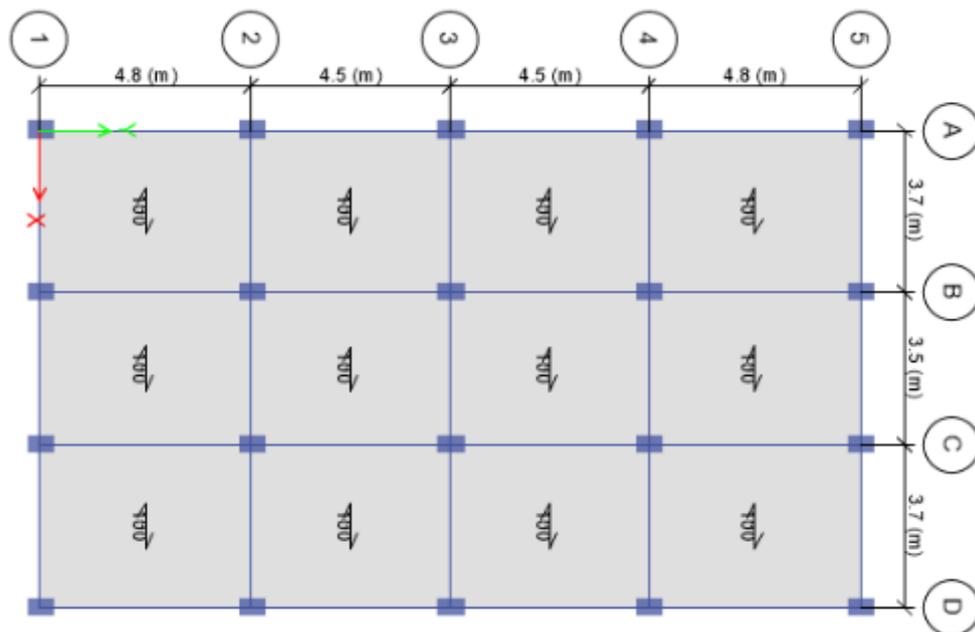


Figura 3-8: Aplicación de las cargas muertas y vivas en la azotea. Fuente: Elaboración propia.

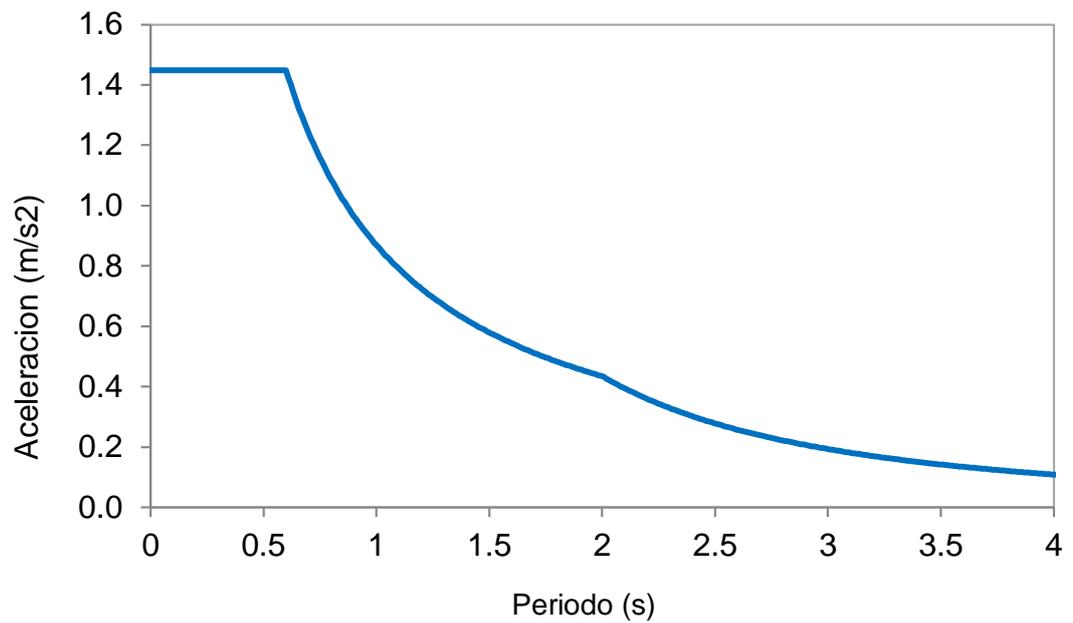


Figura 3-9: Espectro de aceleraciones definidos para la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

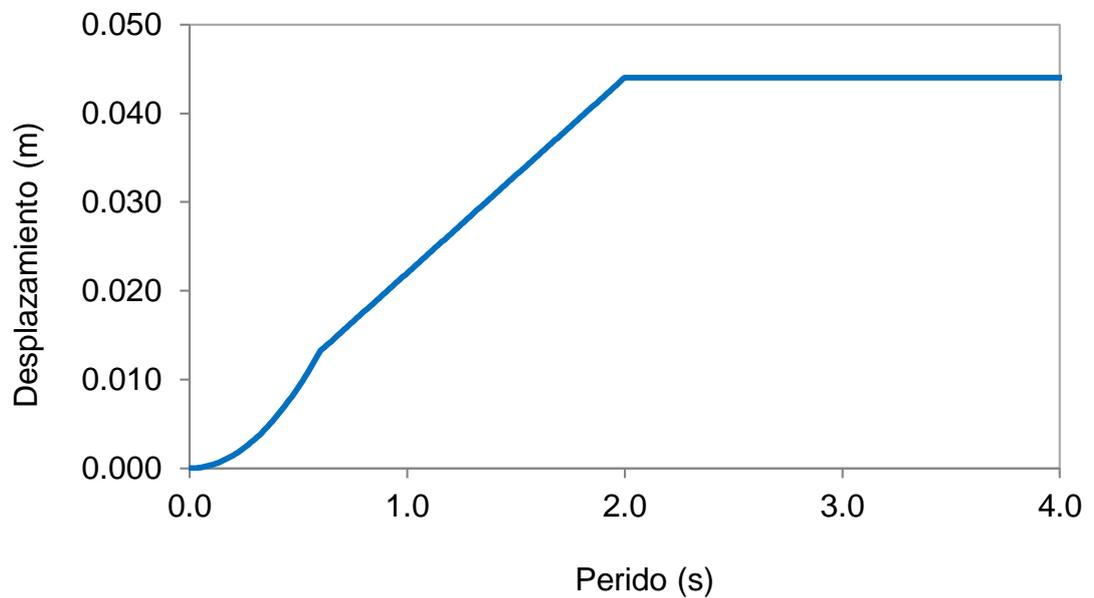


Figura 3-10: Espectro de desplazamientos asociado a la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

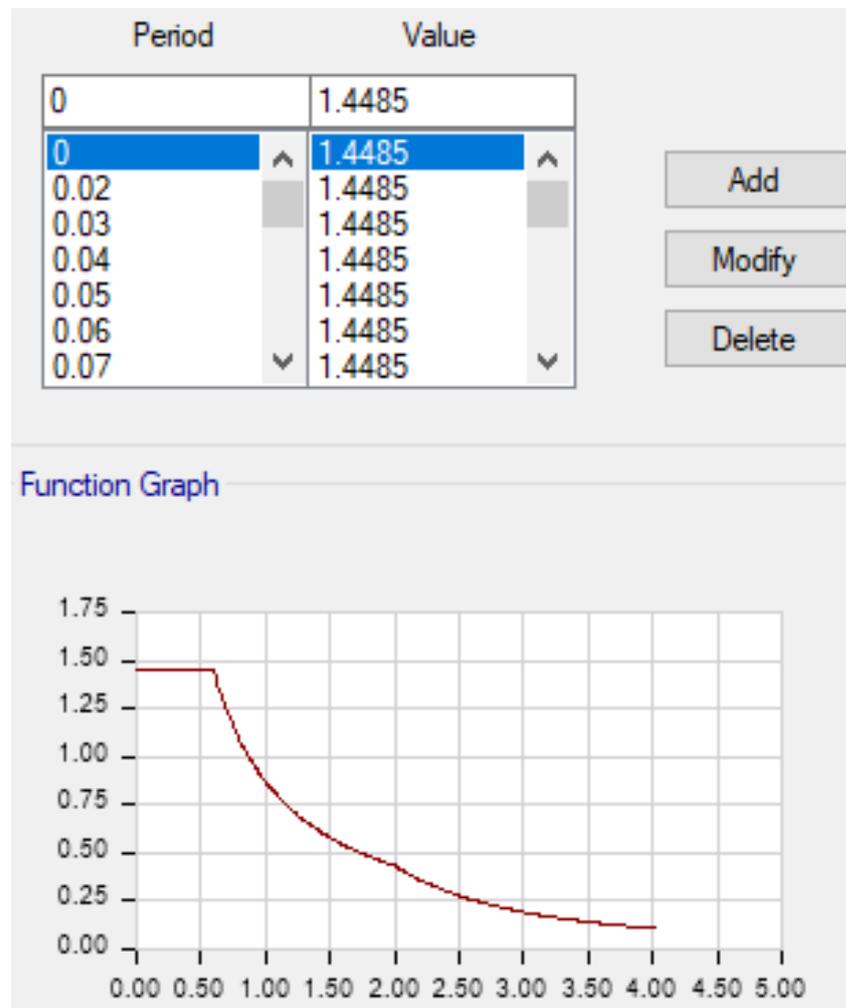


Figura 3-11: Ingreso del espectro de aceleraciones para el análisis modal espectral. Fuente:

Elaboración propia.

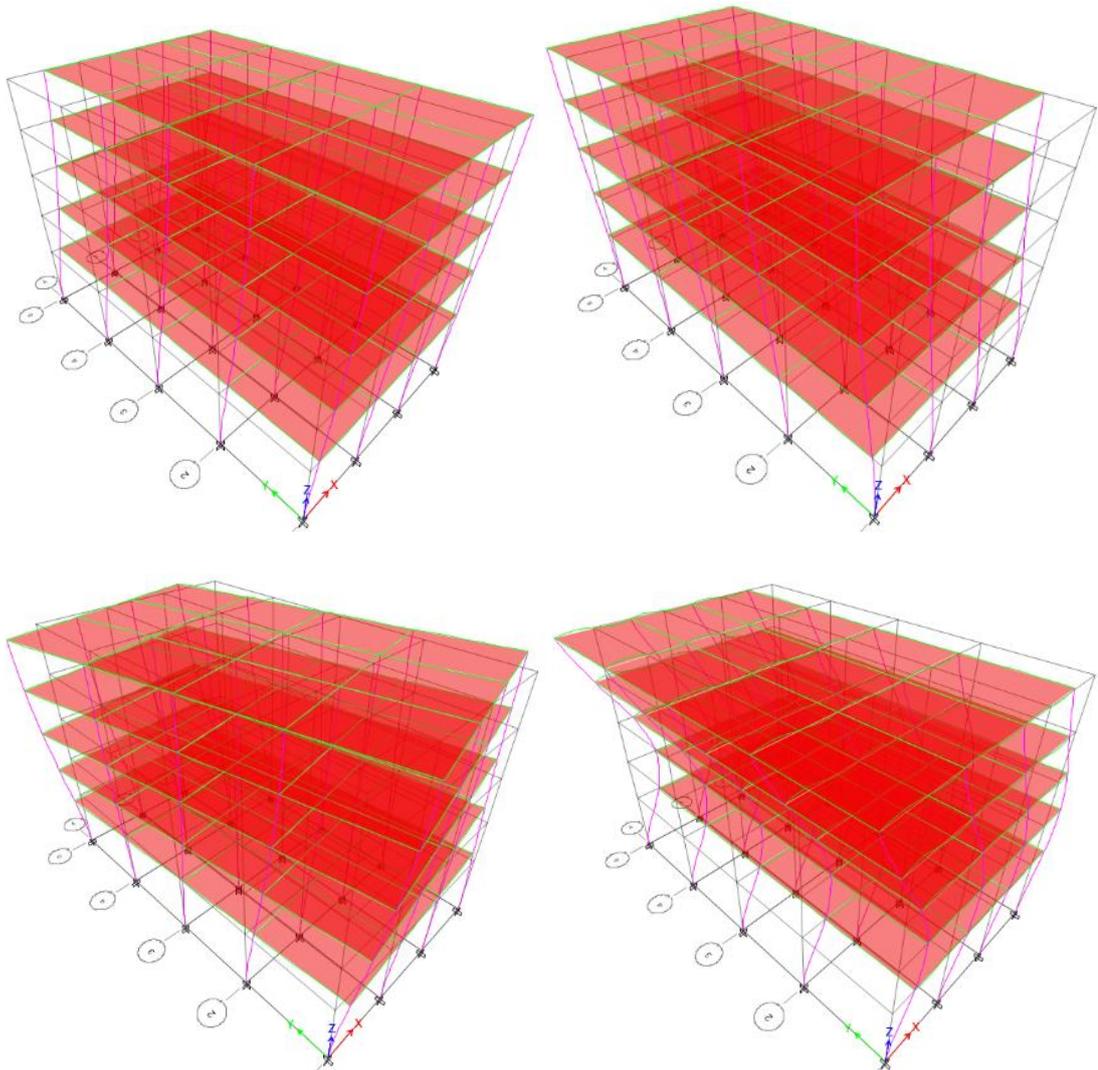


Figura 3-12: Cuatro primeras formas de modo de la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

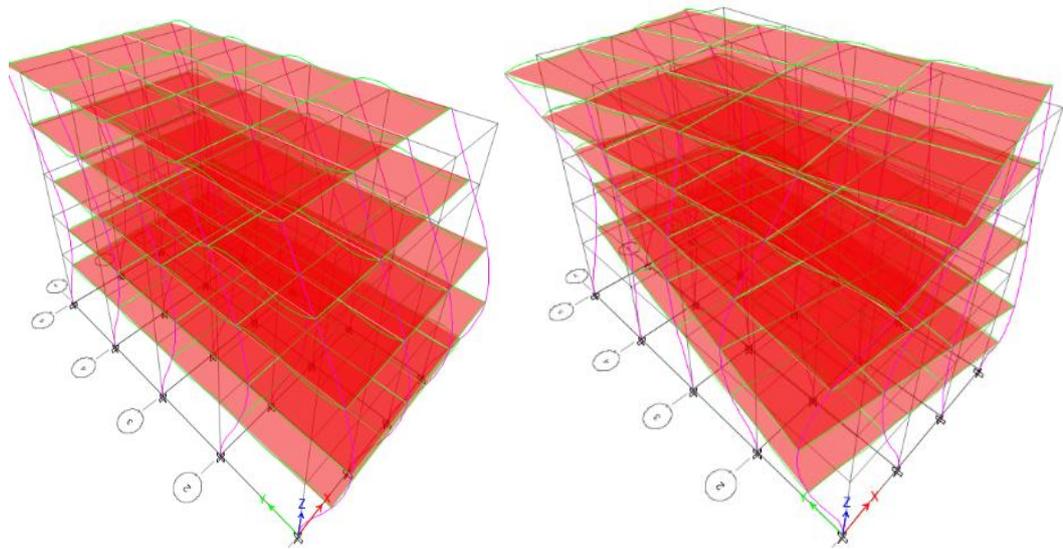


Figura 3-13: Quinta y sexta formas de modo de la estructura analizada. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-3: Masas típicas de entrepiso. Fuente: Elaboración propia.

Story	UX	UY	UZ
	tonf-s <sup>2</sup> /m	tonf-s <sup>2</sup> /m	tonf-s <sup>2</sup> /m
Story5	14.8	14.8	14.8
Story4	19.37	19.37	19.37
Story3	19.37	19.37	19.37
Story2	19.37	19.37	19.37
Story1	19.96	19.96	19.96
Base	2.06	2.06	2.06

Tabla 3-4: Formas de modo y factores de participación modal. Fuente:

Elaboración propia.

Modo	Periodo	UX	UY	Sum UX	Sum UY
	sec				
1	0.68	0.88	0.00	0.88	0.00
2	0.62	0.00	0.84	0.88	0.84
3	0.58	0.00	0.00	0.88	0.84
4	0.21	0.09	0.00	0.97	0.84
5	0.18	0.00	0.11	0.97	0.95
6	0.17	0.00	0.00	0.97	0.95
7	0.11	0.02	0.00	0.99	0.95
8	0.09	0.00	0.00	0.99	0.95
9	0.09	0.00	0.03	0.99	0.99
10	0.07	0.01	0.00	1.00	0.99
11	0.06	0.00	0.00	1.00	0.99
12	0.06	0.00	0.00	1.00	0.99

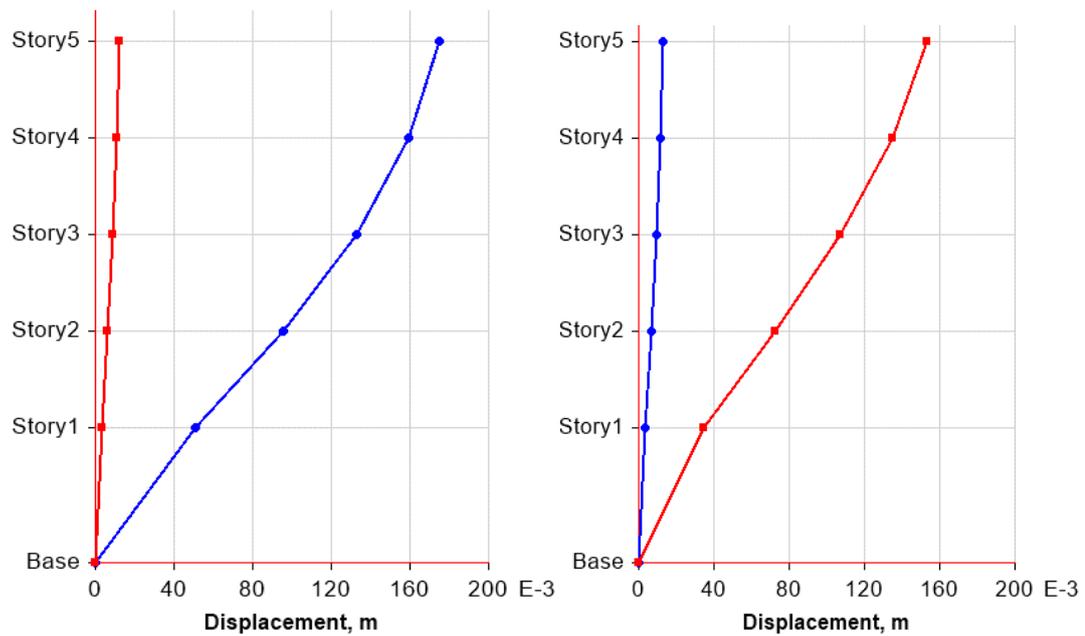


Figura 3-14: Desplazamientos máximos encontrados frente a la acción sísmica considerada.

Fuente: Elaboración propia.

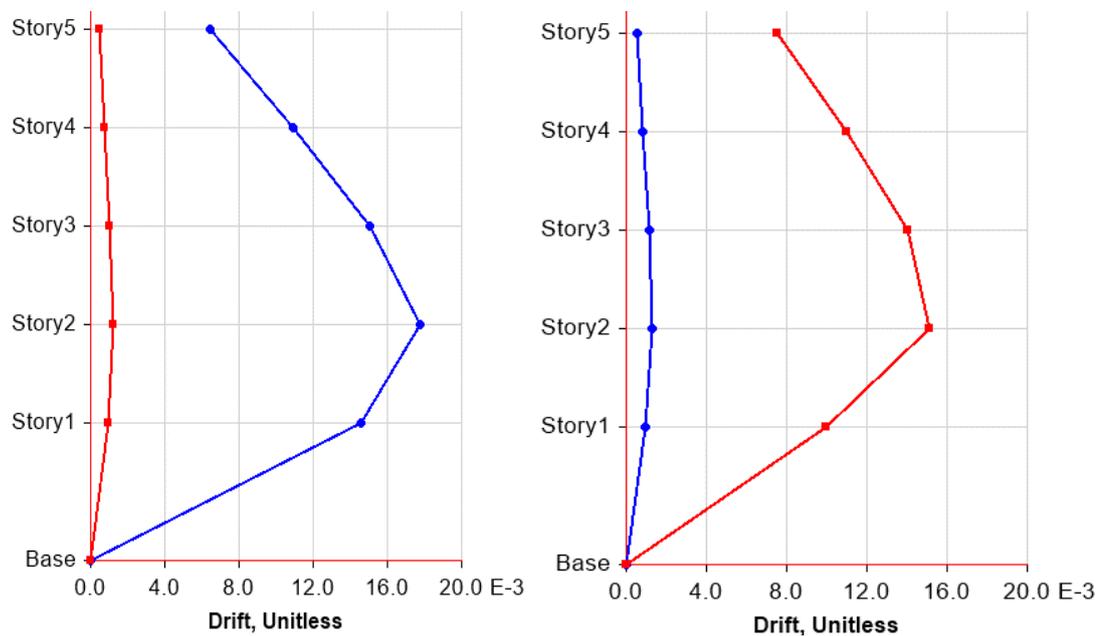


Figura 3-15: Distorsiones máximas encontrados frente a la acción sísmica considerada. Fuente:

Elaboración propia.

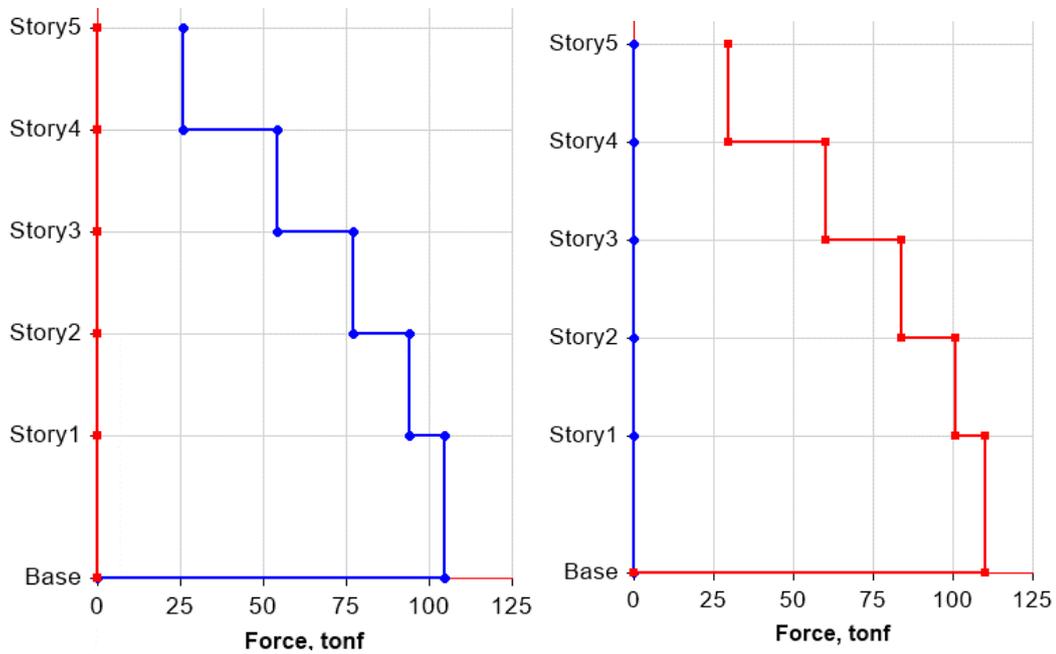


Figura 3-16: Máximas fuerzas cortantes encontradas frente a la acción sísmica considerada.

Fuente: Elaboración propia.

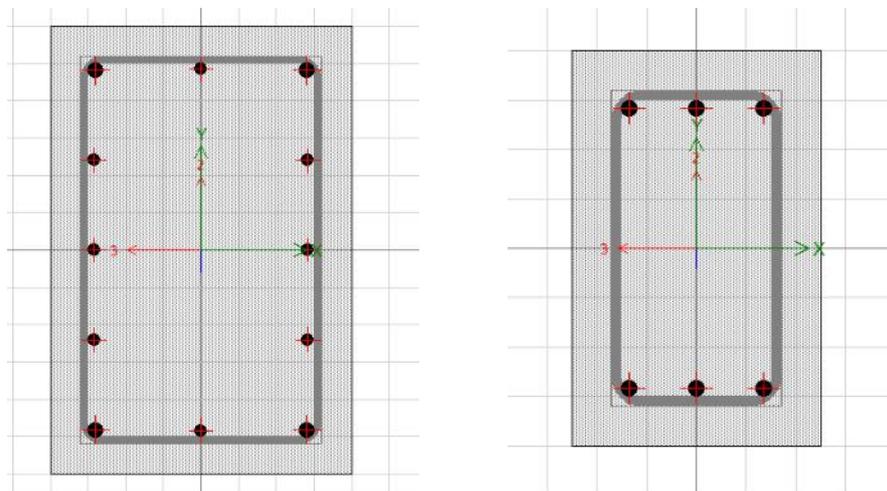


Figura 3-17: Secciones transversales típicas de las columnas y vigas. Fuente: Elaboración propia.

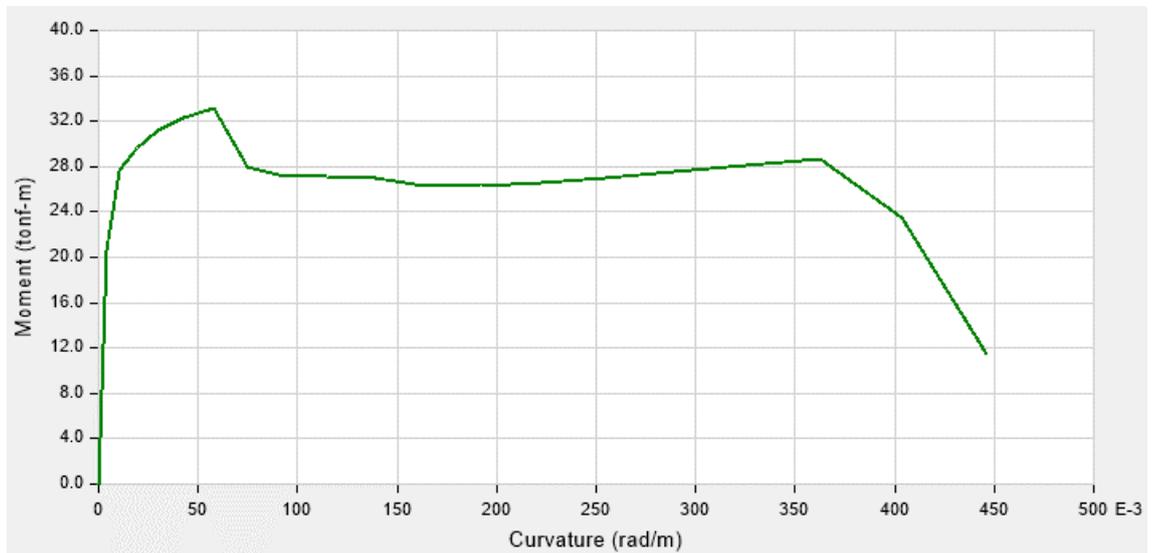


Figura 3-18: Diagrama momento curvatura de las columnas existentes en el eje fuerte. Fuente:

Elaboración propia.

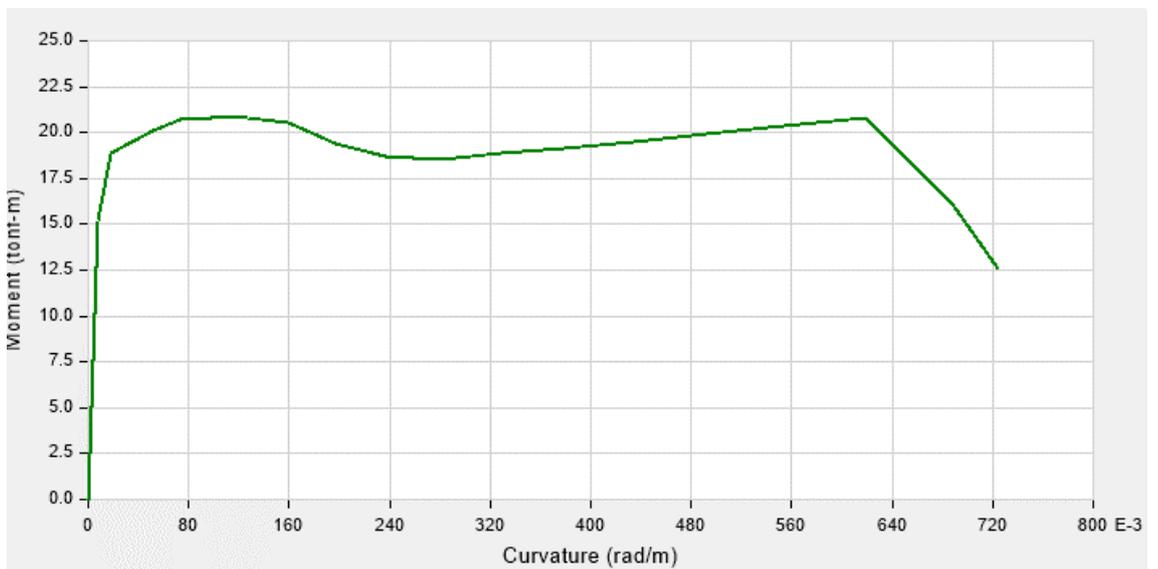


Figura 3-19: Diagrama momento curvatura de la columna típica en el eje débil. Fuente:

Elaboración propia.

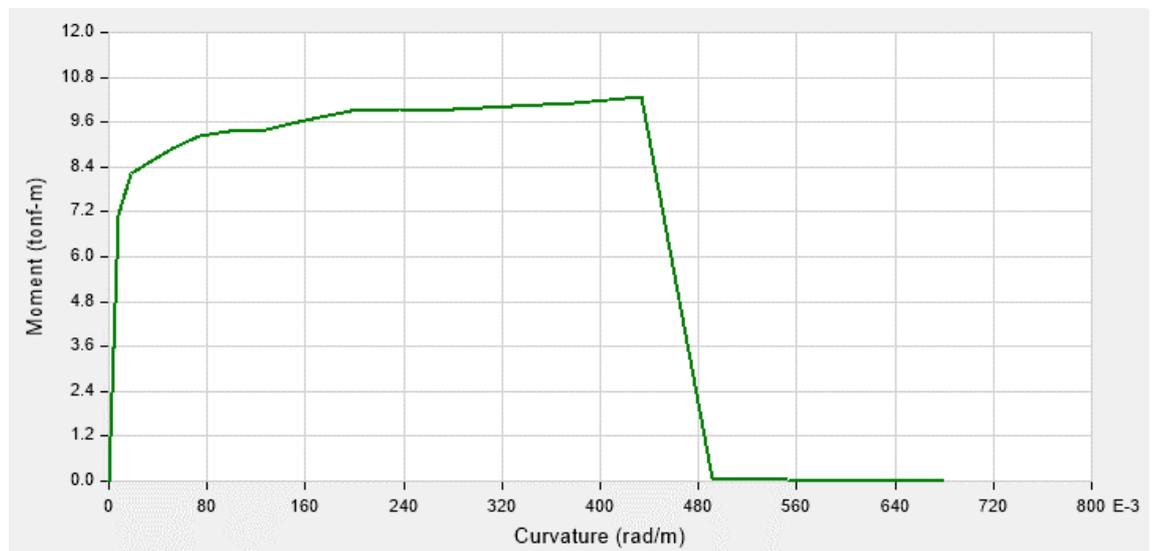


Figura 3-20: Diagrama momento curvatura de la viga típica. Fuente: Elaboración propia.

Point	Moment/SF	Curvature/SF
E-	-0.2	-0.025
D-	-0.2	-0.015
C-	-1.1	-0.015
B-	-1	0
A	0	0
B	1	0
C	1.1	0.015
D	0.2	0.015
E	0.2	0.025

Symmetric

Moment - Rotation  
 Moment - Curvature  
 Hinge Length  m  
 Relative Length

Hysteresis Type and Parameters

Hysteresis

No Parameters Are Required For This Hysteresis Type

Load Carrying Capacity Beyond Point E

Drops To Zero  
 Is Extrapolated

Scaling for Moment and Curvature

Use Yield Moment    Moment SF    Positive:     Negative:  tonf-m  
 Use Yield Curvature    Curvature SF    Positive:     Negative:  1/m  
 (Steel Objects Only)

Acceptance Criteria (Plastic Curvature/SF)

	Positive	Negative
<input checked="" type="checkbox"/> Immediate Occupancy	<input type="text" value="0.003"/>	<input type="text" value="-0.003"/>
<input type="checkbox"/> Life Safety	<input type="text" value="0.012"/>	<input type="text" value="-0.012"/>
<input type="checkbox"/> Collapse Prevention	<input type="text" value="0.015"/>	<input type="text" value="-0.015"/>

Figura 3-21: Definición de las rotulas plásticas. Fuente: Elaboración propia.

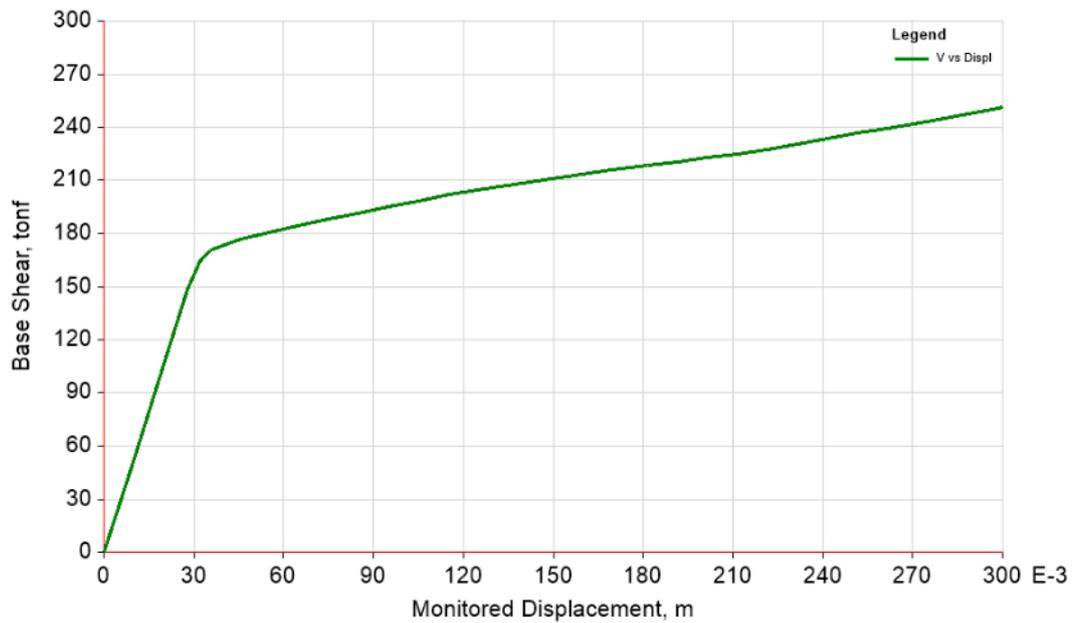


Figura 3-22: Curva de comportamiento en dirección x. Fuente: Elaboración propia.

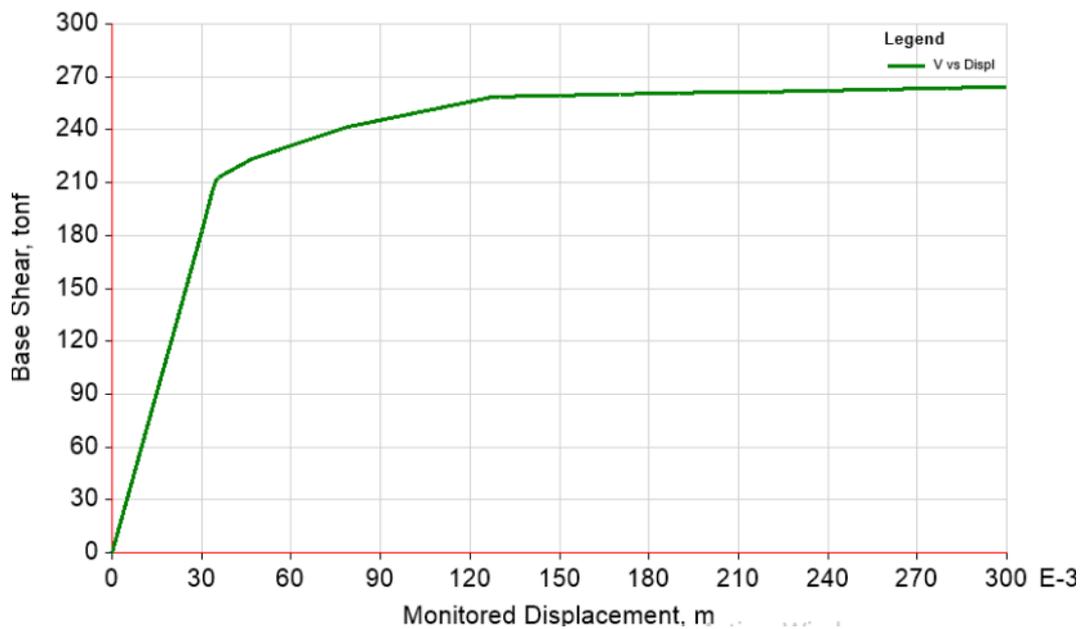


Figura 3-23: Curva de comportamiento en dirección y. Fuente: Elaboración propia.

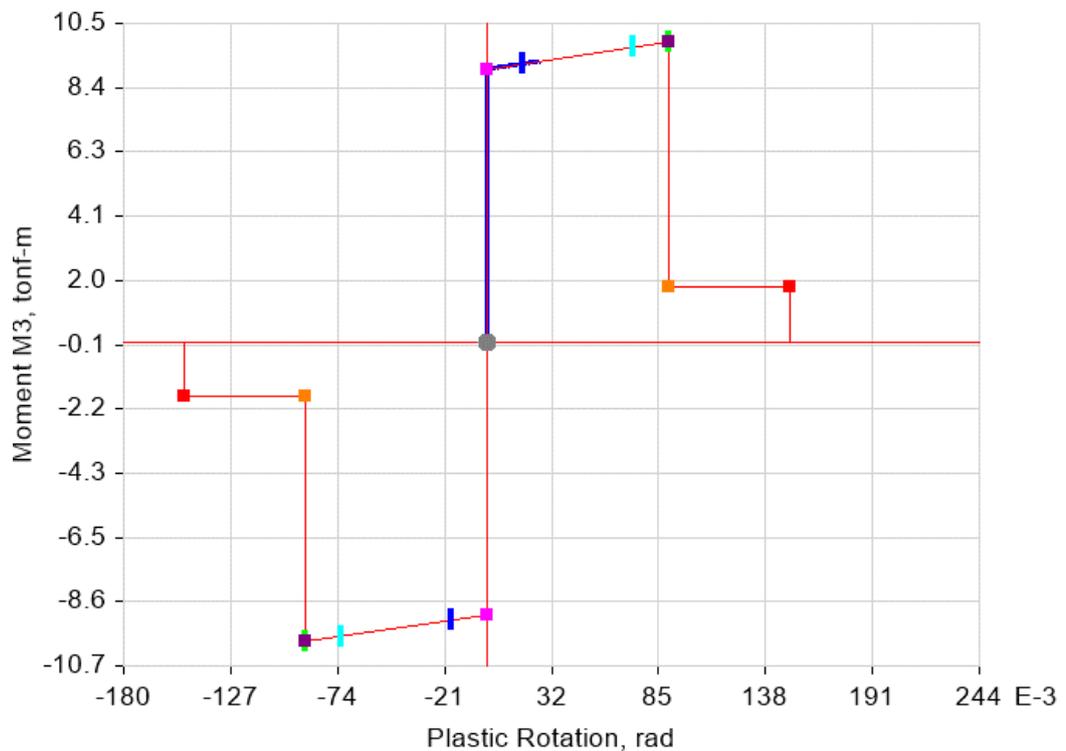


Figura 3-24: Comportamiento no lineal de una viga típica. Fuente: Elaboración propia.

### 1.8 Evaluación del punto de desempeño

El punto de desempeño es una característica que depende, tanto de la estructura como de la demanda sísmica. Nos permite saber el nivel de daño esperado en una estructura específica ante la ocurrencia de un evento sísmico dado.

En el caso de análisis, el análisis estático no lineal nos ha permitido determinar las curvas de capacidad de la estructura analizada. Los resultados obtenidos indican que, ante la ocurrencia de un evento sísmico con un periodo de retorno de 475 años, la estructura sufrirá un daño bastante severo.

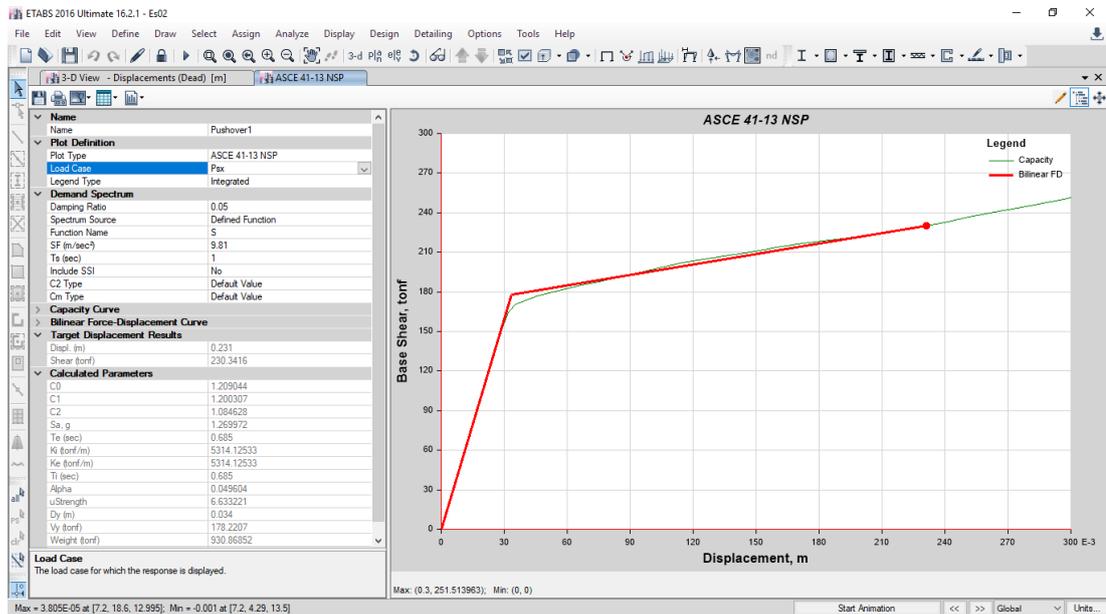


Figura 3-25: Evaluación del punto de desempeño sísmico en dirección X. Fuente:

Elaboración propia.

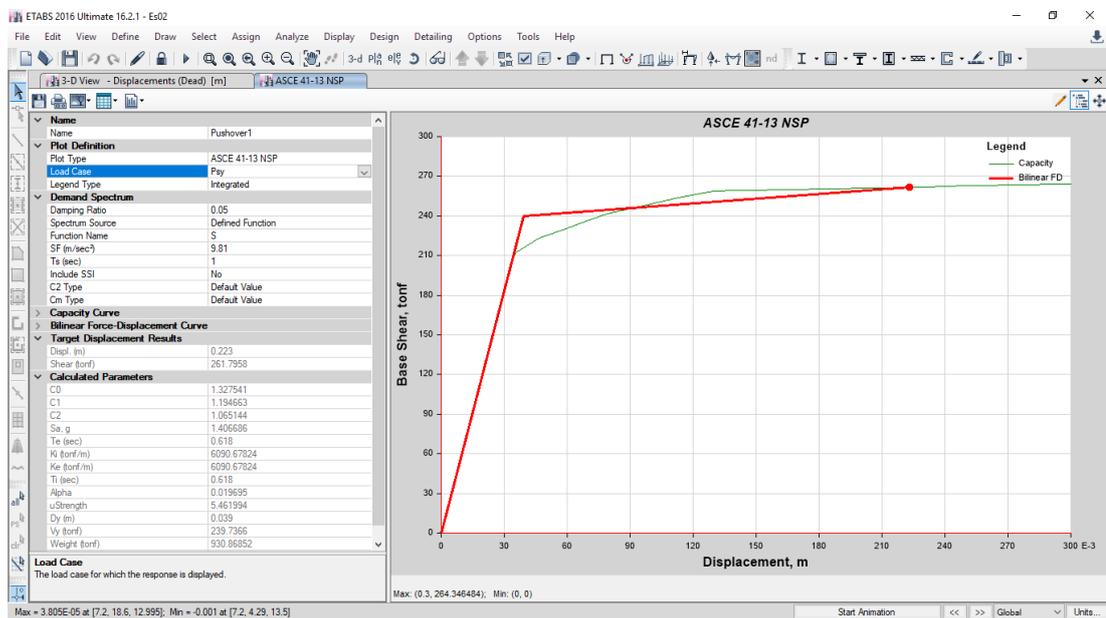


Figura 3-26: Punto de desempeño en dirección Y. Fuente: Elaboración propia.

“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”

### 3.3 Propuesta de reforzamiento

#### 3.3.1 Elección del objetivo de desempeño

Para tener una dirección en la investigación se tuvieron en cuenta algunos aspectos de normas entre ellas la clasificación del SEAOC, y según la cual el edificio en estudio es una Estructura Básica. Elegimos como sismo de diseño un Sismo de 500 años de periodo de retorno.

La tabla 3-5 ilustra la definición de los niveles de desempeño para estructuras básicas (oficinas y viviendas). Puede observarse que el nivel de desempeño elegido es el de Seguridad o Resguardo de la vida.

Tabla 3-5: Objetivos de desempeño para estructuras básicas.

Movimiento Sísmico de Diseño	Nivel de desempeño mínimo
Sismo Frecuente	Totalmente Operacional
Sismo Ocasional	Operacional
Sismo Raro	Seguridad
Sismo Muy raro	Próximo a colapso

#### 3.3.2 Deriva objetivo

Con la finalidad de que el daño que experimente el edificio en un evento sísmico sea un daño estructural leve, se está tomando una deriva objetivo, según el capítulo 5 de Multihazard Loss Estimation Methodology HAZUS, el edificio es del tipo “Aporticado de Concreto Armado de mediana altura”, abreviado como CM1. La tabla

3-6 extraída y adaptada del Multihazard Loss Estimation Methodology del Hazus, expone los estados de daño y sus derivas características para un CM1 diseñado con un código sísmico moderado.

Tabla 3-6: Descripción de daño y deriva característica para edificios tipo CM1 (HAZUS).

Daño	Descripción	Deriva
<b>Estructural</b>		
Leve	Pueden observarse grietas de corte y de flexión cerca de la unión de algunas vigas y columnas. La mayoría de columnas y vigas presentan grietas.	0.0033
Moderado	Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de Algunos pórticos han alcanzado su capacidad	0.0058
Extenso	última evidente por la presencia de largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado. Resulta en un colapso parcial.	0.0156
Completo	La estructura ha colapsado o está a punto de hacerlo debido a falla frágil, agotamiento de ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.	0.0400

Por lo tanto, se obtienen los niveles de desempeño y sus correspondientes derivas características haciendo uso, además, de las equivalencias de la tabla 3-7. En la tabla 13 se expone las relaciones desempeño-deriva para edificios CM1. Se elige la deriva objetivo del Nivel de Desempeño Seguridad: 0.0058.

Tabla 3-7: Niveles de desempeño y derivas objetivo para edificios tipo CM1  
(HAZUS Y SEAOC VISION 2000).

Nivel de Desempeño Objetivo	Deriva Objetivo
Totalmente Operacional	0.0033
Operacional	
Seguridad	0.0058
Pre-Colapso	0.0156
Colapso	0.0400

### 3.3.3 Asignación de cargas

Se asignaron cargas típicas para viviendas (tabiquería más acabados=0.30 ton/m<sup>2</sup>, sobrecarga=0.20ton/m<sup>2</sup>). Se diseña la estructura bajo acciones de carga de gravedad mediante las siguientes combinaciones:

$$CU1=1.4CM+1.7CV$$

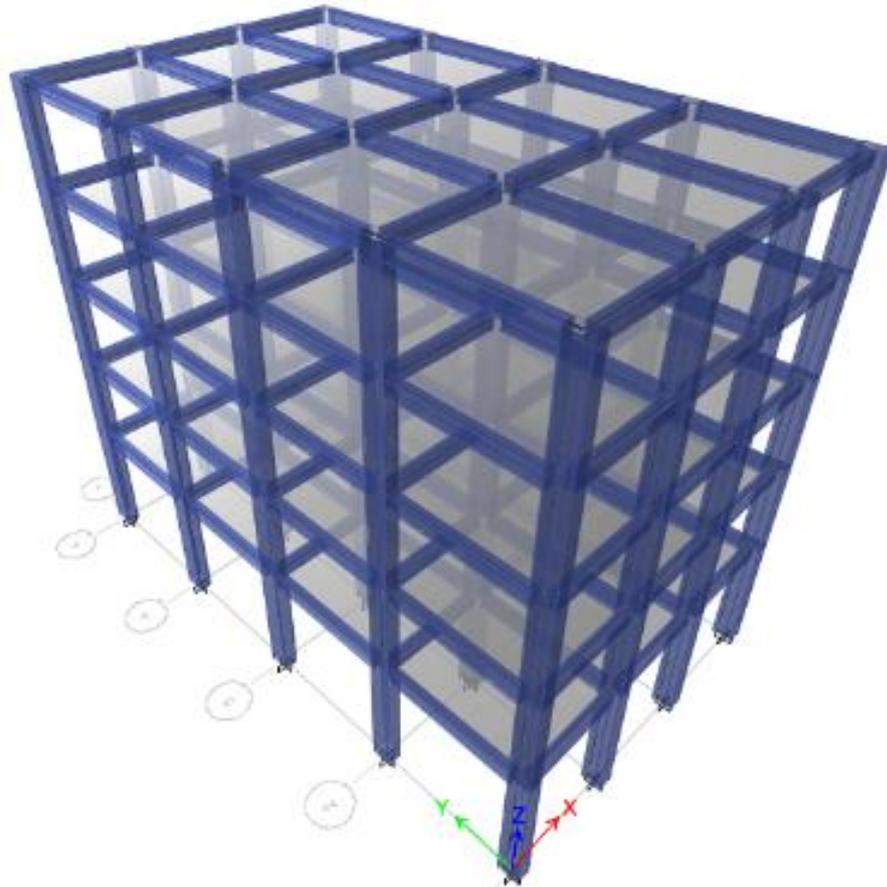


Figura 3-27: Modelo tridimensional de la estructura analizada, antes del reforzamiento. Fuente:

Elaboración propia.



La amenaza sísmica será representada por registros tiempo historia de sismos ocurridos en la ciudad de Lima. Todos estos registros fueron normalizados a una aceleración máxima de 0.45g (aceleración del suelo en la zona de la estructura) propuesta por la Norma E 0.30.

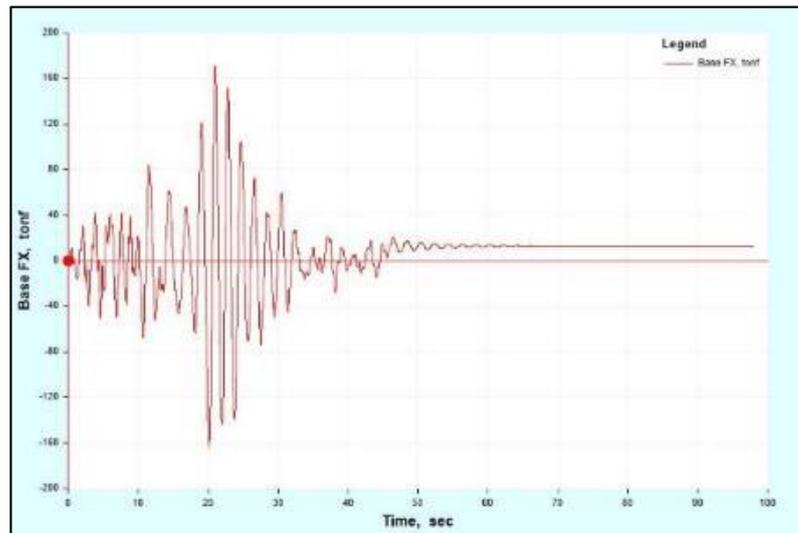


Figura 3-29: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7035). Fuente: Elaboración propia.

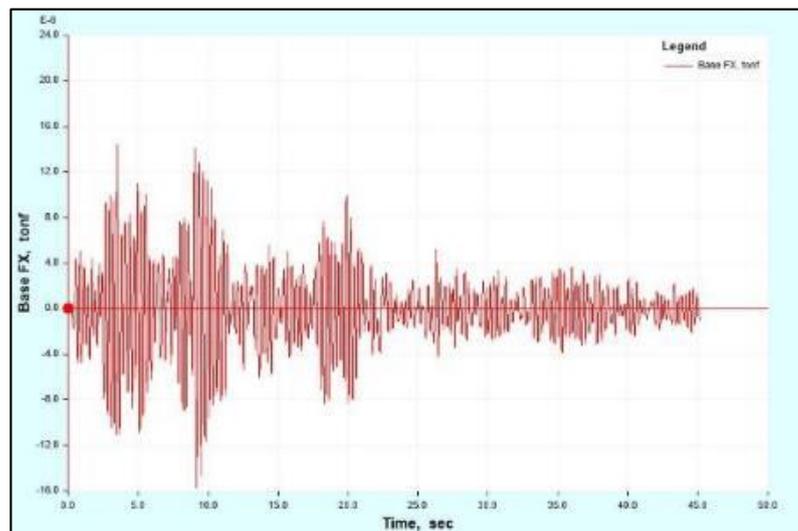


Figura 3-30: Registro sísmico peruano, componente NS (TH 7035). Fuente: Elaboración propia.

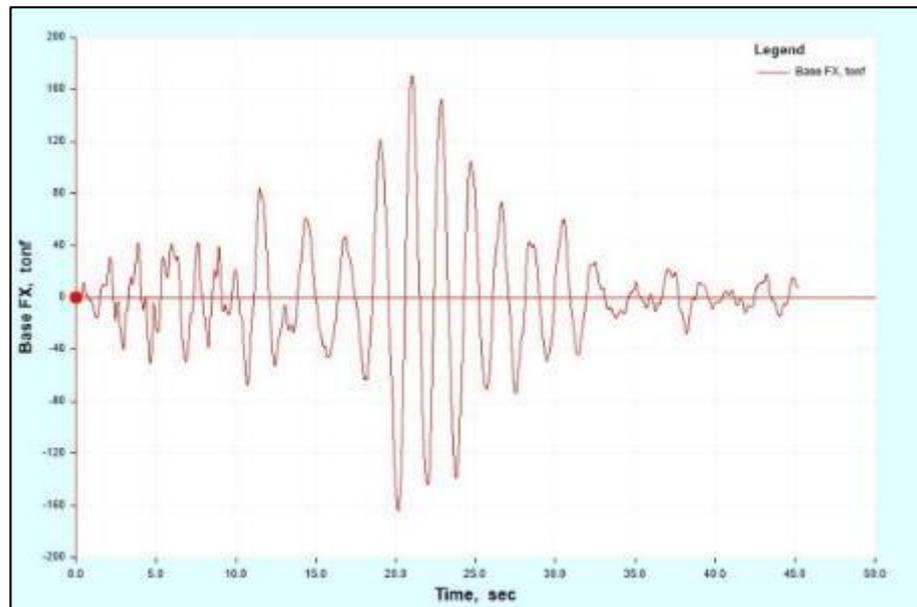


Figura 3-31: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7036). Fuente: Elaboración propia.

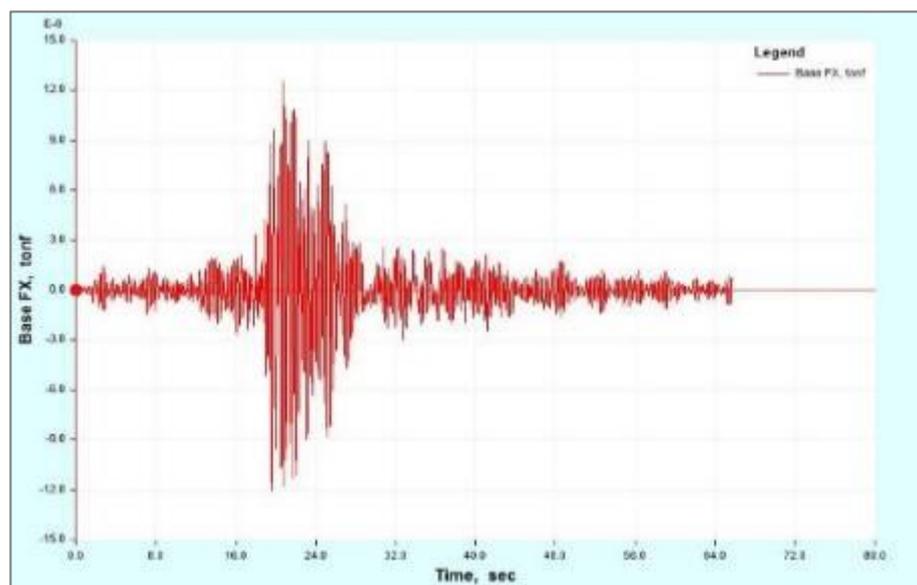


Figura 3-32: Registro sísmico peruano, componente NS (TH 7036). Fuente: Elaboración propia.

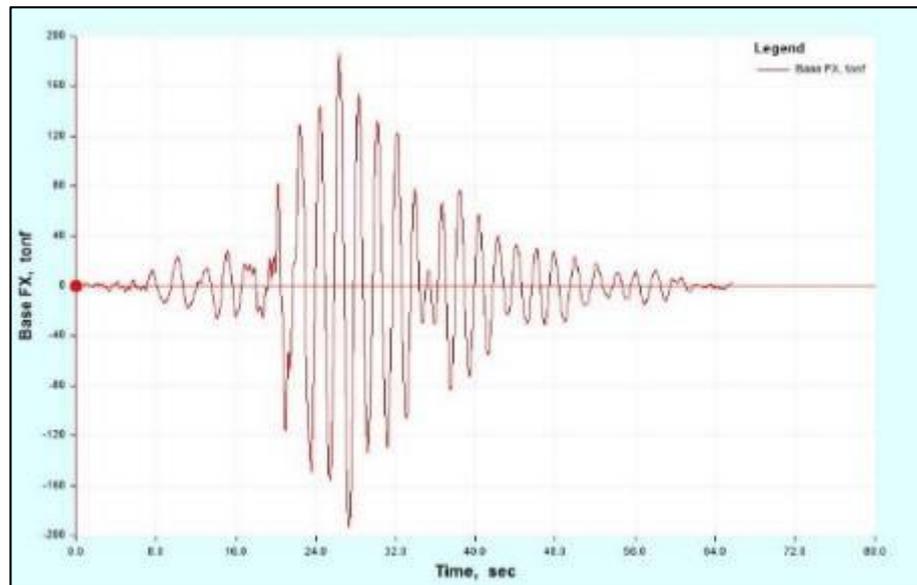


Figura 3-33: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7039). Fuente: Elaboración propia.

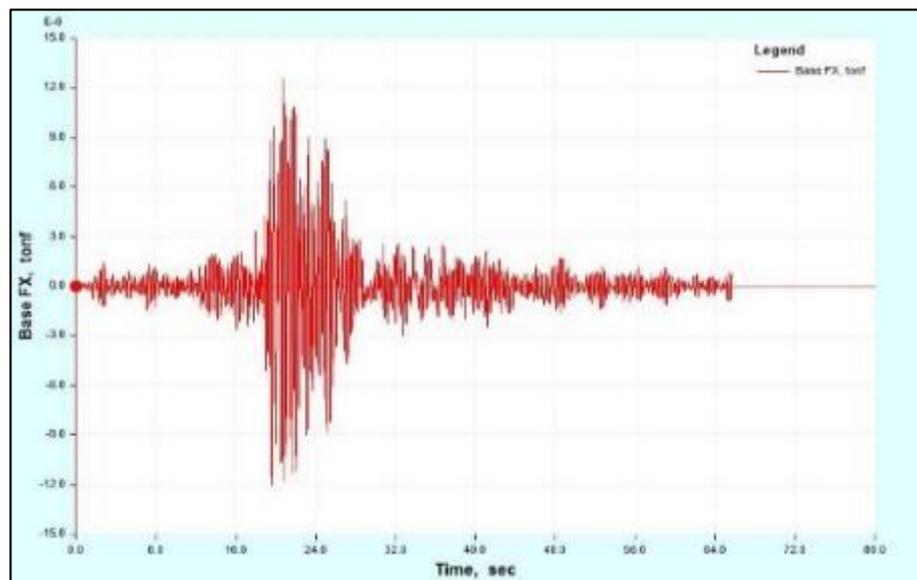


Figura 3-34: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7039). Fuente: Elaboración propia.

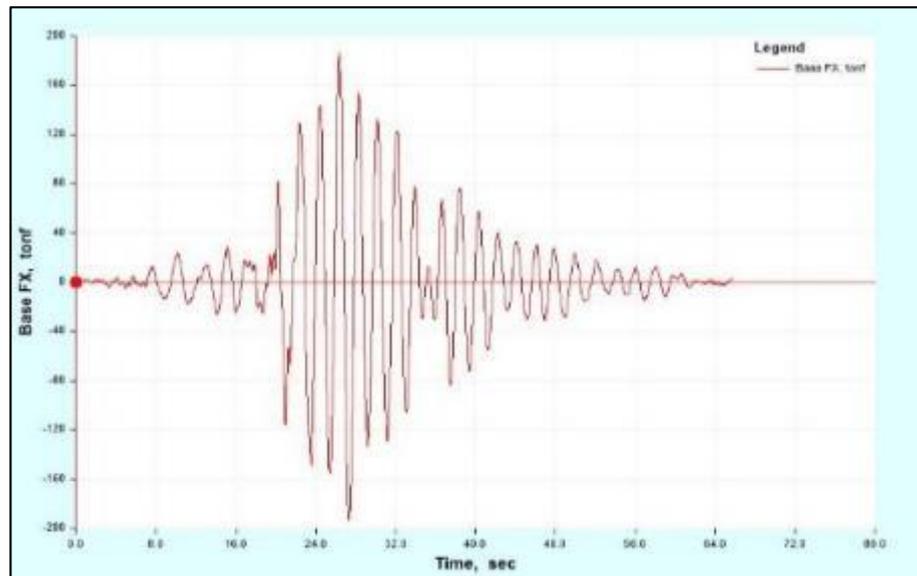


Figura 3-35: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7050). Fuente: Elaboración propia.

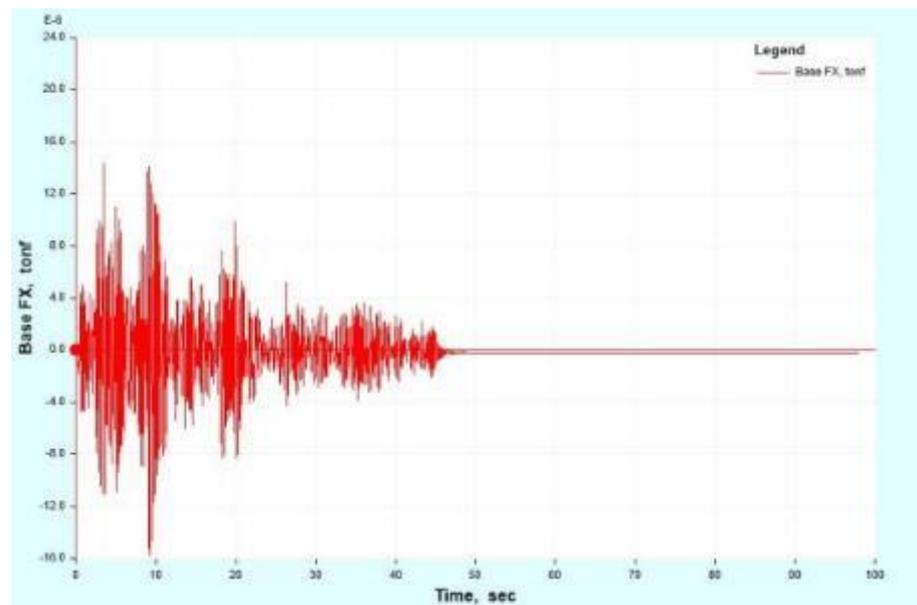


Figura 3-36: Registro sísmico peruano, componente EW (TH 7050). Fuente: Elaboración propia.

### 3.3.4 Predimensionamiento de los dispositivos de disipación sísmica análisis lineal de la estructura.

Se toma en consideración parte de la norma ASCE 7-10 referido a aisladores sísmicos, el exige como mínimo 2 dispositivos por dirección de análisis en cada piso y en arreglo tal que no genere torsión. Considerando un margen razonable de seguridad proponemos 16 dispositivos por piso, 8 en cada dirección y ubicados sobre los muros desacoplados del edificio. Esta ubicación y la disposición de los amortiguadores pueden observarse en la Figura 3-37 y Figura 3-38, respectivamente.

Cuando los amortiguadores están alejados del centro de masa, nos brindan la ventaja de trabajar en la zona de máximas velocidades (zona de mayor efectividad de los dispositivos de disipación). Otra ventaja de esta ubicación es la simetría y regularidad, factores que permiten un mejor control de los efectos de la torsión.



Figura 3-37: Ubicación de los Dispositivos en los Pórticos 1 y 6, Eje X-X.

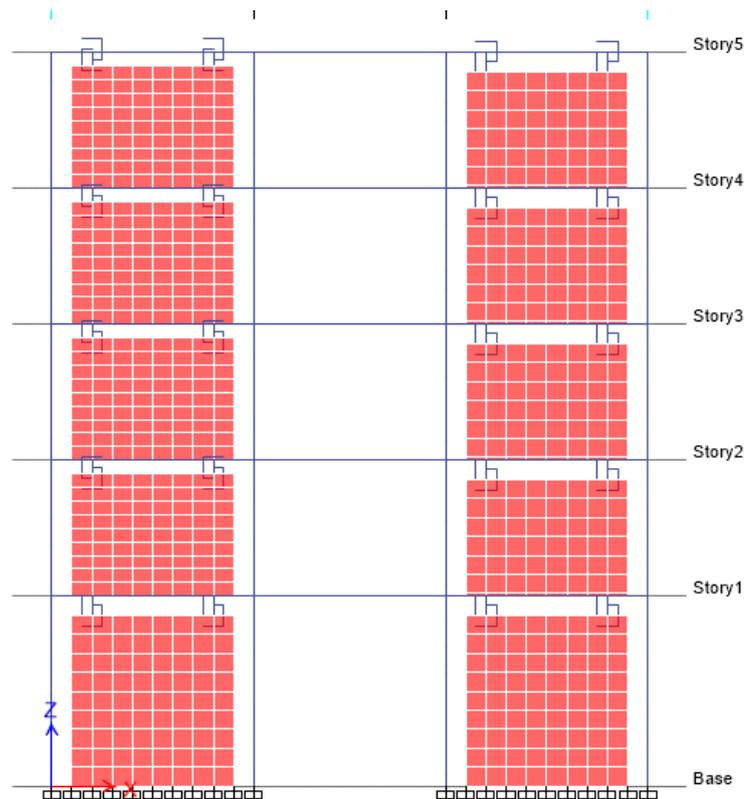


Figura 3-38: Ubicación de los Dispositivos en los Pórticos A y F, Eje Y-Y.

A manera de resumen, se debe comentar que la edificación original constaba de pórticos de concreto armado con crujiás en dirección x de 3.5 m, y crujiás en dirección y de 4.5m. Además, las alturas de los entrepisos tuvieron valores que iban desde los 4m, en el primer nivel, hasta los 3.5m en los pisos restantes.

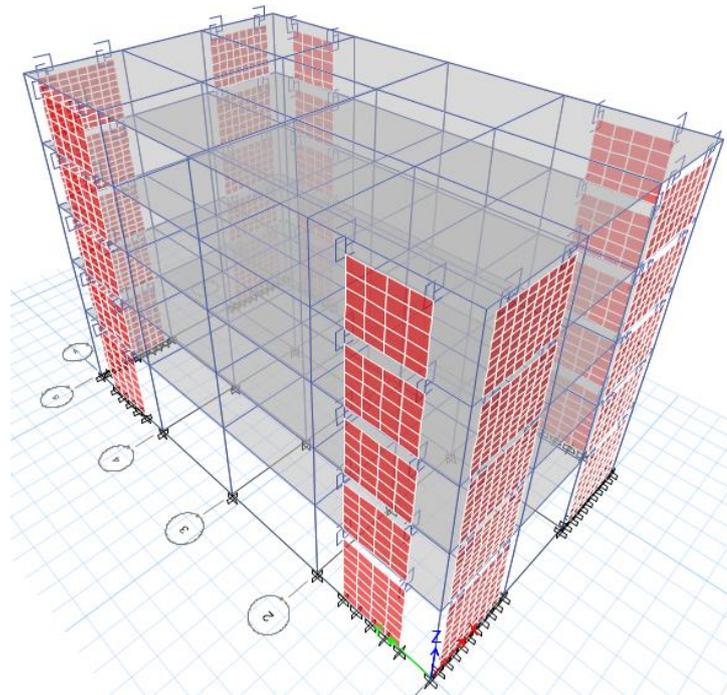


Figura 3-39: Vista Isométrico de la edificación en estudio, adicionado muros desacoplados y los disipadores tipo SLB.

La técnica propuesta consiste en el aprovechamiento del sistema resistente existente para poder acoplar a este un conjunto de dispositivos que obliguen a la estructura a localizar parte gran parte de la energía ingresada del sismo en estas zonas, y así poder evitar la distribución del daño en la estructura, y poder concentrar este daño en ciertas zonas, las que son susceptibles de ser reparadas con posterioridad.

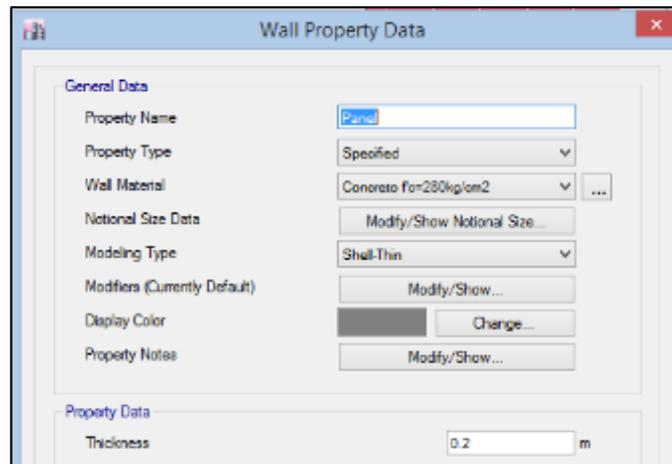


Figura 3-40: Definición del panel de espesor= 20cm y calidad del concreto 280kg/cm<sup>2</sup>

Inicialmente se definirá los dispositivos disipadores como elementos tipo frame rectangulares de dimensiones 40cm x 4cm para así obtener la cortante inicial para un prediseño.

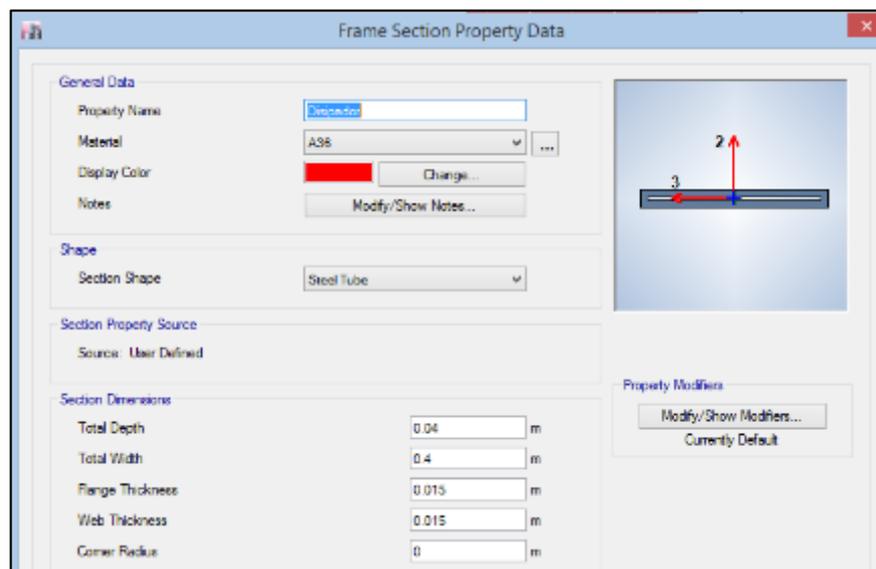


Figura 3-41: Modelado de disipador mediante elementos frame con geometría rectangular y propiedades de acero estructural tipo A36 (ETAPA INICIAL).

Se asignan los disipadores en ambos extremos del panel de concreto. Es importante liberar el extremo del disipador para no tomar fuerza axial.

Definición del espectro de aceleraciones para el análisis dinámico.

$Z=0.45$  (Lima)

$U=1.0$

$S=1.05$  (Suelo S2)

$T_p=0.6$ ,  $T_L=2.0$

$R_x=R_y=8$  (aporticado-regular)

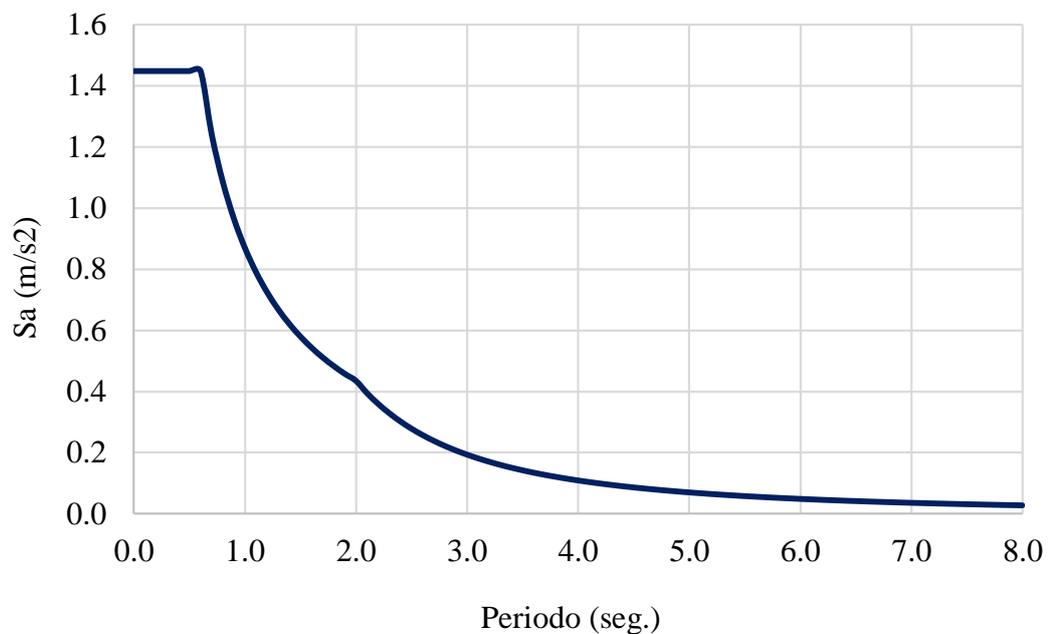


Figura 3-42 : Espectro de la norma E030-2016.

Definida el espectro de diseño, se analiza la estructura convencional sin disipadores sísmicos para obtener el cálculo de los modos de vibración y la cuantía de acero de los elementos estructurales.

### **3.4 Modelo simplificado de los disipadores sísmicos para el predimensionamiento.**

El predimensionamiento de los elementos estructurales requiere la determinación de las fuerzas sísmicas actuando sobre cada elemento, para esto se debe considerar en el modelamiento la incorporación de muros desacoplados de 15 cm, tal como se muestra a continuación.

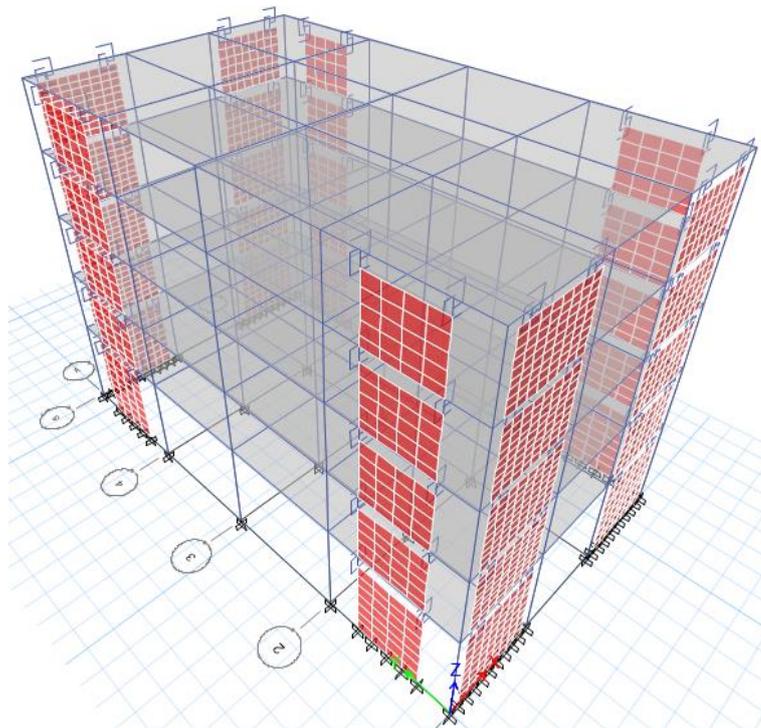


Figura 3-43: Modelo de edificio con paneles disipadores. Fuente: Elaboración propia.

El modelamiento de los disipadores de energía se hará suponiendo que son elementos frame adosados a la viga superior y muros desacoplados, esto nos permitirá la estimación del cortante actuante sobre cada uno de estos.

### 3.5 Masa sísmica, centro de masa y rigidez

Tabla 3-8. Masa de la edificación, centro de masa y centro de rigidez de la estructura.

Story	Diafragma	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	XCCM	YCCM
		tonf-s <sup>2</sup> /m	tonf-s <sup>2</sup> /m	m	m	m	m
T1	D1	95.42891	95.42	15.4	15.4	15.4	15.4
T2	D2	94.19785	94.19785	15.4	15.4	15.4	15.4
T3	D3	94.19785	94.19785	15.4	15.4	15.4	15.4
T4	D4	96.17202	96.17202	15.4	15.4	15.4	15.4
T5	D5	84.80446	84.80446	15.4	15.4	15.4	15.4

### 3.6 Revisión de periodos.

Se determinan los periodos fundamentales de la estructura con paneles disipativos.

Como se trata de una estructura regular solamente se asignó doce modos de vibración y no tres por cada piso de la estructura como se recomienda.

Tabla 3-9. Revisión de los modos de vibración de la estructura.

Case	Modo	Periodo seg	UX	UY	RZ
Modal	1	0.516	0.4107	0.4107	0.0221
Modal	2	0.51	0.4211	0.4211	0
Modal	3	0.362	0.0103	0.0103	0.8318
Modal	4	0.163	0.0531	0.0531	0.0029
Modal	5	0.16	0.0548	0.0548	0
Modal	6	0.117	0.0016	0.0016	0.1005
Modal	7	0.088	0.0159	0.0159	0.0011
Modal	8	0.087	0.0165	0.0165	0
Modal	9	0.078	0	0	0
Modal	10	0.076	4.18E-06	4.18E-06	4.24E-06
Modal	11	0.076	7.14E-06	7.14E-06	0
Modal	12	0.074	0	0	0

Periodos Fundamentales:

$T_x=0.516s$  - Traslacional

$T_y=0.51s$  - Traslacional

$T_z=0.362s$  – Rotacional

Como recomendación se revisa que el periodo calculado con el análisis dinámico no deberá ser mayor a 1.35 veces el periodo calculado con el método estático del reglamento peruano E.030.

### 3.7 Método estático

El periodo fundamental de vibración,  $T$ , puede ser aproximado utilizando la siguiente formula.

$$T = h_n / C_t$$

Donde:

$$C_T = 35$$

Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

Pórticos de concreto armado sin muros de corte.

Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.

$$C_T = 45$$

Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:

Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras.

Pórticos de acero arriostrados.

$$C_T = 60$$

Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

$$T_A = 15.5/35 = 0.443 \text{ s.}$$

Revisión Dirección X

$$T_{\max} = 0.51 \text{ seg}$$

Revisión Dirección Y

$T_{max}=0.51\text{seg}$

### 3.8 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso

Los resultados del análisis modal espectral de la estructura reforzada con elementos SLB, se muestra a continuación.

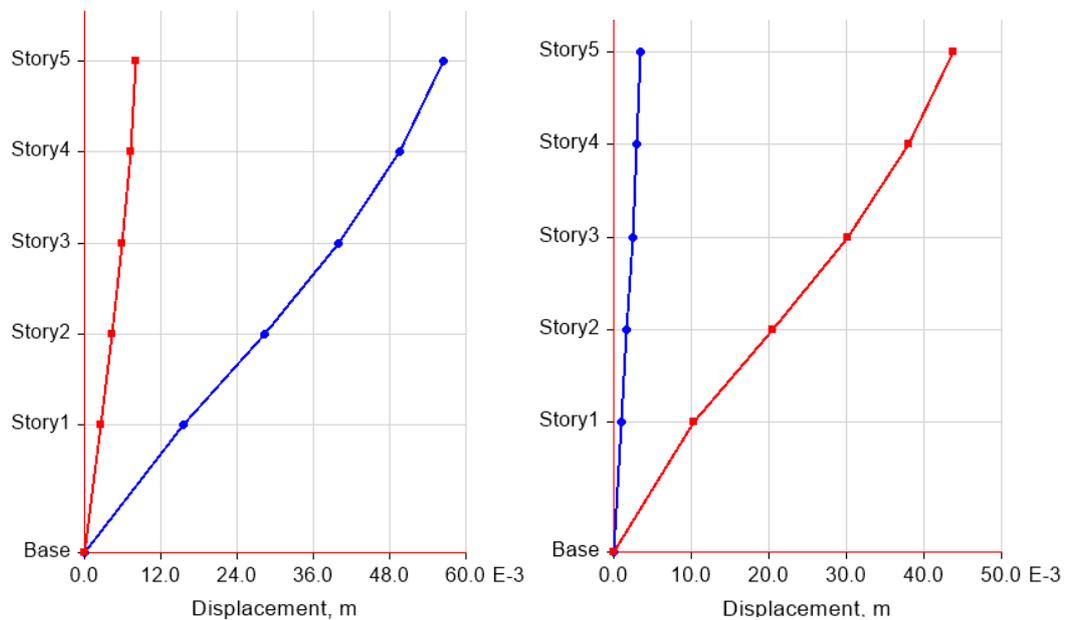


Figura 3-44: Máximos desplazamientos laterales obtenidos usando dispositivos

SLB. Fuente: Elaboración propia.

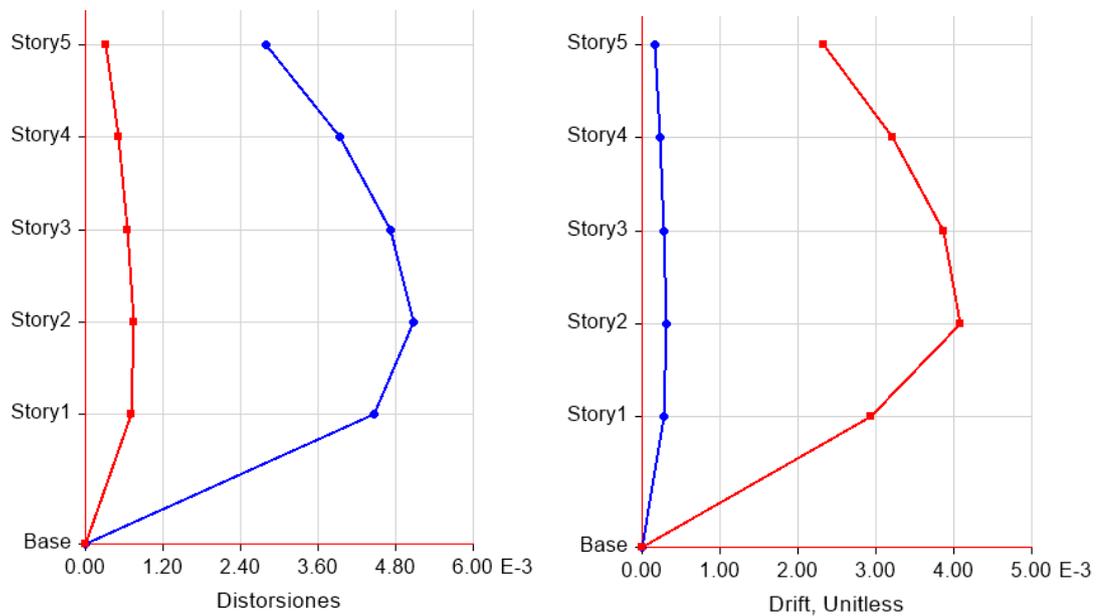


Figura 3-45: Máximos niveles de distorsiones laterales obtenidos usando dispositivos SLB. Fuente:

Elaboración propia.

### 3.9 Revisión de cortante basal

La distribución del cortante en la estructura es un buen indicador de la rigidez de esta. Por lo que a continuación se muestra la distribución de las fuerzas cortantes provenientes de la acción sísmica, en dirección x e y.

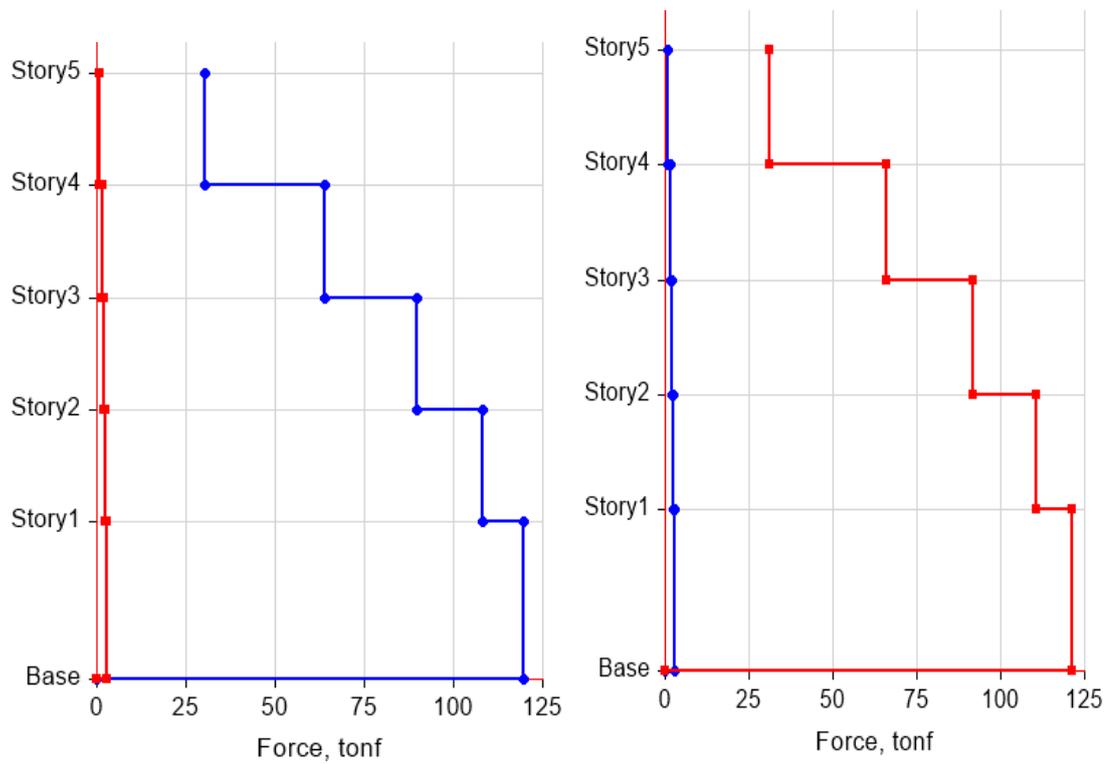


Figura 3-46: Distribución de fuerzas cortantes aplicadas a la estructura. Fuente: Elaboración propia.

### 3.10 Cálculo de fuerza cortante en dispositivos para su predimensionamiento

Se procede a determinar los cortantes en cada dispositivo para su predimensionamiento utilizando la tabla 3-10 (Hurtado et al 2008).

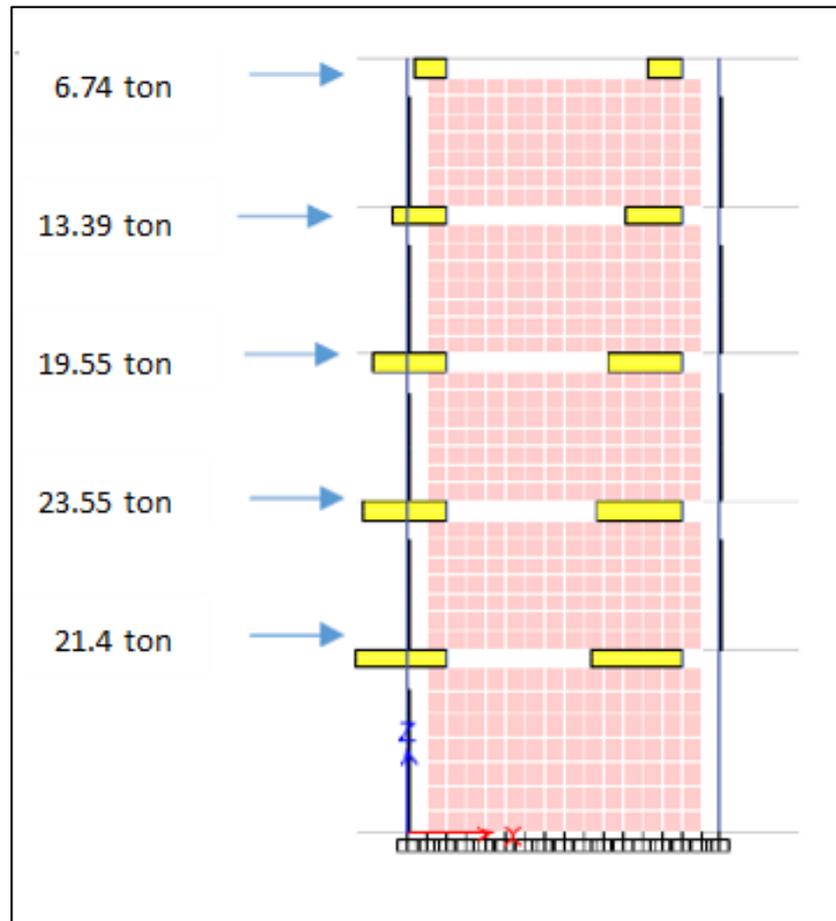


Figura 3-47: Fuerzas Cortantes en cada conexión tipo SL dirección "x", fuerzas reducidas por factor de comportamiento sísmico  $R=8$

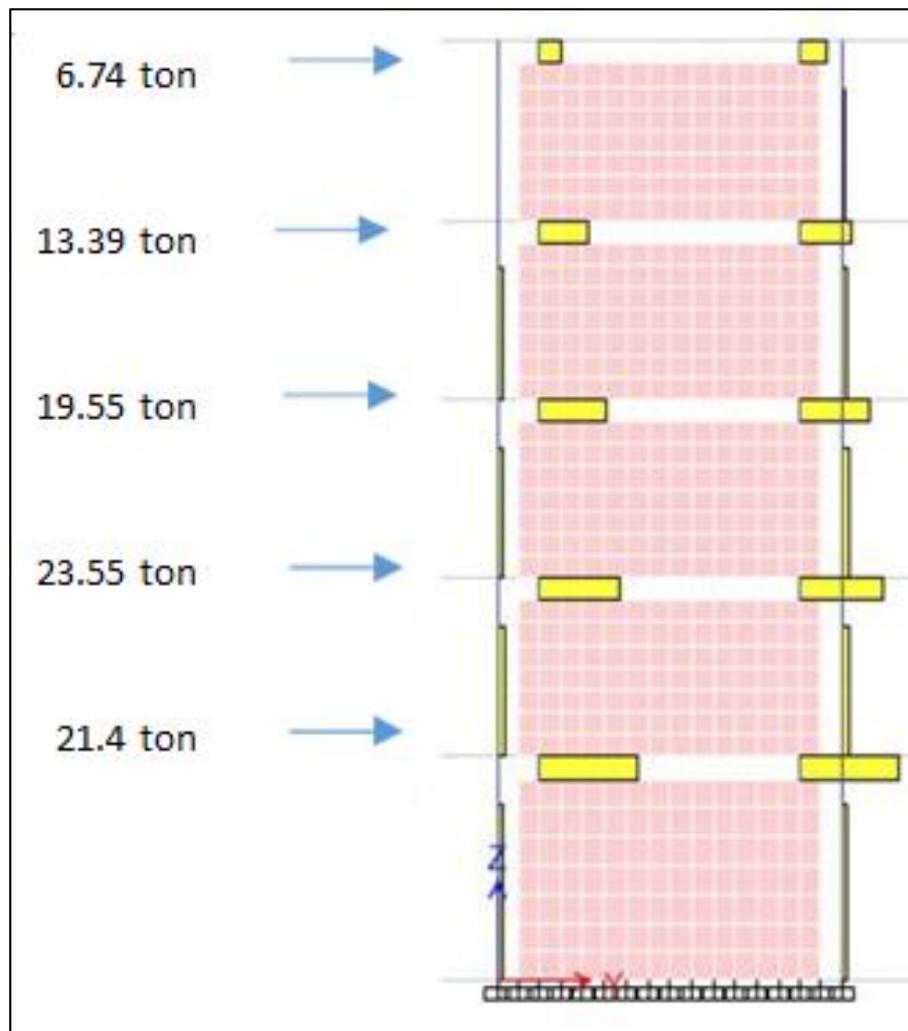


Figura 3-48: Cortantes en cada conexión tipo SL dirección "y", fuerzas reducidas por factor de comportamiento sísmico  $R=8$

Selección del dispositivo shear link bozzo (SLB) de acuerdo a su demanda cortante (fy-fuerza de plastificación)

Tabla 3-10. Los parámetros de diseño más relevantes para los dispositivos

Dispositivo	e	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	d y (mm)	fy (kN)	D y (mm)	Fy (kN)	F max (kN)	Da (mm)	Ed (KN.cm)
SL5_2	2	546.1	14.4	0.25	13.65	0.463	25.27	47.32	39.93	54
SL5_3	3	663.5	13.4	0.321	21.3	0.549	36.4	56.59	89.87	69
SL5_4	4	763.8	11.8	0.357	27.27	0.628	47.96	65.26	159.83	84
SL5_5	5	834.3	8.8	0.357	29.78	0.716	59.76	72.93	249.81	97
SL10_2	2	1,273.80	22.1	0.25	31.85	0.437	55.68	89.56	29.81	109
SL10_3	3	1,644.40	21.6	0.277	45.55	0.491	80.67	113.62	67.1	146
SL10_4	4	1,979.10	20.1	0.304	60.16	0.54	106.86	136.91	119.35	182
SL10_5	5	2,216.70	17.4	0.331	73.26	0.6	133	159.27	186.45	216
SL15_2	2	2,285.90	22.4	0.25	57.15	0.567	129.6	163.04	20.29	216
SL15_3	3	2,929.60	23.3	0.268	78.51	0.565	165.55	200.32	45.66	271
SL15_4	4	3,493.50	22.9	0.286	99.91	0.573	200.2	236.3	81.18	325
SL15_5	5	3,856.10	22.3	0.321	123.78	0.618	238.33	271.48	126.85	377
SL20_2	2	2,971.20	24.1	0.25	74.28	0.536	159.18	195.36	15.96	262
SL20_3	3	3,980.00	24.9	0.268	106.66	0.527	209.68	247.72	35.92	339
SL20_4	4	4,719.30	25.8	0.286	134.97	0.553	261	298.88	63.85	414
SL20_5	5	5,262.70	24	0.321	168.93	0.596	313.46	349.12	99.77	489
SL25_2	2	3,660.60	24.3	0.25	91.51	0.514	188.18	224.74	14.44	305
SL25_3	3	4,859.00	25.2	0.268	130.22	0.524	254.52	292.09	32.5	404
SL25_4	4	5,921.30	24.7	0.286	169.35	0.544	321.82	358.05	57.79	501
SL25_5	5	6,613.50	24.5	0.321	212.29	0.588	389.2	423.17	90.3	597
SL30_2	2	4,353.60	24.5	0.25	108.84	0.497	216.56	253.78	13.75	348
SL30_3	3	5,791.00	25.5	0.268	155.2	0.513	297.22	336.02	30.93	468
SL30_4	4	7,129.90	25.4	0.286	203.91	0.531	378.46	416.81	54.99	587
SL30_5	5	7,981.80	25.2	0.321	256.21	0.575	459.17	496.73	85.92	704
SL40_2	2	5,820.40	30.9	0.25	145.51	0.49	285.12	331.02	14.02	455
SL40_3	3	7,778.50	32	0.268	208.46	0.507	394.44	442.74	31.55	619
SL40_4	4	9,621.20	33.1	0.286	275.17	0.523	503.33	553.98	66.9	781
SL40_5	5	10,777.40	31.8	0.321	345.95	0.57	614.29	662.15	104.53	941
SL50_2	2	7,223.60	32.9	0.25	180.59	0.473	342	391.08	13.4	542
SL50_3	3	9,703.10	35.9	0.268	260.04	0.495	480	533.58	30.16	749
SL50_4	4	12,109.30	32.7	0.286	346.33	0.514	622.22	671.76	53.62	954

SL50_5	5	13,566.70	31	0.321	435.49	0.563	764	810.65	83.79	1160
--------	---	-----------	----	-------	--------	-------	-----	--------	-------	------

Con los valores de las cortantes de entrepiso en la dirección x ubicamos los tipos de disipador de la tabla 3-10.

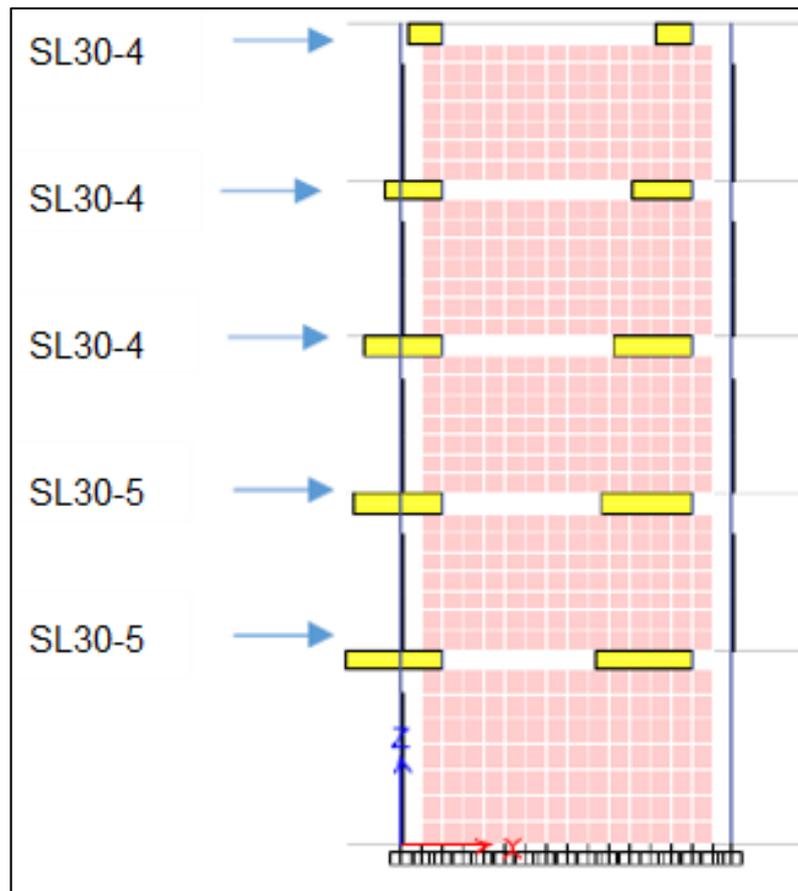


Figura 3-49: Selección del dispositivo sísmico SL, dirección "x"

Con los valores de las cortantes de entrepiso en la dirección Y ubicamos los tipos de disipador de la tabla 3-10.

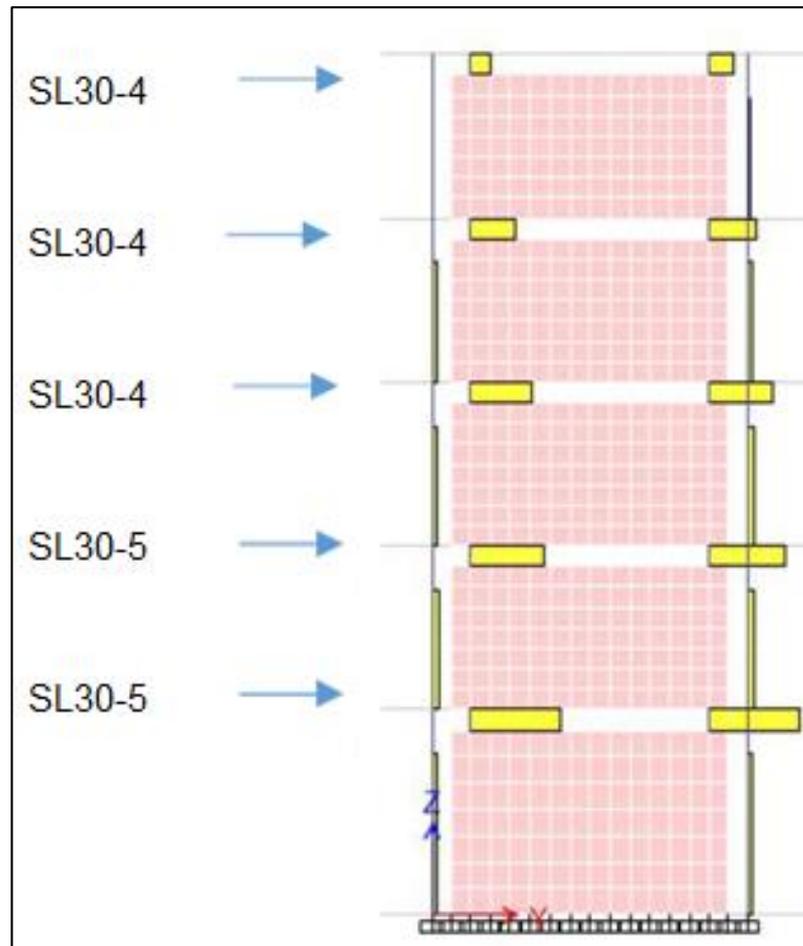


Figura 3-50: Selección del dispositivo sísmico SL, dirección "x"

Definir características no lineales de los disipadores shear link - análisis no lineal de la estructura

Se asigna la respuesta no lineal de las conexiones SLB utilizando el modelo plástico de Wen por medio de elementos no lineales tipo link. Se tiene que liberar la fuerza axial en estos elementos.

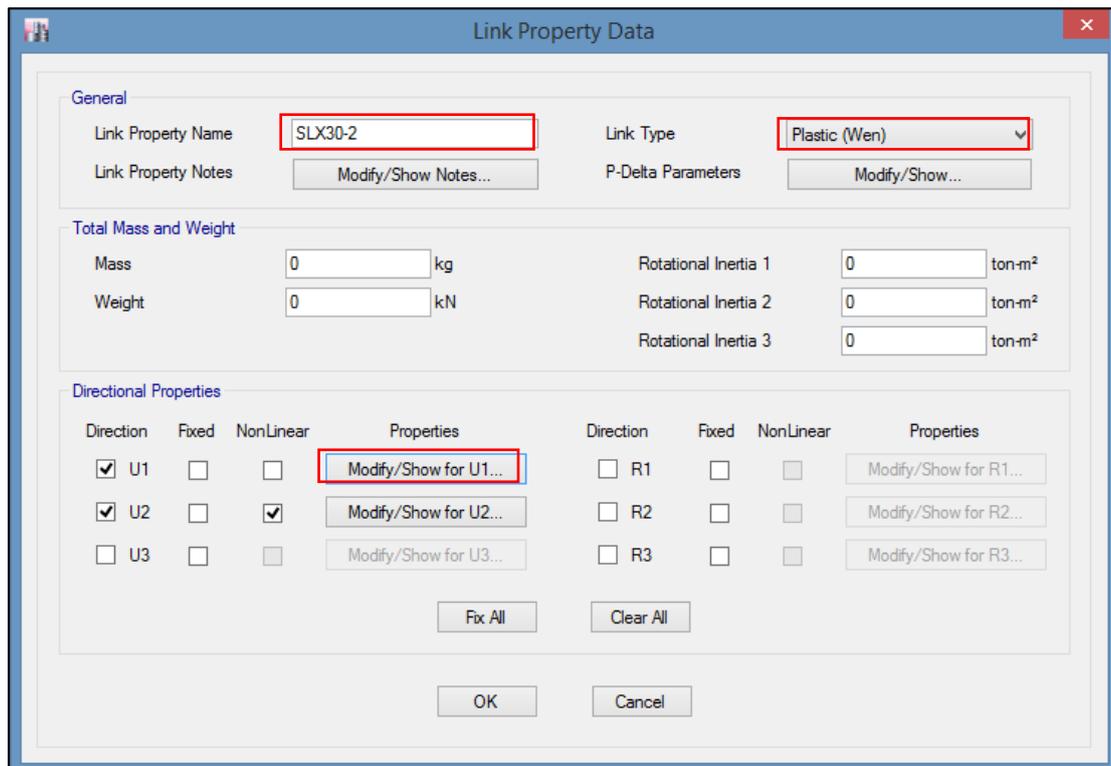


Figura 3-51: Asignación propiedades del dispositivo en el software ETABS.

Se deben asignar las propiedades no lineales a cada uno de los disipadores de energía usados en el modelado, esto implica la definición de la rigidez axial y cortante del disipador. Además, se debe definir el tipo de comportamiento más apropiado, es decir, definir los lazos de histéresis que desarrollará en su comportamiento.

En este sentido, se ha visto en secciones anteriores que el disipador propuesto tiene un comportamiento bilineal; sin embargo, en este trabajo se usará el modelo de Wen, que resulta adaptarse de mejor manera a los resultados observados de manera experimental.

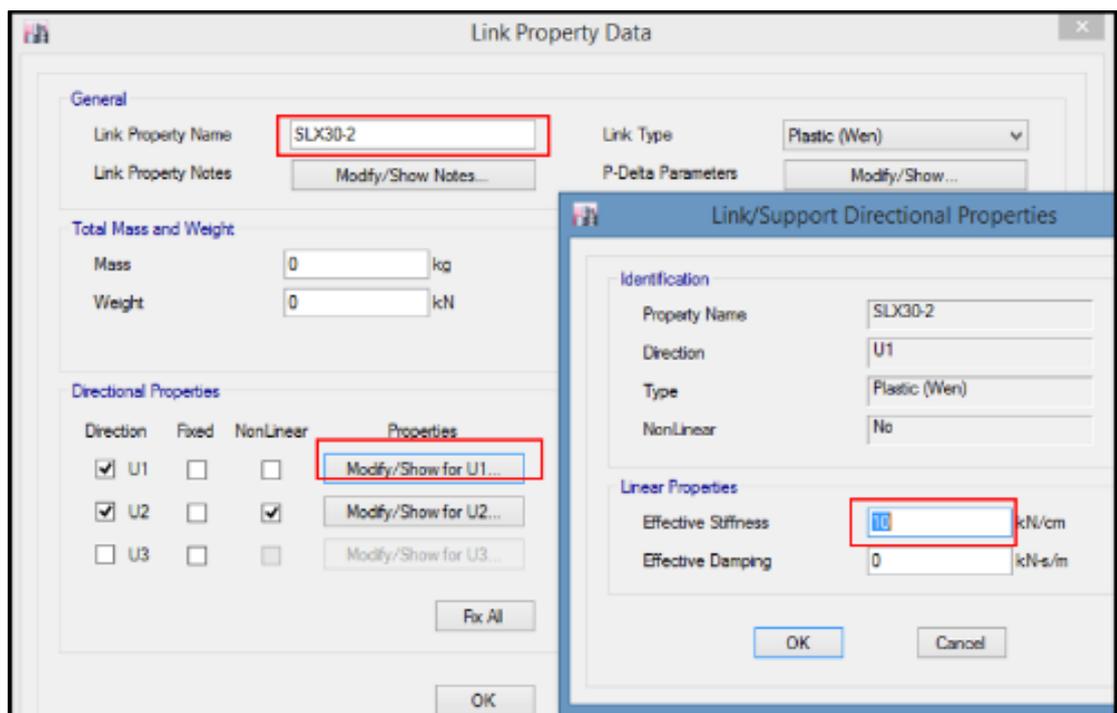


Figura 3-52: Asignación de rigidez lateral del disipador

Dispositivo	e	K1 (KN/cm)	K2 (KN/cm)	d <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (kN)	D <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (kN)	F <sub>max</sub> (kN)	D <sub>a</sub> (mm)	E <sub>d</sub> (KN.cm)
SL30_2	2	4,353.60	24.5	0.25	108.84	0.497	216.56	253.78	13.75	348
SL30_3	3	5,791.00	25.5	0.268	155.2	0.513	297.22	336.02	30.93	468
SL30_4	4	7,129.90	25.4	0.286	203.91	0.531	378.46	416.81	54.99	567
SL30_5	5	7,981.80	25.2	0.321	256.21	0.575	459.17	496.73	85.92	704

Figura 3-53 Asignación los parámetros de diseño del disipador.

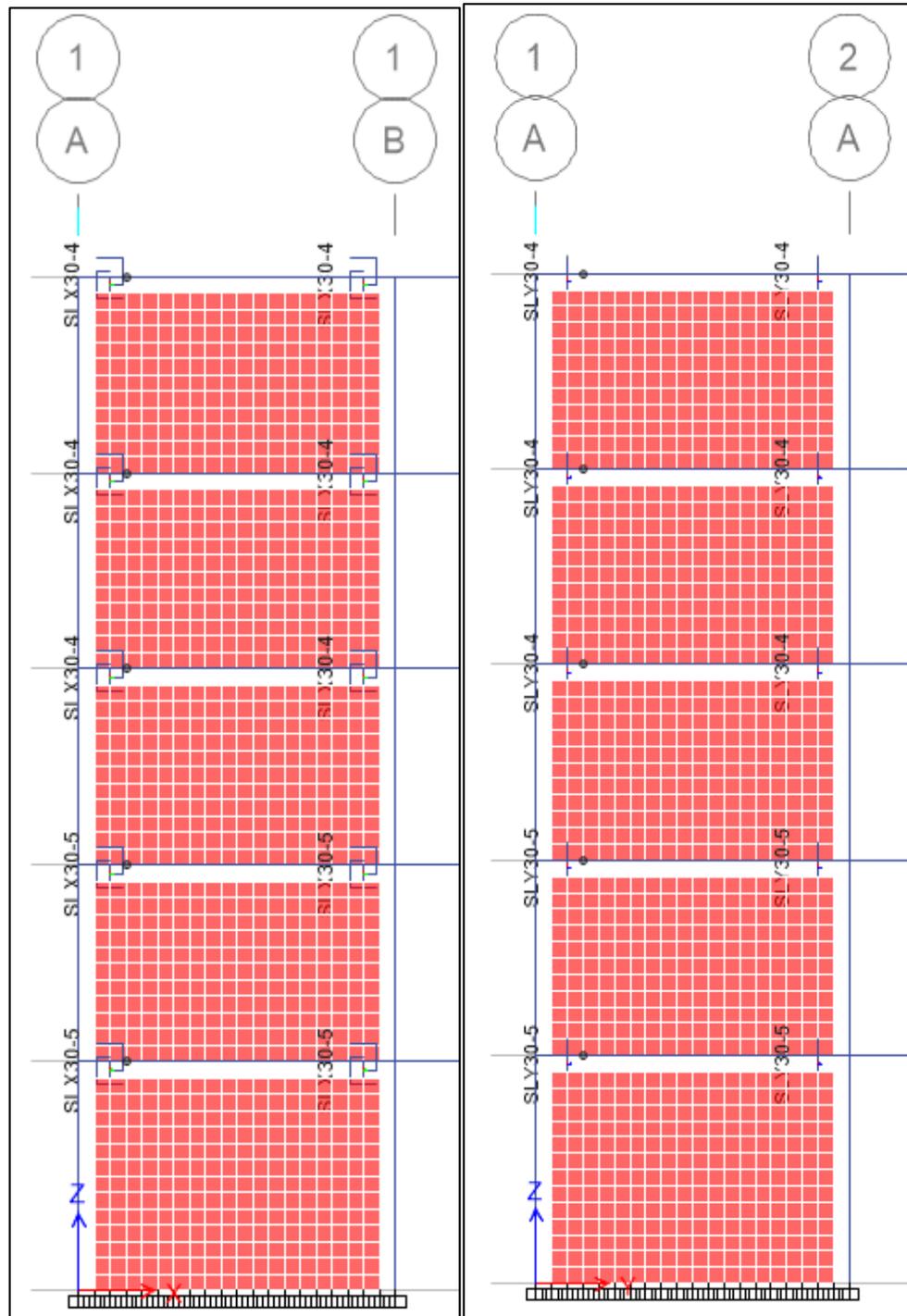


Figura 3-54: Asignación de los disipadores de acuerdo al prediseño en cada dirección respectivamente.

## Definición de análisis no lineal tiempo historia

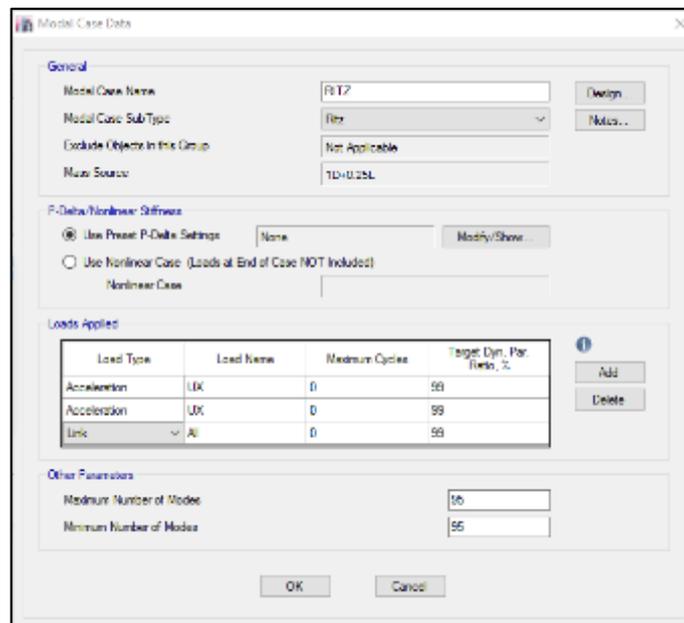


Figura 3-55: Definición del análisis modal utilizando vectores Ritz.

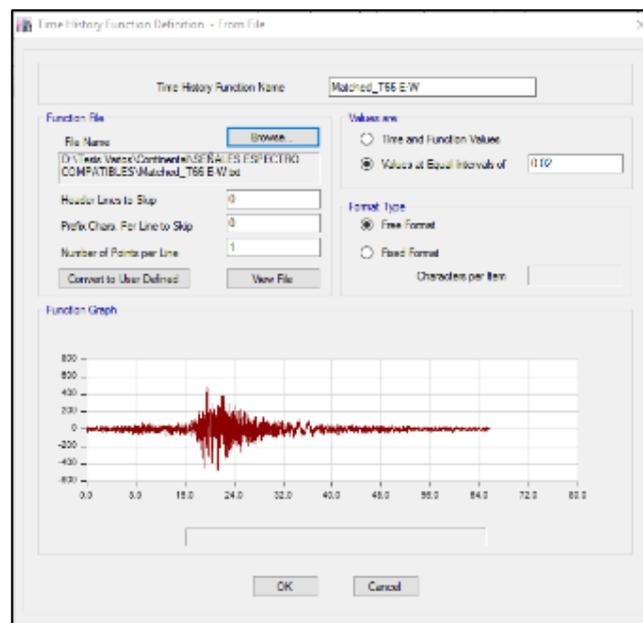


Figura 3-56: Definir la función tiempo historia agregando el registro de aceleraciones. Ej. Registro sísmico peruano 1966 con un intervalo de aceleraciones de  $\Delta t=0.02$ seg

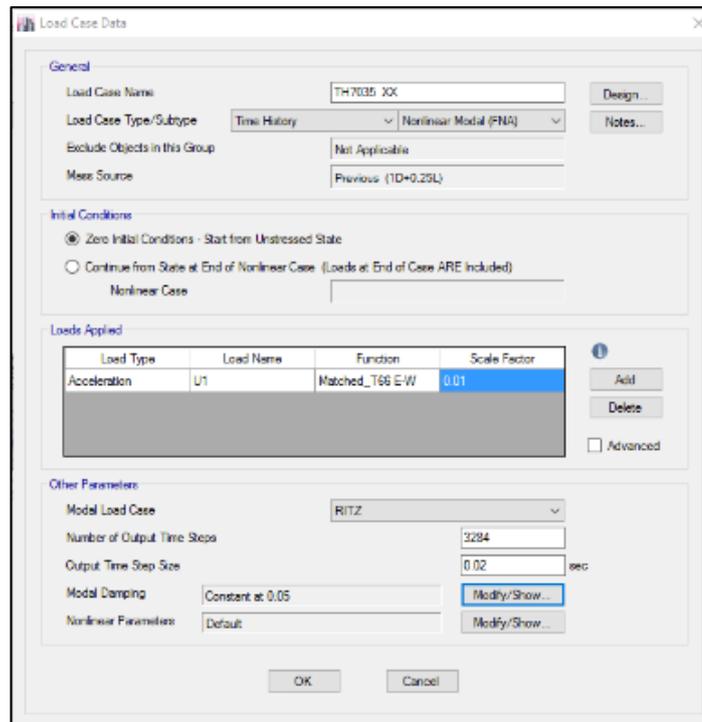


Figura 3-57: Definir el análisis no lineal tiempo historia (FNA).

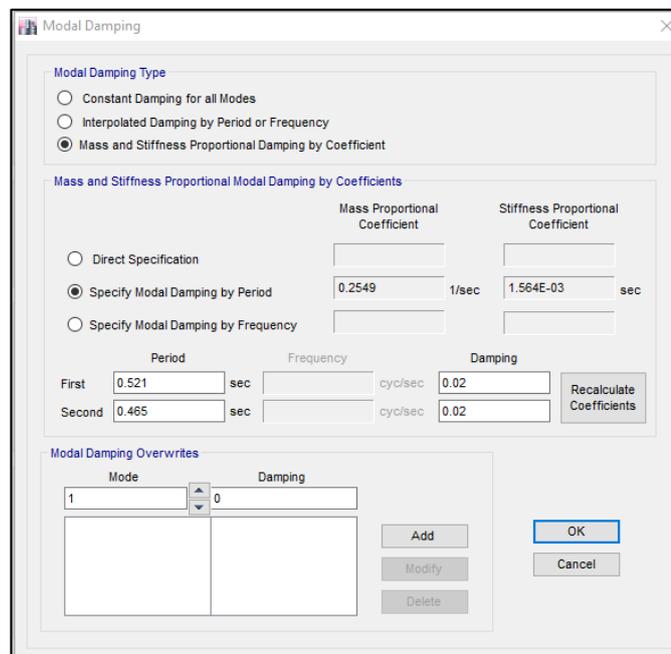


Figura 3-58: Asignar el amortiguamiento de la estructura.

### 3.11 Revisión de periodos

Tabla 3-11. Revisión de los modos de vibración de la estructura

Case	Modo	Periodo seg	UX	UY	RZ
RITZ	1	0.501	0.4008	0.4115	0.0294
RITZ	2	0.494	0.4272	0.4129	0
RITZ	3	0.364	0.0139	0.0138	0.8208
RITZ	4	0.156	0.1131	0.0001	0.0009
RITZ	5	0.116	2.78E-06	0.0169	0.0974
RITZ	6	0.078	0.0274	0.0025	0.0045
RITZ	7	0.067	0.0001	0.0826	0.0158
RITZ	8	0.048	0.0101	0.0002	0.004
RITZ	9	0.035	0.0002	0.0056	0.0015
RITZ	10	0.034	0.0016	0.0002	0.0018
RITZ	11	0.028	1.88E-06	0.0002	0.0002
RITZ	12	0.016	9.64E-06	0.004	0.0002
RITZ	13	0.011	3.66E-06	0.0006	8.17E-06
RITZ	14	0.009	2.61E-06	1.96E-05	0
RITZ	15	0.009	6.71E-07	0.0002	4.87E-05
RITZ	16	0.006	0.0022	0.0117	0.0048
RITZ	17	0.005	0.0005	0.0115	0.0068

RITZ	18	0.003	3.21E-05	0.007	0.0002
RITZ	19	0.002	0.0013	0.0047	0.0037
RITZ	20	0.002	0.0003	0.0076	0.0049
			0.99875334	0.9938196	0.99695687

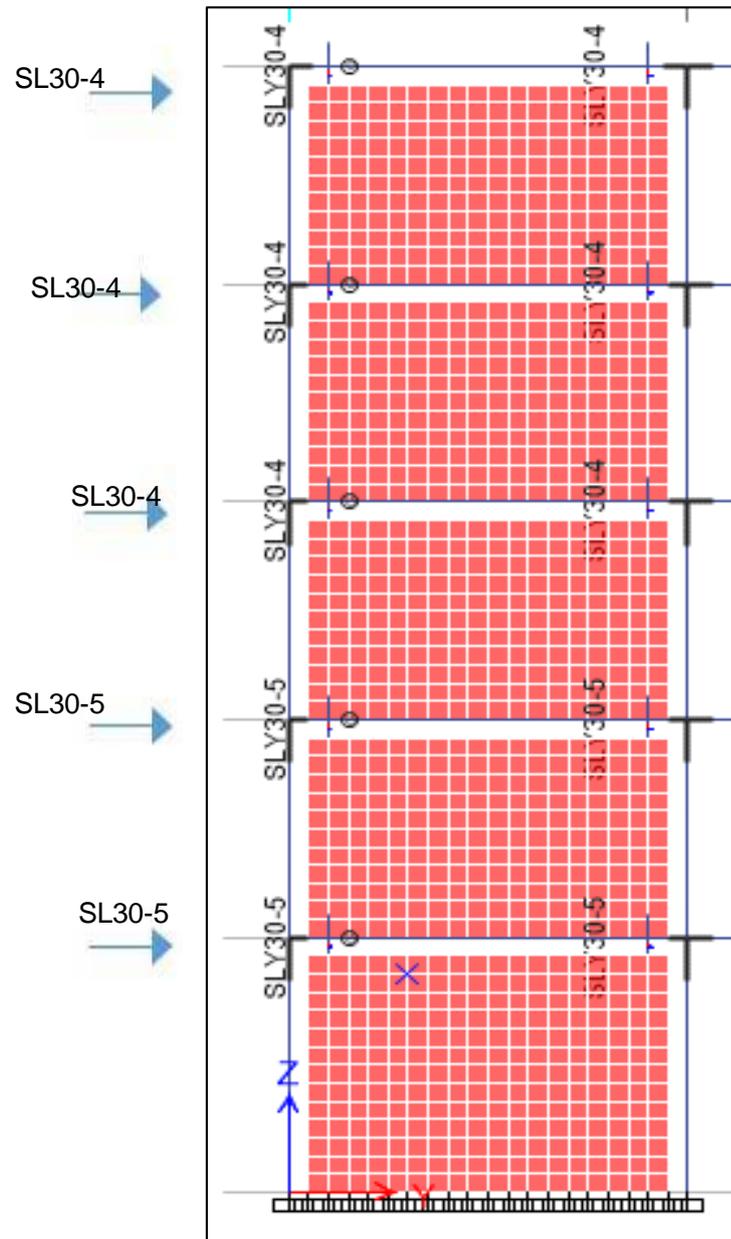
Periodos Fundamentales:

$T_x=0.494$  seg. - Traslacional

$T_y=0.501$  seg. - Traslacional

$T_z=0.364$  seg. – Rotacional

Mediante la incorporación de las propiedades no lineales de los dispositivos de disipación sísmica, se determinó que la elección final de estos es de: Para los 2 primeros niveles se empleara la serie SL30-4 y para los 3 niveles superiores se empleara la serie SL30-3, debido a que no se cumplía los requisitos de deriva máxima dadas por la norma peruana E.030.



Revisión de desplazamientos de piso

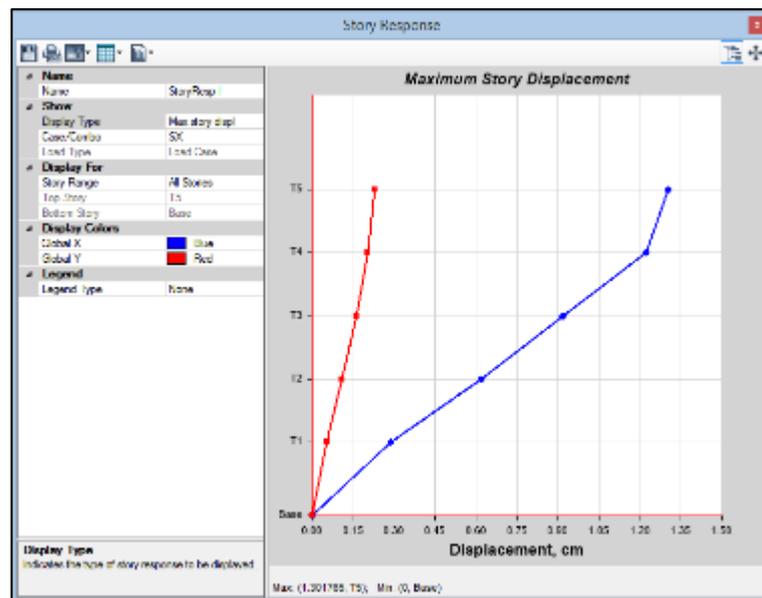


Figura 3-59: Revisión de desplazamiento de piso máxima (eje x) = 1.30 cm

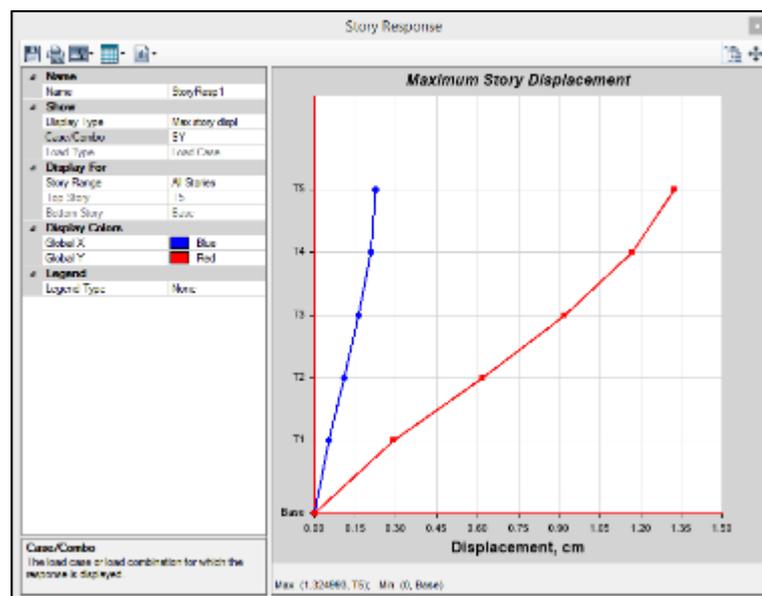


Figura 3-60: Revisión de desplazamiento de piso máxima (eje y) = 1.32 cm

### 3.12 Revisión de desplazamientos relativos de entrepiso

Para la edificación se han promediado la respuesta de 4 registros de aceleraciones de sismos peruanos (7035, 7036, 7339, 7050), todos estos escalados a una aceleración máxima de 0.45g.

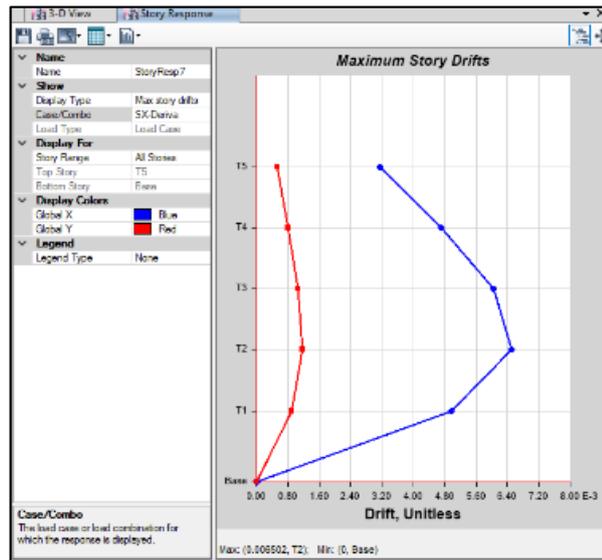


Figura 3-61: Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje x) = 0.0065 – CUMPLE

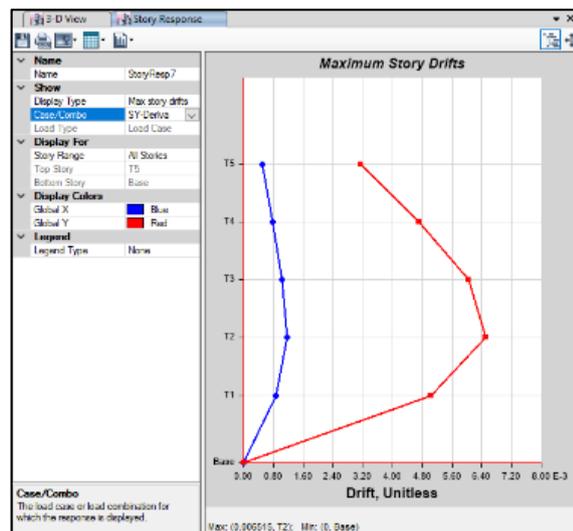


Figura 3-62 : Revisión de deriva de entrepiso máxima (eje y) = 0.0065 – CUMPLE

“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”

### 3.13 Revisión del cortante basal análisis espectral

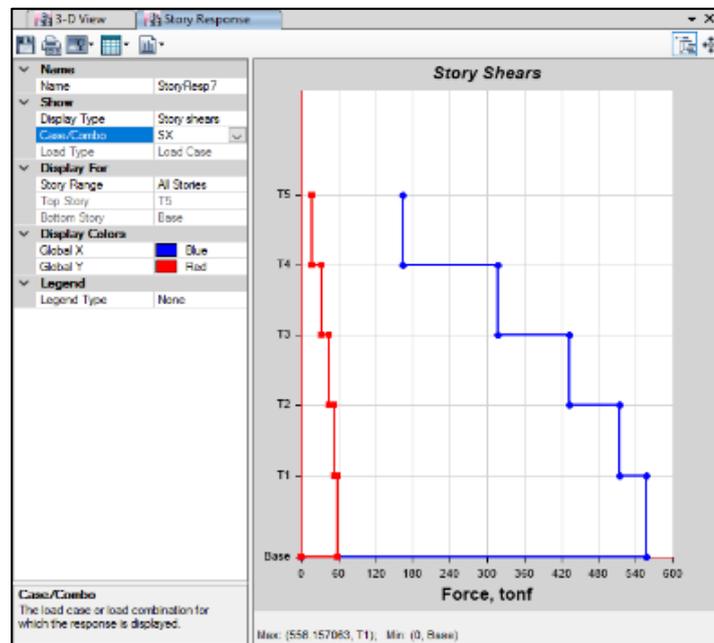


Figura 3-63: Cortantes de entresido dirección "x".  $V_{\text{basal}(x)}=556$  ton.

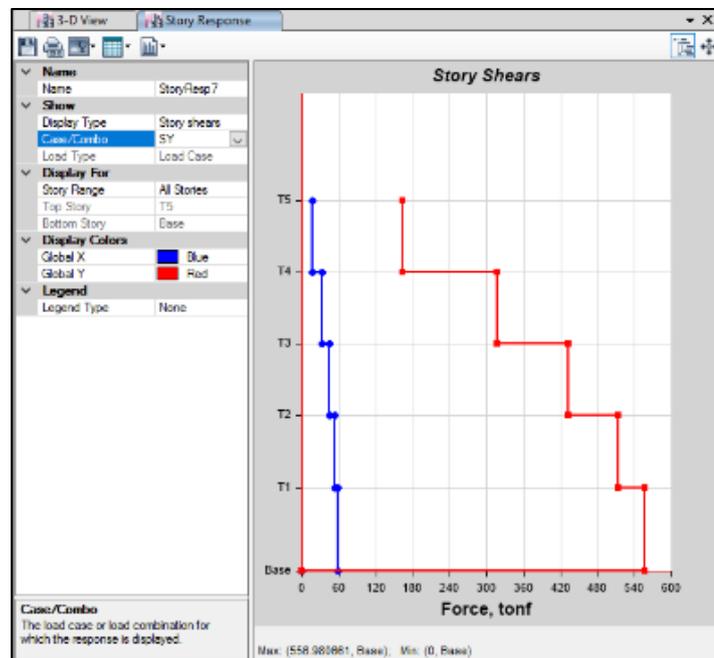


Figura 3-64: Cortantes de entresido dirección "y".  $V_{\text{basal}(y)}=557$  ton.

## Cortante basal máxima para el análisis tiempo historia

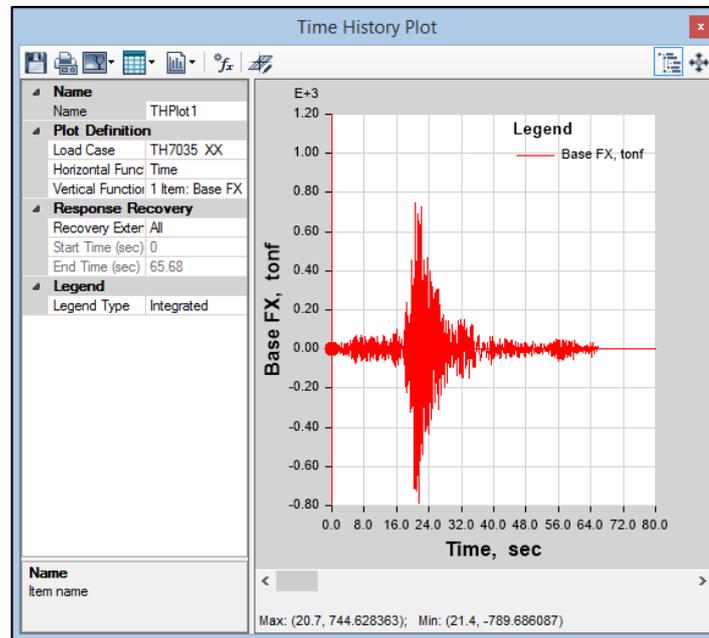


Figura 3-65: Cortante basal Máximo señal TH7035 XX =789.68 ton

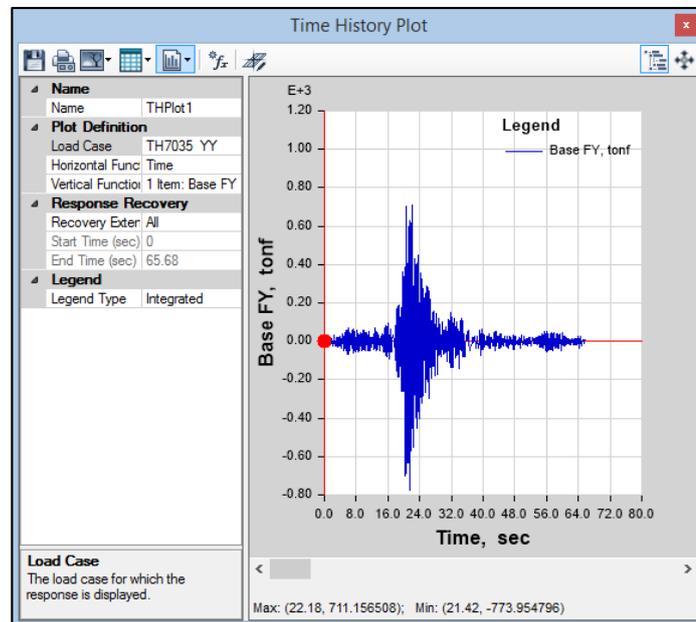


Figura 3-66: Cortante basal Máximo señal TH7035 YY =773.95 ton.

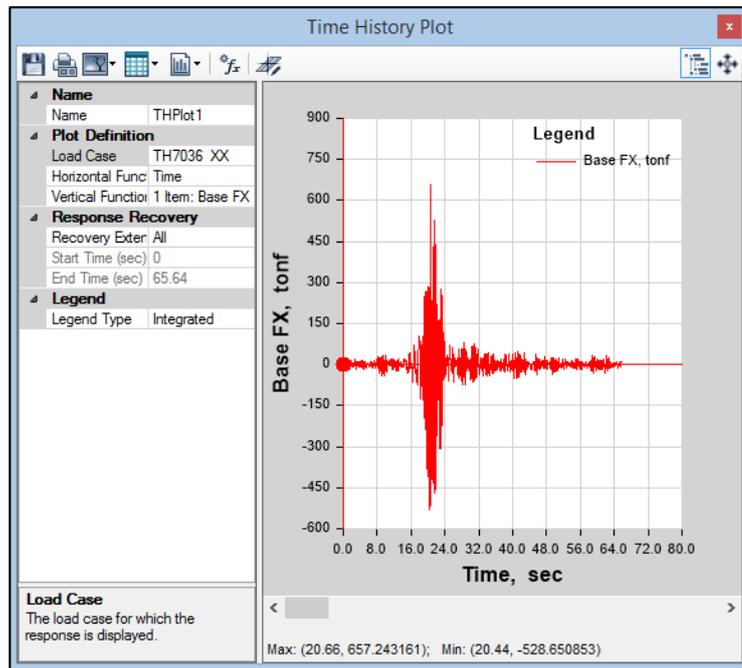


Figura 3-67: Cortante basal Máximo señal: TH7036 XX =657.24 ton

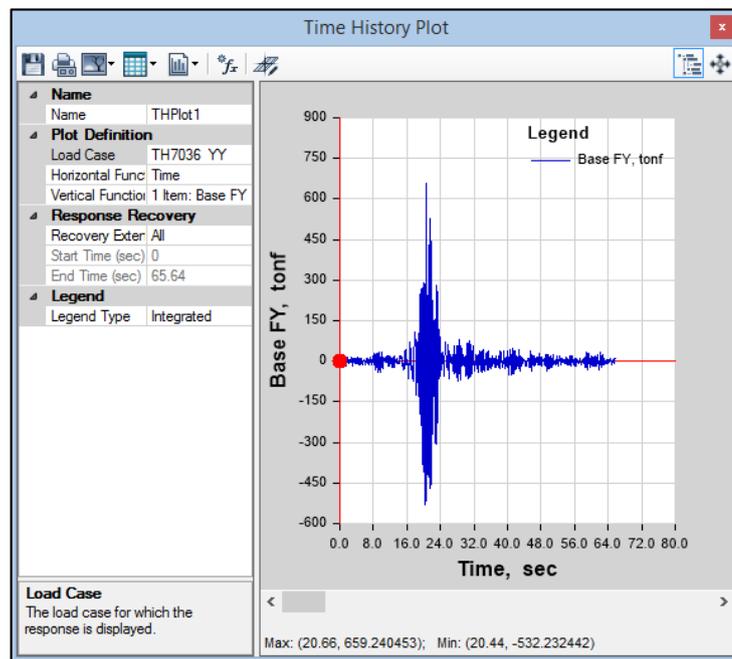


Figura 3-68: Cortante basal Máximo señal TH7036 YY =659.24 ton.

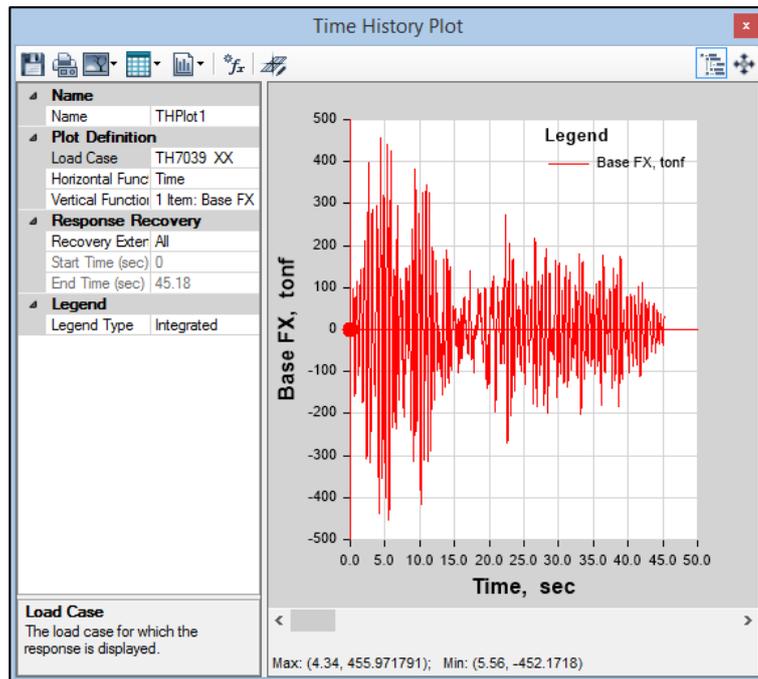


Figura 3-69: Cortante basal Máximo señal TH7039 XX =455.97 ton

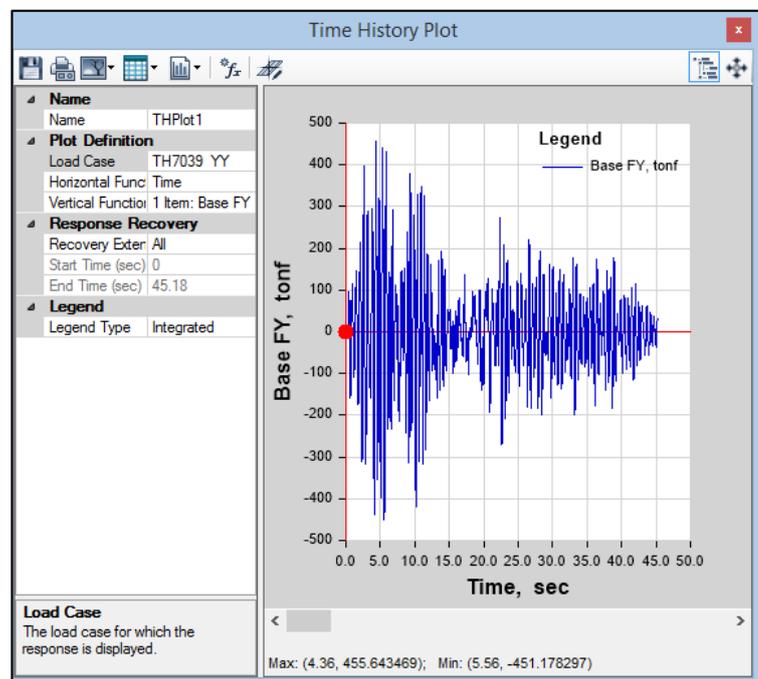


Figura 3-70: Cortante basal Máximo señal TH7039 YY =455.64 ton

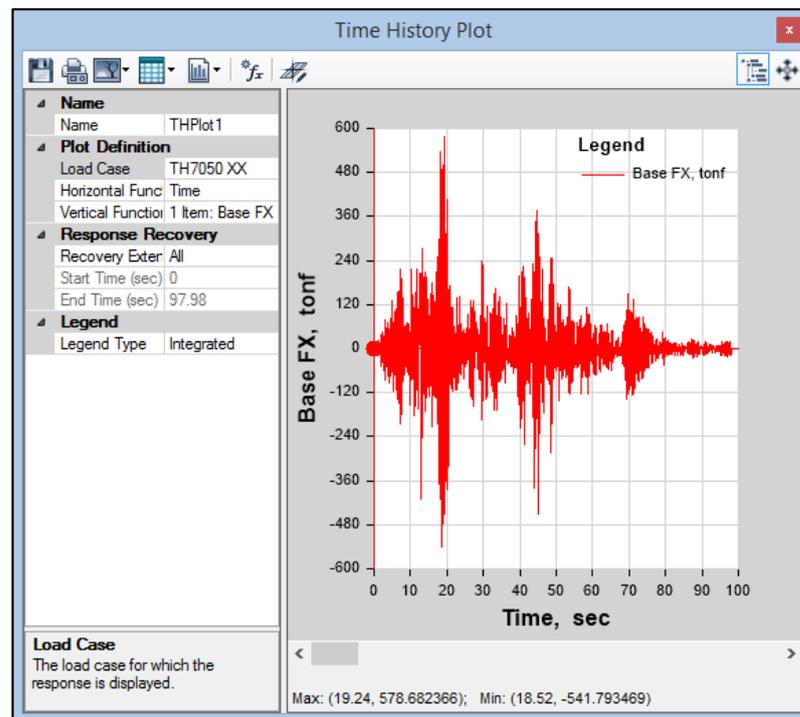


Figura 3-71: Cortante basal Máximo señal TH7050 XX =578.68 ton

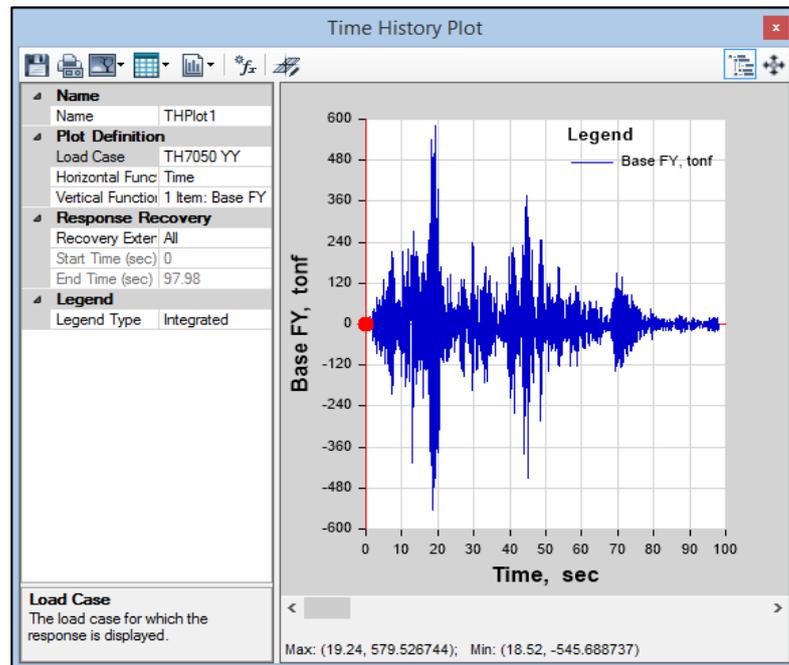


Figura 3-72: Cortante basal Máximo señal TH7050 YY =579.53 ton

### 3.13.1 Evaluación de los resultados

Según los resultados obtenidos en las secciones anteriores, el uso de amortiguadores tipo SLB tiene un efecto significativo en la respuesta sísmica. De hecho, a modo de resumen se presenta en las Figura 3-73, los máximos desplazamientos e  $x$  e  $y$ . De estos resultados se puede decir que la aplicación de disipadores metálicos logró una disminución del 70%.

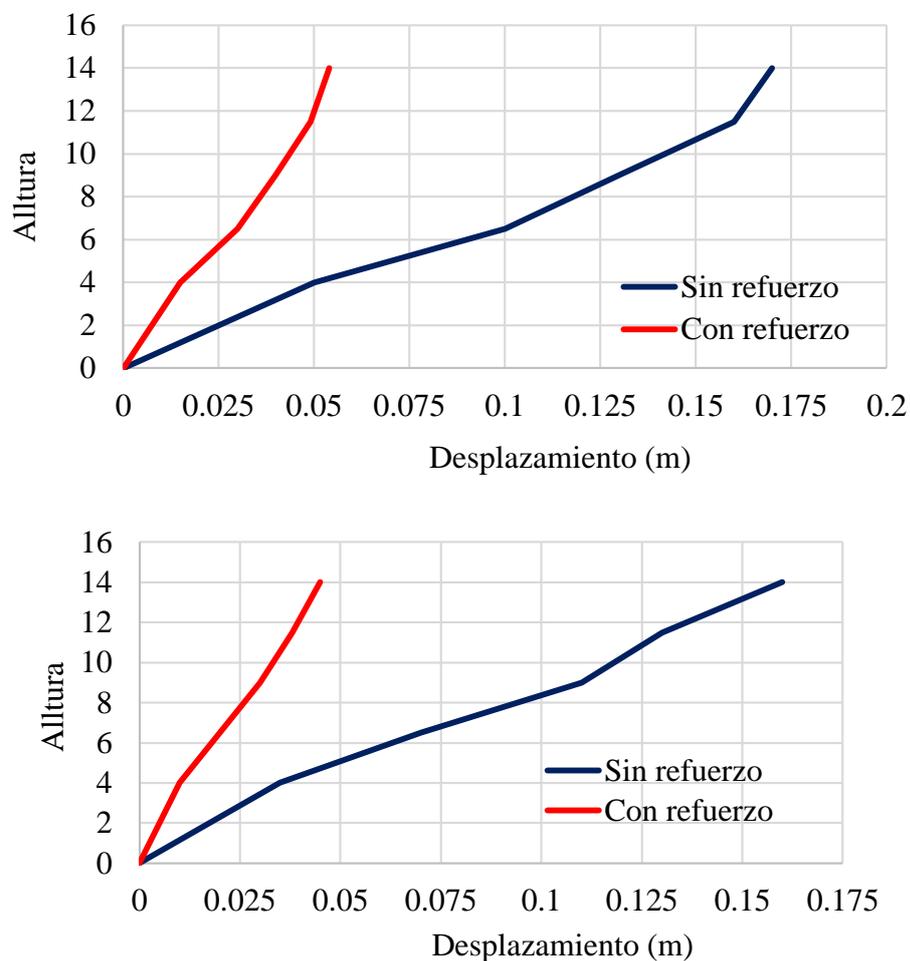


Figura 3-73 : Comparación de los máximos desplazamientos obtenidas en  $x$  e  $y$ , para los casos reforzado y sin reforzamiento. Fuente: Elaboración propia.

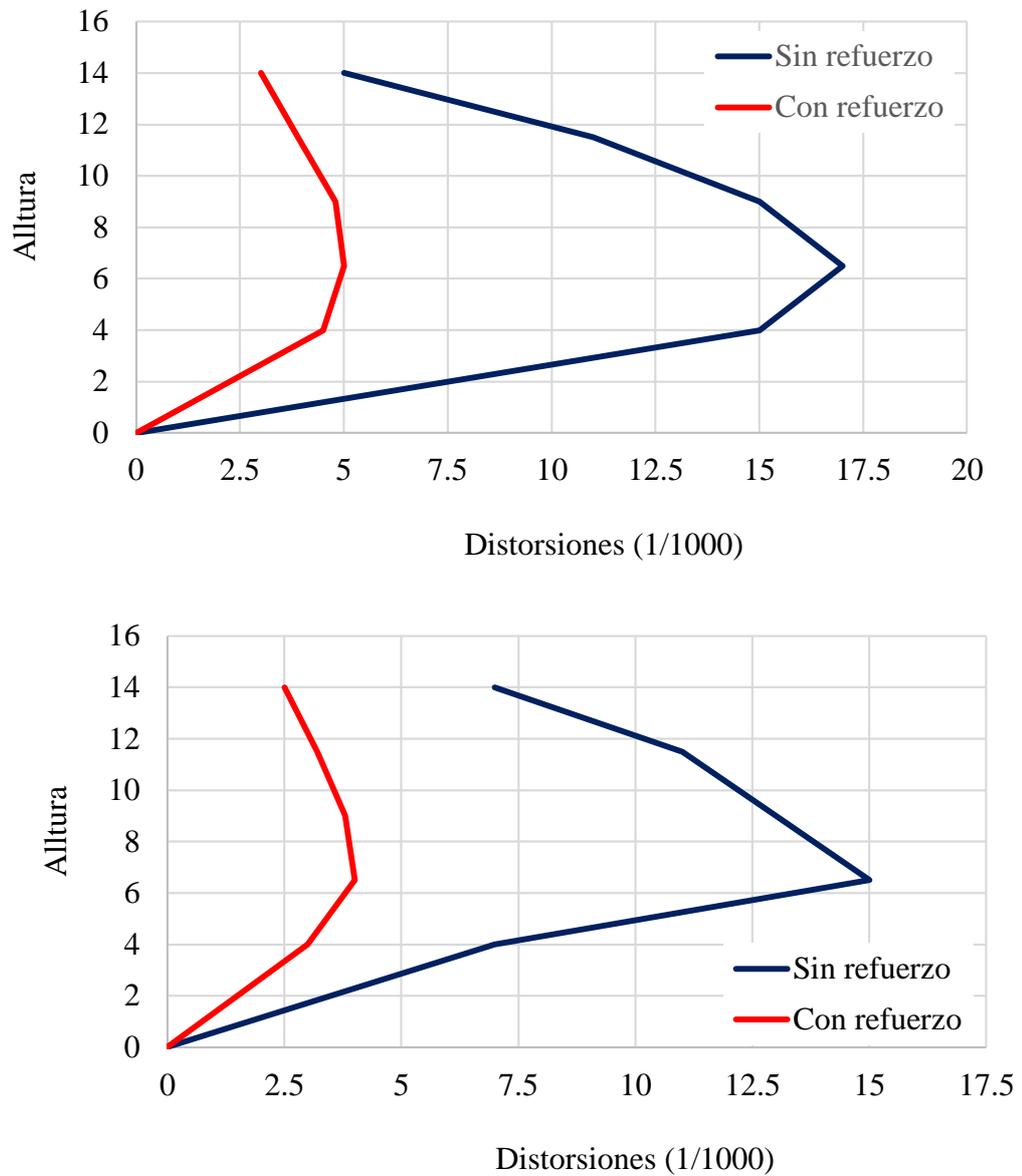


Figura 3-74: Comparación de las máximas distorsiones obtenidas en x e y, para los casos reforzado y sin reforzamiento. Fuente: Elaboración propia.

Tabla 3-12. Comparación de derivas de entrepiso (%): Edificio sin Amortiguadores y Edificio con Amortiguadores en el eje X.

Piso	Sin reforzamiento				Sin reforzamiento			
	Desplazamiento		Distorsiones		Desplazamiento		Distorsiones	
	Dx	Dy	dx	dy	Dx	Dy	dx	dy
Piso 5	0.17	0.16	5	7	0.054	0.045	3	2.5
Piso 4	0.16	0.13	11	11	0.049	0.038	3.9	3.2
Piso 3	0.13	0.11	15	13	0.04	0.03	4.8	3.8
Piso 2	0.1	0.07	17	15	0.03	0.02	5	4
Piso 1	0.05	0.035	15	7	0.015	0.01	4.5	3
Base	0	0	0	0	0	0	0	0

Se revisan la curva histerética de los dispositivos de disipación de mayor demanda para verificar la fuerza máxima a la cual está sometida mediante un análisis tiempo historia, ya que se incluirá el comportamiento inelástico de los dispositivos.

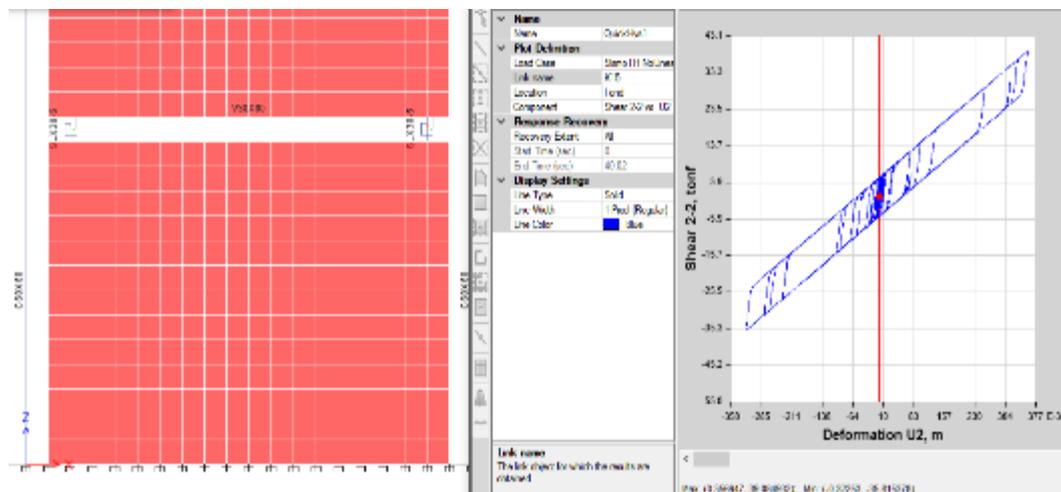


Figura 3-75: Revisión de disipador sísmico, conexión no lineal K15 en la dirección x mediante el promedio de los registros sísmicos.

En la fase de prediseño se asignó un dispositivo SL30-5 con una fuerza máxima de 496.73 KN. Después del análisis se puede ver que la fuerza máxima a la que está sometido el dispositivo es de 39.08 ton o 383.37KN, por lo que se podría optar por utilizar un disipador de menor resistencia como el tipo SL30-4 ( $F_{max}=416.18KN$ ).

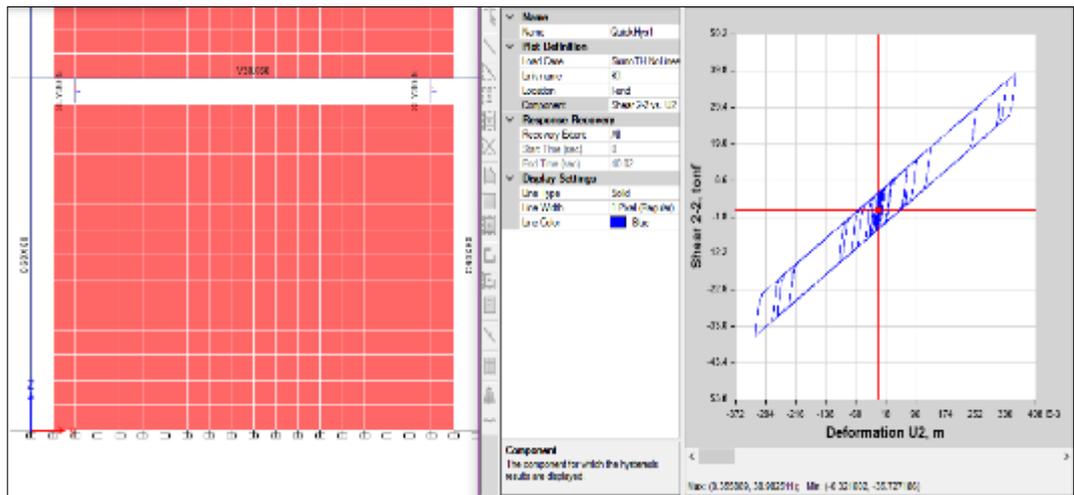


Figura 3-76: Revisión de disipador sísmico, conexión no lineal K1 en la dirección y mediante el promedio de los registros sísmicos.

En la fase de prediseño se asignó un dispositivo SL30-5 con una fuerza máxima de 496.73 KN. Después del análisis se puede ver que la fuerza máxima a la que está sometido el dispositivo es de 38.98 ton o 382.39KN, por lo que se podría optar por utilizar un disipador de menor resistencia como el tipo SL30-4 ( $F_{max}=416.18KN$ ).

### 3.13.2 Propuesta de diseño final

Una vez analizados los resultados se observó que, bajo las mismas condiciones, un sistema No-Lineal presenta una mejora en el desempeño sismo-resistente de mayor eficiencia. Este caso es muy común especialmente cuando se trata de estructuras

convencionales. Inclusive se notó que las fuerzas en los dispositivos no trabajaban a su mayor capacidad, por lo que se buscó optimizar su aplicación.

Tabla 3-13. Agrupación de Dispositivos

X-X	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Disipador
story 5	34.25	336.02	SL30-30
story 4	34.25	336.02	SL30-30
story 3	34.25	336.02	SL30-30
story 2	42.49	416.81	SL30-40
story 1	42.49	416.81	SL30-40
Y-Y	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Disipador
story 5	34.25	336.02	SL30-30
story 4	34.25	336.02	SL30-30
story 3	34.25	336.02	SL30-30
story 2	42.49	416.81	SL30-40
story 1	42.49	416.81	SL30-40
Amortiguadores			Cantidad
SL30-30			48
SL30-40			32
Total			80

## CONCLUSIONES

### General

De los resultados obtenidos, en términos de desplazamientos, distorsiones y fuerzas, se pudo observar que la aplicación de dispositivos metálicos de fluencia logra una disminución de los máximos desplazamientos y distorsiones laterales, así como en el caso de fuerzas sísmicas, esto al ser comparados con los resultados respectivos en el caso de la estructura sin reforzamiento. Por tanto, se concluye que el uso de dispositivos metálicos SLB permite la reducción de los desplazamientos y distorsiones máximas, logrando así mejorar de manera notable la respuesta sísmica de la estructura analizada.

### Específicas

La aplicación de disipadores metálicos por medio del uso de muros desacoplados permitió la reducción de los máximos desplazamientos laterales en dirección x, con valores de que van desde los 16 cm hasta los 5 cm, logrando una reducción de hasta el 70%, resultados similares se puede comentar en la dirección y.

La aplicación de dispositivos metálicos ha permitido a la estructura lograr reducciones de las máximas distorsiones laterales hasta en un 65%, tal como se puede apreciar al comparar la distorsión inicial obtenida en la estructura en dirección x, de 16/1000 y la máxima distorsión lateral obtenida al usar dispositivos metálicos de

5/1000. Por tanto, se concluye que la aplicación de dispositivos de disipación de energía metálicos SLB, nos permiten reducciones notables de los niveles de distorsión.

La aplicación de los dispositivos de disipación de energía metálicos SLB, nos permite disminuir los niveles de fuerzas internas en los elementos estructurales, tales como columnas y vigas.

## RECOMENDACIONES

Los muros desacoplados empleados para la colocación de los dispositivos de disipación de energía deben ser tales que sean capaces de absorber los momentos y fuerzas de corte inducidas en el durante la acción de un sismo. Además, como se ha visto, los dispositivos de disipación pueden someter a los muros desacoplados a niveles importantes de fuerza cortante, por lo que estos deben poseer la resistencia adecuada.

Se recomienda que los muros desacoplados de hagan de concreto armado, para ello, las varillas de refuerzo deben anclarse en las vigas de donde nacen, considerando que las longitudes de empotramiento de las varillas deben ser tales que permitan el desarrollo de los esfuerzos de fluencia.

Se recomienda la instalación de los dispositivos SLB como un medio para la salvaguarda del sistema resistente a cargas gravitacionales, es decir, como una manera de evitar el colapso de estructuras con deficiencias de rigidez.

## BIBLIOGRAFÍA

- 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. *18*.
- Aguiar, R., Llerena, E., & Jiménez, L. (2016). ANÁLISIS SÍSMICO DE AUDITORIO DE UFA-ESPE CON VIGAS SAN ANDRÉS Y DISIPADORES DE ENERGÍA SHEAR LINK BOZZO. *18*.
- American Society of Civil Engineers. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures (ASCE/SEI 7-10)*.
- Arteaga, Á., & de Diego, A. (2011). *Refuerzo de estructuras con materiales compuestos (FRP)*. España.
- Díaz Heredia, E. (2007). *"Influencia de diferentes variables en el comportamiento a flexión de secciones de hormigón armado reforzadas con materiales compuestos"*. E.T.S. de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos.
- FEDERAL EMERGENCY MANAGEMENT AGENCY. (1997). *NEHRP guidelines for the seismic rehabilitation of buildings FEMA-273*. .
- Gaxiola, G., & Bozzo, L. (2015). *Concepto "Rígido - flexible - dúctil" y las conexiones SLB*. Acapulco - México.
- Gaxiola, G., Bozzo, L., & Gonzales, H. (2015). *PROCESO DE ANALISIS Y DISEÑO UTILIZANDO DISIPADORES SISMICOS TIPO SBL*. Barcelona - España.

- Gonzales Cuevas, Ó. M. (2005). *Aspectos fundamentales de concreto reforzado 4a. ed. México: Limusa, 2005. 802 p. : il. ; 20 cm.* (Vol. 4a. ed.). México: Limusa.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2004). *METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION*. Mexico: McGraw-Hill Interamericana.
- Hurtado Soto, F., & Bozzo Rotondo, L. (2008). *MODELIZACIÓN NUMÉRICO-EXPERIMENTAL DE UN DISIPADOR SHEAR-LINK Y TABLAS DE DISEÑO*. Veracruz - Mexico.
- Júlio, E., Franco, F., & Silva, D. (2003). *Structural Rehabilitation of Columns with Reinforced Concrete Jacketing, in Progress in Structural Engineering and Materials*.
- Macgregor, J. M. (1997). *Reinforced concrete - mechanics and design* (3a. ed. ed.). New Jersey - EEUU.
- Molins Borrell, C., & Serrá Martín, I. (2004). “*Aspectos fundamentales para el diseño de un refuerzo estructural*”. Barcelona.
- MONTEJO FONSECA, A., MONTEJO PIRATOVA, F., & MONTEJO PIRATOVA, A. (2013). *Tecnología y patología del concreto armado*. Bogota D.C. - Colombia: Universidad Católica de Colombia ediciones.
- Morasles, L., & Contreras, J. (2012). *Protección de una Edificación Existente con Disipadores de Energía*. Lima.

Muñoz, A. (1997). *Fuerzas de Diseño y Control de Desplazamientos en la Norma Peruana de Diseño Sismoresistente*. Lima.

NORMA TÉCNICA E.030 Ministerio de Vivienda y Construcción. (2016). “*DISEÑO SISMORRESISTENTE*” . Lima - Peru.

Park, R., & Paulay, T. (1978). *Estructuras de concreto reforzado*. Mexico: Limusa.

Pepe, T., Gonzales, H., & Bozzo, L. (2015). • *USE OF ELASTO-PLASTIC BOZZO SHEAR-LINK (SLB) ENERGY DISSIPATORS IN AN INDUSTRIAL R.C. BUILDING IN LIMA PERU*. Napoli - Italia.

SENCICO. (2004). *Norma Técnica de Edificación E.020 Cargas, Servicio Nacional de Normalización, Capacitación e Investigación para la Industria de la Construcción*. Lima-Peru.

Skinner, I., Robinson, W., & McVerry, G. (1993). *An introduction to seismic isolation*. New Zealand: Wiley.

Villarreal Castro, G., & Oviedo , R. (2009). *EDIFICACIONES CON DISIPADORES DE ENERGIA* Dr. Genner Villarreal Castro M.Sc. Ricardo Oviedo Sarmiento.



**ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL**

En la ciudad universitaria de Cayhuayna a los veinticinco días del mes de julio del 2019, siendo las 06:00pm, se dio cumplimiento a la Resolución de Decano N° 366-2019-UNHEVAL-FICA-D y la Resolución de Decano N° 404-2019-UNHEVAL-FICA de fecha 19.JUL.2019, en concordancia con el Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería Civil y Arquitectura, para lo cual en el Auditorio de la Facultad, los Miembros del Jurado van a proceder a la evaluación de la sustentación de Tesis titulada "**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**", para optar el Título de Ingeniero Civil de Celeste Anahi SAMILLAN LEY CUEN.

Finalizado el acto de sustentación, se procedió a deliberar la calificación, obteniendo luego el resultado siguiente:

Miembros del Jurado Declararon... APROBADO ..... con la nota de : Dieciséis .....

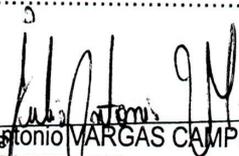
Con el calificativo de : Buena .....

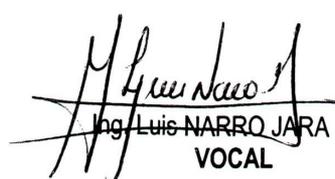
Dándose por concluido dicho acto a las: 7:15 p.m. ..... del mismo día.....

Con lo que se dio por concluido, y en fe de lo cual firmamos.

OBSERVACIONES:.....

  
 Jorge ZEVALLOS HUARANGA  
**PRÉSIDENTE**

  
 Ing. Julio Antonio VARGAS CAMPOS  
**SECRETARIO**

  
 Ing. Luis NARRO JARA  
**VOCAL**

c.c  
 Archivo.