

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



**DESEMPEÑO SÍSMICO DE UN HOSPITAL DE CONCRETO  
ARMADO CON DISIPADORES “SLB” SHEAR LINK BOZZO EN  
LA ZONA SÍSMICA 4**

**TESIS**

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

**PRESENTADA POR:**

**Bach. CERVANTES GARCIA, FRANCO RODRIGO**

**Bach. ALBRIZZIO FRANCA, YOSHMAN OSCAR MANUEL**

**Asesor: Mg. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR**

**LIMA-PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

La presente tesis la dedico a mi familia que han sido mi soporte en todo este tiempo, mis padres Oscar y Beatriz con su apoyo incondicional, a mi abuela Carmen quien ha estado siempre a mi lado, a Dios por brindarme a todas aquellas personas que están a mi lado y a quienes no están presentes aquí pero siempre los llevo en mi corazón.

Albrizzio Francia, Yorshman Oscar  
Manuel

Dedicado a cada persona que impulso esta meta en mi vida, en especial a mis padres y hermanos con su ejemplo, de no rendirse ante las adversidades del camino.

Cervantes García, Franco Rodrigo

## **AGRADECIMIENTO**

Queremos comenzar dando nuestro agradecimiento a nuestras familias ya que sin su apoyo no estaríamos cruzando esta etapa de nuestra vida, a la Universidad Ricardo Palma por darnos esta oportunidad, a nuestro asesor Mg. Garate Francisco por su apoyo constante en todo este tiempo, a aquellos ingenieros y especialistas que nos brindaron sus conocimientos para afrontar este reto y muy especialmente al Ingeniero Dr. Luis Bozzo quien nos brindó sus conocimientos y experiencia.

Albrizzio Francia, Yorshman Oscar  
Manuel

Cervantes Garcia, Franco Rodrigo

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xi
ABSTRACT .....	xii
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.1 Formulación y delimitación del problema.....	3
1.2 Problema General y Específico .....	4
1.2.1 Problema General.....	4
1.2.2 Problemas Específicos.....	4
1.3 Objetivo General y Específico .....	4
1.3.1 Objetivo General .....	4
1.3.2 Objetivos Específicos .....	4
1.4 Justificación e Importancia.....	5
1.4.1 Justificación.....	5
1.4.2 Importancia.....	6
1.5 Limitación del Estudio .....	6
1.6 Viabilidad .....	7
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	8
2.1 Investigaciones relacionadas al tema .....	8
2.1.1 Antecedentes Nacionales.....	8
2.1.2 Antecedentes Internacionales .....	10
2.2 Bases Teóricas .....	17
2.2.1 Normas .....	17
2.2.2 Propiedades mecánicas de los materiales .....	23
2.2.3 Modelo de Mander .....	24
2.2.4 Acero de Refuerzo.....	25
2.2.5 Características de los elementos de concreto armado .....	27
2.2.6 Disipadores de Energía.....	30
2.2.7 Sistemas de control de movimiento .....	32

2.2.8	Sistema de Control Dependiente del desplazamiento .....	35
2.2.9	Disipadores metálicos .....	36
2.2.10	Dispositivos Shear Link Bozzo .....	44
2.2.11	Sistema Rígido-Dúctil-Flexible.....	55
2.2.12	Comportamiento SLB .....	57
2.2.13	Modelo de Wen .....	61
2.2.14	Desempeño sísmico.....	63
2.2.15	Niveles de desempeño .....	64
2.2.16	Movimiento sísmico de diseño.....	68
2.2.17	Matriz de desempeño propuesta del COMITÉ VISION 2000 .....	69
2.2.18	Verificación del desempeño .....	70
2.2.19	Importancia de la protección sísmica en hospitales .....	71
2.2.20	Situación actual de los hospitales en el Perú.....	74
2.3	Definición de términos Básico .....	74
CAPÍTULO III: HIPÓTESIS .....		77
3.1	Hipótesis General .....	77
3.2	Hipótesis Específicos .....	77
CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO.....		78
4.1	Tipo, método y diseño de investigación.....	78
4.1.1	Tipo .....	78
4.1.2	Método .....	78
4.1.3	Diseño de la investigación.....	79
4.2	Población de Estudio .....	79
4.3	Diseño muestral .....	79
4.4	Relación entre Variables .....	80
4.5	Técnica de recolección de datos .....	80
4.6	Procedimiento para la recolección de datos .....	80
4.7	Técnicas de procesamiento y análisis de datos .....	80
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SÍSMICO .....		82
5.1	Descripción del caso de estudio .....	82

5.1.1	Bloque Hospitalario de 4 Niveles.....	83
5.1.2	Propiedades de los materiales son las siguientes: .....	86
5.1.3	Cargas de la Estructura.....	87
5.2	Modelado de los dispositivos SLB y diseño iterativo .....	89
5.3	Análisis Dinámico Modal Espectral con y sin Disipadores .....	91
5.3.1	Parámetros a usar en el análisis Sismorresistente .....	92
5.3.2	Verificación de Fuerzas Cortantes .....	92
5.3.3	Fuerza cortante en los elementos .....	94
5.3.4	Periodos de la Estructura.....	95
5.3.5	Máxima deriva de entre piso .....	96
5.4	Verificación Tiempo – Historia No Lineal.....	97
5.4.1	Registros Sísmicos usados .....	97
5.4.2	Obtención de Curvas Histeréticas .....	100
5.4.3	Deformaciones de los Dispositivos .....	105
5.4.4	Obtención de porcentajes de Disipación .....	106
5.4.5	Evaluación del daño no estructural en contenidos mediante las aceleraciones	
	110	
CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.....		115
6.1	Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados .....	115
6.2	Contrastación de las Hipótesis .....	116
CONCLUSIONES.....		119
RECOMENDACIONES .....		120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....		121
ANEXOS.....		126

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1. Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959. ....	22
Tabla 2. Niveles de Desempeño de las Estructuras .....	67
Tabla 3. Objetivos de Desempeño sísmico recomendado para Estructuras .....	69
Tabla 4. Valores Límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño (ATC-40) .....	71
Tabla 5. Valores Límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995) .....	71
Tabla 6 Derivas límite de entrepiso según el manual HAZUS .....	71
Tabla 7. Categorías de Establecimientos de Salud por Niveles.....	73
Tabla 8. Unidades Productoras de Servicios de Salud.....	73
Tabla 9 Carga muerta y metrado de cargas por nivel según la Norma E.020 .....	87
Tabla 10 Carga viva y metrado de cargas por nivel según la Norma E.020.....	87
Tabla 11 Parámetros a usar en el análisis Sismorresistente.....	92
Tabla 12 Valores de Fuerzas Cortantes sin disipadores SLB .....	93
Tabla 13 Valores de Fuerzas Cortantes con disipadores SLB .....	94
Tabla 14 Cortante que toma las columnas con y sin disipador SLB .....	95
Tabla 15 Periodo de la estructura con y sin disipadores SLB .....	95
Tabla 16 Máxima derivas de entre piso sin Disipadores SLB .....	96
Tabla 17 Máxima derivas de entre piso con Disipadores SLB.....	96
Tabla 18 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Este - Oeste.....	105
Tabla 19 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Norte – Sur .....	106
Tabla 20 Porcentaje de absorción que absorbe la estructura y los disipadores con muros desacoplados .....	106
Tabla 21 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 sin Disipadores SLB .....	111
Tabla 22 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 con Disipadores SLB .....	112

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012.....	21
Figura 2. Curva esfuerzo-deformación del concreto a compresión .....	24
Figura 3 Curva típica Esfuerzo-Deformación de aceros de refuerzo.....	26
Figura 4 Diagrama de Momento Rotación según ASCE 41 .....	27
Figura 5. Ablandamiento .....	29
Figura 6 Efecto de los Sistemas de Disipación de Energía en Curva Fuerza- Deformación .....	32
Figura 7 Elementos de un Sistema Pasivo de Control .....	33
Figura 8 Bucles de Fuerza-Desplazamiento de Dispositivos Histeréticos de Disipación .....	33
Figura 9 Bucle Fuerza-Desplazamiento de un Sistema de Disipación de Energía Viscoelástico .....	34
Figura 10. Bucle Energía-Desplazamiento de Otros Dispositivos de Disipación de Energía.....	35
Figura 11 Ley Constitutiva Típica para la Probeta Metálica .....	36
Figura 12. Modelos Matemáticos Tensión-Deformación a) Elástico-Perfectamente Plástico b) Elastoplástico c) Ramberg-Osgood .....	37
Figura 13. Respuesta Tensión-Deformación en Cargas Alternas .....	38
Figura 14 Dispositivo Adicional de Amortiguación y Rigidez (ADAS).....	40
Figura 15 Comportamiento Fuerza-Desplazamiento ADAS .....	40
Figura 16. Soportes Chevron para instalación de dispositivos ADAS .....	41
Figura 17. Configuración alternativa para instalación de los dispositivos ADAS .....	41
Figura 18. Geometría del disipador tipo panel .....	42
Figura 19. Bucle del dispositivo histerético tipo panel.....	43
Figura 20. Dispositivo con pandeo restringido .....	44
Figura 21. Comportamiento Típico de un dispositivo de pandeo restringido bajo una carga cíclica .....	44
Figura 22. Dispositivo de disipación de energía Shear Link .....	45
Figura 23. Modo de Falla Shear Link .....	46

Figura 24. Conexiones de los dispositivos SLB y estructura .....	47
Figura 25 Conexión del Dispositivo de aluminio SLB .....	48
Figura 26 Dispositivo SLB de aluminio .....	48
Figura 27 Comportamiento Histerético Esfuerzo cortante .....	49
Figura 28 Primer Generación Dispositivos Shear Link .....	51
Figura 29 Segunda Generación Dispositivos Shear Link .....	51
Figura 30 Tercera Generación Dispositivos Shear Link.....	52
Figura 31 Curva Histerética sin inclusión del desplazamiento de la conexión .....	53
Figura 32 Curva Histerética para diferentes dimensiones de dispositivos Shear Link...	55
Figura 33 Sistema Rígido – Flexible .....	56
Figura 34 Relación Fuerza – Desplazamiento Dispositivo SLB .....	57
Figura 35 Modelo Reológico del sistema de disipación estructura- dispositivo SLB ....	57
Figura 36 Segunda generación dispositivo SLB.....	60
Figura 37 Tercera Generación Dispositivo SLB.....	60
Figura 38 Modelo Plástico de WEN .....	62
Figura 39 Curva para diferentes valores de $n$ ( $A = 1, a = \beta = 0.5$ ).....	63
Figura 40 Diagrama de Marco Conceptual de la “Ingeniería Basada en Desempeño ....	64
Figura 41 Inversión Típica en la Construcción.....	72
Figura 42 Planta del área del Hospital de Emergencia José Casimiro Ulloa.....	82
Figura 43 Planta típica de la superestructura del Bloque 4B .....	84
Figura 44 Modelo de Vista de Planta de la Estructura base en estudio .....	85
Figura 45 Vista 3D de la Estructura Aporticada de Estudio sin sistema de disipación..	86
Figura 46 Vista 3D de la Estructura Aporticada de Estudio con disipadores SLB y muros desacoplados .....	86
Figura 47 Esquema del Metrado por área de carga por servicio de la planta simétrica para el pre-dimensionamiento.....	88
Figura 48 Propiedades de dispositivos SLB. Acero ASTM A36 ( $F_y=2530\text{kg/cm}^2$ ) .....	89
Figura 49 Parámetros de los Disipadores “Shear Link Bozzo” SLB.....	90
Figura 50 Aceleraciones del Sismo de Lima 1974 E-W, N-S de la estación Parque de la Reserva (PRQ) .....	98

Figura 51 Aceleraciones del Sismo de Lima 1966 E-W, N-S de la estación Parque de la Reserva (PRQ) .....	98
Figura 52 Aceleraciones del Sismo de Ica 2007 E-W, N-S de la estación Casa Dr. Piqué .....	99
Figura 53 Espectro según la Norma E.030 para un valor de R=1 .....	99
Figura 54 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 25_7 en el Sismo de Ica del 2007 en dirección Este – Oeste.....	100
Figura 55 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 25_7 en el Sismo de Lima de 1974 en dirección Este – Oeste.....	101
Figura 56 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 25_7 en el Sismo de Lima de 1966 en dirección Este – Oeste.....	102
Figura 57 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40_6 en el Sismo de Ica del 2007 en dirección Norte – Sur .....	103
Figura 58 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40_6 en el Sismo de Lima de 1974 en dirección Norte – Sur. ....	104
Figura 59 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40_6 en el Sismo de Lima de 1966 en dirección Norte – Sur. ....	105
Figura 60 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Ica del 2007 en dirección Este - Oeste .....	107
Figura 61 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Ica del 2007 en dirección Norte – Sur.....	108
Figura 62 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1974 en dirección Este - Oeste .....	108
Figura 63 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1974 en dirección Norte – Sur.....	109
Figura 64 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1966 en dirección Este - Oeste .....	109
Figura 65 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1966 en dirección Norte – Sur.....	110
Figura 66 Aceleraciones Máximas de piso asociadas al estado de daño no estructural	111

## RESUMEN

En la presente tesis se pretende sustentar la aplicación de protección sísmica para un Hospital de Concreto Armado en la costa del Perú (Zona 4), con el uso del sistema compuesto por los disipadores SLB “Shear Link Bozzo” con muros desacoplados, con el objetivo de obtener un desempeño sísmico óptimo y lograr que la estructura quede operacional frente al sismo máximo, para lo cual se idealizó la estructura tomando criterios de antecedentes en proyectos e investigaciones. Para ello se hizo uso del Software ETABS V18, para modelar estructura, así como del programa plugin Dissipa SLB V20 para agilizar el proceso de iteración de los dispositivos SLB.

Para idealizar una estructura que se ajuste a la realidad, se procedió al pre-dimensionamiento estructural, así como un pre-diseño de los disipadores SLB y los muros desacoplados, y posterior Análisis Dinámico Modal Espectral y el Análisis Dinámico No Lineal Tiempo-Historia realizado con la ayuda de 3 registros sísmicos de grandes intensidades, obtenidos de la página del CISMID, ocurridos en la costa del Perú, tal cual como menciona la Norma E.030.

Se obtuvieron los parámetros necesarios para estudiar la eficiencia de los dispositivos aplicados al sistema, estos fueron: Derivas de entre piso, periodos de la estructura, porcentaje de energía disipada, curvas histeréticas, deformaciones de los disipadores y aceleraciones de entrepiso. Asimismo, se pudo realizar una comparación entre el uso de un sistema aporticado convencional vs. el uso de disipadores SLB con muros desacoplados como implementación de protección sísmica, demostrando la superioridad de los últimos.

Finalmente, se lograron obtener resultados favorables, con una estructura que permanece operacional luego de un sismo máximo gracias a la aplicación de los dispositivos SLB, lo que fue demostrado con la reducción de derivas del 83.56% en dirección X y un 80.88% en dirección Y, además de obtener aceleraciones superiores al 0.3 establecido en el manual HAZUS.

Palabras clave: Disipador SLB, Sismo Máximo, Análisis Dinámico Modal Espectral, Análisis Dinámico No Lineal Tiempo–Historia, Desempeño sísmico.

## **ABSTRACT**

This thesis is intended to support the application of seismic protection for a Reinforced Concrete Hospital on the coast of Peru (Zone 4), with use of the system composed of the SLB "Shear Link Bozzo" dissipators with decoupled walls, with objective to obtain an optimal seismic performance and achieve that the structure is fully operational in the face of the maximum earthquake, for which the hospital structure was idealized taking background criteria in projects and investigations. For this, ETABS V18 Software was used to model the structure, as well as Dissipa SLB V20 plug-in program to speed up iteration process of the SLB devices.

To model a structure that conforms to reality, we proceeded to structural pre-dimensioning, as well as a pre-design of the SLB heatsinks and decoupled walls, and subsequent Spectral Modal Dynamic Analysis and Non-Linear Time-History Dynamic Analysis. This last method was carried out with help of seismic records obtained from CISMID website, obtaining 3 seismic records of great intensity, which occurred on the coast of Peru, as mentioned in Standard E.030.

As a result of the analyzes carried out, the necessary parameters were obtained to study efficiency of devices applied to the system, these were: Interfloor drifts, periods of the structure, percentage of dissipated energy, hysterical curves, deformations of the dissipators and accelerations of mezzanine. Likewise, a comparison could be made between use of a conventional contributed system vs. use of SLB heatsinks with decoupled walls as an implementation of seismic protection, demonstrating the superiority of the latter. Finally, favorable results were obtained, with a structure that remains operational after a maximum earthquake due to application of SLB devices.

Keywords: SLB heatsink, Spectral Modal Dynamic Analysis, Time-History Nonlinear Dynamic Analysis, Seismic performance.

## INTRODUCCIÓN

El Perú es un país altamente sísmico porque se encuentra ubicado en el cinturón de fuego, por lo tanto, es esencial aplicar sistemas de protección sísmico para todas las edificaciones sobre todo estructuras esenciales como: Hospitales, Escuelas, Estadios, etc. Tomando como base la filosofía que se encuentra dentro de la Norma E.030, la cual toma los siguientes puntos: Evitar pérdidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad.

Para lograr cumplir con esta filosofía planteada la normativa NTP-E.0.30 amplifica el espectro de diseño con un factor de uso  $U=1.5$  para estructuras esenciales ante al sismo máximo, y al mismo tiempo ver la eficiencia del sistema de protección basado en el uso de los Disipadores sísmicos SLB “*Shear Link Bozzo*” con muros desacoplados, se ha optado idealizar una estructura hospitalaria y analizarla usando El Reglamento Nacional de Edificaciones (NTP-E.030, NTP-E.0.20, NTP-E.0.60), además Normas Internacionales como HAZUS-99 y FEMA 356, y la orientación del creador de los disipadores sísmicos el Ingeniero Luis Bozzo, quien con su experiencia nos indicó los parámetros y criterios al momento de realizar el modelamiento, análisis y verificación de los resultados de la estructura.

En el capítulo I se comienza a desarrollar la investigación partiendo con la descripción y delimitación del problema, se formuló el problema, se plantearon los objetivos, tomando como objetivo general lograr un desempeño sísmico de un Hospital con el uso de los disipadores SLB “*Shear Link Bozzo*” con muros desacoplados, se analizó la justificación e importancia de esta investigación, la limitación del estudio y su viabilidad.

En el capítulo II se recopiló información que nos serviría como base teórica para la justificación de la presente investigación, basándonos en Investigaciones relacionadas al tema presentando antecedentes, el uso de diferentes normas y manuales.

En el capítulo III se planteó las hipótesis tomando como hipótesis general asegurar que la estructura es totalmente operacional luego de un evento sísmico de gran intensidad.

En el capítulo IV se realizó la metodología del estudio en donde se analizó el tipo, método y diseño de la investigación, población y muestra, relación entre variables, técnicas de recolección de datos, los procedimientos para la recolección de datos y las técnicas de procesamiento y análisis de datos.

En el capítulo V se desarrolló el análisis estructural usando como base las investigaciones recaudadas y criterios de diseño guiados por el Ingeniero Luis Bozzo, se realizó los metrados de cargas y desarrollo del modelo matemático, usando como guía los parámetros sismorresistentes de la Norma E.030, con el uso del plugin DISSIP SLB se pre-dimensionan y modelan los dispositivos, una vez finalizado el modelamiento se puede aplicar los 2 tipos de análisis: Dinámico Modal Espectral y Dinámico No Lineal Tiempo-Historia; con los cuales se podrá obtener los resultados que nos darán un mejor entendimiento de la eficiencia de este sistema de protección sísmica.

En el capítulo VI se analizan los resultados obtenidos en el capítulo anterior en donde podremos observar las variaciones entre los dos sistemas planteados y también se podrán contrastar las hipótesis planteadas.

# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO Y DELIMITACIÓN DEL PROBLEMA

## 1.1 Formulación y delimitación del problema

El Perú es uno de los países situados en el cinturón de fuego del pacífico; específicamente la zona sísmica 4, la cual abarca todos los departamentos que se encuentran de forma paralela al litoral, existe un silencio sísmico acumulando gran cantidad de energía por 274 años tras el sismo ocurrido en 1746 de magnitud 8.4. En caso de ocurrir el sismo máximo esperado, generaría grandes daños en pérdidas de líneas vitales, humanas y colapsos de estructuras esenciales, dejando a cientos de personas sin el servicio de atención. Refiriéndonos a estructuras esenciales, como establecimientos de salud, deben mantenerse operativos durante y después de un evento sísmico; la falta de atención del sistema de salud ante la pandemia del covid-19 nos muestra la ineficiencia de tener hospitales sin culminar y falta instalaciones para cumplir las demandas. Un factor puede ser la falta de recursos económicos por elevados costos en proyectos de aislamiento de base en ciertos tipos de suelos, para lograr una estructura operativa. El cual con esta analogía en un evento sísmico tendríamos escasos de establecimientos de salud para atender heridos; por lo cual se debe mitigar la posibilidad de que la infraestructura hospitalaria pueda sufrir daños imposibilitando la atención a pacientes. Todo lo mencionado sería un gran impacto en la sociedad y la economía del País.

En la presente tesis de investigación queremos dar a conocer que la aplicación de disipadores histeréticos tipo SLB (*Shear Link Bozzo*) como sistema de protección sísmica puede lograr estructuras resilientes es decir estructuras que puedan soportar movimientos sísmicos de gran magnitud y seguir operativas tal como funcionaria el aislamiento de ante el sismo máximo, como en el caso de hospitales logrando el desempeño sísmico de acuerdo a su necesidad. Con la diferencia que los SLB aportan redundancia estructural, esto significa que los elementos tengan la capacidad de disipar energía más allá del rango de deformaciones elásticas y

así evitar sobrecargar ciertos elementos, estas consideraciones con el fin de asegurar el desempeño sísmico.

## 1.2 Problema General y Específico

### 1.2.1 Problema General

¿Cuál es el desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores SLB “*Shear Link Bozzo*” en la zona sísmica 4?

### 1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cuáles son las derivas de un hospital de 4 niveles con y sin disipadores SLB para el sismo máximo?
- b) ¿Cuáles son las aceleraciones de entrepiso en un Hospital de 4 niveles con disipadores SLB para el sismo máximo con y sin disipadores SLB?
- c) ¿Cuál es la eficiencia del disipador SLB como un sistema de protección sísmica en un hospital de 4 niveles?

## 1.3 Objetivo General y Específico

### 1.3.1 Objetivo General

Analizar el desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores SLB “*Shear Link Bozzo*” en la zona sísmica 4.

### 1.3.2 Objetivos Específicos

- a) Verificar las derivas de un hospital de 4 niveles con y sin disipadores SLB para el sismo máximo.
- b) Verificar las aceleraciones de entrepiso en un hospital de 4 niveles con disipadores SLB para el sismo máximo con y sin disipadores SLB.
- c) Evaluar la eficiencia del disipador SLB como protección sísmica de un hospital de 4 niveles.

## 1.4 Justificación e Importancia

### 1.4.1 Justificación

-Aporte: Investigar la aplicación de disipadores SLB en edificaciones esenciales para ampliar los estudios que respaldan el uso de estos dispositivos con sustento en que estos disipadores, a diferencia de los convencionales, comienzan a plastificar desde deformaciones muy pequeñas, además de aportar rigidez y ductilidad, protegiendo de daños severos a las estructuras esenciales ante eventos sísmicos, garantizando su funcionamiento al incursionar en el rango inelástico. En base a las investigaciones previas realizadas por el PhD. Luiz Bozzo, se puede plantear nuevos sistemas de protección sísmica que funcionen de forma más eficiente, al ser de fácil aplicación y sustitución en caso de un evento sísmico, garantizando la seguridad de las personas y al mismo tiempo dando un paso hacia una nueva era de construcción.

- Social: las estructuras con protección sísmica, como los disipadores SLB permiten un nivel de desempeño de operación continua, garantizando la seguridad de los ocupantes, en el caso de hospitales se permitirá la atención después de un sismo máximo. Además, ante la poca capacidad de atención de nuestros centros hospitalarios, se requiere la máxima operatividad en el tiempo de la infraestructura de estos.

-Cultural: La aplicación de tecnología de protección sísmica tiene como finalidad disminuir los daños a las estructuras sistemas convencionales, lo cual debe ser enfocado en nuestro país a todo tipo de edificación y desplazar las estructuras tradicionales que presenten daño al disipar energía sísmica, además se pueden incorporar en estructuras existentes sin necesidad de procedimientos invasivos o dificultosos.

- Económico: En comparación con otros sistemas de protección sísmica estos dispositivos son más económicos en su diseño, fabricación, instalación y mantenimiento; además su implementación en sistemas tradicionales los

elementos estructurales presentaran menor sección y cuantías de acero. Además, las estructuras no presentaran daños para su reparación lo cual es ahorro económico y este dinero puede ser proyectado para la construcción de más centros hospitalarios en el país.

-Jurídico, la normativa peruana estandariza a emplear aisladores en las estructuras hospitalarias del nivel de atención II y III, diversos investigadores no le dan respaldo a lo mencionado. Los disipadores pueden lograr el objetivo operacional análogo a los aisladores, con ventajas sobre los últimos pues no se limitan ante las características de las zonas sísmicas y tipos de perfiles de suelo.

#### 1.4.2 Importancia

El uso de los Disipadores SLB con muros discontinuos en hospitales para garantizar el desempeño operativo es beneficioso no solo por el hecho de que aportan ductilidad y rigidez a la estructura para prevenir daños, de igual forma tiene una relación Beneficio-Costo debido al bajo costo que representa la implementación de este sistema, así mismo los muros desacoplados cumplen función arquitectónica como tabiquerías, según las investigaciones realizadas por el Ph.D Luis Bozzo se ha demostrado que estos dispositivos pueden cumplir con similar desempeño estructural que tiene los aisladores sísmicos, dándonos una alternativa novedosa y práctica para su aplicación.

#### 1.5 Limitación del Estudio

La presente tesis se realizará un análisis de una estructura hospitalaria de 4 niveles ubicado en zona sísmica 4 con un perfil de suelo S2 (Suelos intermedios) para evaluar su desempeño ante el sismo de 2475 años, en este estudio no se presentará el diseño ni los planos de ejecución, ya que es una estructura destinada a esta investigación fue idealizada, para no desestimar la normativa presente de aislamiento sísmico (NTP E 0.31)

## 1.6 Viabilidad

La presente investigación será de gran ayuda para dar muestra de los disipadores “*Shear Link Bozzo*” SLB, como sistema de protección sísmica de ingeniería peruana es capaz de lograr estructuras esenciales con funcionamiento durante y posterior a sismos máximos, proponiendo a no limitarse el concepto de protección sísmica a solo el aislamiento de base, lo cual ocurre consecuentemente en nuestro país, elevando costos en ciertos aspectos de proyectos, como por ejemplo en proyectos hospitalarios, además de aportar redundancia estructural en variabilidad de suelos y zonas sísmicas, así mismo se hará uso de normas internacionales como: FEMA 356, Manual HAZUS 1999, SEAOC Vision 2000, ASCE 41-13, ATC-40, la NTP E.030-E.020-E.060, así como el uso de Software ETABS-2018.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1 Investigaciones relacionadas al tema

#### 2.1.1 Antecedentes Nacionales

Quispe H. & García U. (2019) Realizaron una tesis titulada “Reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo *Shear Link Bozzo* en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima” para optar el grado académico de ingeniero civil en la Universidad Ricardo Palma. Los principales resultados obtenidos sustentan que los disipadores reducen las derivas en un 50.66% en dirección X y un 48.30% en dirección Y, logrando cumplir con los límites establecidos en la Norma Técnica Peruana E.030 (2018). Asimismo, se comprobó que el porcentaje de absorción de energía del disipador SLB fue de un 40.00% y de la estructura global se redujo de un 100% a un 59.70% para el registro de ICA 2007 en el eje X, mientras que para el eje Y fue de un 58.5%, cumpliendo con el objetivo de proteger la estructura al reducir el completo impacto. Sin embargo, se limitaron a realizar un análisis de desempeño el cual garantizaría la resiliencia sísmica ante un sismo que supere la norma.

Del Rosario, G. (2018) Realizó una investigación sobre “Desempeño sísmico de aisladores: estudio de un hospital de concreto armado”. Tesis Profesional: Pontificia Universidad Católica del Perú – PUCP. Se evaluó el desempeño sísmico de un hospital con aisladores, estudiando el comportamiento inelástico de éstos y verificando las derivas de entrepiso aplicando los lineamientos de la ASCE 7 y la norma E.030 (2016). En dicho análisis se seleccionaron cinco señales y se escalaron al espectro de diseño de nuestra norma, utilizando los *softwares* SeismoSignal y SeismoMatch. Se obtuvieron los resultados de que las demandas sísmicas se han reducido entre un 45% y 60%, demostrando que los aisladores cumplieron su función con una eficacia tangible. Se aplicó el procedimiento propuesto por el FEMA (*Federal Emergency Management Agency*) en el documento “HAZUS, *Earthquake Loss Estimation Methodology*”, con esta

información se obtuvo el daño estimado a partir de las derivas calculadas para el análisis tiempo-historia, en ambas direcciones y tanto para el caso aislado como base fija. Se puede observar que, para los casos aislados, el estado del daño estimado por el manual HAZUS coincide con el calculado por el análisis tiempo - historia con las rotulas plásticas modeladas con el programa SAP 2000, para determinar los desplazamientos y fuerzas en cada instante. Se demostró que el efecto de los aisladores sísmicos en la estructura presenta una respuesta elástica para todos los registros permitiendo que ésta se mantenga sin daño durante y después de un sismo severo y esto es indicador que la estructura permanece completamente operativa. Además, presenta un incremento de periodo traducido en un aumento de flexibilidad lateral concentrada en el nivel de aislación que, en sinergia con la deformación asociada al tipo de material del aislador, permiten que la estructura permanezca rígida. Podemos concluir que es ideal realizar los dos tipos de análisis para tener una mayor seguridad en la evaluación el desempeño sísmico, además es necesario incluir un análisis dinámico incremental para tener valores de aceleraciones de entrepiso, los cuales generan daños en los elementos no estructurales.

Enriques A. & Sánchez G. (2018) Realizaron una tesis titulada “Evaluación sísmica y propuesta de reforzamiento con disipadores de energía al “hospital nacional Almanzor Aguinaga asenjo” de Chiclayo–región Lambayeque, actualizado a la norma E.030-2016”. Se realizaron ensayos de diamantina para poder extraer muestras de los elementos estructurales las cuales dieron como resultado un  $f'c=230 \text{ kg/cm}^2$  para vigas y un  $f'c=240 \text{ kg/cm}^2$  para columnas, esta estructura hospitalaria no contaba con los planos estructurales y algunos planos arquitectónicos no eran compatibles con la distribución de las áreas; se clasifico el tipo de suelo como un S3 según la norma E.030. Además, se realizó un análisis de vulnerabilidad sísmica de todos los bloques, obteniendo como resultado que todos los bloques son vulnerables ante un evento sísmico. Luego usando el software Etabs v.16.2 se realizó el modelamiento de la estructura la cual está compuesta por 4 bloques (A-B-C-D); además del uso de 3 acelerogramas reales

escalados con el programa Seismo-Match, lo cual llevo a la consideración de refuerzo de la estructura usando disipadores de diferentes tipos como: Disipadores de fluido viscoso, viscoelásticos, plastificación de metales y fricción.

Luego de la aplicación de estos disipadores se observó que los disipadores de Fluido Viscoso eran los más eficientes con una disipación de 88.64% para los bloques A y B.

Luego de la comparación de máximas fuerzas axiales con su respectiva deformación de los dispositivos de disipación pasiva, se concluye que, para los bloques el dispositivo de disipación de energía que absorbe una mayor fuerza axial es el disipador de fluido viscoso y también la mayor fuerza axial de los disipadores viscosos presenta una menor deformación que los otros disipadores.

Para todos los bloques en ambas direcciones el dispositivo de disipación que más reduce los desplazamientos del centro de masa es el disipador de fluido viscoso, es el que mejor se comporta para la disminución de derivas no obstante en el caso del Bloque C solo cumple con la deriva máxima permitida por la norma.

En el caso del Bloque A disminuyo en el eje X un 76% y en Y un 55%, para el Bloque B en el eje X un 75% y para el eje Y un 66%, en el caso del Bloque C en el eje X en un 29% y en el eje Y en un 81%, en el Bloque D en el eje X en un 54% y en el eje Y en un 69%.

En conclusión, el uso de los Disipadores de Fluido Viscoso dio un gran aporte a la estabilidad de la estructura por sus propiedades mejores que los otros tipos de disipadores de energía no obstante este tipo de disipadores no generan ninguna variedad en el periodo de la estructura debido a que estos no aportan rigidez al sistema estructural y solo se basan en la disminución de fuerzas axiales.

### 2.1.2 Antecedentes Internacionales

Ciliento *et al.* (2020) Describieron y compararon tres procedimientos para la definición de un conjunto completo de dispositivos histéresis metálicos que se instalarán en toda la altura de la estructura de un edificio: método iterativo

"directo", (2) "inverso" o "fuerza fija" método iterativo, método de diseño basado en desplazamiento.

Todos los procedimientos se pueden aplicar manualmente o por medio de un software específico desarrollado en Visual Basic, automatizando así cada paso operativo. Los procedimientos de método iterativo "directo" e "inverso" están diseñados para ser adecuados para un disipador histéretico específico, es decir, el Shear Link Bozzo, riostras de acero o paredes desacopladas de concreto armado, mientras que el método de diseño basado en desplazamiento es factible para una amplia gama de dispositivos histéreticos, estos métodos fueron aplicados en un estudio de caso de una estructura compleja real construida en un área sísmica alta en Puerto Vallarta (México) para demostrar la efectividad de los procedimientos. Los resultados finales se han comparado en términos de deriva entre niveles, aceleración de la historia, coeficiente sísmico, cantidad y costo de disipadores y muros de concreto fueron: el método iterativo "directo" se ha descartado por ser un procedimiento que entrega amortiguadores más grandes en cada iteración y, por lo tanto, eventualmente, una pared de soporte gruesa inaceptable. A saber, 25-30 cm puede considerarse un espesor máximo tanto desde el punto de vista arquitectónico como económico. Entre todos los procedimientos, el "inverso" puede considerarse el más efectivo, asegurando un mejor comportamiento estructural, espesores aceptables para paredes desacopladas y un menor tiempo de cálculo que permite que se implemente muchas veces.

Por otro lado, el procedimiento basado en desplazamiento resulta en una solución de diseño más económica. Sin embargo, si el objetivo final es la reducción de la deriva entre niveles, los procedimientos inversos o directos resultan más efectivos. De todos modos, además de su simplicidad inherente, su naturaleza iterativa puede llevarlos a consumir mucho tiempo.

De la información revisada podemos concluir que el uso del método iterativo "inverso" es el más apropiado debido a sus características antes mencionadas, de

esta forma sería el método más eficaz y realista para acercarnos a la realidad de la investigación.

Pantoja et al. (2020) En esta investigación presentaron los resultados de la correlación experimental y numérica para una estructura de hormigón prefabricado de dos grados de libertad equipada con dispositivos SLB. Se han realizado análisis dinámicos no lineales para simular la respuesta sísmica del módulo en la mesa vibratoria.

El modelo configurado en la mesa vibratoria consta de LVDT y acelerómetros en la parte superior y en las paredes desacopladas. El calendario de pruebas constaba de doce fases. Los primeros cuatro fueron la caracterización del período estructural bajo vibración libre y pruebas de barrido de frecuencia sinusoidal para el modelo con y sin dispositivos SLB. Las siguientes 3 fases fueron para el terremoto de Lima de 1974, aumentando su aceleración máxima hasta 0.927 g. Del mismo modo, las 3 fases posteriores fueron para el terremoto de Lima de 1970, aumentando su aceleración máxima hasta 1.367 g. Finalmente, las dos fases restantes se realizaron después de desinstalar los dispositivos. Una observación importante es que, en todas las pruebas, los dispositivos fueron los mismos y su rendimiento, debido a su rigidez inicialmente alta, comenzó desde la fase 1. Se mostró un buen acuerdo con los resultados de la prueba a pesar de que el modelo numérico es bastante simple

Sus resultados fundamentales fueron: Los dispositivos SLB disiparon la mayor parte de la energía sísmica de entrada total, por lo que los elementos estructurales permanecieron en el rango lineal-elástico sin daños. Estos dispositivos no fueron reemplazados después de cada prueba a pesar de que cedieron en la primera fase. Esto implica que no necesitan ser reemplazados posteriormente después de eventos sísmicos siempre que no excedan ciertos límites del dispositivo. Los resultados experimentales se comparan con valores numéricos utilizando el modelo histérico simple de Wen y el análisis tiempo-historia no lineal. La aceleración máxima para la fase 6 mostró una diferencia del 5%. Para la misma

fase, la diferencia de desplazamiento superior es solo del 2%. El pico de aceleración y desplazamiento para las fases 4 y 5 varía más que la fase 6.

En todos los casos, a medida que aumenta la señal, su aceleración base mejora la correlación, probablemente debido al hecho de que para vibraciones más pequeñas hay varias incertidumbres en las conexiones articuladas, como el coeficiente de fricción y la rigidez mínima de rotación. Sin embargo, las limitaciones de la mesa vibratoria condicionaron todo el módulo. Ya que el peso máximo es de 150 KN, debería realizarse un ensayo a mayor escala.

Pantoja, Gonzáles, Bozzo, & Flores (2020) analizaron en su investigación la influencia de los diferentes parámetros en el comportamiento de las conexiones SLB para proponer alternativas para mejorar su rendimiento. Sus resultados fundamentales fueron en cuanto a la influencia de la altura total, altura disipativa, ancho y grosor disipativo, generalmente al aumentar o disminuir el volumen de las conexiones SLB, su capacidad de carga mejora o se deteriora respectivamente; sin embargo, aumentar la altura solo empeora todo el rendimiento de las conexiones SLB. Se puede deducir que las conexiones SLB compactas tienen un mejor comportamiento, aunque esto depende en gran medida del nivel de desplazamiento disipativo máximo. Los dispositivos más altos son más flexibles y darían como resultado desplazamientos máximos o de falla más grandes, lo que está directamente relacionado con los códigos de deriva intersticiales máximos. Un límite máximo, como en el código peruano de 0,007 para una altura entre 320, da como resultado una demanda máxima del dispositivo de 22 mm, mientras que un límite de deriva de 0,01 exigiría 32 mm. En consecuencia, la capacidad máxima del dispositivo está directamente relacionada con la demanda de desplazamiento máximo en el código local específico.

También determinaron la influencia de posición donde afirmaron que la distancia horizontal entre las conexiones SLB es de 2300 mm, sin embargo, es preocupante cuánta distancia entre ellas permitirá lograr un mejor rendimiento, por lo tanto, se realizaron varias pruebas numéricas utilizando diferentes distancias horizontales,

el comportamiento de las conexiones SLB se puede mejorar variando su distancia horizontal a lo largo de la pared de reacción. Sin embargo, la mejora en el comportamiento es insignificante debido a los valores bajos.

La implementación de un modelo que usa soportes fijos usando buenas conexiones entre la pared de reacción y los dispositivos SLB, el comportamiento de las conexiones SLB mejora significativamente, alcanzando valores del 140% de la capacidad de carga del modelo con soportes de resorte. En consecuencia, la conexión de estos dispositivos rígidos es un parámetro significativo para futuros estudios, aunque también está claro que las conexiones de prueba experimentales reales fueron muy pobres debido a los dos hechos antes mencionados.

Bozzo et al. (2020) En esta investigación estudiaron un edificio prefabricado de 5 pisos que incorpora 80 pequeños dispositivos SLB simples. El edificio tiene columnas de altura completa, pero vigas con bisagras para una construcción prefabricada rápida y simple. El edificio es prefabricado para proporcionar una posible solución para familias de bajos ingresos en todo el Perú. Hay 4 apartamentos por nivel sin columnas o paredes interiores. La demanda sísmica total se concentra en los dispositivos, por lo que no se esperan daños estructurales. El análisis realizado es no lineal utilizando 10 señales sísmicas de historia de tiempo compatibles con el espectro peruano en una condición de suelo S1 en la Zona 4. Se estudiaron dos configuraciones estructurales para las columnas: fija o articulada en sus bases. Sus resultados en comparación de los rendimientos de ambas soluciones muestran resultados de deriva similares, en el rango de 0.003 a 0.007. En términos de aceleraciones de pisos, el rango está entre 0.30 g a 0.50 g con valores más pequeños para la solución base de la columna articulada y en todos los casos con una clara reducción con la altura lograda por la energía disipada por los dispositivos. Teniendo en cuenta que, para el espectro  $R = 1$  y para un período fundamental  $T1 = 0,5s$  el coeficiente sísmico es de alrededor de 0.95g, se logra una reducción clara, particularmente para las historias principales con una proporción de 3 (0.95g /0.30g).

Se obtuvieron conclusiones similares para el coeficiente sísmico con valores promedio de solo 0.13 y 0.17. Este resultado implica un factor de reducción "R" entre 5 y 7 para el edificio prefabricado sin ningún daño estructural ya que los dispositivos disipan toda la energía de entrada. Al mismo tiempo, lograron bajos niveles de desplazamiento compatibles con la ocupación inmediata.

En conclusión, si la solución finalmente adoptada es la columna de base fija y en el caso de un terremoto extremo que sobrepase la capacidad de flexión en la base de las columnas, la respuesta estructural general tenderá a mejorar la reducción de las aceleraciones del piso, pero manteniendo los desplazamientos máximos. Esto implica que el sistema estructural es robusto. También observaron que la aceleración del piso se reduce claramente con la altura.

Valdés et al. (2019) Como conclusiones principales de su investigación mostraron las propuestas de una técnica innovadora para ser aplicada en la rehabilitación sísmica del hospital Guillermo Luis en la ciudad de Moa, Cuba, podrían considerarse más factibles frente a los métodos tradicionales. Desde el punto de vista costo-beneficio, podría ser menos invasivo y costoso que los tradicionales. El costo total de la propuesta de rehabilitación SLB se ha estimado en alrededor de \$ 19,500.00 para reducir las pérdidas totales estimadas en el bloque bajo análisis que ascienden a \$ 746,935.75.

Las demás propuestas que analizaron tenían serias limitaciones debido a la concepción estructural sísmica. El hecho es que los métodos tradicionales de rehabilitación no permiten dar una misma solución para todos los establecimientos de salud del país por el alto costo que implica y las particularidades de cada estructura, mientras que las propuestas de este trabajo dan una filosofía única que facilita la valoración sobre el número, ubicación y las diferentes formas de instalación del disipador de energía SL-B en estructuras sometidas a reacondicionamiento sísmico en las regiones de riesgo sísmico moderado y alto de Cuba.

Carmilema G. (2016) Realizó una tesis denominada “Disipadores de energía para edificaciones esenciales: caso quirófanos del hospital del IESS José Carrasco Arteaga de la ciudad de Cuenca”.

Concluyó que la inclusión de los disipadores de energía, dan como resultado un aumento importante al amortiguamiento de la estructura, para este análisis se basa en lo que dice la norma NEC la cual recomienda el uso de análisis estáticos para edificaciones de poca importancia, dejando el análisis dinámico a estructuras de mayor importancia como son las edificaciones esenciales.

Usando la amplia cantidad de registros sísmicos en Ecuador esto le ayudo a calcular el sismo de diseño para diferentes estructuras en lo que se refiere a los análisis espectrales y tiempo – historia, este tipo de análisis tiempo – historia se adapta de mejor forma al modelamiento y análisis de estructuras con disipadores ya que utiliza registros de sismos reales obteniendo de esta manera resultados más fieles a la realidad.

Se empleó disipadores de fluido viscoso los cuales son los más utilizados en la región y distribuidos en la mayoría de países de América. La aplicación de estos dispositivos de disipación no influyó en los periodos de vibración de la estructura sin disipadores, ya que por su funcionamiento no cambian las características de rigidez de la estructura, sino que se centran en trabajar con la disminución a base de la velocidad. Estos disipadores lograron absorber un 40% de la energía de entrada del sismo de diseño, porcentaje que pudo ser reducido si se hubieran aplicado de forma más simétrica y regular dándole mayor capacidad de absorción.

La edificación es un hospital el cual debe ser diseñado como una estructura esencial es decir que soporte un sismo máximo y que aun siga operativa en su mayoría, pero al ser una edificación con un diseño poco simétrico y regular entre pisos dificulto la distribución de estos dispositivos por tal motivo se recomendó el uso de otro tipo de disipadores que funcionen de mejor forma a fin de mejorar la respuesta de la estructura.

A pesar de la aplicación de este tipo de dispositivos dieron un resultado favorable como en la reducción de derivas de piso en un 32% y las fuerzas internas de la estructura en un 51.86% en fuerzas axiales, 34.5% en cortante y 34.53% en momento en general, dadas las características mencionadas estos dispositivos no pudieron operar a su máxima capacidad.

La aplicación de este tipo de dispositivos era favorable en muchos sentidos primero en su facilidad de adquisición lo cual los hace más comerciales y fáciles de encontrar en caso de necesitar repuestos y mayor cantidad si el diseño lo requiere, como se mencionó se tomó una distribución que no aprovecho estos dispositivos a su máxima capacidad por lo cual en vez de probar otro tipo de dispositivos probar una nueva distribución o quizá un aumento de estos dispositivos en las zonas con mayor demanda.

## 2.2 Bases Teóricas

### 2.2.1 Normas

#### NTP E.030 (Diseño Sismorresistente)

Esta norma establece los valores mínimos con los que se debe diseñar las estructuras para que estas tengan un comportamiento sísmico el cual este contemplado bajo la filosofía de esta norma, esto se ve reflejado en lo que menciona la NTP E.030 Diseño Sismoresistente (2018), en el Capítulo 1 “Disposiciones Generales”, Artículo 3 “Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente”, la cual consiste en:

- Evitar pérdida de vidas humanas
- Asegurar la continuidad de los servicios básicos
- Minimizar los daños a la propiedad

Así mismo en el Capítulo 1 “Generalidades”, Artículo 5 “Consideraciones Generales” menciona lo siguiente:

Toda edificación y cada una de sus partes deben ser diseñadas y construidas para resistir las solicitaciones sísmicas prescritas en esta Norma, siguiendo las especificaciones de las normas pertinentes a los materiales empleados.

No es necesario considerar simultáneamente los efectos de sismo y viento.

Deberá considerarse el posible efecto de los tabiques, parapetos y otros elementos adosados en el comportamiento sísmico de la estructura. El análisis, el detallado del refuerzo y anclaje debe hacerse acorde con esta consideración.

En concordancia con los principios de Diseño Sismorresistente del artículo 3, se acepta que las edificaciones tengan incursiones inelásticas frente a solicitaciones sísmicas severas. Por tanto, las fuerzas sísmicas de diseño son una fracción de la solicitación sísmica máxima elástica.

Así mismo en el Capítulo 3 “Categoría, Sistema Estructural y Regularidad de las Edificaciones”, en el Artículo 1 “Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso ( $U$ )”, menciona lo siguiente:

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 5. El factor de uso o importancia ( $U$ ), definido en la Tabla N° 5 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (2018) (Anexo 1) se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar  $U = 1$ .

La norma del (ACI Committe 318, 2014, pág. 265), Capítulo 18 “Resistencia estructural a terremotos” menciona en su filosofía de diseño que las estructuras de concreto vaciado in situ respondan al rango no lineal cuando se someten a movimientos de terreno a nivel de diseño, con una menor rigidez y una mayor disipación de energía, pero sin una disminución crítica de la resistencia.

La combinación de rigidez reducida y mayor disipación de energía tiende a reducir las aceleraciones de la respuesta y a las fuerzas de inercia lateral en relación con los valores que ocurrirían si la estructura permaneciera linealmente elástica y ligeramente amortiguada (Gulkan & Sozen, 1974, pág. 265).

Por lo tanto, el uso de fuerzas de diseño que representan efectos de terremotos con los de ASCE / SEI 7 requiere que el sistema resistente a la fuerza sísmica retenga una parte sustancial de su fuerza en el rango inelástico bajo reversiones de desplazamiento.

### Riesgo Sísmico y Registros Históricos

Para hablar sobre Riesgo Sísmico debemos primero definir 3 aspectos que pueden llegar a confundirse debido a que tienen significados similares:

**Riesgo Sísmico:** Son las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de estructuras cuya capacidad resistente fue excedida por un terremoto. (Mena Hernandez, 2002)

- **Peligrosidad Sísmica:** Es la probabilidad de que ocurra un fenómeno físico como consecuencia de un terremoto, provocando efectos adversos a la actividad humana. Estos fenómenos además del movimiento de terreno pueden ser, la falla del terreno, la deformación tectónica, la licuefacción, inundaciones, tsunamis, etc. (Mena Hernandez, 2002)

- **Vulnerabilidad Sísmica:** Es un valor único que permite clasificar a las estructuras de acuerdo a la calidad estructural intrínseca de las mismas, dentro de un rango de nada vulnerable a muy vulnerable ante la acción de un terremoto. (Mena Hernandez, 2002)

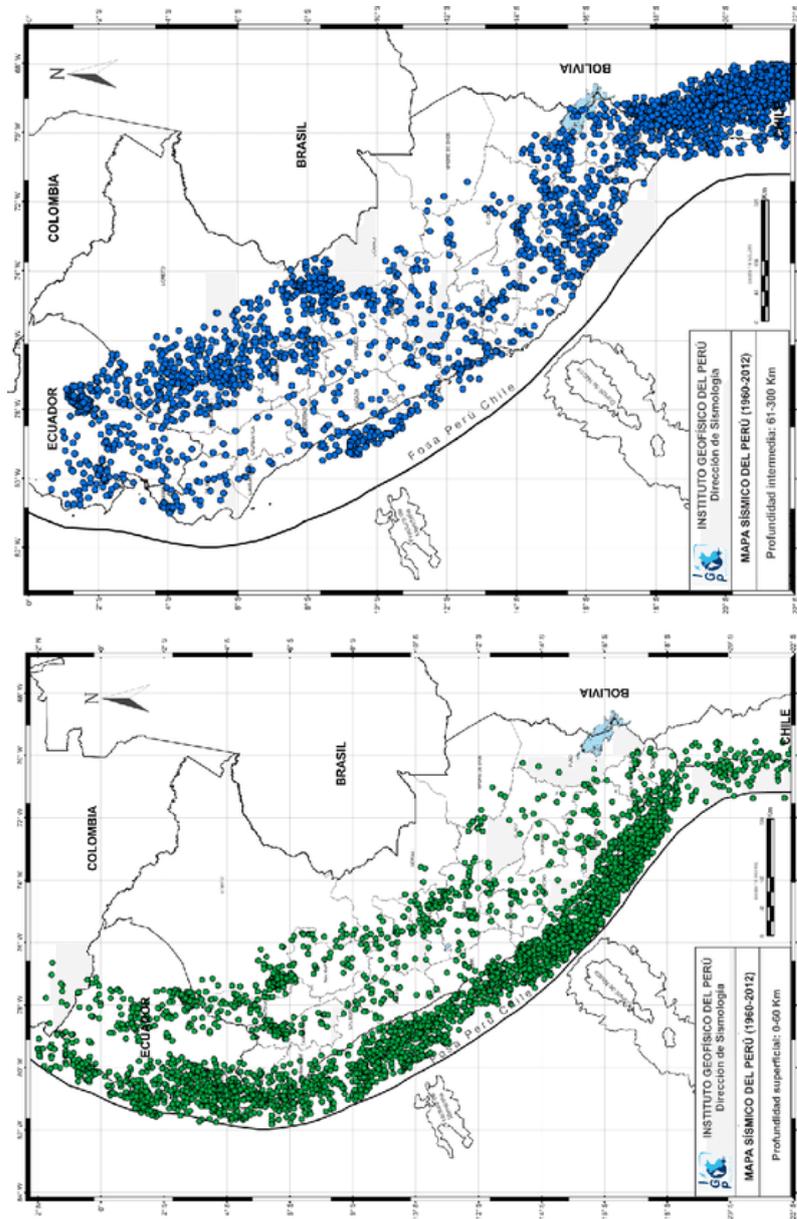
(Mena Hernandez, 2002) En su tesis denominada “Evaluación de Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas” para optar el grado de Doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural en la Universidad Politécnica de Cataluña. Se puede observar que el Riesgo Sísmico depende directamente de la Peligrosidad y de la Vulnerabilidad, es decir, los elementos de una zona con cierta peligrosidad sísmica pueden verse afectados en menor o mayor medida dependiendo del grado de vulnerabilidad sísmica que tengan, ocasionando un cierto nivel de Riesgo Sísmico del lugar.

Así mismo hay algunos estudios que aportan más conocimiento acerca de los riesgos y peligros sísmicos como el estudio del Instituto Geofísico del Perú denominado Evaluación de Peligro Sísmico en Perú (Tavera, y otros, 2014) mencionaron:

En la Figura 1 se presenta la pala de actividad sísmicas ocurrida en el Perú entre 1960 al 2012 ( $M_w > 4.0$ ). Los sismos han sido diferenciados por su rango de profundidad focal en superficiales ( $h < 60$  km), intermedios ( $61 < h < 350$  km) y profundos ( $h > 351$  km). La sismicidad en el territorio peruano es debida al proceso de subducción de placas y a la dinámica de cada una de las unidades tectónicas presentes en el interior del continente.

-Sismicidad Histórica: La recopilación de esta información fue hecha por (Silgado, 1978) como se ve en la Tabla 1, siendo mayor para eventos ocurridos frente a la costa peruana con respecto a los que habrían ocurrido en el interior del país. Considera información sobre los grandes sismos que afectaron al territorio peruano en el pasado y ella es importante porque permite definir el real potencial sísmico en cada región. En el Perú la información sobre la sismicidad histórica data del año 1500 y la calidad y veracidad de su información dependerá de la distribución y densidad poblacional en las regiones afectadas por los sismos. Para estos eventos se conoce la fecha de ocurrencia, entonces pueden ser utilizados para evaluar la tasa de recurrencia y la sismicidad de una determinada región.

Figura 1. Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012



Nota: “Evaluación del Peligro Sísmico en el Perú” por Tavera; Bernal; Condori; Ordaz; Zevallos & Ishisawa (2014, p.11)

Tabla 1. Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959.

Fecha (dd-mm-aa)	Latitud	Longitud	Intensidad (MM)	Magnitud
22/01/1582	-16.3	-73.3	X	7.9
09/07/1586	-12.2	-77.7	IX	8.1
24/11/1604	-18	-71.5	IX	8.4
14/02/1619	-8	-79.2	IX	7.8
31/05/1650	-13.8	-72	X	7.2
13/11/1655	-12	-77.4	IX	7.4
12/05/1664	-14	-76	X	7.8
20/10/1687	-13	-77.5	IX	8.2
28/10/1746	-11.6	-77.5	X	8.4
13/05/1784	-16.5	-72	X	8
07/12/1806	-12	-78	VIII	7.5
10/07/1821	-16	-73	VIII	7.9
13/08/1868	-18.5	-71.2	X	8.6
09/05/1877	-19.5	-71	VIII	7.5
28/07/1913	-17	-73	IX	7
06/08/1913	-17	-74	X	7.7
24/05/1940	-10.5	-77.6	VIII	8.2
24/08/1942	-15	-76	IX	8.4
10/11/1946	-8.3	-77.8	X	7.2
01/11/1947	-11	-75	IX	7.5
21/05/1950	-14.4	-72.1	VII	6
12/12/1953	-3.6	-80.5	VIII	7.7

Nota: Tomado de Buforn E., Tavera H., (1998), *Sismicidad y Sismotécnica del Perú*, Departamento de Geofísica – Universidad Complutense de Madrid.

## 2.2.2 Propiedades mecánicas de los materiales

El concreto como tal es un material hecho de una mezcla de diferentes materiales como arena, agregado grueso, agregado fino y agua, esta mezcla tiene varias propiedades como:

- La Trabajabilidad que es la facilidad de poder trabajar con este material, así como de realizar su mezcla, transporte y vaciado.

- La Durabilidad que es una propiedad muy importante dado que el concreto debe ser capaz de resistir no solo factores ambientales si no también soportar el continuo uso de las estructuras a lo largo de su vida útil.

- La Impermeabilidad es la capacidad que tiene el concreto la cual se obtiene desde su diseño, en la cual se reducen los vacíos y evita el ingreso del agua.

- El Cambio en Volumen que se debe a las reacciones de los materiales entre sí en el momento del pandeo cuando su volumen aumenta o al momento de secarse cuando ocurre una contracción y el volumen disminuye lo cual en algunos casos lleva a la presencia de grietas.

- La Resistencia que es la capacidad del concreto de resistir cargas, esta propiedad se le da desde el momento en el que esta mezcla es diseñada, pero debe ser realizada de acuerdo al diseño establecido, cualquier desbalance en las proporciones podría ocasionar disminución en la resistencia y por lo tanto llevar a fallas estructurales.

- El acero es uno de los materiales más importantes en la construcción, no solo se usa como elemento de refuerzo en las estructuras, también se usa como un elemento estructural de acuerdo a los diseños por diferentes motivos.

Al igual que el concreto tiene propiedades que le dan una importancia única:

- Alta Resistencia la cual es comparable con la del concreto y de acuerdo a las necesidades del diseño puede incluso ser mejor.

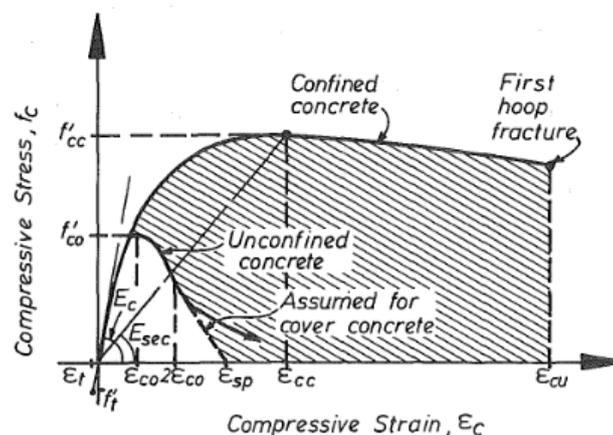
- Ductilidad la cual le da la capacidad de deformarse a tensión o compresión antes de llegar a un estado de falla.
- Durabilidad, debido a que las estructuras tienen un tiempo de vida largo este material debe tener una duración superior a la vida útil de las estructuras para poder garantizar su estabilidad a un periodo incluso mayor al de la vida útil de la misma.

### 2.2.3 Modelo de Mander

Este modelo consiste en una curva continua que considera el efecto de confinamiento que incrementa la capacidad de deformación del concreto y al mismo tiempo su resistencia a la compresión; así mismo funciona para secciones cuadradas, rectangulares y circulares.

En la Figura 2 se observa un gráfico comparativo de las curvas de Esfuerzo-Deformación de Concreto Confinado y Concreto no Confinado. Según el Modelo de Mander las fallas del concreto se presentan en el concreto cuando los refuerzos transversales fallan y ya no es posible confinar el núcleo del concreto lo que lleva a la presencia de deformaciones transversales.

Figura 2. Curva esfuerzo-deformación del concreto a compresión



Nota: "Theoretical Stress-Strain Model For Confined Concrete" por Mander, Priestley, Park (1988, p.1807)

Esta curva Esfuerzo-Deformación planteada por Mader se define de la siguiente forma:

$$f_c = \frac{f'_{cc} \cdot x \cdot r}{r - 1 + x^r}$$

Donde:

$$x = \varepsilon_c / \varepsilon_{cc}$$

$$r = \frac{E_c}{E_c - E_{sec}}$$

$$E_{cc} = E_{c0} \left( 1 + 5 \left( \frac{f'_{cc}}{f'_c} - 1 \right) \right)$$

Donde:

$f'_{cc}$  = Resistencia Máxima del concreto confinado

$f'_c$  = Resistencia Máxima del concreto no confinado

$\varepsilon_c$  = Deformación Unitaria del concreto

$\varepsilon_{cu}$  = Deformación Unitaria Última

$\varepsilon_{c0}$  = Deformación asociada a la resistencia máxima del concreto  $f'_c$

$\varepsilon_{sp}$  = Deformación unitaria última asociada al recubrimiento del concreto

$\varepsilon_{cc}$  = Deformación unitaria del concreto simple, asociada al esfuerzo máximo confinante

$E_c$  = Módulo de elasticidad del concreto no confinado

$E_{sec}$  = Módulo secante del concreto confinado asociado al esfuerzo máximo confinante

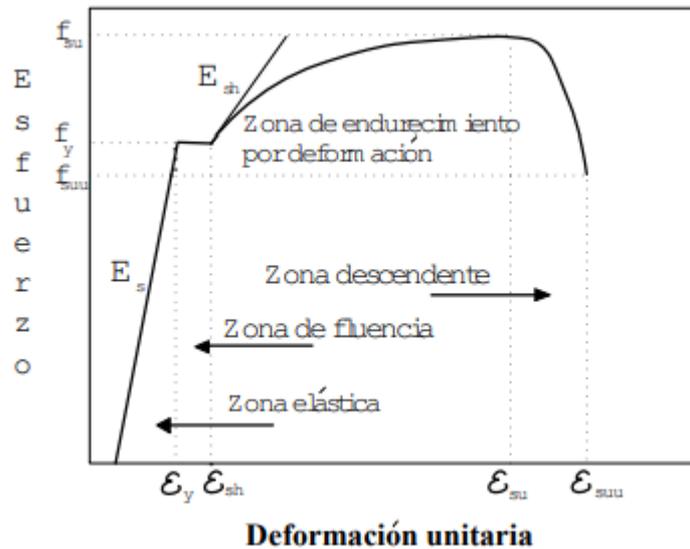
#### 2.2.4 Acero de Refuerzo

El acero de refuerzo es un material que aporta resistencia a los elementos con el fin de ayudarlos a soportar las cargas a las que se son sometidas además de confinar el núcleo del concreto con el uso de acero transversal.

Para realizar el análisis Esfuerzo-Deformación, en la Figura 3 se muestra la curva de Esfuerzo-Deformación que se obtiene luego de realizado el ensayo de tracción sobre una varilla de acero, consiste en la aplicación de carga axial estática monotonía creciente gradualmente hasta llegar al punto de ruptura, esto se debe a

que la varilla ha llegado a un punto donde la sección se reduce hasta un punto débil de rotura. (González, Botero, Rochel, Vidal, & Álvarez, 2005)

Figura 3 Curva típica Esfuerzo-Deformación de aceros de refuerzo



Nota: Propiedades mecánicas del acero de refuerzo utilizado en Colombia. *Ingeniería y Ciencia por* González, Botero, Rochel, Vidal, & Álvarez (2005, p.69)

Donde:

$f_y$  = Esfuerzo de fluencia

$f_{su}$  = Esfuerzo de fluencia máximo

$f_{suu}$  = Esfuerzo de fluencia asociado a la fractura

$\epsilon_y$  = Deformación de fluencia

$\epsilon_{sh}$  = Inicio de la zona de endurecimiento por deformación

$\epsilon_{su}$  = Deformación última

$\epsilon_{suu}$  = Deformación asociada la fractura de la probeta

$E_s$  = Modulo de elasticidad

$E_{sh}$  = Modulo inicial de endurecimiento por deformación

## 2.2.5 Características de los elementos de concreto armado

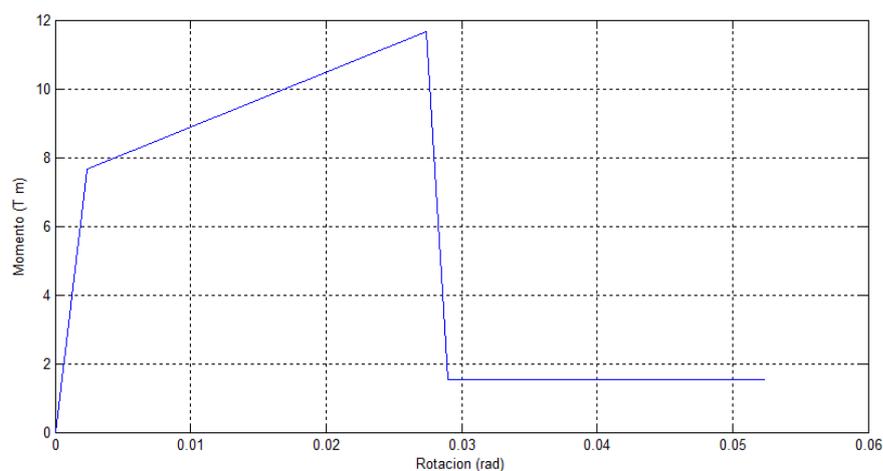
### Diagrama de Momento de Curvatura

El Diagrama de Momento de Curvatura es una de las características de los materiales, el cual es necesario conocer en los elementos estructurales (Vigas y Columnas) de concreto armado.

Para el análisis no lineal: estático o dinámico, se necesita conocer las relaciones momento-curvatura o momento-rotación, para el caso de flexión y flexo compresión; de estos diagramas se obtiene la rigidez de una sección de acuerdo al nivel de cargas que gravita sobre la misma. (Aguilar , Rodríguez, & Mora, 2015) (Mora & Aguilar, 2015) (Medina , 2012).

El diagrama momento de curvatura nos permiten conocer la ductilidad de una sección, es decir su potencial de incursionar en un rango no lineal antes de llegar a su fallo, esto se logra a través de conocer el comportamiento del módulo de elasticidad (E) y la Inercia (I) ( $\Phi$  (curvatura)=M (Momento)/EI), suponiendo que el fallo sea causado por flexión y no por otro tipo de esfuerzo como cortante. Los códigos sismorresistentes guían a un tipo de fallo por flexión. (Mora & Aguilar, 2018).

Figura 4 Diagrama de Momento Rotación según ASCE 41



*Nota: ASCE 41(2011) Seismic rehabilitation of existing buildings.*

## No Linealidad

El cálculo Lineal elástico suele ser el método de análisis escogido para dimensionar el comportamiento de una estructura en la fase de diseño. Se puede considerar que, en general y para las estructuras más comunes, si un diseño cumple las exigencias de los estados límite de servicio con hipótesis de la elasticidad, casi se puede asegurar que también va a cumplir el estado límite último. Esto es así porque, en las normativas, las restricciones en desplazamiento de los estados de servicio suelen ser más estrictas que las exigencias de seguridad de los estados límite último. (Gil, 1997, pág. 1)

Otro de los campos de interés de un cálculo no lineal del material radica en la contribución resistente de hoy en día, y en un futuro próximo, van a tener los nuevos materiales que aparecen en la industria. Algunos de estos materiales, presentan un comportamiento estructural alejado del típico lineal elástico, y en consecuencia, la realización de un análisis con no linealidad en el material puede mejorar sensiblemente la seguridad o economía del diseño de los elementos estructurales. (Gil, 1997, pág. 2)

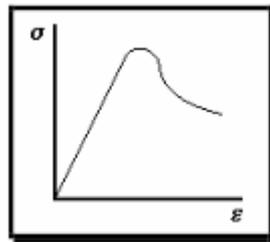
Así como se plantea el uso de análisis no lineal para materiales que serán aplicados en un futuro en la construcción conforme se vaya ampliando la gama de productos, así mismo aumentara la cantidad de nuevas tecnologías y elementos estructurales nuevos los cuales entraran en este rango de análisis.

Es evidente que en los planteamientos de reparación y rehabilitación de estructuras el cálculo no lineal es absolutamente necesario. En estos casos el diseño ya ha superado algún estado límite, ya se ha producido alguna rotura parcial, alguna fisura o alguna deformación excesiva. Por lo tanto, aquello que interesa, es que la estructura no empeore y que pueda seguir trabajando. Es decir, que se mantenga el nuevo estado límite de servicio y se establezca el estado límite último. (Gil, 1997, pág. 2)

Los materiales presentan dos tipos básicos de comportamiento No Lineal en su comportamiento estructural:

-Comportamiento con Endurecimiento: Cuando el material supera un cierto estado tensional límite empieza a perder rigidez, aunque puede seguir soportando incrementos de carga. En este caso, la curva de comportamiento muestra que a medida que aumenta la tensión las deformaciones suelen crecer más deprisa que el estado tensional. Entre materiales que se comportan de esta manera se pueden encontrar los de tipo metálico como el acero que suelen asociar a modelos de plasticidad. (Gil, 1997, pág. 3)

Figura 5. Ablandamiento



*Nota: Tomado de Análisis de sensibilidad con comportamiento no lineal del material y su aplicación en el diseño asistido de estructuras. Gil Espert, L. (1997).*

### Articulaciones Plásticas

Es conocido el hecho de que los elementos estructurales no cumplen, por diversas causas, con las ecuaciones lineales en que se basa la Teoría de la Elasticidad. También es cierto que las exigencias y los ensayos nos indican que esta puede utilizarse con aproximación dentro de ciertos rangos de cargas. Con el Objetivo de conocer el verdadero Coeficiente de Seguridad de la Estructura es entonces muy importante conocer la Carga Limite o Carga de Rotura que produce el colapso de la estructura y el estado de sollicitaciones en ese instante, razón por la cual el ingeniero debe estar familiarizado con los elementos básicos de los Métodos de Análisis Plástico. (Universidad Nacional del Nordeste (UNNE), 2005)

Las articulaciones plásticas se comportan como rotulas internas “verdaderas” solo cuando se considera el problema de estructuras en velocidades. Es decir, en una articulación plástica la velocidad de incremento del momento flector es cero. Por el contrario, una articulación “degradada” tiene el mismo efecto sobre el

comportamiento de la estructura que una articulación interna “real”. En otras palabras, en el punto de la estructura donde índice de daño toma el valor 1, el momento flector debe ser nulo. (Flores, 1993, pág. 128).

#### 2.2.6 Disipadores de Energía

##### Energía disipada (Histéresis)

Ciliento F. (2018 - 2019) Describió en su tesis: Cuando los disipadores de energía se instalan en las estructuras convencionales cumplen la función principal de absorber un porcentaje de la energía producida por el sismo, de este modo se reduce los efectos de daño en la estructura principal, que se concentrarán en el sistema de protección sísmica.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Sostuvieron que, si una estructura no tuviera amortiguación, ante un evento sísmico, las vibraciones podrían prolongarse aumentando su amplitud en el tiempo, sin embargo, siempre hay una amortiguación inherente del sistema estructural, que reduce la amplitud vibratoria hasta encontrar su estado inicial de reposo.

La eficiencia estructural puede mejorarse si se incorporan dispositivos de absorción de energía sísmica cambiando un sistema tradicional a un sistema innovador capaz de resistir eventos sísmicos disminuyendo los daños, orientándola a un futuro sostenible.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Definieron que en el enfoque de diseño convencional el rendimiento estructural se logra cuantificando la aparición de deformaciones inelásticas que tienen un efecto directo con la absorción de energía producida por un evento sísmico. Estas deformaciones dan como resultado un ablandamiento del sistema estructural, es por ello que la absorción de energía juega un importante papel, la mayor flexibilidad actúa como un filtro que muestra una parte de la energía del evento sísmico cuyo resultado se traduce en aceleraciones y tensiones reducidas alejados de las rótulas plásticas, esto tiene el efecto directo de aumentar la energía  $E_h$ .

También se logra con técnicas de aislamiento sísmico que logran un sistema que se caracteriza por la flexibilidad y capacidad de absorción de energía. Por ende, la energía disipada en el sistema sísmico es útil para limitar los desplazamientos y evitar acciones inelásticas de la estructura, sin embargo, no es recomendable aplicarlo en sismos de periodos prolongados.

Otro sistema para mejorar el rendimiento de la respuesta sísmica son los disipadores de energía suplementarios incorporados en la estructura.

Uang & Bertero (1988) Definieron la relación de conservación de la energía:

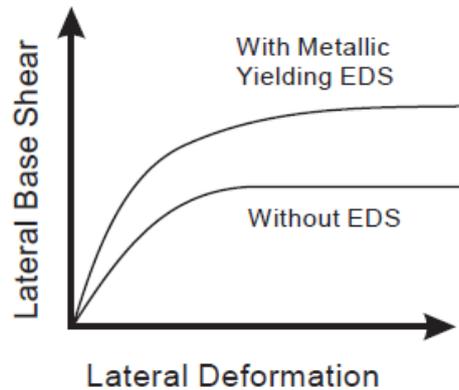
$$E = E_k + E_s + E_h + E_d$$

Donde  $E$  es la entrada de energía absoluta producida por el evento sísmico,  $E_k$  es la energía cinética absoluta,  $E_s$  es la energía de deformación,  $E_h$  es la energía irrecuperable disipada por la estructura (energía de histéresis).  $E_d$  es la energía disipada por dispositivos de amortiguación suplementarios.

La entrada de energía absoluta  $E$ , representa el trabajo realizado por la fuerza de corte en la base sobre el desplazamiento del suelo.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Sostuvieron en su libro que estos dispositivos mecánicos además de aumentar la capacidad de disipación de energía aumentan la resistencia y rigidez, disminuyendo las derivas y fuerza lateral buscando menor deformación por debajo del límite elástico el cual significa reducción de daño. La Figura 6 representa el efecto de la disipación de energía en la reducción de la deriva y por ende del daño en la estructura. Se consideran los siguientes tipos: metálicos, fricción y viscoelástico.

Figura 6 Efecto de los Sistemas de Disipación de Energía en Curva Fuerza-Deformación



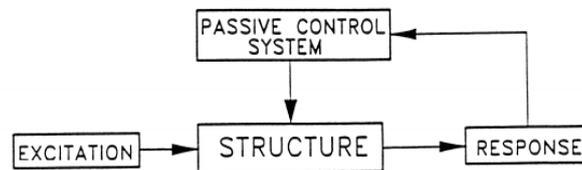
*Nota:* Tomado de *Passive Energy Dissipation System for Structural Design and Retrofit* (p. 4), por M. C. Constantinou; T.T. Soong; G. F. Dargush, 1998, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research – University at Buffalo.

### 2.2.7 Sistemas de control de movimiento

Symans & Constantinou (1995) Reportaron en su investigación que: Los sistemas de control pasivo no requieren alimentación o suministro externo que aporten una potencia mínima para actuar y utilizan el movimiento de la estructura para desarrollar las fuerzas de control.

En la Figura 7 se muestra un sistema de control pasivo, ya sea por ejemplo un disipador de energía, desarrolla fuerzas de control de movimiento aportando el trabajo necesario en los puntos de acoplamiento del sistema durante la excitación dinámica. El movimiento relativo de estos puntos del dispositivo determina la amplitud y la dirección del control de Fuerzas.

Figura 7 Elementos de un Sistema Pasivo de Control

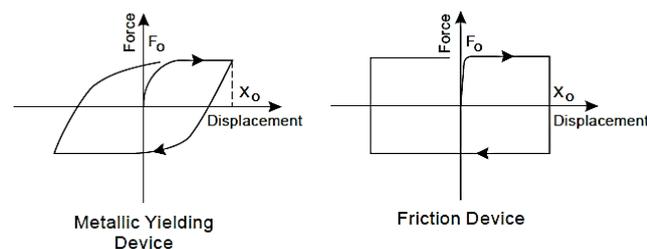


*Nota:* Tomado de *Development and Experimental Study of Semi-Active Fluid Damping Devices for Seismic Protection Structures* (p. 1-2), por M. D. Symans y M. C. Constantinou, 1995, Technical Report NCEER-95-0011, University at Buffalo.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Afirmaron que los sistemas de disipación pasiva se clasifican en histéretico, viscoelástica y otros.

Algunos sistemas histéreticos incluyen dispositivos cuyo funcionamiento se basa en la flexibilidad de los metales o a través de la fricción causada por su desplazamiento. La Figura 8 muestra los bucles típicos de Fuerza-Desplazamiento de los sistemas histéreticos de disipación de energía. Estos sistemas a menudo se denominan dependientes del desplazamiento. (Federal Emergency Management Agency, 1997)

Figura 8 Bucles de Fuerza-Desplazamiento de Dispositivos Histeréticos de Disipación

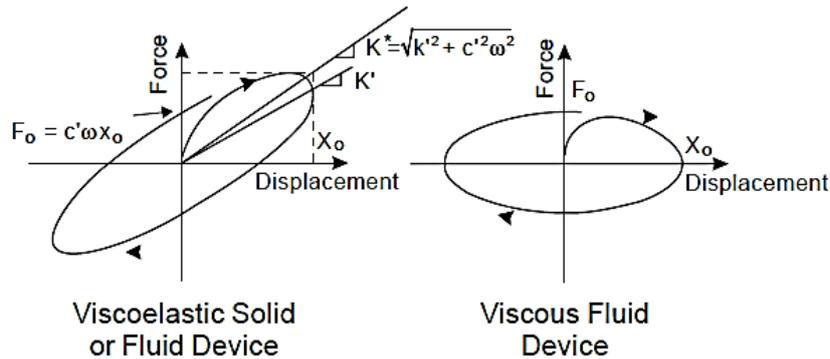


*Nota:* Tomado de *Passive Energy Dissipation System for Structural Design and Retrofit* (p. 9), por M. C. Constantinou; T.T. Soong; G. F. Dargush, 1998, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research – University at Buffalo.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Afirmaron que los sistemas de disipación de energía viscoelástica incluyen dispositivos materiales sólidos viscoelásticos, dispositivos que operan en el principio de orificio. La muestra las curvas de fuerza-desplazamiento de estos dispositivos. Por lo general, estos los dispositivos

presentan coeficientes de rigidez y amortiguación que dependen de la frecuencia. Además, la fuerza de amortiguación en estos dispositivos es proporcional a la velocidad. Un caso especial es el de un dispositivo viscoelástico con cero rigidez y propiedades independientes de la frecuencia.

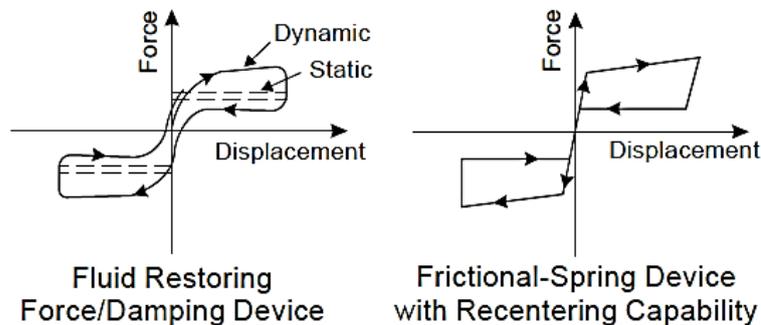
Figura 9 Bucle Fuerza-Desplazamiento de un Sistema de Disipación de Energía Viscoelástico



Nota: Tomado de Passive Energy Dissipation System for Structural Design and Retrofit (p. 10), por M. C. Constantinou; T.T. Soong; G. F. Dargush, 1998, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research – University at Buffalo.

Constantinou, Soong, & Dargush (1998) Describieron que cuando los sistemas de disipación de energía no pueden ser clasificados como dispositivos metálicos flexibles o Dispositivos de Fricción descritos en la . Tienen una clasificación aparte. La Figura 10 muestra el comportamiento los dispositivos de fricción-resorte con la capacidad de centrado, un fluido restaurador de fuerzas y dispositivos de amortiguación.

Figura 10. Bucle Energía-Desplazamiento de Otros Dispositivos de Disipación de Energía



Nota: Tomado de *Passive Energy Dissipation System for Structural Design and Retrofit* (p. 11), por M. C. Constantinou; T.T. Soong; G. F. Dargush, 1998, Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research – University at Buffalo.

### 2.2.8 Sistema de Control Dependiente del desplazamiento

Bozzo La ecuación del movimiento de un sistema de un grado de libertad viene dada por la siguiente ecuación:

$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) = M\ddot{u}_g(t)$$

Donde  $M$ ,  $C$ ,  $K$ , son la masa, rigidez y amortiguamiento respectivamente y  $u$  es el desplazamiento de la masa relativo al suelo. Los dispositivos disipadores dependientes de los desplazamientos involucran o actúan sobre el término  $Ku(t)$  mientras que los dependientes de la velocidad (o amortiguadores propiamente dichos) con el término  $C\dot{u}$ .

Bozzo (En prensa) Nombró que los sistemas dependientes de los desplazamientos pueden empezar a disipar energía desde desplazamientos muy pequeños, es decir empiezan a plastificar modificando el periodo global de la estructura. En consecuencia, reducen la amplificación dinámica producida por el sismo, permitiendo soportar sismos severos y tener una estructura sin presentar daños. Este sistema de disipación falla dúctilmente evitando el peligro en la seguridad global lo que se traduce en la redundancia en la estructura.

Una estructura con disipadores de energía dependientes del desplazamiento actúa como un sistema mixto, ya que la estructura por si sola representa la flexibilidad y los disipadores, el elemento rígido. La ecuación dinámica resultante sería:

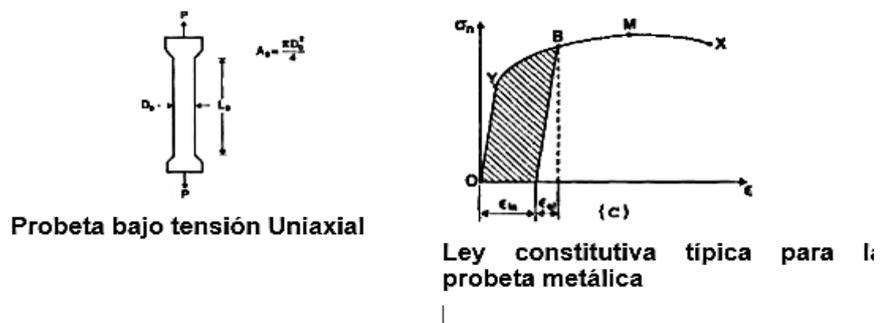
$$M\ddot{u}(t) + C\dot{u}(t) + Ku(t) + R(t) = -M\ddot{u}_g(t)$$

Donde el término lineal  $Ku$  se refiere al sistema flexible y el término  $R$  se refiere a la contribución de los disipadores dependientes del desplazamiento.

### 2.2.9 Disipadores metálicos

Bozzo (En prensa) Mencionó que debido a la deformación inelástica del material como del acero dúctil, plomo u otras aleaciones con las cuales se fabrica los amortiguadores histeréticos se disipa una gran cantidad de energía del sismo, en la Se observa “La ley constitutiva típica de una probeta de meta, donde la tensión convencional  $\epsilon$  y la tensión nominal  $\sigma_n$ , en los ejes de abscisas y ordenadas, respectivamente, se dan mediante las siguientes ecuaciones”.

Figura 11 Ley Constitutiva Típica para la Probeta Metálica



Nota: Tomado de *Estructuras con Dispositivos Antisísmicos* (p. 13), por L. M. Bozzo, En Prensa.

$$\epsilon = \frac{L - L_0}{L} \sigma_n = \frac{P}{A_0}$$

(Bozzo L. M., En prensa, págs. 13-14) Escribió en su libro:

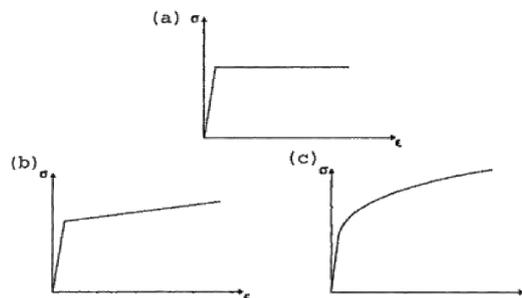
“Para cargas que originan valores de tensión nominal menores a la tensión de fluencia  $\sigma_y$ , el material se comporta de manera elástica, es decir, esencialmente con  $\sigma_n$  proporcional a  $\epsilon$  a través del módulo  $E$  de Young y con condiciones

iniciales recuperables cuando se elimina la carga aplicada (material lineal elástico). Por el contrario, cuando se excede el límite elástico, se producen deformaciones plásticas irreversibles o permanentes. Esto significa que al eliminar la carga aplicada, solo se recupera una parte de la deformación (correspondiente a la parte elástica), mientras que la deformación inelástica es permanente y contribuye a la disipación de energía. Con referencia a la , el área sombreada representa la energía disipada, la mayor parte de la cual se convierte en calor. La definición de deformación y tensión “nominal” anterior es adecuada si se supone que la longitud y el área de la muestra no cambian significativamente de los valores iniciales. Debido a que, para niveles de tensión elevados, la propia sección de referencia cambia de dimensiones, la siguiente expresión proporciona una definición más apropiada para la deformación y esfuerzo:

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L}{L_0}\right) \qquad \sigma = \frac{P}{A}$$

Por otra parte, hay diversos modelos matemáticos para representar curvas de tensión-deformación, incluidos el plástico perfectamente elástico, elastoplástico y Ramberg-Osgood. El último es capaz de describir una transición más suave del rango elástico al plástico”

Figura 12. Modelos Matemáticos Tensión-Deformación a) Elástico-Perfectamente Plástico b) Elastoplástico c) Ramberg-Osgood

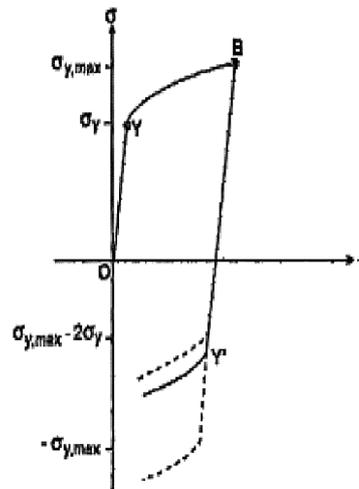


Nota: Tomado de *Estructuras con Dispositivos Antisísmicos* (p. 14), por L. M. Bozzo, En Prensa.

(Bozzo L. M., En prensa, pág. 14) También afirma:

“Adicionalmente dado que los amortiguadores bajo una acción sísmica se comportarán cíclicamente, es importante también definir su respuesta tensión-deformación en cargas alternas.” (Figura 13).

Figura 13. Respuesta Tensión-Deformación en Cargas Alternas



Nota: Tomado de *Estructuras con Dispositivos Antisísmicos* (p. 14), por L. M. Bozzo, En Prensa.

(Bozzo L. M., En prensa, págs. 14-15) Escribió también:

“Para ello, en la Figura 13, se carga la probeta primero hasta el punto de fluencia “Y” y posteriormente hasta un punto B en el rango de endurecimiento por deformación. Al descargar gradualmente la curva es paralela a la curva de carga inicial, lo que indica una respuesta elástica. Sin embargo, si la descarga continúa lo suficiente dentro del rango de compresión, la fluencia o plastificación tendrá lugar nuevamente en el punto denominado como Y'. La tensión asociada con el punto Y' depende de la cantidad previa de endurecimiento por deformación y este comportamiento se conoce como el efecto Bauschinger.

Como simplificaciones útiles, las teorías de endurecimiento isotrópico establecen:

$$\sigma'_{y} = -\sigma_{y,max}$$

Mientras que las teorías de endurecimiento cinemático establecen:

$$\sigma'_y = -\sigma_{y,max} - 2\sigma_y$$

En base a resultados experimentales se observa que, Y' está en un punto intermedio, lo que sugiere que una combinación de las teorías isotrópicas y cinemáticas sería lo más preciso.

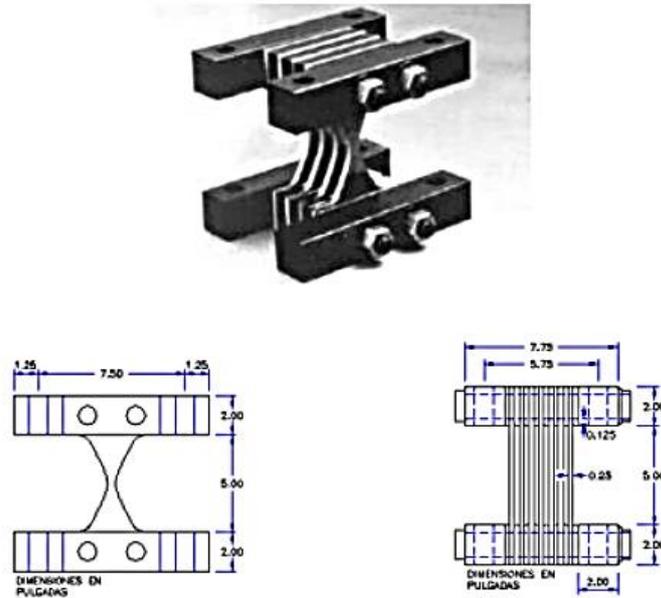
Por tanto, se puede afirmar que el conocimiento de los modelos constitutivos de metales es un paso muy importante para definir correctamente la relación fuerza-desplazamiento de los dispositivos metálicos y para predecir de forma segura la respuesta no lineal de estructuras equipadas con ellos bajo cargas sísmicas.”

Dispositivo adicional de amortiguación y rigidez (ADAS)

(Ciliento F. , 2018 - 2019, pág. 10.) Sostuvo que este dispositivo fue investigado por primera vez por Bergman et al. Y Whittaker et al.

En la Figura 14 se muestra la composición de placas metálicas delgadas de X unida en paralelo en el extremo superior e inferior a elementos rígidos para que no se permita la rotación. Se han realizado diversos ensayos experimentales que han demostrado su comportamiento estable antes de fallar lo que resulta en su alta capacidad de disipación basada en la deformación por flexión de placas individuales. La forma de "X" implica una variación constante de la tensión sobre la altura del amortiguador, lo que garantiza que el rendimiento se produzca de manera simultánea y uniforme en toda la altura del disipador.

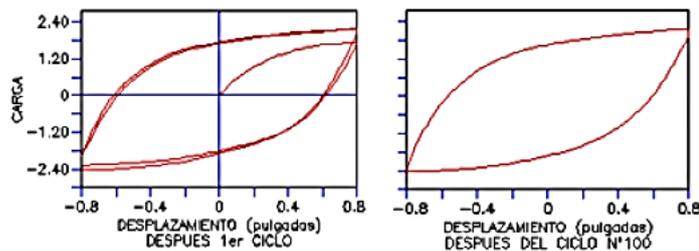
Figura 14 Dispositivo Adicional de Amortiguación y Rigidez (ADAS)



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 11), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

En la se muestra el comportamiento Fuerza-Desplazamiento del dispositivo (Ciclo N° 1) vs. (Ciclo N° 100)

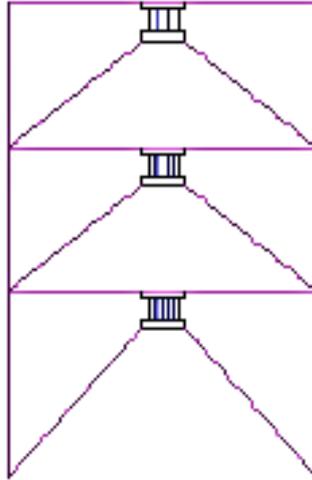
Figura 15 Comportamiento Fuerza-Desplazamiento ADAS



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 11), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad

Los dispositivos ADAS son comúnmente instalados dentro de un marco unido a un soporte chevron.

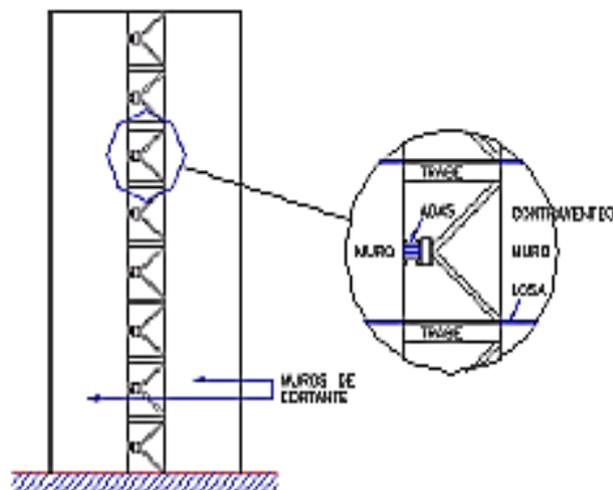
Figura 16. Soportes Chevron para instalación de dispositivos ADAS



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 12), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

En la Figura 17 se muestra otra manera de instalación para los amortiguadores ADAS son instalando en soportes chevron colocados dentro de paredes estructurales de concreto.

Figura 17. Configuración alternativa para instalación de los dispositivos ADAS



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 12), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría)

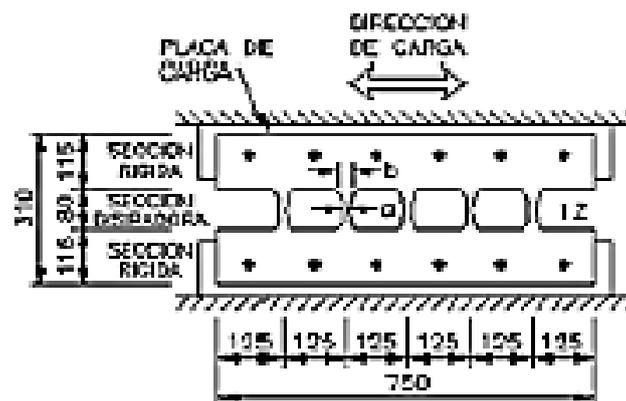
Dispositivo triangular de amortiguación y rigidez adicional (TADAS):

La amortiguación y la rigidez triangulares adicionales también pertenecen a la familia de disipación, se basan en la deformación por flexión. Está compuesto de placas metálicas paralelas triangulares de igual espesor, que son sometidos a una fuerza posterior perpendicular y sufren una flexión uniforme a lo largo de la altura de la estructura, gracias al momento de aumento lineal. La curvatura también dará como resultado una distribución uniforme a lo largo de la altura total de las placas y, en consecuencia, se evitarán las regiones en las que podría concentrarse la curvatura (Tsai et al., 1993).

Disipador tipo panel:

El amortiguador de acero alveolar (o "sistema de panel") fue desarrollado por primera vez por Kobori et al. 1992. Tiene el objetivo de aumentar la absorción de energía en edificios de gran altura. En la Figura 18 se muestra un disipador tipo panel que consiste en una placa de acero caracterizada por una abertura en forma de panel en la parte central que está sujeta a cargas que actúan en su propio plano.

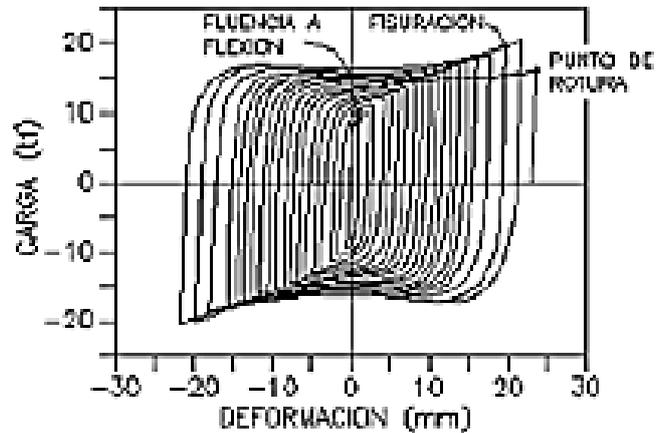
Figura 18. Geometría del disipador tipo panel



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 14), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría)

En la Figura 19 muestra un comportamiento histerético bastante estable

Figura 19. Bucle del dispositivo histerético tipo panel

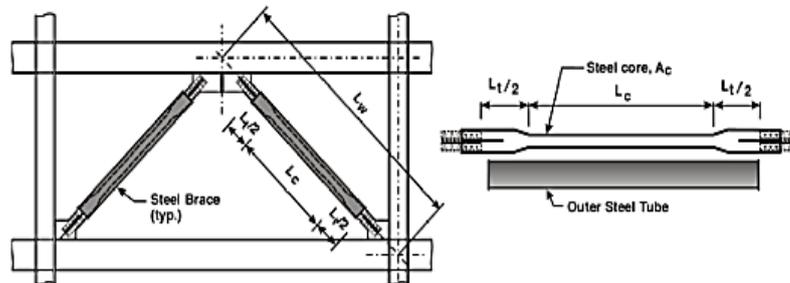


Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 14), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

#### Barras con pandeo Restringidos (BRB)

(Ciliento F. , 2018 - 2019) Sostuvo que estos dispositivos pertenecen a una familia de amortiguadores que disipan la energía de entrada de carga cíclica a través de la deformación axial. Los BRB son dispositivos que se conectan a marcos de acero u hormigón como tirantes concéntricos ordinarios. Están compuestos por un núcleo de acero delgado sin límites rodeado por un tubo de acero lleno de concreto, como se muestra en la . El núcleo interno de acero cede bajo tensión, mientras que la carcasa externa evita el pandeo.

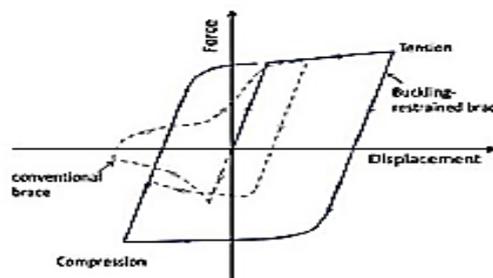
Figura 20. Dispositivo con pandeo restringido



Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 15), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

En la Figura 21 observa el comportamiento típico de un dispositivo con pandeo restringido bajo una carga cíclica.

Figura 21. Comportamiento Típico de un dispositivo de pandeo restringido bajo una carga cíclica



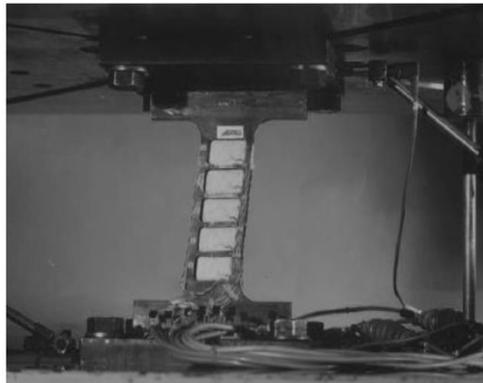
Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 15), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

## 2.2.10 Dispositivos Shear Link Bozzo

(Iasevoli, 2018-2019, págs. 25-26) Describió en su investigación lo siguiente: El dispositivo Bozzo Shear link (SLB) tal como lo muestra la , es un dispositivo de disipación de energía adecuado para la protección sísmica de las estructuras, desarrollado en la Universidad de Girona (Cahís et al. 1997, Cahís et al. 1998, Bozzo et al. . 1998). Estos dispositivos proporcionan una fuente adicional de

disipación de energía a través del mecanismo de plastificación del metal, conformado a partir de una placa de acero laminado moldeado en caliente para obtener una forma de I. Las bridas del dispositivo representan las partes más rígidas y son empleadas para realizar la conexión a elementos estructurales. De manera diferente, la disipación de energía se concentra en la banda donde se generan “ventanas disipadoras” con espesor reducido mediante un proceso de fabricación de fresado. De esta forma, sin ninguna pieza soldada, es posible obtener unas “ventanas” de menor espesor a lo largo de la banda del dispositivo.

Figura 22. Dispositivo de disipación de energía Shear Link



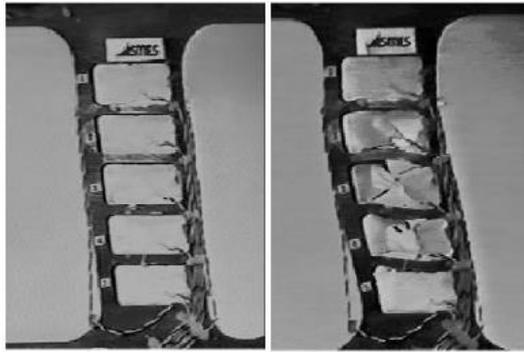
Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 25-26), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Afirmaron que, gracias a las pequeñas dimensiones transversales de las áreas fresadas, se garantiza una disipación de energía uniforme mediante las curvas histeréticas estables y que se caracterizan por una baja reducción de resistencia, ya que el dispositivo requiere fuerzas cortantes bajas para ceder. El proceso de fresado fue propuesto por Cahis et al. (1998). (Nuzzo, Losanno, Serino, & Bozzo, 2015, págs. 270-275)

En consecuencia, tiene la ventaja de comenzar a disipar energía en deformaciones muy pequeñas con el potencial de reducir los desplazamientos entre pisos para los edificios, lo que proporciona un beneficio importante para los elementos no estructurales. Por esta razón los dispositivos suelen caracterizarse por unos

refuerzos horizontales y verticales entre las zonas fresadas. Por lo tanto, el diseño de estos disipadores debe considerar el control de pandeo de la banda. (Nuzzo, Losanno, Serino, & Bozzo, 2015, págs. 270-275)

Figura 23. Modo de Falla Shear Link



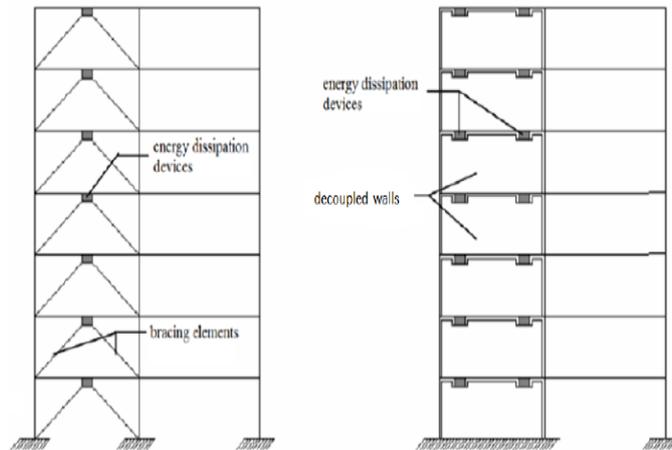
Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 27), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Incluso una pequeña variación de la geometría del dispositivo puede modificar significativamente su comportamiento mecánico, tanto en términos de resistencia como de rigidez, lo que hace que estos dispositivos sean muy atractivos por la flexibilidad en términos de soluciones de diseño. En la el dispositivo SLB está concebido para conectarse al marco principal a través de conexiones atornilladas y montarse en una riostra de soporte. (Nuzzo, Losanno, Serino, & Bozzo, 2015, págs. 270-275)

Si la conexión entre la estructura y el dispositivo Shear Link es débil y falla, la transferencia de tensiones del dispositivo a la estructura se puede ver comprometida y podría causar daños estructurales. Las propiedades del Shear Link lo hacen adecuado para ser utilizado en sistemas duales no estándar para proteger los elementos estructurales y no estructurales. Se puede utilizar como enlace entre el marco flexible y un sistema convencional arriostrado de acero, o se puede utilizar como enlace entre los marcos flexibles y el propuesto sistema de paredes desacopladas como se muestra en la (Bozzo, Gonzáles, Pantoja, Muñoz, &

Ramirez, 2019) Esta última configuración permite el uso del muro como sistema no estructural, y al mismo tiempo previene su daño en caso de un evento sísmico. (Bozzo & Gaxiola, El Concepto "Rígido-Flexible-Dúctil" y las conexiones SLB, 2015)

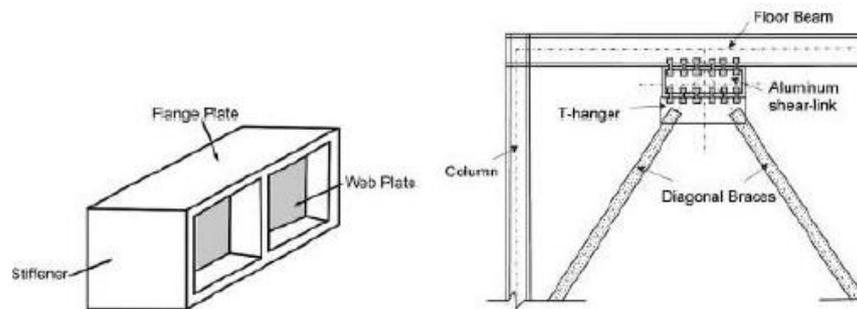
Figura 24. Conexiones de los dispositivos SLB y estructura



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p. 28), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

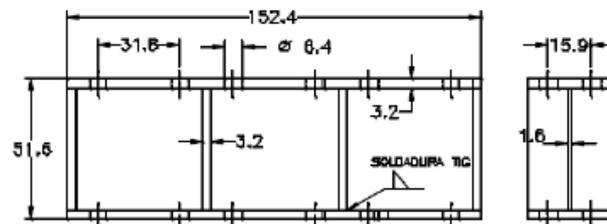
El primer tipo de disipador Shear Link fue desarrollado por Durgesh C. Rai (Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad de Michigan) y Benjamin J. Wallace (Departamento de Ingeniería Civil y Ciencias Ambientales, Universidad de Oklahoma). Aunque el principio de funcionamiento es el mismo que el de los Shear Link descrito anteriormente, es diferente tanto en la forma como en el material. Consiste en una viga de aluminio en forma de I, Figura 25, caracterizada por algunos refuerzos en la red, intercalados entre la parte superior de las riostras diagonales y una viga del piso superior, Figura 26. Se permite que la carga lateral en el marco se transfiera al dispositivo a través de un sistema de transferencia de carga que consiste en una viga colectora de cortante y tirantes en forma de chevron para causar la deformación por cortante de las placas de aluminio. (Iasevoli, 2018-2019, pág. 28)

Figura 25 Conexión del Dispositivo de aluminio SLB



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p. 28), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Figura 26 Dispositivo SLB de aluminio

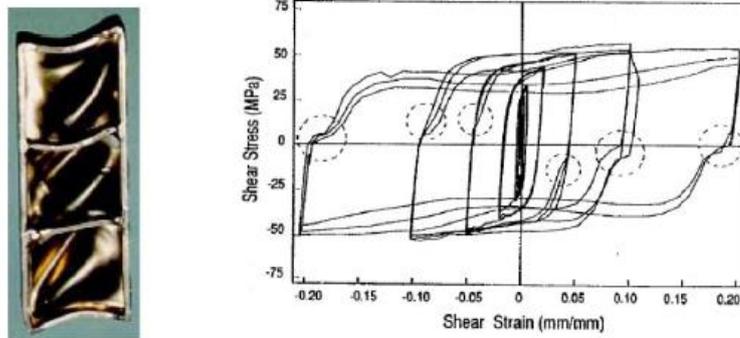


Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p. 28), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

El material elegido para este dispositivo fue el aluminio debido a su bajo límite elástico y buena ductilidad, lo que permite el uso de bandas más gruesas para evitar su pandeo y se alcanzan grandes deformaciones elásticas, maximizando la cantidad de material que participa en la deformación de manera uniforme logrando una gran cantidad de energía disipada antes que el material se fracture. Las características del aluminio permiten que los dispositivos Shear Link resistan más cargas laterales después de la primera deformación generando así que los dispositivos de otros pisos absorban deformaciones adicionales.

En la Figura 27 se muestra el comportamiento histerético esfuerzo-cortante de un Shear Link sometido a una carga cíclica de deformaciones. En los círculos punteados es posible observar, después de cada inversión de carga, cierta pérdida de rigidez de carga debido al deslizamiento del perno en la conexión entre la muestra y el dispositivo de carga. Las investigaciones demuestran que con el uso de placas de aluminio a modo de elementos de refuerzo se logra potenciar su resistencia lateral, rigidez lateral y potencial de disipación de energía.

Figura 27 Comportamiento Histerético Esfuerzo cortante



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p. 29), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Con frecuencia se utilizan los arriostramientos como elementos sismorresistentes, sin embargo, su aplicación es limitada respecto de un Shear Link. Por ejemplo, considere un marco de acero simple con tirantes diagonales diseñados para absorber una cierta fuerza horizontal  $F$ . (Iasevoli, 2018-2019, pág. 29)

Dada la fragilidad por compresión de las diagonales, sensible al fallo de pandeo, será necesario sobredimensionar las riostras, diseñándolas para resistir una fuerza  $\alpha F$ . Por lo tanto, puede ser necesario mejorar los cimientos existentes en las ubicaciones de los arriostramientos, lo que significa una mayor inversión económica. Si en la parte inferior de cada diagonal se proporciona un Shear Link, diseñado para que ceda en correspondencia con la fuerza  $F$ , se obtendrán los siguientes beneficios:

- Se evita sobredimensionar las diagonales debido a la absorción de energía por los Shear Link.
- Se logra disipación de energía debido al comportamiento histerético estable de los Shear Link.
- Facilidad de sustitución de los Shear link deformados luego de una acción sísmica pues se integran con la estructura mediante uniones atornilladas o soldadas.

A diferencia de otros tipos de disipadores que solo amortiguan y no reducen la fuerza sísmica, los dispositivos Shear Link actúan a modo de juntas plásticas donde concentran el comportamiento no lineal, reduciendo así la acción sísmica. En general, las características comunes observadas de los Shear Link son curvas histeréticas estables, endurecimiento por deformación significativo y capacidad de disipación de energía.

Las investigaciones buscan optimizar los dispositivos Shear Link cambiando algunas características de su proceso de fabricación y costo. A lo largo del tiempo se han presentado diferentes generaciones de Shear Link, denominados Shear Link Bozzo. La idea básica detrás del disipador SLB es proporcionar ductilidad local, evitando al mismo tiempo el pandeo local de una manera simple, controlada y económica. La simplicidad de la geometría de los amortiguadores SL los hace especialmente adecuados para adaptarse a diferentes disposiciones dentro de la estructura. (Bozzo L. M., En prensa)

Se pueden obtener amplios rangos de capacidades de disipación de SL simplemente variando la altura, el ancho y el grosor de las ventanas disipadoras y los refuerzos de la banda. Por ello, se han propuesto e investigado diferentes generaciones tanto numérica como experimentalmente durante los últimos 20 años con el objetivo de optimizar su desempeño mecánico. (Bozzo L. M., En prensa)

Figura 28 Primer Generación Dispositivos Shear Link



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.30), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Figura 29 Segunda Generación Dispositivos Shear Link



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.30), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Figura 30 Tercera Generación Dispositivos Shear Link



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.31 ), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

La geometría de los diferentes dispositivos está representada por:  $H_t$  = altura total;  $t_t$  = espesor de los refuerzos;  $H_w$  = altura de la banda;  $t_w$  = espesor de la ventana disipativa;  $L$  = ancho de banda. Las diferentes muestras han sido probadas en: (a) ISMES (Bérgamo) 2001, (b) Universidad de Nápoles 2017, (c) Universidad del Perú 2018 (PUPC).

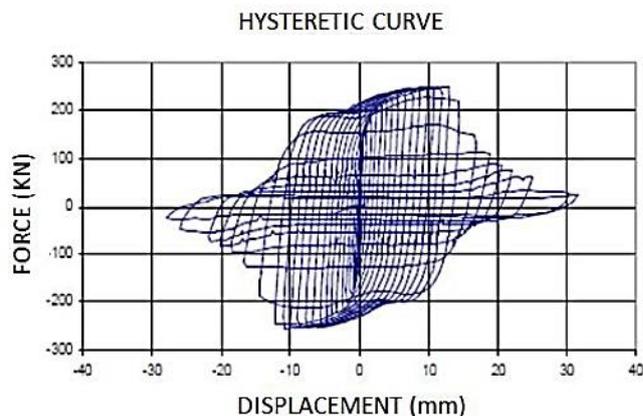
#### Primera generación

La primera generación de SLB, , se probó cíclicamente en ISMES S.p.A. en 2001 con el objetivo principal de generalizar sus propiedades mecánicas para muchos niveles diferentes de fuerza de fluencia. El dispositivo, indicado como SL30\_2, se ha caracterizado por dos columnas de ventanas disipadoras en la banda. Se acaba de atornillar la conexión al equipo y se ha analizado el papel de la tolerancia entre agujeros y tornillos mediante un análisis paramétrico. En el caso de tolerancias de 2 o 4 mm, las pruebas no se concluyeron con éxito porque el deslizamiento fue demasiado alto. Por el contrario, las muestras con 1 mm de tolerancia de orificio mostraron nuevamente curvas histeréticas estables con endurecimiento por deformación, realizando comportamientos de modo de corte y flexión. (Bozzo & Hurtado, 2008)

Se registró un deslizamiento significativo, observándose colapso en correspondencia con la conexión vertical atornillada. Para continuar con la

prueba, la conexión dañada fue soldada a la placa horizontal, pero después de un gran número de ciclos incluso falló la conexión de soldadura. Se utilizó una interpretación numérica de estas pruebas experimentales para deducir las propiedades mecánicas de 32 dispositivos de diferentes dimensiones (altura de banda fijada a 110 mm) que incluso podrían combinarse en paralelo, proporcionando así una amplia gama de parámetros de rendimiento a los diseñadores. En la se muestra el comportamiento histerético del SLB ensayado evitando el deslizamiento debido a la tolerancia en la conexión. (Bozzo & Hurtado, 2008)

Figura 31 Curva Histerética sin inclusión del desplazamiento de la conexión



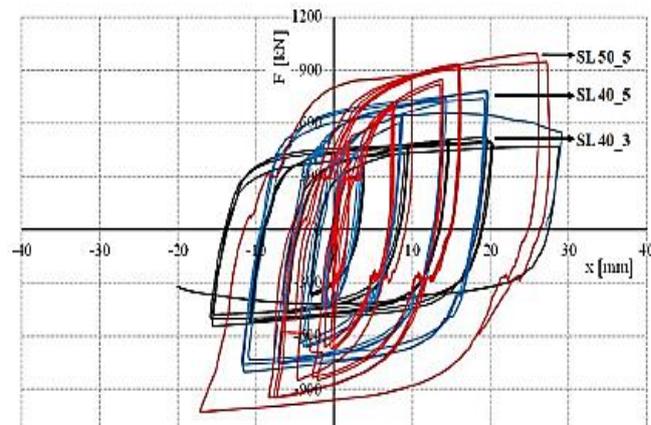
Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.32), por R. Iascevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Otro dispositivo perteneciente a la primera generación SL se probó posteriormente en el laboratorio de la Pontificia Universidad Católica del Perú (PUCP) en Lima, en 2015. La geometría era similar a la SL30\_2, pero más pequeña, con un ancho total de banda L de 25 cm. (SL25\_2). Se utilizó un actuador horizontal para aplicar un historial de carga cuasiestático al dispositivo mediante la interposición de un elemento hueco cuadrado bajo desplazamiento controlado. Durante esta prueba, el dispositivo sufrió un mecanismo de falla fuera del plano, probablemente debido a la torsión en correspondencia del componente tubular de la cabeza, provocando una interrupción prematura del experimento.

## Segunda generación

(Iasevoli, 2018-2019, pág. 33) Describió: La segunda generación SL, se caracteriza por las alturas, así como el espesor de los refuerzos, principalmente invariable con respecto a la geometría anterior. La conexión está totalmente atornillada, para evitar soldaduras y facilitar el proceso de instalación y sustitución durante la vida útil del edificio. A diferencia de la generación anterior, el número de ventanas disipadoras, siempre distribuidas en dos columnas, se incrementa de 2 a 4, reduciendo su altura, pero aumentando significativamente su ancho, con el fin de mejorar la ductilidad y mejorar la resistencia al pandeo de la banda. Otra innovación es la adopción de orificios ranurados para la conexión en un lado, con el objetivo de evitar la transferencia de carga axial desde la viga superior al dispositivo y viceversa. El rendimiento de la versión más reciente de SLB ha sido probado en el Laboratorio de Estructuras de la Universidad de Nápoles Federico II en colaboración con la Universidad de Nápoles Parthenope, Italia. Se han investigado cinco geometrías diferentes, ensayando dos probetas para cada una de ellas, para un total de diez ensayos. Siete probetas se ensayaron cíclicamente, mientras que tres de ellas se sometieron a carga monótona, midiendo fuerzas de reacción de hasta 1000 kN. En la siguiente figura, el comportamiento histerético de tres muestras, a saber, SL40\_3, SL40\_5 y SL50\_5 (donde el primer número indica el ancho y el segundo el grosor de la banda disipativa). Es posible notar que al variar ligeramente el grosor del dispositivo SL de 3 a 5 mm, la contribución disipativa aumenta enormemente.

Figura 32 Curva Histerética para diferentes dimensiones de dispositivos Shear Link



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.33), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

### Tercera generación

Describió: La tercera generación de SLB, es diferente de la anterior para la llamada "conexión de peine" que consta de dos placas de unión dentadas. La ventaja de esta unión es que se puede instalar y reemplazar fácilmente en caso de daño, pero, por otro lado, presenta un comportamiento de fricción debido a la tolerancia en la unión para unir las dos piezas.

Otra diferencia con respecto a las generaciones anteriores es la altura total del dispositivo que se reduce de 310 mm a 210 mm pero al mismo tiempo se aumenta ligeramente la altura adecuada de la parte disipadora del dispositivo (es decir, sin tener en cuenta las placas de conexión). (Iasevoli, 2018-2019, pág. 33)

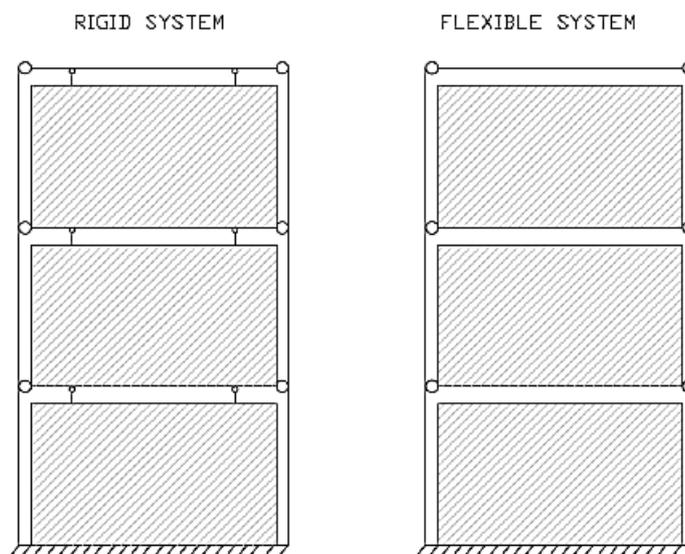
### 2.2.11 Sistema Rígido-Dúctil-Flexible

Bozzo & Gaxiola (2015) Afirmaron en su artículo los conceptos de rigidez, flexibilidad y ductilidad incorporando conexiones Shear Link Bozzo (SLB). Según este concepto, una estructura se puede dividir en un sistema flexible (sin conexión SLB) y un sistema rígido (incorporando estos dispositivos). La ductilidad de las conexiones SLB, que actúan como bisagras plásticas, permite tener un nivel de fuerza sísmica correspondiente al sistema flexible, pero con el

nivel de desplazamiento del sistema rígido. La demanda de ductilidad se concentra en las conexiones SLB que se fabrican industrialmente con propiedades mecánicas definidas.

En la se muestran los dos sistemas que presentan un comportamiento diferente debido a la presencia o ausencia de los dispositivos SLB. El concepto “rígido-dúctil-flexible” muestra su máximo potencial cuando el sistema gravitacional es más flexible como en el caso de las estructuras prefabricadas de hormigón armado donde los elementos estructurales tienen conexiones articuladas. Por tanto, esta estructura tiene un período flexible muy alto casi similar a la estructura aislada por lo que el sistema disipativo contribuye a endurecer la estructura limitando el desplazamiento horizontal.

Figura 33 Sistema Rígido – Flexible



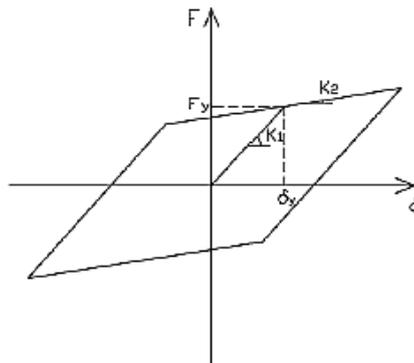
Nota: Tomado de *El Concepto "Rígido-Flexible-Dúctil" y las conexiones SLB*, por L. Bozzo y G. Gaxiola, 2015, Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica.

El sistema disipador formado por la pared elástica desacoplada y el disipador de energía elastoplástico SLB se ha representado mediante un modelo reológico considerando los dos elementos en serie. Todo el sistema funciona en paralelo con el marco prefabricado, considerado lineal.

## 2.2.12 Comportamiento SLB

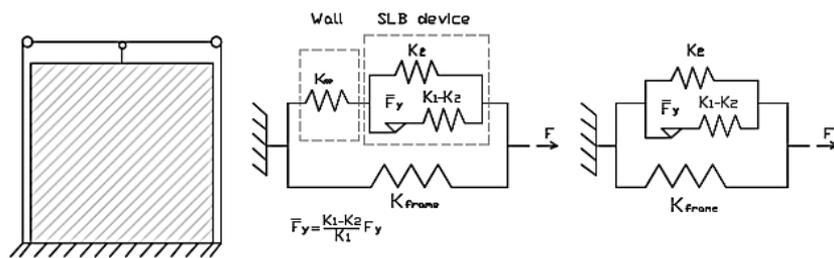
“El dispositivo SLB se puede modelar como un elemento elastoplástico mediante la definición de la rigidez elástica  $K_1$  y post-elástica  $K_2$ ”. (Iasevoli, 2018-2019, págs. 34-35)

Figura 34 Relación Fuerza – Desplazamiento Dispositivo SLB



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.34 ), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

Figura 35 Modelo Reológico del sistema de disipación estructura- dispositivo SLB



El

Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.35 ), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

dispositivo disipador (SLB) puede ser modelado por dos resortes en paralelo () que representan respectivamente la rigidez elástica  $K_1$  y la post-elástica  $K_2$  (asociada a la deformación de las “ventanas” disipativas).

El dispositivo SLB funciona como un sistema paralelo, por lo que la rigidez equivalente del sistema es la suma de las rigideces. Antes de que las “ventanas” rindan, la rigidez equivalente del SLB es igual a la rigidez elástica  $K_1$ , mientras que después de ceder se reduce a  $K_2$ .

Por tanto, se pueden considerar dos casos diferentes:

$$1. F < F_y : K_{eq} = K_2 + (K_1 - K_2) = K_1$$

$$2. F > F_y : K = K_2$$

La pared desacoplada tiene una rigidez elástica infinita y puede considerarse como un resorte que trabaja en serie con los dispositivos SLB. La rigidez equivalente del sistema es:

$$1/K_{eq} = 1/K_{SLB} + 1/K_{wall}$$

Por eso se puede despreciar porque su contribución es nula. (Iasevoli, 2018-2019, págs. 34-35)

#### Concepto rígido-dúctil-flexible

El comportamiento rígido de la estructura está relacionado con el comportamiento elástico inicial del dispositivo SLB que trabaja en paralelo con el marco prefabricado, por lo que la rigidez equivalente está regida por la rigidez del SLB.

Antes de que ceda el SLB, la estructura tiene un desplazamiento bajo y presenta un comportamiento rígido. Sucesivamente, al aumentar la intensidad sísmica, el sistema disipativo agrega amortiguación a la estructura al disipar la energía sísmica mediante el rendimiento de los dispositivos SLB. Después de ceder, la rigidez SLB se reduce a  $K_2$  por lo que la rigidez equivalente del sistema se rige por la rigidez del marco prefabricado. Presenta un comportamiento flexible debido a las uniones articuladas de los elementos estructurales (vigas).

En conclusión, cuando la estructura es sometida a una acción sísmica, el sistema disipador trabaja en paralelo con el marco proporcionando rigidez a la estructura global mediante la limitación del desplazamiento horizontal y contemporáneo

agrega ductilidad, disipando la energía generada por la deformación a cortante a través de la cedencia de los dispositivos SLB.

El concepto “rígido-flexible-dúctil” permite diseñar una estructura prefabricada muy flexible con la rigidez que proporciona el sistema disipador. El resultado es un edificio con el nivel de fuerzas sísmicas de la estructura flexible, pero con el nivel de desplazamiento del sistema rígido. Finalmente, se consigue una estructura con bajo cizallamiento y desplazamiento. (Iasevoli, 2018-2019, pág. 35)

#### Modelado Analítico y Numérico

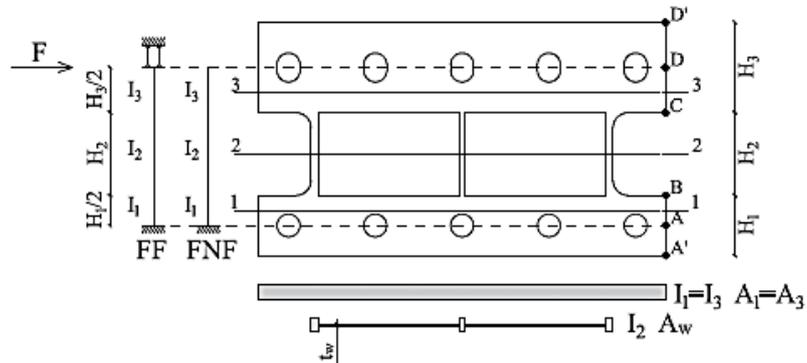
En su investigación proporcionaron modelos analíticos para derivar los parámetros mecánicos significativos del comportamiento del dispositivo SL. Estos parámetros son la fuerza de fluencia  $F_y$ , la rigidez elástica  $K_{el}$  y la rigidez posterior a la fluencia  $K_{py}$ . Dado que a partir de la prueba experimental la relación entre las dos rigideces  $r = K_{py} / K_{el}$  es más o menos constante, para la evaluación de  $K_{py}$  se asumió un valor de la relación  $r$  que varía en el rango 2% -4%. La fuerza de fluencia  $F_y$  se obtuvo multiplicando la tensión de fluencia  $\tau_y$  por el área de la banda  $A_w$ .

$$F_y = \tau_y A_w$$

La rigidez elástica  $K_{el}$  se evaluó modelando el dispositivo SL como una viga de Euler-Bernoulli con una sección transversal variable  $L = H1/2 + H2 + H3/2$ , donde las secciones transversales I1 e I3 tienen el mismo espesor en relación con el ala mientras que la sección transversal I2 está relacionado con el espesor de la banda. La solución en términos de desplazamiento se derivó aplicando el principio de trabajo virtual (PLV).

En el modelo numérico, el desplazamiento se deriva en la sección superior del SL ( $D'$ ) mientras que las fuerzas se aplican a lo largo del eje de los orificios ranurados (Figura 36); contrario a lo largo del eje de la "conexión de peine" (Figura 38). (Iasevoli, 2018-2019, pág. 36)

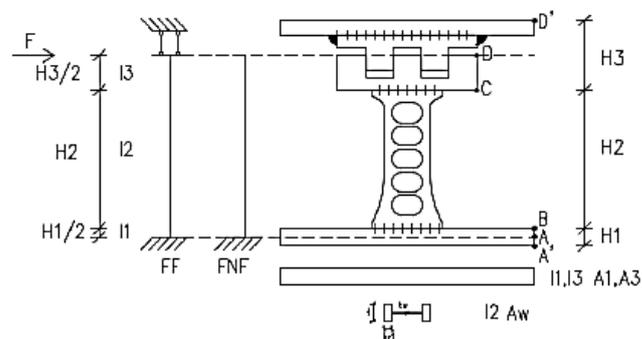
Figura 36 Segunda generación dispositivo SLB



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.37), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

La rigidez a flexión y cortante se indican respectivamente con  $EI1 = EI3$  e  $GA1 = GA3$  para bridas, mientras que  $EI2$  e  $GA2$  están relacionados con el alma. Para este modelo es necesario considerar dos diferentes configuraciones FF y FNF. En el primer caso, el dispositivo se modela con un extremo en el extremo inferior y un péndulo doble en el extremo superior, mientras que en el segundo caso el dispositivo está modelado como un voladizo.

Figura 37 Tercera Generación Dispositivo SLB



Nota: Tomado de *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection* (p.37), por R. Iasevoli, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

La solución del problema se resuelve para las dos configuraciones diferentes por separado.

Para evaluar los parámetros de SL se utilizó el software shear link modelo no lineal para implementar las características geométricas y mecánicas del dispositivo SLB utilizado en la investigación experimental. A continuación, se muestran los datos de entrada y salida ( $H1 = 19$  mm,  $H2 = 150$  mm,  $H3 = 76$  mm,  $B = 75$  mm,  $t = 19$  mm, ancho = 33,4 mm, ancho = 50 mm,  $t_w = 2$  mm,  $h_{r1} = 8,3$  mm;  $K_{el} = 19$  KN / mm  $F_y = 15$  KN).

### 2.2.13 Modelo de Wen

El modelo de Bouc-Wen (MBW) propuesto por Bouc (1967) y generalizado por Wen (1976), es usado en diversas áreas de la ingeniería, incluyendo: óptica, electrónica mecánica y estructuras, entre otras; y su uso se ha incrementado considerablemente desde su desarrollo inicial (Ikhouane & Rodellar, 2007). Su popularidad se debe a que solo se necesita una ecuación diferencial no lineal para definir el comportamiento histerético y, por ende, es computacionalmente eficiente (Ismail, Ikhouane y Rodellar, 2009). (Duque, Inaudi, & García, 2015)

La respuesta no-lineal de las conexiones SLB se representa mediante el modelo plástico de Wen (1976) con elementos no-lineales tipo “*Link*”. La rigidez de estos dispositivos se obtiene del artículo (Bozzo & Hurtado, 2008) con la importante consideración de que se libera la fuerza axial en los dispositivos. Esta consideración de liberar la fuerza axial da una gran libertad de disponer de paneles disipaditos en distintas plantas sin afectar o cargar verticalmente de forma acumulativa en trabes o elementos inferiores (Bozzo & Gaxiola, 2015)

Los Software estructurales comerciales como ETABS o SAP2000, los dispositivos *Shear Link Bozzo* se pueden modelar de forma doble, como elemento de marco o como elemento de enlace. En este último caso, el modelo de plasticidad, mostrado en la Figura 38, se basa en el comportamiento histerético propuesto por Wen (1976). (Ciliento F. , 2018 - 2019, págs. 38-40)

La relación de fuerza-deformación no lineal viene dada por:

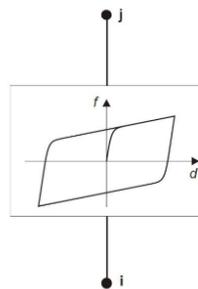
$$f = a Kx + (1 - a)f_y z$$

Donde  $K$  es la constante elástica del resorte,  $f_y$  es la fuerza de fluencia,  $a$  es la relación de rigidez post-elástica y  $z$  es una variable hysterética adimensional descrita por la siguiente ecuación diferencial (Wen, 1980).

$$\dot{z} = A\dot{x} - \beta z|\dot{x}||z|^{n-1} - \gamma\dot{x}|z|^n$$

Donde  $A$  es un factor de escala,  $\beta$  y  $\gamma$  son parámetros que definen la forma de la curva,  $n$  es un parámetro que define la suavidad de la transición entre la región lineal y no lineal.

Figura 38 Modelo Plástico de WEN

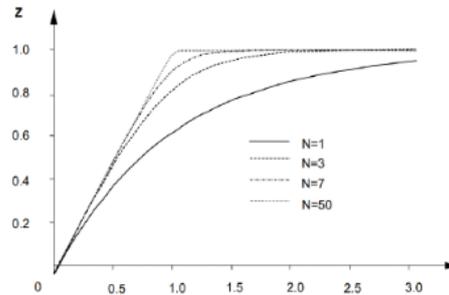


Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 38), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

La ecuación para determinar  $z$  es equivalente a la del modelo de Wen con  $A = 1$  y  $\alpha = \beta = 0.5$  (CSI, 1997). Por lo tanto,  $n$  es el único parámetro arbitrario a identificar dentro de la definición del comportamiento del disipador.  $n$  pertenece al intervalo  $[1, +\infty)$  y, como muestra en la , al aumentar su valor, la transición de la región lineal a la no lineal es más nítida.

Por lo general, para describir mejor el comportamiento elastoplástico de los dispositivos SLB, se adopta  $n = 1$  o  $n = 2$  para representar mejor los resultados experimentales.

Figura 39 Curva para diferentes valores de  $n$  ( $A = 1, a = \beta = 0.5$ )



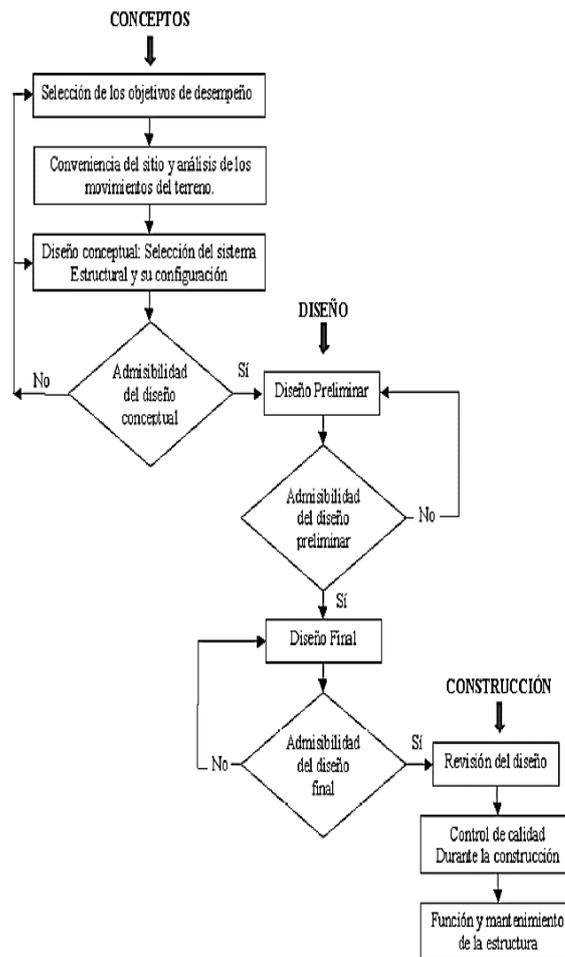
Nota: Tomado de *Development of Seismic Design Procedures for Building Structures Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers* (p. 38), por F. Ciliento, 2018-2019, (Tesis de Maestría) – Universidad de Napoles Federico II.

#### 2.2.14 Desempeño sísmico

Ciliento (2018 -2019) afirma lo siguiente, basada en el comité VISION 2000, el estudio del desempeño sísmico involucra todas aquellas actividades necesarias tanto para el proceso constructivo, como para las tareas de mantenimiento, y permiten predecir el desempeño sísmico de las estructuras en sismos de diferentes intensidades. Es la medida del daño luego de un evento sísmico la forma de medir el desempeño sísmico y el impacto que tienen estos daños en las actividades posteriores al evento.

La ingeniería basada en el desempeño sísmico es un proceso que comienza con el planeamiento inicial de un proyecto y termina cuando la estructura deja de existir. Este proceso incluye la selección de los objetivos de desempeño, la determinación de la conveniencia del sitio, el diseño conceptual, el diseño preliminar, el diseño final, los chequeos, de aceptabilidad durante el diseño, el control de calidad durante la construcción y el mantenimiento durante la vida de la estructura. Cada paso es crítico para el proceso y el éxito del diseño y debe ser dirigido hacia niveles aceptables consientes con el objetivo de desempeño seleccionado. La muestra el diagrama del marco conceptual de la ingeniería basada en el desempeño. (Mena Hernandez, 2002)

Figura 40 Diagrama de Marco Conceptual de la “Ingeniería Basada en Desempeño



Nota: Tomado de *SEAOC Vision 2000 Committee, 1995*.

### 2.2.15 Niveles de desempeño

Niveles de Desempeño según la propuesta del ATC-40

La propuesta del ATC-40 especifica separadamente el nivel de desempeño para la estructura y el nivel de desempeño para los componentes no estructurales de manera que su combinación conduce a la definición del nivel de desempeño de la edificación.

Niveles para los elementos estructurales.

Describen los posibles estados de daño sobre la estructura. Para tal fin, se definen tres estados de daño discretos o límites: inmediata ocupación, seguridad y estabilidad estructural, y dos rangos intermedios: daño controlado y seguridad limitada, los cuales se designan con la abreviación SP-n (“Structural Performance”, donde n es un número)

Ocupación Inmediata. SP-1: sistema que permanece inalterado con resistencia a las cargas laterales y con daño estructural limitado, no representa peligro, la estructura permanece operacional.

Daño Controlado. SP-2: corresponde a un estado de daño que varía entre las condiciones límite de inmediata ocupación y seguridad. Los ocupantes pueden ser afectados pero su vida no peligra.

Seguridad. SP-3: daño significativo estructural con mantención de los elementos estructurales. Posibilidad de afectación de ocupantes y representa amenaza. Alto costo de reparación.

Seguridad limitada. SP-4: estado que varía entre las condiciones límite de seguridad estructural, representa un alto peligro para los ocupantes.

Estabilidad estructural. SP-5: El sistema estructural tiene la posibilidad de colapso parcial o total. Alto grado de peligro en caso de réplicas.

No considerado. SP-6: no corresponde con un nivel de desempeño de la estructura, sino con una condición en la cual solo se incluye una evaluación sísmica de los componentes no estructurales.

Nivel para los elementos no estructurales:

Describen los posibles estados de daño de los componentes no estructurales. Para tal fin, se definen cuatro estados de daño: operacional, inmediata ocupación, seguridad y amenaza, los cuales se designan con la abreviación NP-n (“Nonstructural Performance”, donde n designa una letra).

Operacional. NP-A. - después del sismo, los sistemas, componentes y elementos no estructurales permanecen sin daño y funcionando. Todos los equipos y maquinarias deben permanecer operativos.

Ocupación inmediata. NP-B. - los sistemas, componentes y elementos no estructurales permaneces en su sitio, con pequeñas interrupciones que no comprometen o limitan su funcionamiento. Se mantiene un estado de seguridad para los ocupantes.

Seguridad. NP-C - contempla considerable daño en sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso o interrupción de los mismos que pueda atentar seriamente contra los ocupantes.

Amenaza. - NP-D importante daño en los sistemas, componentes y elementos no estructurales, pero sin colapso de los grandes y pesados elementos que pongan en peligro a grupos de personas. El peligro a la vida por los daños en componentes no estructurales es alto.

No considerado. NP-E. - no corresponde con un nivel de desempeño de los componentes no estructurales.

Niveles para las estructuras

En la Tabla 2 se muestra las combinaciones propuesta por el ATC-40 de los niveles de desempeño de los elementos estructurales y los elementos no estructurales. Estas combinaciones representan el comportamiento global del edificio siendo: Operacional, Ocupación Inmediata, Seguridad y Estabilidad Estructural. (Mena Hernandez, 2002)

Tabla 2. Niveles de Desempeño de las Estructuras

Niveles de desempeño no estructural	Niveles de desempeño estructural					
	SP1	SP2	SP3	SP4	SP5	SP6
	1-A					
NP-A	Operacional	2-A	NR	NR	NR	NR
	1-B					
	Ocupación					
NP-B	Inmediata	2-B	3-B	NR	NR	NR
			3-C			
NP-C	1-C	2-C	Seguridad	4-C	5-C	6-C
NP-D	NR	2-D	3-D	4-D	5-D	6-D
					5-E	
					Estabilidad	No
NP-E	NR	NR	3-E	4-E	Estructural	aplicable

Nota: tomado de ATC (1196)

Operacional 1-A: los daños estructurales son limitados y los daños en los sistemas y elementos no estructurales no impiden que la estructura continúe funcionando con normalidad después del sismo. Adicionalmente, las reparaciones que son necesarias no impiden la ocupación del edificio, por lo cual este nivel se asocia con un estado de funcionalidad

Ocupación inmediata 1-B corresponde al nivel de desempeño más utilizado para estructuras esenciales, como por ejemplo los hospitales. Se espera que los diferentes espacios y sistemas de la estructura puedan seguir siendo utilizados después del sismo, a pesar de que pueden ocurrir algunos años en los contenidos. Se mantiene la seguridad de los ocupantes.

Seguridad 3-C: la probabilidad de pérdida de vidas humanas es prácticamente nula. Este nivel corresponde al desempeño esperado de la estructura con la aplicación de los códigos corrientes. Se presentan daños limitados en los elementos estructurales y algunos elementos no estructurales como acabados y fachadas, entre otros, pueden fallar sin que esto ponga en peligro la seguridad de los ocupantes.

Estabilidad estructural 5-E: El margen de seguridad del sistema resistente de cargas laterales se encuentran al límite y la probabilidad del colapso ante la ocurrencia de posibles réplicas es bastante alta, no obstante, el sistema de cargas verticales continúa garantizando la estabilidad del edificio. Los daños no estructurales no requieren ser evaluados debido al elevado nivel de daños en los elementos estructurales, No se garantiza la seguridad de los ocupantes ni transeúntes, por lo que se sugiere desalojar y, en algunos casos, demoler la estructura.

#### 2.2.16 Movimiento sísmico de diseño

Propuesta ATC-40 utiliza tres niveles de movimiento para el diseño de estructuras: sismo de servicio, sismo de diseño y sismo máximo. Las principales características de estos 3 sismos se describen a continuación. Las siglas S, D y M hacen referencia respectivamente a servicio, Diseño y máximo, mientras que E, conserva la inicial de la palabra en inglés “*Earthquake*”

Sismo de servicio (SE): Correspondiente a eventos sísmicos de baja a moderada intensidad, de ocurrencia frecuente, generalmente asociados con un 50% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años, con un periodo medio de retorno de aproximadamente 72 años, de manera que puede ocurrir varias veces durante la vida útil de la edificación. En base a los resultados de peligrosidad típicos de un emplazamiento determinado, este movimiento representa aproximadamente la mitad del nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificado en los códigos, por tratarse de sismos más frecuentes y de menor severidad.

Sismo de diseño (DE): correspondiente a movimientos de moderada a severa intensidad, de ocurrencia poco frecuente, generalmente asociados con un 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años, con un periodo medio de retorno de aproximadamente 475 años. Se corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por la mayoría de los códigos de diseño para edificaciones convencionales y se espera que ocurra al menos una vez en la vida útil de una edificación.

Sismo máximo (SM) corresponde a movimientos de intensidad entre severos o muy severos, de muy rara ocurrencia, generalmente asociados con un 5% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años, con un periodo de retorno de aproximadamente 975 años. Se corresponde con el nivel de movimiento tradicionalmente especificado por los códigos de diseño para edificaciones esenciales y representa 1.25 A 1.5 veces el nivel de movimiento asociado al sismo de diseño tradicionalmente especificados en los códigos, de allí que la mayoría asocian esta relación al factor de importancia de las edificaciones esenciales, por tratarse de sismos menos frecuentes de mayor severidad. (Mena Hernandez, 2002)

### 2.2.17 Matriz de desempeño propuesta del COMITÉ VISION 2000

El comité VISION 2000 considera las estructuras en tres grandes grupos, de acuerdo a su grado de importancia durante y después de un sismo mostrando en la Tabla 3 los niveles de desempeño de la estructura.

Tabla 3. Objetivos de Desempeño sísmico recomendado para Estructuras

Movimiento sísmico de diseño	Niveles de desempeño de la estructura			
	Totalmente Operacional	Operacional	Seguridad	Próximo al colapso
Frecuente (43 años)	1	0	0	0
Ocasional (72 años)	2	1	0	0

Raro (475 años)	3	2	1	0
Muy raro (970 años)	-	3	2	1
0. Desempeño inaceptable				
1. Estructuras básicas				
2. Estructuras Esencial / riesgosas				
3. Estructuras de seguridad crítica				

*Nota:* Tomado de *SEAOC Vision 2000 Committee* (1995)

### 2.2.18 Verificación del desempeño

#### Límites de los niveles de desempeño

Para determinar si una estructura alcanza el objetivo esperado de desempeño se compara la respuesta obtenida a partir del análisis estático o lineal con los límites para los niveles de desempeño apropiados. Sobre este punto, no existe en la actualidad un consenso general, que permita establecer una única relación entre un parámetro que represente la respuesta estructural, como por ejemplo la deriva entre piso, y los estados de daño discreto o niveles de desempeño. Algunos estudios tales como HAZUS-99, el ATC-40, FEMA -273 y VISION 2000 proponen ciertos límites, aunque a su vez resaltan las incertidumbres involucradas en su definición y la flexibilidad para utilizar otros valores que se consideren más adecuados. Se muestran las derivas máximas de entre piso, permisibles para cumplir con los objetivos de desempeño propuestos por el ATC-40 y VISION 2000. Para cumplir con los objetivos de desempeño, los valores obtenidos en el análisis de la estructura para determinada demanda sísmica deben ser inferiores a cada uno de estos valores. Así por ejemplo, para que una estructura pueda ser ocupada inmediatamente después de ocurrido el sismo, la deriva máxima entre piso debe ser menor de 0.01 de acuerdo a la propuesta ATC-40

Tabla 4. Valores Límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño (ATC-40)

Nivel de desempeño	Deriva entre piso (% Altura entre piso)
Ocupación inmediata	0.01
Seguridad	0.02
Estabilidad estructural	0.33

Nota: Tomado de *ATC-40*

Tabla 5. Valores Límites de la deriva máxima entre piso para los niveles de desempeño (SEAOC Vision 2000 Committee, 1995)

Nivel de desempeño	Deriva entre piso (% Altura entre piso)
Totalmente operacional	0.2
Operacional	0.5
Seguridad	1.5
Próximo al colapso	2.5
Colapso	>2.5

Nota: Tomado de *SEAOC Vision 2000, Committee* (1995)

Tabla 6 Derivas límite de entrepiso según el manual HAZUS

Derivas Límite de entrepiso para el estado de daño				
Número de pisos	Leve	Moderado	Severo	Completo
1 a 3	0.005	0.008	0.02	0.05
4 a 7	0.0033	0.0053	0.0133	0.0333
de 8 a más	0.0025	0.004	0.01	0.025

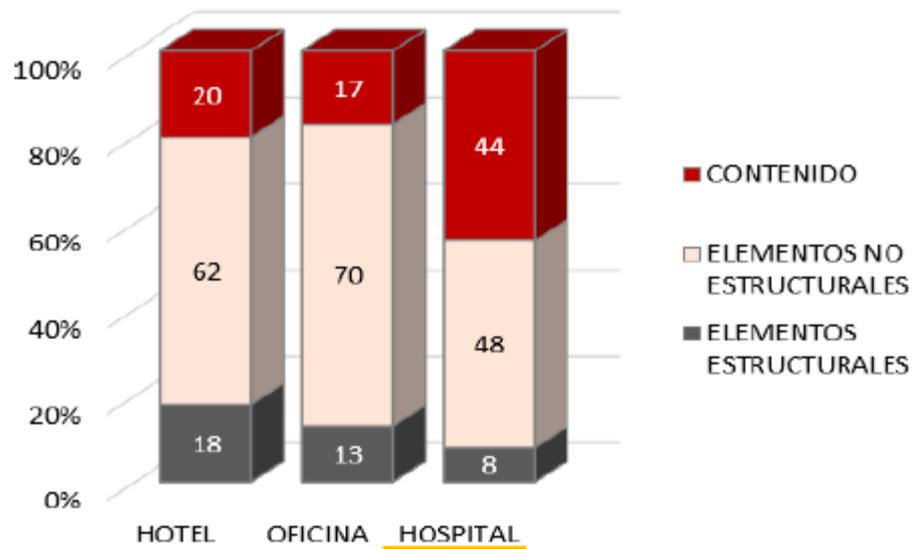
Nota: Federal Emergency Management Agency FEMA

### 2.2.19 Importancia de la protección sísmica en hospitales

En la Figura 41 se detalla según el FEMA E-74 donde estimó un porcentaje de inversión dividido en los elementos estructurales, no estructurales y contenido de tres tipos de estructuras (hotel, oficina y hospital) (...) Enfocándonos en los hospitales el menor porcentaje de costo está en los elementos estructurales

equivalente al 8 % ante las otras edificaciones, además se observa el mayor costo en contenido con 44%. Los costos no estructurales se aproximan a 48 % correspondiente a instalaciones mecánicas, eléctricas, sanitarias y arquitectónicas. (Yucra, 2018, pág. 4)

Figura 41 Inversión Típica en la Construcción



Nota: Tomado de *Evaluación de Desempeño Sísmico de los Hospitales en el Perú* (p. 4), por M.Yucra, 2018, (Tesis de Maestría) – Pontificia Universidad Católica del Perú, adaptado de FEMA E-74, 2011.

### Clasificación de los hospitales en el Perú

En el Perú existe una clasificación de tres niveles de atención, que caracteriza a los establecimientos de salud con base en niveles de complejidad y características funcionales comunes. Cada uno de estos niveles de atención está subdividido en Categorías definidas según sus Unidades Productoras de Servicios de Salud (UPSS). (Yucra, 2018)

Tabla 7. Categorías de Establecimientos de Salud por Niveles

Niveles de atención	Niveles de complejidad	Categorías de establecimientos de salud
PRIMER NIVEL DE ATENCION	1° Nivel de Complejidad	Categoría I-1
	2° Nivel de Complejidad	Categoría I-2
	3° Nivel de Complejidad	Categoría I-3
	4° Nivel de Complejidad	Categoría I-4
SEGUNDO NIVEL DE ATENCION	5° Nivel de Complejidad	Categoría II-1, II-2
	6° Nivel de Complejidad	Categoría II-E
TERCER NIVEL DE ATENCION	7° Nivel de Complejidad	Categoría III-1
	8° Nivel de Complejidad	Categoría III-E, III-2

*Nota:* Tomado de *Resolución Ministerial N°546 – 2011, NTS N° 21-MINSA/dgsp – v.03 (2011)*

En la Tabla 8 se muestran las Unidades Productoras de Servicios de Salud por Categorías de Establecimientos de Salud, el primer nivel está referido a una atención de baja complejidad y menor especialización y tecnificación de sus recursos. El segundo nivel está referido a una atención de complejidad intermedia. El tercer nivel se refiere a una atención de alta especialización y tecnificación, tanto en recursos humanos como tecnológicos (equipamiento, infraestructura, etc).

Tabla 8. Unidades Productoras de Servicios de Salud

Consulta Externa	Diagnóstico por imágenes
Emergencia	Centro de hemoterapia
Hospitalización y UCI	Hemodiálisis
Centro Quirúrgico y Obstétrico	Nutrición y Dietética
Medicina de Rehabilitación	Central de Esterilización
Farmacia	Radioterapia
Patología Clínica	Medicina Nuclear

*Nota:* Tomado de Yucra A., M., (2018) *Evaluación de Desempeño Sísmico de Hospitales Aislados en el Perú*, Tesis de Maestría – Pontificia Universidad Católica del Perú

## 2.2.20 Situación actual de los hospitales en el Perú

### Hospitales paralizados en el Perú

Actualmente en nuestro país tenemos Hospitales paralizados en diferentes regiones del país, las cuales son financiadas por el gobierno central y regionales. Muchas de las regiones presentan falta de instalaciones por lo tanto de atención en cuidados intensivos UCI y falta de implementos como ventiladores artificiales para atender esta pandemia que nos muestra nuestras deficiencias. En la tabla 7 se muestra 14 obras de construcción y mejoramiento de hospitales en siete regiones del Perú que se encuentran paralizadas (Áncash, Apurímac, la libertad, Lambayeque, Arequipa, Puno, Piura) con una gran inversión millones de soles en proyectos que hoy no se pueden utilizar para enfrentar la pandemia.

Diferentes factores como cambios de ubicación sin sustento técnico. La complejidad de los proyectos y el elevado costo con el uso obligatorio de aislamiento pueda ser un factor, además errores de expedientes técnicos, investigaciones por corrupción, incumplimiento por parte de los contratistas, irregularidades o fallas técnicas. Algunos hospitales paralizados no cuentan con el dinero para la implementación de los equipos médicos y acabados. (Estrada, y otros, 2020)

## 2.3 Definición de términos Básico

- Disipador Sísmico:

Los Disipadores Sísmicos son elementos que cumplen con la función de recibir y mitigar la energía sísmica protegiendo los elementos estructurales, así como a la estructura misma de esta forma evita que los elementos estructurales sufran daño excesivo.

- Resiliencia Sísmica:

Consiste en cuantificar la cantidad de daño que sufre una estructura tratando de evitar que los elementos estructurales reciban daño, de la misma forma tratando de optimizar la estructura.

- Ductilidad:

Es una propiedad que tiene la estructura o algunos elementos estructurales de soportar deformaciones más allá del límite elástico sin la necesidad de que sus propiedades tales como rigidez o resistencia se vean afectadas, al pasar de este límite es cuando comienzan a entrar en el rango No Lineal y por lo tanto entra a un estado plástico.

- Rigidez:

Es la propiedad de las estructuras o elementos estructurales a oponerse a su deformación, la capacidad de soportar cargas sin deformarse o tener grandes desplazamientos.

- Respuesta sísmica:

Se le denomina no solo a la interacción entre el movimiento sísmico y la estructura, sino también a las propiedades del suelo, así como las características dinámicas de la interacción entre estos factores.

- No Linealidad:

Se denomina No-Linealidad cuando las estructuras no tienen pequeños desplazamientos (No Linealidad Geométrica) o los materiales no entran en el rango elástico (No Linealidad Física), entonces se denomina que han entrado en el rango “NO-LINEAL”

- Curva de capacidad:

Se entiende como curva de capacidad a la relación entre la resistencia lateral de una estructura y su desplazamiento lateral, también nos puede ayudar a evaluar el daño que puede sufrir una estructura en ciertas solicitudes sísmicas.

- Espectro de Diseño:

Se denomina a la relación entre la aceleración o vibraciones del suelo en un determinado periodo de duración, con esto podemos determinar los niveles de amortiguamiento.

- Análisis Tiempo-Historia:

Consiste en un análisis de la respuesta dinámica de la estructura sometido a un incremento de tiempo, de esta forma podemos calcular la demanda de una estructura por medio de los registros sísmicos.

- Ciclo Histerético

Es una representación gráfica de los desplazamientos vs carga aplicada en el cual se representa el total de energía disipada por los dispositivos de disipación sísmica.

## CAPÍTULO III: HIPÓTESIS

### 3.1 Hipótesis General

El desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con los disipadores SLB “*Shear Link Bozzo*” es completamente operacional luego del sismo máximo.

### 3.2 Hipótesis Específicos

- a) Las derivas de un Hospital con los disipadores SLB cumplen con las limitaciones del manual HAZUS para el sismo máximo.
- b) Las aceleraciones de entrepiso en un Hospital con protección sísmica SLB cumplen con las limitaciones del manual HAZUS para el sismo máximo.
- c) El disipador SLB presenta una gran eficiencia como protección sísmica del hospital.

## CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DEL ESTUDIO

### 4.1 Tipo, método y diseño de investigación

#### 4.1.1 Tipo

La investigación es aplicada debido a que en la presente tesis se analizará una posible mejora del desempeño estructural de un hospital mediante la incorporación de disipadores SLB como sistema de protección ante un sismo considerado como máximo.

“La investigación aplicada constituye un enlace importante entre ciencia y sociedad. Con ella, los conocimientos son devueltos a las áreas de demanda, ubicadas en el contexto, donde se da la situación que será intervenida, mejorada o transformada” (Cordero, 2009, pág. 163)

Se tiene un enfoque cuantitativo porque se evaluarán los resultados del desempeño sísmico de la estructura con y sin disipadores SLB respecto a los valores y estándares planteados en las normativas vigentes.

#### 4.1.2 Método

“La investigación descriptiva consiste en llegar a conocer las situaciones, costumbres y actitudes predominantes a través de la descripción exacta de las actividades, objetos, procesos y personas” (Morales, 2012, pág. 2)

“Los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos, mediante la prueba de hipótesis. Sus resultados y conclusiones constituyen el nivel más profundo de conocimientos” (Morales, 2012, págs. 7-8)

La investigación tiene un alcance descriptivo – explicativo, porque se evaluará la eficiencia del disipador SLB incorporado en una estructura hospitalaria y el correspondiente desempeño del sistema estructural sometido al sismo máximo, a través del análisis modal espectral y tiempo historia no lineal.

#### 4.1.3 Diseño de la investigación.

“La investigación no experimental es aquella que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, no hacemos variar intencionalmente las variables independientes. Lo que hacemos es observar fenómenos tal y como se dan en su contexto natural, para después analizarlos” (Agudelo, Aigner, & Restrepo, 2008, pág. 39)

Se plantea una investigación de diseño no experimental porque se idealizará un modelo matemático de un hospital simulando un sismo máximo para analizar el desempeño estructural de la edificación con disipadores SLB.

#### 4.2 Población de Estudio

La población consiste en un Hospital de concreto armado con características de un establecimiento de salud del nivel de atención III, de sistema aporticado, ubicado en la zona sísmica 4, de 4 niveles de altura y clasificado en un perfil de suelo tipo 2. La estructura en cuestión es una edificación idealizada.

De esta forma se puede analizar Hospitales que cumplan con estas características: Nivel de atención III, sistema aporticado, ubicado en la zona sísmica 4 y en un perfil de suelo tipo 2. Todo esto con el fin de probar la mayor eficiencia de los dispositivos.

#### 4.3 Diseño muestral

La muestra consiste en un bloque idealizado correspondiente a una estructura hospitalaria de nivel de atención III aporticada de concreto armado de 4 niveles en la zona sísmica 4 y clasificado en un perfil de suelo tipo 2. Dicha estructura hospitalaria es idealizada, para probar la eficiencia de los disipadores se ha escogido uno de los bloques tomando los criterios necesarios para su diseño como se menciona en el ítem 5.1, pero bajo las mismas condiciones que toda la estructura en general.

#### 4.4 Relación entre Variables

Variable independiente: Disipadores “SLB” *Shear Link Bozzo*

Variable dependiente: Hospital de concreto armado

#### 4.5 Técnica de recolección de datos

Se obtuvo la información de fuentes bibliográficas tales como libros especializados en estructura con protección sísmica, así como papers de ensayos experimentales, páginas web, artículos, normativas y manuales, mencionados en el ítem REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

Estos documentos respaldados bajo normas como NTP E.030 - E.020 – E.060, HAZUS 99, para el Análisis Dinámico Tiempo – Historia No Lineal, se usó información de la página de CISMID para la obtención de los registros sísmicos, además de los consejos del Ingeniero Luis Bozzo.

#### 4.6 Procedimiento para la recolección de datos

En la presente investigación se consultaron investigaciones y ejemplos de hospitales con las características necesarias para desarrollar el modelo matemático. Para ello se hizo uso principalmente del manual de “Análisis y Diseño utilizando Disipadores Sísmicos Tipo SLB Ejemplos de Aplicación” del Ingeniero Luis Bozzo, de esta forma se ha podido modelar la estructura y los disipadores.

Los parámetros de diseño se obtuvieron de las Normas NTP E.030 - E.020 – E.060.

#### 4.7 Técnicas de procesamiento y análisis de datos

Para el diseño de los disipadores SLB se utilizó la tabla del manual del ph.D. Luis Bozzo “Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB” donde nos muestra las características de los disipadores y ejemplos de aplicación., así como el software Dissipa SLB, el cual será enlazado al Software ETABS v.2018.

Además, se hizo uso de la información de la tesis de Yucra, A. M. llamada “Evaluación de Desempeño Sísmico de Hospitales Aislados en el Perú” de la cual se tomó en cuenta los criterios de distribución para el posterior modelamiento en el Software ETABS v.2018.

Se utilizó la Norma Técnica Peruana E.030 (2018) para el modelado y análisis de la estructura aplicando los Análisis Modal Espectral y Análisis no lineal Tiempo – Historia, de la misma manera se utilizó el programa ETABS 2016-2018. Para el filtrado de registros sísmicos y escalamientos los cuales se usarán para el Análisis no lineal Tiempo – Historia, se usaron los programas SeismoSignal v.2018 y SeismoMatch v.2018.

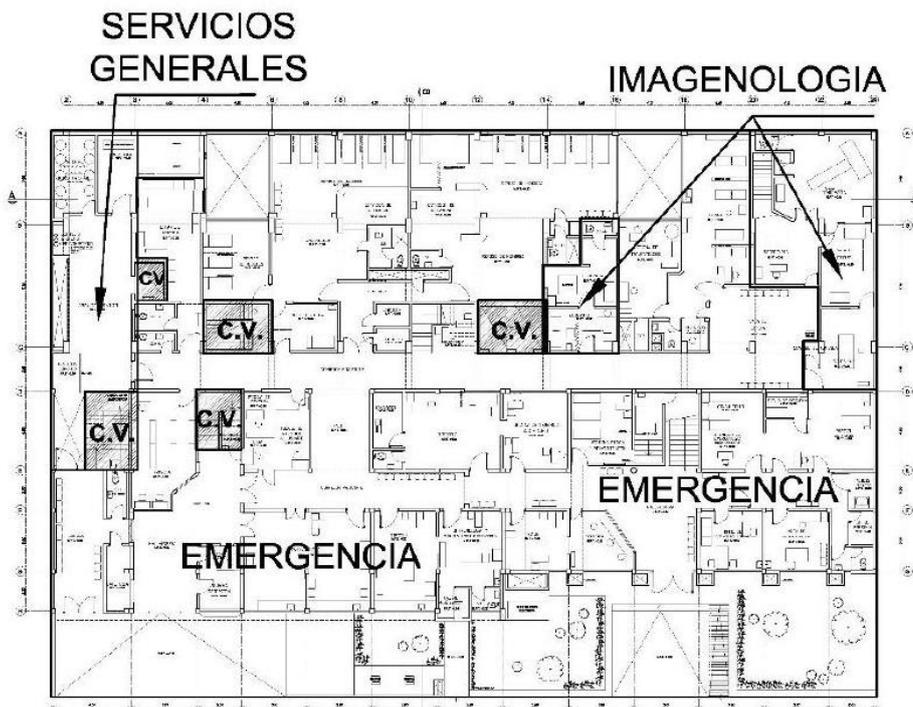
Finalmente, para el análisis del desempeño sísmico se utilizó el manual Hazus 99 y el consejo del Ingeniero Luis Bozzo mencionado en el Anexo 5.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO SÍSMICO

### 5.1 Descripción del caso de estudio

Se ha idealizado un Hospital, ubicado en el sur de la ciudad de Lima-provincia de Lima, departamento de Lima. Clasificado en el tercer nivel de atención según el ministerio de Salud. En la se muestra una vista arquitectónica de un complejo hospitalario comprendido en las distintas UPSS (Unidades Productoras de Servicio de Salud) establecidos por el MINSA Tabla 8. Para este análisis se ha tomado como referencia las unidades de Cirugía/ UCI/ Hospitalización dada su importancia. Siendo nuestra investigación un bloque de 4 niveles.

Figura 42 Planta del área del Hospital de Emergencia José Casimiro Ulloa



*Nota:* Tomado de Estudio de Vulnerabilidad sísmica estructural, no estructural y funcional hospital de emergencias José Casimiro Ulloa, Miraflores (2013).

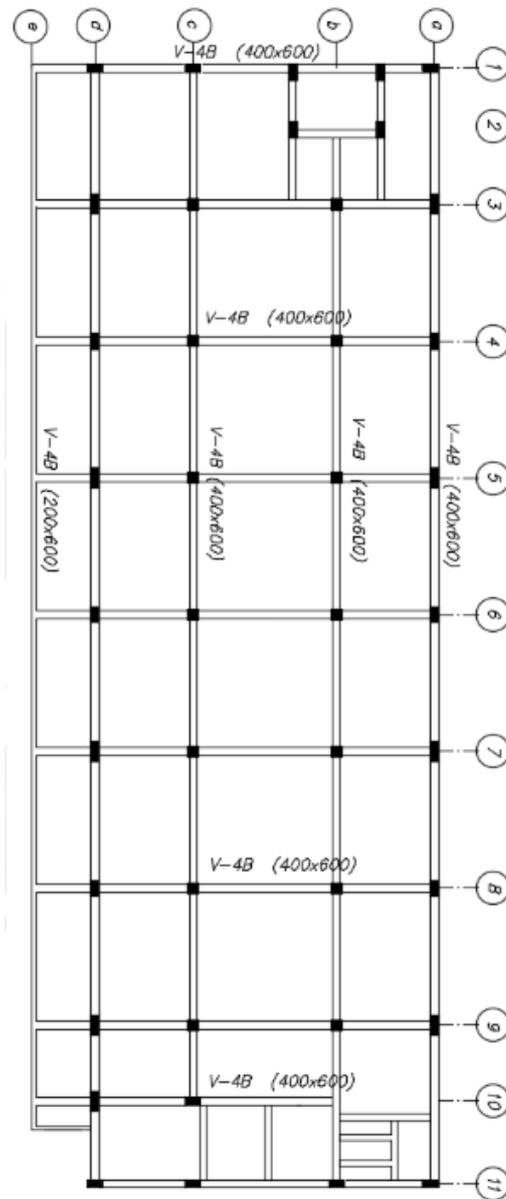
### 5.1.1 Bloque Hospitalario de 4 Niveles

El sistema estructural del edificio de porticado para ambas direcciones de análisis y tiene 4 niveles. La estructura comprende un área techada de 6448 m<sup>2</sup>. Los elementos estructurales son pre-dimensionados y configurados para acercarse a las características que generalmente tienen los edificios hospitalarios en nuestro país. Los elementos horizontales y verticales serán ajustados en sus sesiones transversales para cumplir con los requerimientos sísmicos establecido por la normativa.

La planta está dividida en 6 ejes verticales en X y 10 horizontales en Y, se tomó como referencia la planta del bloque 4B del Hospital Regional de Moquegua como se muestra en la Figura 45 en cuanto a su configuración estructural. La estructura que se idealizó está formada principalmente por vigas de 40x60cm en ambas direcciones, columnas interiores de 50x50cm y columnas exteriores en el eje X de 50x50cm y en el eje Y de 40x80cm y de 50x50cm, las losas en dos direcciones tienen un espesor de 25cm y una altura entre entrespisos de 4.3m.

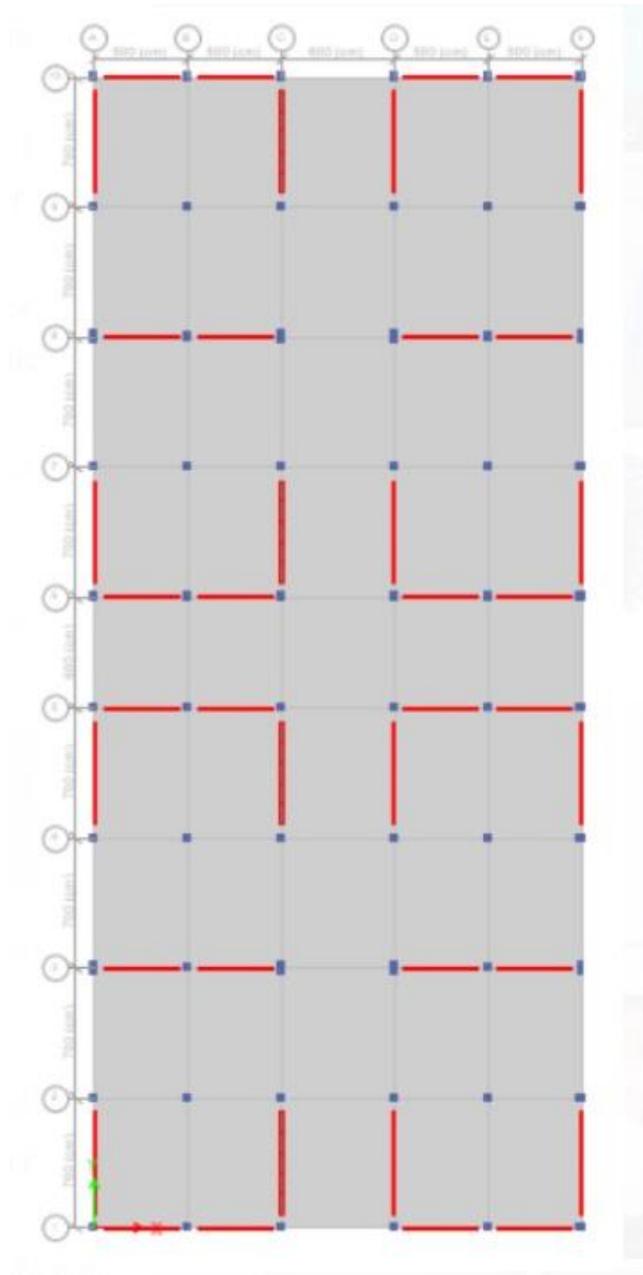
En el aspecto arquitectónico presenta aberturas en los paneles centrales para el paso de ventilación e iluminación. Como se observa en la Figura 43 Planta típica de la superestructura del Bloque 4B, así mismos los muros desacoplados cumplen la función de cerramientos como muros de tabiquerías.

Figura 43 Planta típica de la superestructura del Bloque 4B



*Nota:* Tomado de Yucra A., M., (2018) *Evaluación de Desempeño Sísmico de Hospitales Aislados en el Perú*, Tesis de Maestría – Pontificia Universidad Católica del Perú

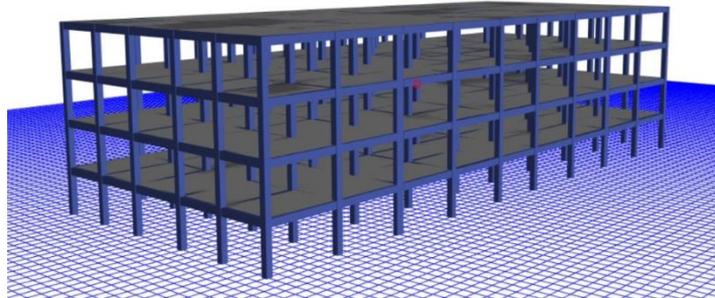
Figura 44 Modelo de Vista de Planta de la Estructura base en estudio



*Nota:* Fuente Propia

Se pueden observar a los muros desacoplados que son los elementos de color rojo, elementos azules son las columnas y los elementos de color plomo son las áreas de losa.

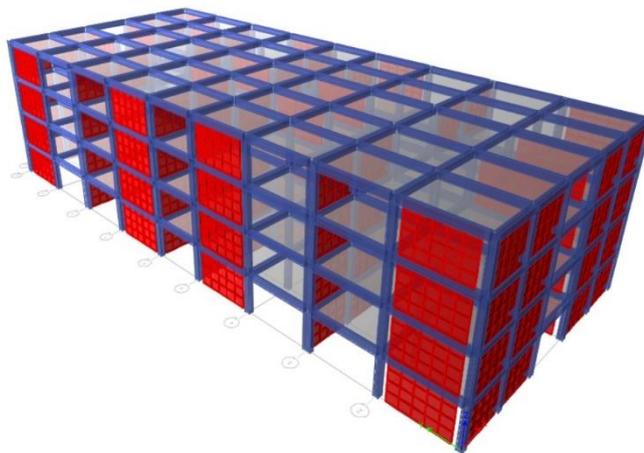
Figura 45 Vista 3D de la Estructura Aporticada de Estudio sin sistema de disipación.



*Nota:* Fuente Propia

Se tiene en vista a la estructura sin disipadores SLB ni muros desacoplados, esquematizando lo que son solo pórticos de concreto armado.

Figura 46 Vista 3D de la Estructura Aporticada de Estudio con disipadores SLB y muros desacoplados



*Nota:* Fuente Propia

Se tiene en vista a la estructura con disipadores SLB y muros desacoplados en conjunto con el sistema aporticado.

#### 5.1.2 Propiedades de los materiales son las siguientes:

Estas propiedades son incorporadas en el programa ETABS para que en conjunto con las secciones señaladas en el punto anterior puedan calcular las rigideces del sistema y posteriormente nos pueda facilitar la obtención de resultados. Todos los elementos de concreto tendrán la resistencia indicada:

Concreto:

-Resistencia a la compresión ( $f_c$ ) 280 kg/cm<sup>2</sup>

-Módulo de elasticidad ( $E_c$ ) 217371 kg/cm<sup>2</sup>

Acero de refuerzo:

- Esfuerzo de fluencia ( $f_y$ ) 4200 kg/cm<sup>2</sup>

- Módulo de elasticidad ( $E_c$ ) 2100000 kg/cm<sup>2</sup>

### 5.1.3 Cargas de la Estructura

Los metrados de cargas se ha realizado con la ayuda de la Norma técnica Peruana E.020 asignadas según su uso. Además, apoyándose del software ETABS se obtuvo las cargas que recibe la estructura para el pre-dimensionamiento de las columnas.

#### Carga Muerta

Tabla 9 Carga muerta y metrado de cargas por nivel según la Norma E.020

CARGA MUERTA(D)		
Peso de tabiquería fija	270	kg/m <sup>2</sup>
Piso terminado	100	kg/m <sup>2</sup>
Peso de losa (0.25 dos direcciones)	420	kg/m <sup>2</sup>
Peso de cobertura de ladrillo pastelero	160	kg/m <sup>2</sup>
<hr/>		
1ER PISO AL 3ERO	790	kg/m <sup>2</sup>
<hr/>		
4TO PISO	580	kg/m <sup>2</sup>

*Nota:* Tomado de Reglamento nacional de edificaciones. *Norma E. 020 Cargar*, 2015.Carga Viva

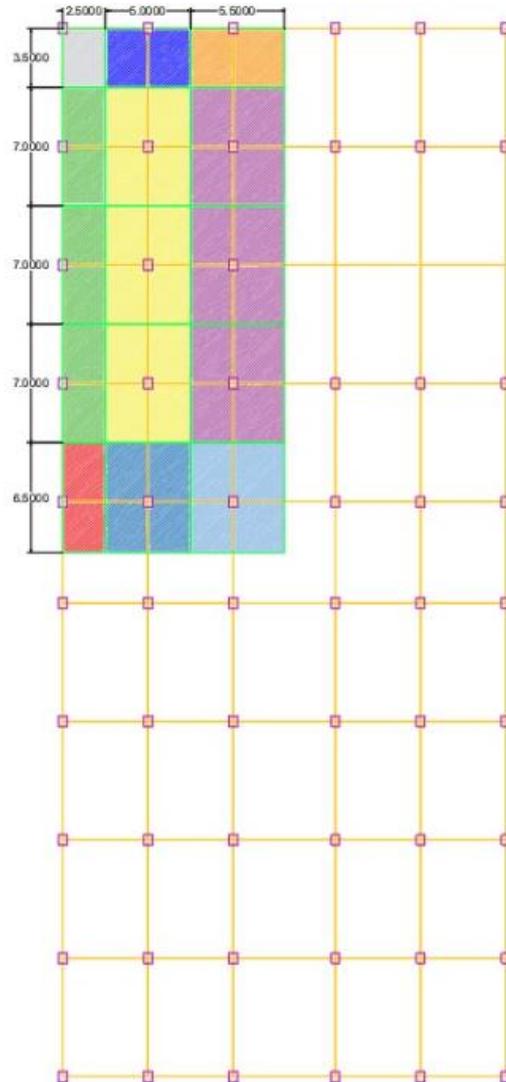
#### Carga Viva

Tabla 10 Carga viva y metrado de cargas por nivel según la Norma E.020

CARGA VIVA(L)		
Corredores y escaleras	400	kg/m <sup>2</sup>
Azotea	100	kg/m <sup>2</sup>
<hr/>		
1er piso AL 3er piso	400	Kg/m <sup>2</sup>
<hr/>		
4to piso	100	Kg/m <sup>2</sup>

*Nota:* Tomado de Reglamento nacional de edificaciones. *Norma E. 020 Cargar*, 2015.Carga Viva

Figura 47 Esquema del Metrado por área de carga por servicio de la planta simétrica para el pre-dimensionamiento



*Nota:* Fuente propia

Esquema del metrados por áreas de la estructura con planta simétrica para el pre-dimensionamiento de las columnas de concreto armado. La planta muestra similares áreas donde por facilidad de toma una cuarta parte de la estructura y se replica, basándose de los criterios del ACI.

## 5.2 Modelado de los dispositivos SLB y diseño iterativo

Para este proceso se hará uso de la tabla de dispositivos SLB mostrada en la Figura 38, donde se muestran las propiedades geométricas y mecánicas:

Figura 48 Propiedades de dispositivos SLB. Acero ASTM A36 ( $F_y=2530\text{kg/cm}^2$ )

*Tabla N° 1. 1. Propiedades de dispositivos SLB. Acero ASTM A36 ( $F_y=2530\text{kg/cm}^2$ )*

PARÁMETROS DE DISEÑO PARA LOS DISIPADORES SHEAR LINK BOZZO										
DISPOSITIVO	PROPIEDADES GEOMÉTRICAS				PROPIEDADES MECÁNICAS					
	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	Rigidez inicial $K_1$ (KN/cm)	Rigidez post-plastificación $K_2$ (KN/cm)	Desplaz. de plastificación $D_p$ (mm)	Fuerza de plastificación $F_y$ (KN)	Fuerza máxima $F_{MAX}$ (KN)	Energía disipada $E_D$ (KN.cm)
SLB2 6_2	19.00	13.00	-	2.00	363.33	9.75	0.98	35.60	69.01	87.08
SLB2 6_3 *	19.00	13.00	-	3.00	397.80	10.75	1.03	41.00	79.21	99.25
SLB2 6_4 *	19.00	13.00	-	4.00	421.73	11.65	1.06	44.90	88.58	108.31
SLB2 6_5 *	19.00	13.00	-	5.00	439.60	12.78	1.08	47.40	96.67	115.18
SLB2 8_2	19.00	15.00	-	2.00	592.87	13.86	0.81	48.10	92.76	119.78
SLB2 8_3 *	19.00	15.00	-	3.00	676.27	15.38	0.86	58.00	107.57	141.77
SLB2 8_4 *	19.00	15.00	-	4.00	737.00	16.28	0.90	66.30	120.87	159.39
SLB2 8_5 *	19.00	15.00	-	5.00	784.27	17.43	0.93	72.70	133.29	173.71
SLB2 10_2	19.00	20.00	-	2.00	893.40	19.15	0.76	68.00	128.71	168.89
SLB2 10_3	19.00	20.00	-	3.00	1039.13	21.57	0.78	81.10	148.63	198.84
SLB2 10_4 *	19.00	20.00	-	4.00	1149.53	22.96	0.81	93.00	166.26	224.54
SLB2 10_5 *	19.00	20.00	-	5.00	1237.80	14.93	0.91	112.20	182.26	246.55
SLB2 15_2	19.00	20.00	-	2.00	1571.47	31.17	0.65	101.80	199.61	258.66
SLB2 15_3	19.00	20.00	-	3.00	1961.47	37.36	0.64	126.10	240.45	318.16
SLB2 15_4	19.00	20.00	-	4.00	2290.27	42.03	0.65	149.70	276.57	373.16
SLB2 15_5	19.00	20.00	-	5.00	2575.60	45.69	0.67	172.50	310.13	424.52
SLB2 20_2	19.00	25.00	5.00	2.00	2073.33	37.83	0.60	124.60	243.14	316.64
SLB2 20_3	19.00	25.00	5.00	3.00	2630.13	46.27	0.60	156.90	298.30	396.26
SLB2 20_4	19.00	25.00	5.00	4.00	3105.53	53.03	0.61	188.30	348.53	470.63
SLB2 20_5	19.00	25.00	5.00	5.00	3520.20	58.63	0.62	218.40	395.71	540.18
SLB3 25_2	25.00	30.00	5.00	2.00	3214.07	58.98	0.61	194.80	383.50	494.69
SLB3 25_3	25.00	30.00	5.00	3.00	4046.67	70.69	0.59	238.20	457.15	602.54
SLB3 25_4	25.00	30.00	5.00	4.00	4783.20	81.04	0.58	279.60	526.49	703.70
SLB3 25_5	25.00	30.00	5.00	5.00	5447.47	90.85	0.59	319.00	592.39	799.88
SLB3 25_6	25.00	30.00	5.00	6.00	6064.13	99.65	0.59	357.10	655.63	891.48
SLB3 25_7	25.00	30.00	5.00	7.00	6644.13	107.41	0.59	394.50	716.83	979.51
SLB3 25_8	25.00	30.00	5.00	8.00	7191.47	114.57	0.60	430.70	776.40	1064.12
SLB3 25_9	25.00	30.00	5.00	9.00	7711.07	120.73	0.60	466.40	834.90	1145.71
SLB3 30_2	25.00	30.00	5.00	2.00	3666.73	64.22	0.58	212.10	415.33	539.19
SLB3 30_3	25.00	30.00	5.00	3.00	4717.00	78.76	0.56	265.70	507.23	672.79
SLB3 30_4	25.00	30.00	5.00	4.00	5661.33	92.21	0.56	316.90	594.62	799.16
SLB3 30_5	25.00	30.00	5.00	5.00	6525.67	104.99	0.56	366.10	678.62	920.34
SLB3 30_6	25.00	30.00	5.00	6.00	7336.60	116.45	0.56	414.20	759.77	1036.63
SLB3 30_7	25.00	30.00	5.00	7.00	8106.07	126.92	0.57	461.30	838.79	1149.06
SLB3 30_8	25.00	30.00	5.00	8.00	8840.00	135.98	0.57	508.00	915.50	1257.99
SLB3 30_9	25.00	30.00	5.00	9.00	9542.20	145.74	0.58	552.50	992.12	1363.85
SLB3 40_2	25.00	30.00	5.00	2.00	4571.07	76.44	0.54	248.30	482.60	634.54
SLB3 40_3	25.00	30.00	5.00	3.00	6043.67	97.23	0.53	321.00	609.64	817.79
SLB3 40_4	25.00	30.00	5.00	4.00	7393.67	116.17	0.53	391.60	732.20	993.03
SLB3 40_5	25.00	30.00	5.00	5.00	8650.00	133.79	0.53	460.80	851.48	1162.82
SLB3 40_6	25.00	30.00	5.00	6.00	9843.00	149.92	0.54	528.70	967.95	1327.13
SLB3 40_7	25.00	30.00	5.00	7.00	10988.00	165.19	0.54	595.40	1082.30	1487.36
SLB3 40_8	25.00	30.00	5.00	8.00	12091.27	179.81	0.55	660.90	1195.00	1643.93
SLB3 40_9	25.00	30.00	5.00	9.00	13156.07	194.00	0.55	725.10	1306.30	1797.11
SLB3 50_2	25.00	30.00	5.00	2.00	5479.60	88.67	0.52	284.90	551.27	730.67
SLB3 50_3	25.00	30.00	5.00	3.00	7367.13	114.64	0.51	377.50	713.65	963.00
SLB3 50_4	25.00	30.00	5.00	4.00	9116.00	138.30	0.51	468.10	871.40	1186.77
SLB3 50_5	25.00	30.00	5.00	5.00	10759.13	160.81	0.52	557.00	1025.70	1404.77
SLB3 50_6	25.00	30.00	5.00	6.00	12328.87	181.80	0.52	644.40	1177.30	1616.83
SLB3 50_7	25.00	30.00	5.00	7.00	13844.20	202.03	0.53	730.30	1326.80	1824.36
SLB3 50_8	25.00	30.00	5.00	8.00	15312.67	221.80	0.53	814.70	1474.50	2028.05
SLB3 50_9	25.00	30.00	5.00	9.00	16737.00	241.37	0.54	897.70	1621.20	2228.51

\* Estos dispositivos plastifican primero por flexión antes que por cortante

Nota: Tomado de Análisis y Diseño Utilizando Disipadores tipo SLB Ejemplos de Aplicación por Bozzo, L.; Gonzales, H.; Pantoja, M.; Muñoz, E.; Herrera, G.; Pérez, L.; Nuzzo, I.; Nele, A.; Cilento, F.; Bozzo, G.; Ramírez, J., (2019)

Con la ayuda del Software DISSIPASL-B los valores de los dispositivos cuyas características han sido mencionadas anteriormente, se importarán al Software ETABS para procesar la información. Mediante el uso de elementos links definidos previamente en el modelo estructural se hará el pre-dimensionamiento aplicando el análisis dinámico modal espectral para un menor tiempo computacional por la iteración de los dispositivos, los cuales serán optimizados mediante el plugin esto se ve en la . Para ello son necesarias la envolvente de fuerzas cortantes en los elementos LINKS y realizar la iteración directa, automáticamente el software reemplazara los disipadores del ETABS hasta que la demanda capacidad D/C sean menor a 1.5.

Figura 49 Parámetros de los Disipadores “Shear Link Bozzo” SLB

ID	Device	K1(KN/cm)	K2(KN/cm)	r=K2/K1	Fy (KN)	Fmax(KN)	K(U3)(KN/cm)
1	SLB2 6_2	363.33	9.75	0.0268353	35.60	69.01	12.39
2	SLB2 6_3	397.80	10.75	0.0270223	41.00	79.21	12.44
3	SLB2 6_4	421.73	11.65	0.0276358	44.90	88.58	12.53
4	SLB2 6_5	439.60	12.78	0.0290719	47.40	96.67	12.67
5	SLB2 8_2	592.87	13.86	0.0233836	48.10	92.76	14.30
6	SLB2 8_3	676.27	15.38	0.0227472	58.00	107.57	14.37
7	SLB2 8_4	737.00	16.28	0.0220843	66.30	120.87	14.50
8	SLB2 8_5	784.27	17.43	0.0222284	72.70	133.29	14.71
9	SLB2 10_2	893.40	19.15	0.0214336	68.00	128.71	19.07
10	SLB2 10_3	1039.13	21.57	0.0207544	81.10	148.63	19.15
11	SLB2 10_4	1149.53	22.96	0.0199722	93.00	166.26	19.30
12	SLB2 10_5	1237.80	14.93	0.0120589	112.20	182.26	19.56
13	SLB2 15_2	1571.47	31.17	0.0198380	101.80	199.61	19.10
14	SLB2 15_3	1961.47	37.36	0.0190448	126.10	240.45	19.24
15	SLB2 15_4	2290.27	42.03	0.0183532	149.70	276.57	19.53
16	SLB2 15_5	2575.60	45.69	0.0177396	172.50	310.13	19.99
17	SLB2 20_2	2073.33	37.83	0.0182444	124.60	243.14	26.26

Nota: Fuente propia

Dado que todas las características están ingresadas en el programa no es necesario hacer un cálculo manual lo cual lo hace un poco más fácil de diseñar, sin embargo, es necesario realizar una verificación debido a la resistencia del muro especificado por el ACI, el cual se señala en el

Anexo 7. En caso de que la verificación por corte no cumpla por resistencia se incrementará el espesor o la resistencia del concreto, existiendo un límite en cuanto a costo de ejecución en obra e impacto arquitectónico, se procederá a realizar la iteración inversa el cual consiste en verificar la fuerza cortante máxima total máxima en el muro desacoplado según la expresión (Bozzo, y otros, 2019):

$$Vd = 1.5 \cdot Fy \cdot n_{SLB}$$

Donde  $Fy$  es la fuerza de fluencia de cada dispositivo, 1.5 es un factor de seguridad adicional a los correspondientes a los ELU y  $n_{SLB}$  es el número de dispositivos en el muro. (Bozzo, y otros, 2019)

La cortante máximo en el muro debe de cumplir lo establecido en el ACI lo cual depende de su longitud, espesor y resistencia característica del concreto según la expresión (unidades MPa) (Bozzo, y otros, 2019):

$$\frac{Vd}{L * t} \leq 0.75 \cdot 0.83 \cdot \sqrt{fck}$$

### 5.3 Análisis Dinámico Modal Espectral con y sin Disipadores

La estructura fue modelada en el programa ETABS. Se modelaron las columnas y vigas como elementos unidimensionales especificados en elementos frame y las losas como elementos membrana Shell el cual reparte la carga de manera distribuida a los elementos viga, a su vez cumpliendo la función como diafragmas rígidos con tres grados de libertad por piso. Las cargas vivas y muertas se asignaron de acuerdo a lo señalado anteriormente. El peso propio de los elementos se calcula automáticamente en el programa como resultado de la asignación del material y sección. El peso de las losas aligeradas fue incluido como carga permanente, para las dimensiones de la estructura se tomaron los críticos de diseño basados en el pre-dimensionamiento de los elementos, así como se puede observar en el Anexo 6.

El análisis dinámico modal se realizó repetitivamente, aplicando el espectro modal para encontrar un prediseño adecuado que cumpla con las exigencias de la normativa peruana.

### 5.3.1 Parámetros a usar en el análisis Sismorresistente

Estos parámetros se han obtenido de los Artículos de la Norma E.030 tomando en consideración los parámetros concernientes al análisis que se quiere realizar.

Tabla 11 Parámetros a usar en el análisis Sismorresistente

Factor de aceleración (Sismo de Diseño) – Zona 4	Z (DBE)	0.45 g
Factor de aceleración (Sismo Máximo) – Zona 4	Z (MCE)	0.675 g
Factores para perfil de Suelo – S2	S	1.05
Periodo de vibración "P" para el suelo	Tp	0.6
Periodo de vibración "L" para el suelo	Tl	2
Factor de Uso superestructura	U	1.5
Factor de reducción (*)	R	4

*Nota:* Fuente propia

\*La norma sugiere un R máx. de 8 para pórticos de concreto armado. Sin embargo, el Phd Bozzo menciona R ideal para este tipo de estructuras es igual al valor de 4.

### 5.3.2 Verificación de Fuerzas Cortantes

Se ha realizado la revisión de la fuerza cortante mínima en la base según la recomendación indicada en el Artículo 29 de la norma técnica (NTP E.030 Diseño Sismorresistente). Los valores de amplificación se presentan en la Tabla 13. Para el caso de estructuras regulares la comparación se realizó con el 0.8V y para el caso de los edificios irregulares, con el 0.9V, donde V representa el cortante en el

base calculado mediante el procedimiento estático descrito en la norma técnica E.030. (NTP E.030 Diseño Sismoresistente, 2018)

$$V = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot P$$

Donde:

Z = Factor de Zona

U = Factor de uso de la edificación

C = Factor de amplificación sísmica

S = Factor de tipo de suelo

R = Factor de reducción

P = Peso de la edificación

Considerando que para estructuras aporricadas el valor de R es 8 y para un sistema con protección de dispositivos SLB es de 4, esto se toma en consideración.

Tomando en cuenta el peso de la estructura de 9073516 kg según los datos obtenidos del ETABS del modelo con disipadores, para el caso del modelo sin disipadores se tiene un peso de 9069510.96 kg, dado que en el Anexo 6, el peso es mayor, se podrá calcular que para el caso del factor R = 4 el valor del cortante estático Vest. es de 4019284.04 kgf con dispositivos SLB y para el modelo sin SLB se tiene un Vest. de 4017512.20kgf. Usando los datos antes mencionados en el Artículo 29 de la Norma E.030 se tomará el 80% de estos valores para ambos casos, obteniendo estos resultados:

R = 4 ; V = 3214009.76 kgf (Sin disipadores)

R = 4 ; V = 3215427.23 kgf (Con disipadores)

Tabla 12 Valores de Fuerzas Cortantes sin disipadores SLB

	VX Kgf	VY Kgf
V Estático	4017512.20	4017512.20

<i>V Dinámico</i>	745986.43	743565.54
<i>0.80*Vestático</i>	3214009.76	3214009.76
<i>Amplificación</i>	4.31	4.32
<i>Conclusión</i>	Amplificar Espectro	Amplificar Espectro

*Nota:* Fuente propia

Tabla 13 Valores de Fuerzas Cortantes con disipadores SLB

	VX Kgf	VY Kgf
<i>V Estático</i>	4019284.04	4019285.04
<i>V Dinámico</i>	3299404.17	3277818.28
<i>0.80*Vestático</i>	3215427.23	3215428.03
<i>Amplificación</i>	0.97	0.98
<i>Conclusión</i>	No Amplificar Espectro	No Amplificar Espectro

*Nota:* Fuente propia

Viendo que en el caso de la estructura sin la protección de los disipadores SLB es necesaria una amplificación del espectro, esto debido a que el factor de amplificación es mayor a 1, en el caso del sistema con la protección SLB no es requerida una amplificación del espectro ya que está por debajo del 1.

### 5.3.3 Fuerza cortante en los elementos

La cortante previa que tomarían los elementos estructurales y disipadores mediante el análisis modal para tener como referencia que tan eficientes está siendo la ubicación de los dispositivos frente a la fuerza del sismo de la norma en dirección X e Y con y sin disipadores.

Tabla 14 Cortante que toma las columnas con y sin dissipador SLB

Tipo de Sistema Estructural	Cortante en las Columnas (kg)	
	Dirección X	Dirección Y
Sin Disipadores	745986.43	743565.54
Con Disipadores	374094.53	456448.78
% de disminución (%)	50.15	61.39

*Nota:* Fuente propia

El aporte de los disipadores y de los muros desacoplados aportan suficiente rigidez y una reducción a la cortante en los elementos estructurales frente al sismo máximo, esto debido a que este sistema funciona como un elemento de sacrificio permitiendo el daño y minimizando los daños en la estructura empotrada.

#### 5.3.4 Periodos de la Estructura

Con este procedimiento señalado por la norma se busca mostrar el cambio de rigidez como que se presenta al incorporar los disipadores SLB en estructuras con gran flexibilidad y cortantes elevados.

Periodo de los principales modos obtenidos de los modelos matemáticos:

Tabla 15 Periodo de la estructura con y sin disipadores SLB

Tipo de Sistema Estructural	Periodo (Seg)	
	Dirección X	Dirección Y
Sin Disipadores	0.865	0.853
Con Disipadores	0.301	0.324

*Nota:* Fuente propia

Según las masas participativas en los primeros modos en cada dirección se comportan de manera traslacional, cumpliéndose el criterio de estructura regular donde los periodos en cada dirección son los mostrados, con una reducción del periodo 65.20 % dirección X, y 62.2% en dirección Y con la incorporación de los dispositivos SLB.

### 5.3.5 Máxima deriva de entre piso

Para la obtención de las derivas máximas se hará uso de lo mencionado en la norma E.030 en el Capítulo 5 “Requisitos de Rigidez, Resistencia y Ductilidad” en su Artículo 31 “Determinación de Desplazamientos Laterales”, menciona que para las estructuras Regulares los desplazamientos laterales se calcula por la multiplicación del factor R por un valor de 0.75 (NTP E.030 Diseño Sismoresistente, 2018).

Tabla 16 Máxima derivas de entre piso sin Disipadores SLB

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	Din XX - Fza	X	0.0079
Story4	Din YY - Fza	Y	0.0069
Story3	Din XX - Fza	X	0.0158
Story3	Din YY - Fza	Y	0.0137
Story2	Din XX - Fza	X	0.0213
Story2	Din YY - Fza	Y	0.0184
Story1	Din XX - Fza	X	0.0184
Story1	Din YY - Fza	Y	0.0148

*Nota:* Fuente propia

Tabla 17 Máxima derivas de entre piso con Disipadores SLB

Story	Load Case/Combo	Direction	Drift
Story4	Din XX - Fza	X	0.0024
Story4	Din YY - Fza	Y	0.0025
Story3	Din XX - Fza	X	0.0031
Story3	Din YY - Fza	Y	0.0032
Story2	Din XX - Fza	X	0.0035
Story2	Din YY - Fza	Y	0.0035
Story1	Din XX - Fza	X	0.0023
Story1	Din YY - Fza	Y	0.0022

*Nota:* Fuente propia

Tomando en cuenta que la deriva máxima del modelo sin disipadores es de 0.0213 en dirección X y 0.0184 en Y, la cual se presenta en el entrepiso 2 y del sistema

con disipadores tiene una deriva máxima de 0.0035 en el mismo nivel ambas direcciones, teniendo una reducción de derivas máximas en X 83.56% y 80.88% en Y.

#### 5.4 Verificación Tiempo – Historia No Lineal

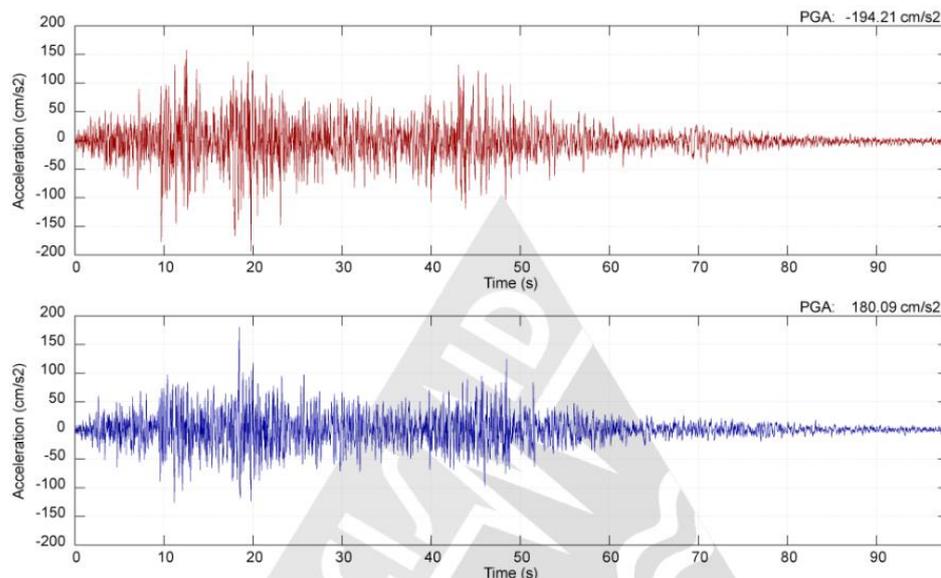
En este punto se verificará el sistema de protección sísmica que se compone de los dispositivos SLB con muros desacoplados, utilizando el Análisis Dinámico No Lineal Tiempo – Historia. Observando con un sismo real el comportamiento de los dispositivos y tomar a decisión la aceptación del tamaño del disipador o su cambio.

##### 5.4.1 Registros Sísmicos usados

La Norma E.030 en el Capítulo 4 “Análisis Estructural” en su Artículo 30.1.1. “Registros de Aceleración” menciona que para el análisis Tiempo Historia se deberán usar como mínimo 3 pares de registros de aceleraciones, en este mismo capítulo en el Artículo 30.1.3. menciona que ambos pares de componentes deben ser escalados tomando en consideración que el periodo de la estructura debe ser multiplicada por 2 factores, 0.2 T y 1.5T.

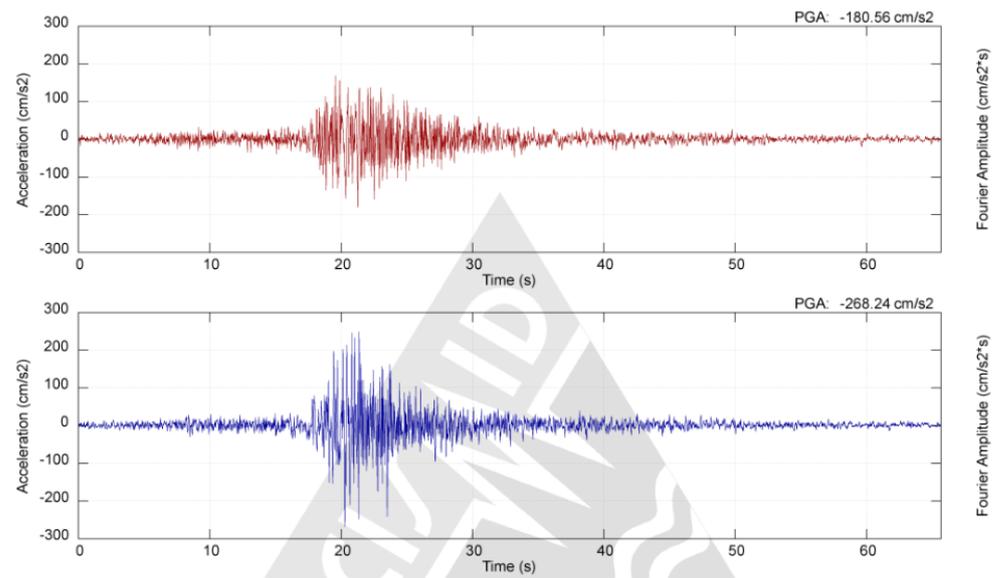
Se han tomado estos registros debido a su magnitud y cercanía a la zona de estudio para tratar de recrear las características más apropiadas como son los sismos de: Lima 1974, Lima 1966 e Ica 2007.

Figura 50 Aceleraciones del Sismo de Lima 1974 E-W, N-S de la estación Parque de la Reserva (PRQ)



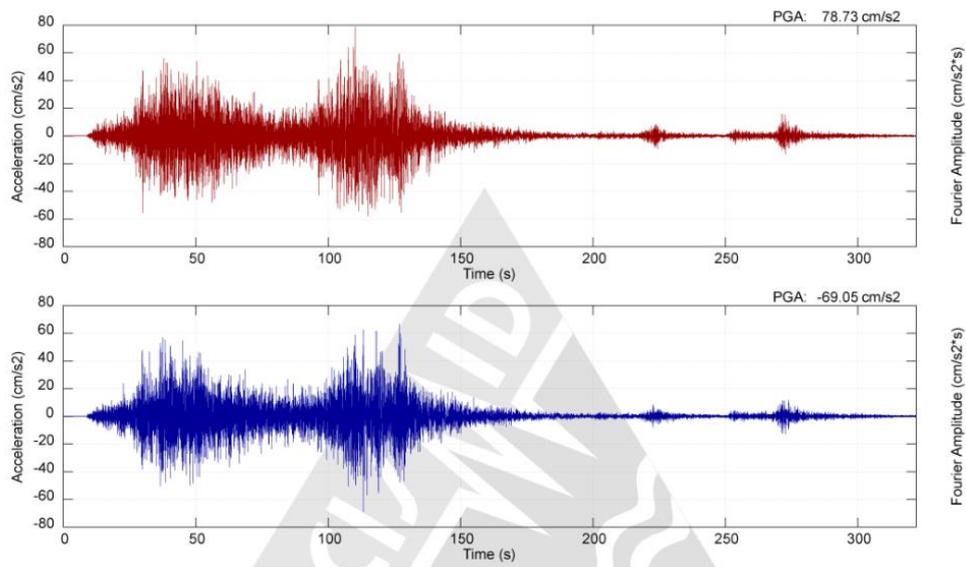
Nota: Tomado de REDACIS - Red acelerografica del CISMID/FIC/UNI,  
<http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

Figura 51 Aceleraciones del Sismo de Lima 1966 E-W, N-S de la estación Parque de la Reserva (PRQ)



Nota: Tomado de REDACIS - Red acelerografica del CISMID/FIC/UNI,  
<http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

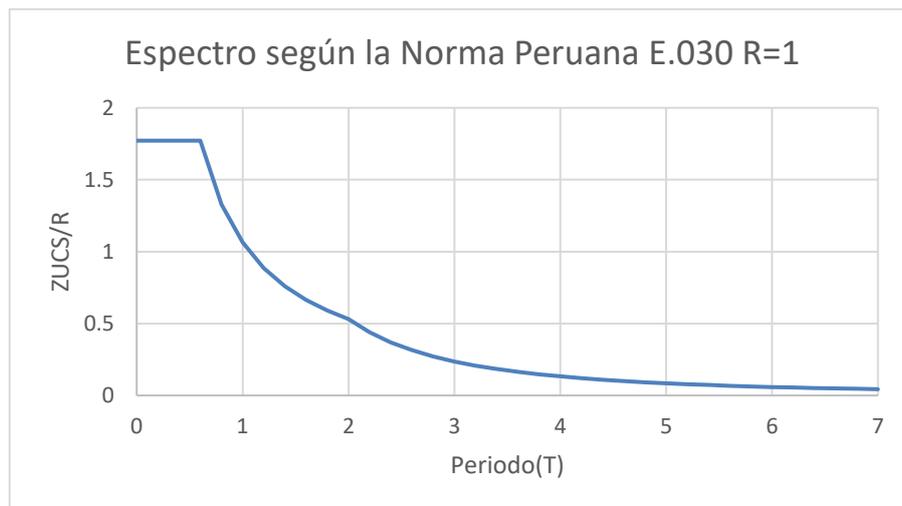
Figura 52 Aceleraciones del Sismo de Ica 2007 E-W, N-S de la estación Casa Dr. Piqué



Nota: Tomado de REDACIS - Red acelerografica del CISMID/FIC/UNI,  
<http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/#>

Así mismo con el uso de los Software Seismosignal y Seismomach se podrá corregir e iterar con el espectro de la Norma Peruana con un  $R=1$ , Figura 53, como menciona la Norma E.030 en el Artículo 30.

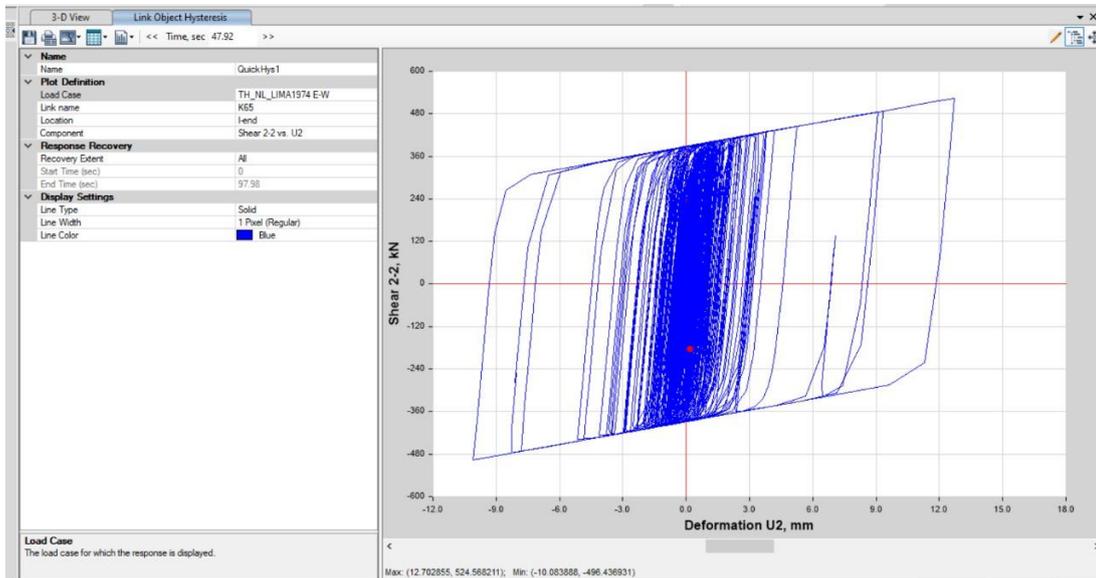
Figura 53 Espectro según la Norma E.030 para un valor de  $R=1$



Nota: Fuente propia



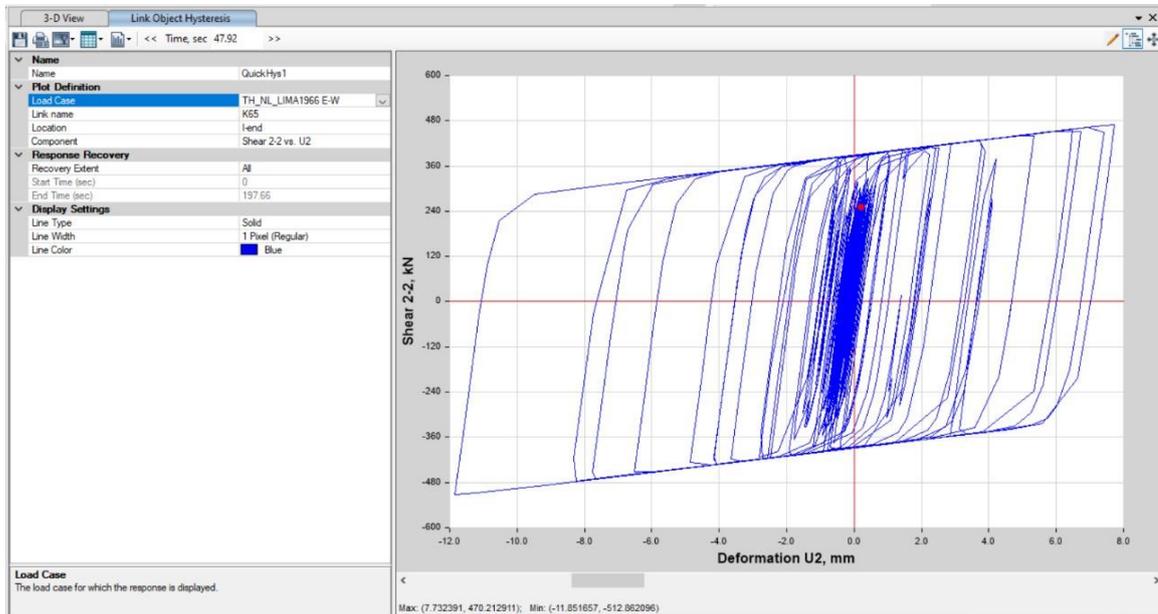
Figura 55 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 25\_7 en el Sismo de Lima de 1974 en dirección Este – Oeste



Nota: Fuente propia

En la fase de prediseño se asignó el dispositivo SLB3 25\_7 con un  $F_{y\max}=716.83\text{KN}$ , podemos observar después del análisis la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es de,  $F_{\max}: 524.568\text{Kn}$ , con  $D_{\max}: 12.703\text{mm}$ , entonces se corrobora que el dispositivo presentara mayor capacidad ante tal evento sísmico sometido.

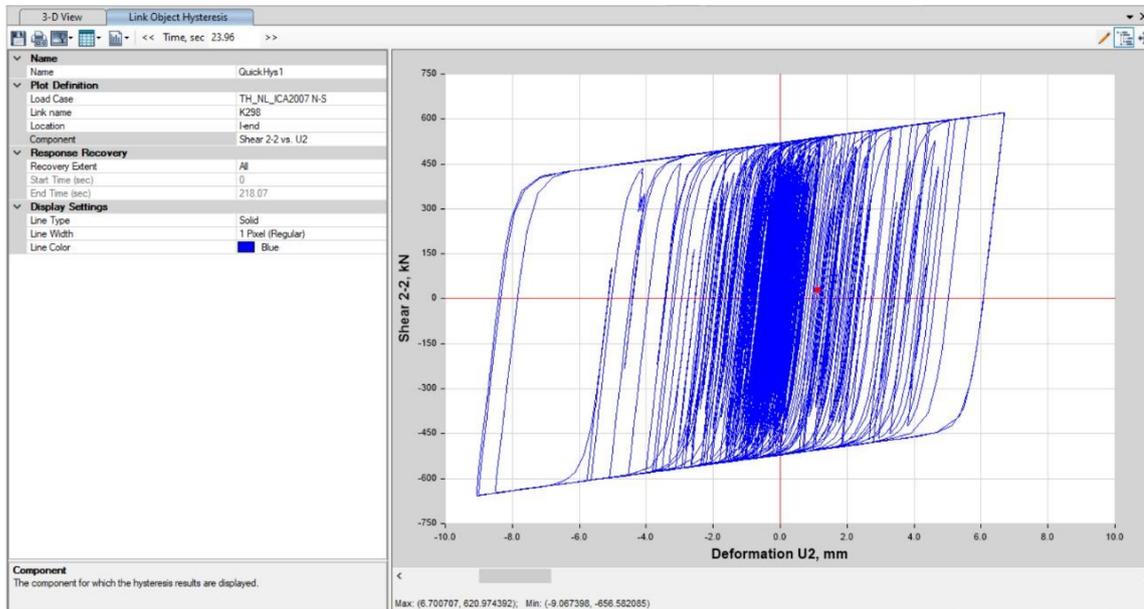
Figura 56 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 25\_7 en el Sismo de Lima de 1966 en dirección Este – Oeste



Nota: Fuente propia

En la fase de prediseño se asignó el dispositivo SLB3 25\_7 con un  $F_{y\max}=716.83\text{KN}$ , podemos observar después del análisis la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es de  $F_{\max}: 512.862\text{Kn}$ ,  $D_{\max}: 11.852\text{mm}$ , entonces se corrobora que el dispositivo presentara mayor capacidad ante tal evento sísmico sometido.

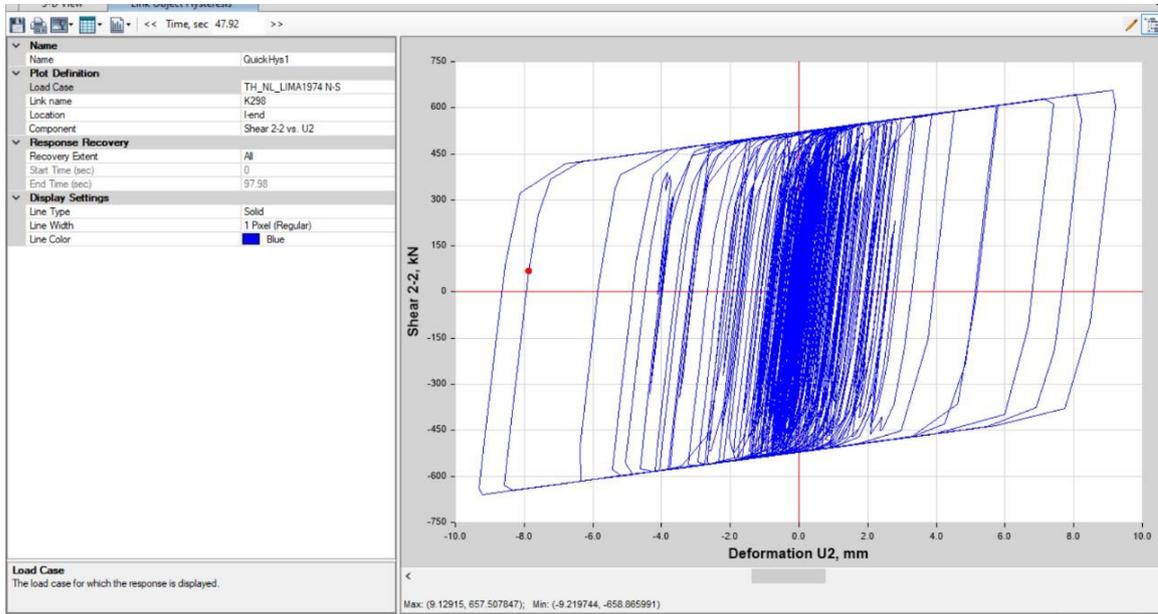
Figura 57 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40\_6 en el Sismo de Ica del 2007 en dirección Norte – Sur



Nota: Fuente propia

En la fase de prediseño se asignó el dispositivo SLB3 40\_6 con un  $F_{y\max}=967.95\text{KN}$ , podemos observar después del análisis la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo,  $F_{\max}: 656.582\text{Kn}$  es  $D_{\max}: 9.067\text{mm}$  entonces se corrobora que el dispositivo presentara mayor capacidad ante tal evento sísmico sometido.

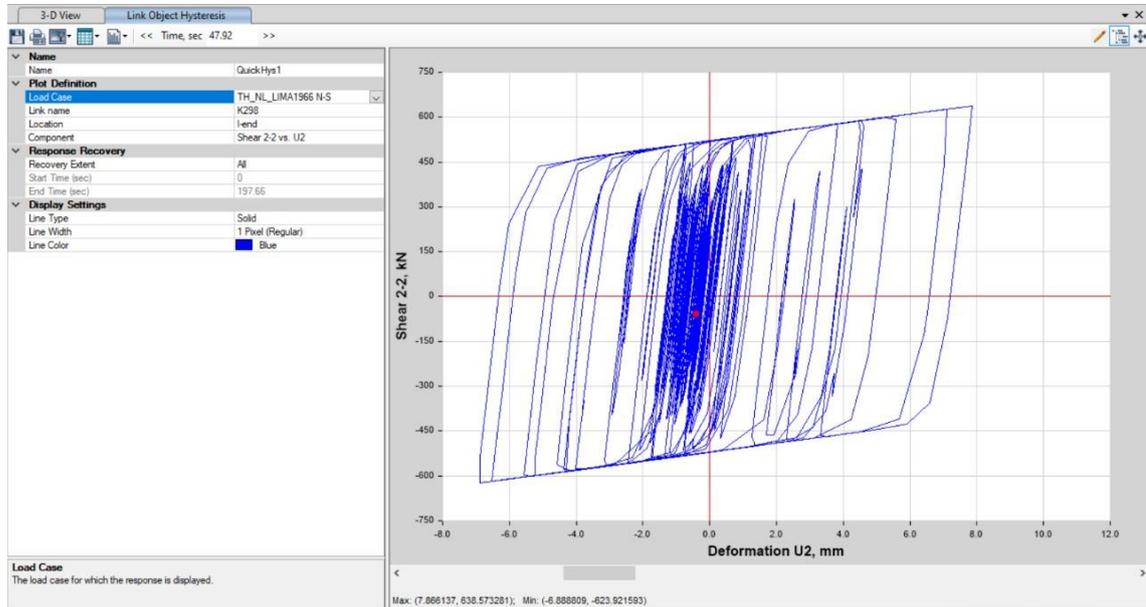
Figura 58 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40\_6 en el Sismo de Lima de 1974 en dirección Norte – Sur.



Nota: Fuente propia

En la fase de prediseño se asignó el dispositivo SLB3 40\_6 con un  $F_{y\max}=967.95\text{KN}$ , podemos observar después del análisis la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es,  $F_{\max}: 658.866\text{Kn}$   $D_{\max}: 9.220\text{mm}$  entonces se corrobora que el dispositivo presentara mayor capacidad ante tal evento sísmico sometido.

Figura 59 Curva Histerética para el Dispositivo SLB3 40\_6 en el Sismo de Lima de 1966 en dirección Norte – Sur.



Nota: Fuente propia

En la fase de prediseño se asignó el dispositivo SLB3 40\_6 con un  $F_{max}=967.95\text{KN}$ , podemos observar después del análisis la fuerza máxima a la que estará sometido el dispositivo es,  $F_{max}: 623.922\text{Kn}$   $D_{max}: 7.866\text{mm}$  entonces se corrobora que el dispositivo presentara mayor capacidad ante tal evento sísmico sometido.

#### 5.4.3 Deformaciones de los Dispositivos

Las deformaciones de los dispositivos se verifican tomando en cuenta los datos establecidos en el Análisis y Diseño utilizando Disipadores Sísmicos tipo SLB Ejemplos de aplicación (Bozzo, y otros, 2019).

Tabla 18 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Este - Oeste

Modelo	Sismo	Deformación (m)	K65 (m)
SLB3 25_7	K65 TH_NL_ICA2007 E-W	0.009457	Comienza a Plastificar
SLB3 25_7	K65 TH_NL_LIMA1974 E-W	0.012703	Comienza a Plastificar

SLB3 25_7	K65	TH_NL_LIMA1966 E-W	0.011852	Comienza a Plastificar
-----------	-----	-----------------------	----------	---------------------------

Nota: Fuente propia

Tabla 19 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Norte – Sur

Modelo	Sismo	Deformación (m)	K298 (m)
SLB3 40_6	K298 TH_NL_ICA2007 N-S	0.009067	0.00054 Comienza a Plastificar
SLB3 40_6	K298 TH_NL_LIMA1974 N-S	0.009220	Comienza a Plastificar
SLB3 40_6	K298 TH_NL_LIMA1966 N-S	0.007866	Comienza a Plastificar

Nota: Fuente propia

Como se definió en la en las Propiedades Mecánicas, los Desplazamientos mínimos de Plastificación para cada dispositivo, se puede ver que para los dos dispositivos más esforzados como son el SLB3 25\_7 y SLB 40\_6 tienen desplazamientos mayores a los mínimos, es decir estos dispositivos comienzan a trabajar, además tomando en cuenta que estos dispositivos en promedio comienzan a trabajar desde desplazamientos de 1 mm hasta un máximo de 30 mm, lo cual nos da un rango amplio de trabajo.

#### 5.4.4 Obtención de porcentajes de Disipación

Luego de haber modelado la estructura se puede observar cuanto porcentaje pueden disipar estos dispositivos SLB adicionados con los muros desacoplados vs. la cantidad que absorbe la estructura en sí.

Tabla 20 Porcentaje de absorción que absorbe la estructura y los disipadores con muros desacoplados

Sismos	% Que absorbe la estructura	% Que absorben los disipadores
TH_NL_ICA2007 E-W	20.27	79.73
TH_NL_ICA2007 N-S	19.59	80.41
TH_NL_LIMA1974 N-S	15.50	84.50
TH_NL_LIMA1974 E-W	18.86	81.14
TH_NL_LIMA1966 E-W	15.60	84.40

TH_NL_LIMA1966 N-S	14.64	85.36
Promedio	17.41	82.59

Nota: Fuente propia

Se revisaron los valores extraídos con el ETABS mediante el análisis tiempo historia no lineal logrando la plastificación de los disipadores, en consecuencia la disipación de energía de las fuerzas cortantes, obteniendo para el sismo de lima del año 1966 la mayor disipación por lo tanto se puede conducir a una respuesta de menor daño en la edificación.

Figura 60 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Ica del 2007 en dirección Este - Oeste



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Ica 2007 en dirección E-W se observa que la estructura presenta una absorción 20.27% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 79.73%.

Figura 61 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Ica del 2007 en dirección Norte – Sur



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Ica 2007 en dirección N-S se observa que la estructura presenta una absorción 19.59% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 80.41%.

Figura 62 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1974 en dirección Este - Oeste



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Lima 1974 en dirección N-S se observa que la estructura presenta una absorción 15.50% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 84.50%.

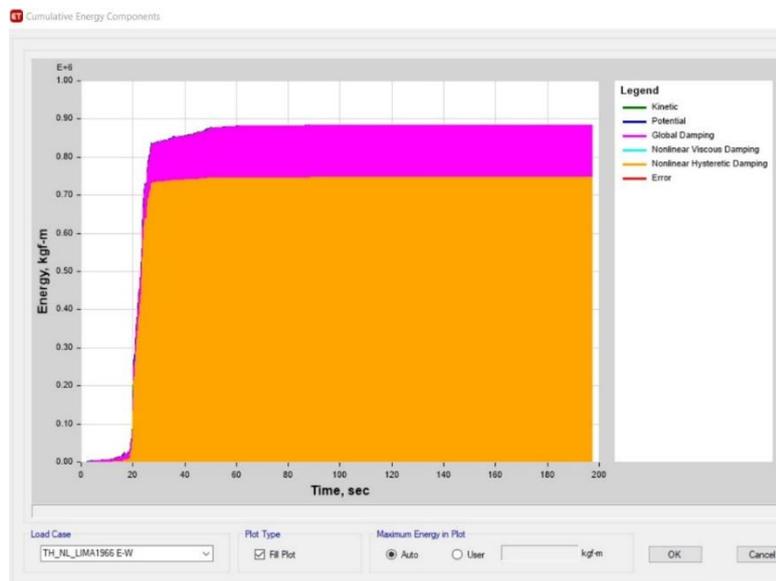
Figura 63 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1974 en dirección Norte – Sur



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Lima 1974 en dirección E-W se observa que la estructura presenta una absorción 18.86% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 81.14%.

Figura 64 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1966 en dirección Este - Oeste



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Lima 1966 en dirección E-W se observa que la estructura presenta una absorción 15.60% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 84.40%.

Figura 65 Gráfica de absorción de energía para el Sismo de Lima de 1966 en dirección Norte – Sur



Nota: Fuente propia

Para el sismo de Lima 1966 en dirección N-S se observa que la estructura presenta una absorción 14.64% y el disipador mediante su histéresis presenta una absorción de energía de 85.36%.

#### 5.4.5 Evaluación del daño no estructural en contenidos mediante las aceleraciones

Tomando en cuenta lo mencionado en el manual de Hazus de 1999 y los resultados del programa Etabs se puede clasificar el tipo de daño que sufren los elementos no estructurales para los sismos que se están usando.

Figura 66 Aceleraciones Máximas de piso asociadas al estado de daño no estructural

Seismic Design Level	Floor Acceleration at the Threshold of Nonstructural Damage (g)			
	Slight	Moderate	Extensive	Complete
High-Code	0.30	0.60	1.20	2.40
Moderate-Code	0.25	0.50	1.00	2.00
Low-Code	0.20	0.40	0.80	1.60
Pre-Code	0.20	0.40	0.80	1.60

Nota : Tomado de “Earthquake Loss Estimation”, HAZUS (1999).

Tabla 21 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 sin Disipadores SLB

		UX	UY	Aceleración Máx (m/sec <sup>2</sup> )	Aceleración Máx (g)	Verificación Según el Manual de Hazus 1999
		m/sec <sup>2</sup>	m/sec <sup>2</sup>			
Story4	TH_NL_ICA2007 E-W	11.406	0.0567	11.406	1.163	Extenso
Story4	TH_NL_ICA2007 E-W	-10.1976	-0.0567	10.1976	1.040	Extenso
Story4	TH_NL_ICA2007 N-S	0.0393	14.8103	14.8103	1.510	Completo
Story4	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.0393	-10.8826	10.8826	1.109	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.0274	11.7631	11.7631	1.199	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.0274	-11.0292	11.0292	1.124	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1974 E-W	10.4526	0.0414	10.4526	1.066	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1974 E-W	-9.9991	-0.0414	9.9991	1.019	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1966 E-W	10.4711	0.046	10.4711	1.067	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1966 E-W	-11.4047	-0.046	11.4047	1.163	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.0302	10.7588	10.7588	1.097	Extenso
Story4	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.0302	-12.6973	12.6973	1.294	Completo
Story3	TH_NL_ICA2007 E-W	8.5541	0.0508	8.5541	0.872	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 E-W	-8.1854	-0.0508	8.1854	0.834	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 N-S	0.0309	11.3199	11.3199	1.154	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.0309	-8.6106	8.6106	0.878	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.023	9.3852	9.3852	0.957	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.023	-8.9346	8.9346	0.911	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 E-W	8.693	0.0417	8.693	0.886	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 E-W	-8.5278	-0.0417	8.5278	0.869	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 E-W	9.5002	0.0377	9.5002	0.968	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 E-W	-9.555	-0.0377	9.555	0.974	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.0231	10.7013	10.7013	1.091	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.0231	-10.7748	10.7748	1.098	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 E-W	9.5733	0.0416	9.5733	0.976	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 E-W	-9.0139	-0.0416	9.0139	0.919	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 N-S	0.0134	12.27	12.27	1.251	Completo

Story2	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.0134	-10.0775	10.0775	1.027	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.0112	12.491	12.491	1.273	Completo
Story2	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.0112	-11.1953	11.1953	1.141	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 E-W	11.3691	0.0307	11.3691	1.159	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 E-W	-9.4816	-0.0307	9.4816	0.967	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 E-W	9.5521	0.0284	9.5521	0.974	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 E-W	-9.6186	-0.0284	9.6186	0.980	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.013	9.8789	9.8789	1.007	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.013	-10.1902	10.1902	1.039	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 E-W	7.6693	0.0287	7.6693	0.782	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 E-W	-7.4723	-0.0287	7.4723	0.762	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 N-S	5.6E-06	8.5663	8.5663	0.873	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 N-S	-5.9E-06	-7.9841	7.9841	0.814	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 N-S	5.53E-06	8.3741	8.3741	0.854	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 N-S	-5.5E-06	-8.685	8.685	0.885	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 E-W	8.1955	0.0208	8.1955	0.835	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 E-W	-7.5606	-0.0208	7.5606	0.771	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 E-W	7.5888	0.0184	7.5888	0.774	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 E-W	-8.1992	-0.0184	8.1992	0.836	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 N-S	4.18E-06	6.9167	6.9167	0.705	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 N-S	-4.3E-06	-7.5461	7.5461	0.769	Extenso
Base	TH_NL_ICA2007 E-W	3.7745	0	3.7745	0.385	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 E-W	-3.0851	0	3.0851	0.314	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 N-S	0	3.7468	3.7468	0.382	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 N-S	0	-3.6978	3.6978	0.377	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	4.5375	4.5375	0.463	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	-5.2592	5.2592	0.536	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 E-W	3.2809	0	3.2809	0.334	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 E-W	-5.0045	0	5.0045	0.510	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1966 E-W	4.9944	0	4.9944	0.509	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1966 E-W	-6.0522	0	6.0522	0.617	Extenso
Base	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	6.0611	6.0611	0.618	Extenso
Base	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	-4.9802	4.9802	0.508	Moderado

Nota: Fuente propia

Tabla 22 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 con Disipadores SLB

		UX	UY	Aceleración Máx (m/sec <sup>2</sup> )	Aceleración Máx (g)	Verificación Según el Manual de Hazus 1999
		m/sec <sup>2</sup>	m/sec <sup>2</sup>			

Story4	TH_NL_ICA2007 E-W	9.4751	0.9593	9.4751	0.966	Extenso
Story4	TH_NL_ICA2007 E-W	-14.3742	-0.9593	14.3742	1.465	Completo
Story4	TH_NL_ICA2007 N-S	0.9702	18.5408	18.5408	1.890	Completo
Story4	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.9702	-18.1495	18.1495	1.850	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.6885	16.2026	16.2026	1.652	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.6885	-13.5967	13.5967	1.386	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1974 E-W	15.9398	1.0526	15.9398	1.625	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1974 E-W	-11.8021	-1.0526	11.8021	1.203	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1966 E-W	17.0104	0.8526	17.0104	1.734	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1966 E-W	-12.1278	-0.8526	12.1278	1.236	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.8425	17.8279	17.8279	1.817	Completo
Story4	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.8425	-16.6461	16.6461	1.697	Completo
Story3	TH_NL_ICA2007 E-W	8.4275	0.484	8.4275	0.859	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 E-W	-9.0118	-0.484	9.0118	0.919	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 N-S	0.4227	7.8418	7.8418	0.799	Extenso
Story3	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.4227	-7.4544	7.4544	0.760	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.3797	7.4989	7.4989	0.764	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.3797	-10.4743	10.4743	1.068	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 E-W	8.6291	0.5203	8.6291	0.880	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1974 E-W	-9.5629	-0.5203	9.5629	0.975	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 E-W	15.452	0.5967	15.452	1.575	Completo
Story3	TH_NL_LIMA1966 E-W	-10.8439	-0.5967	10.8439	1.105	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.361	8.1016	8.1016	0.826	Extenso
Story3	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.361	-10.6228	10.6228	1.083	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 E-W	7.3674	0.1976	7.3674	0.751	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 E-W	-7.9072	-0.1976	7.9072	0.806	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 N-S	0.1981	6.3903	6.3903	0.651	Extenso
Story2	TH_NL_ICA2007 N-S	-0.1981	-6.4828	6.4828	0.661	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 N-S	0.2005	8.0674	8.0674	0.822	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 N-S	-0.2005	-6.8089	6.8089	0.694	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 E-W	8.7127	0.2531	8.7127	0.888	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1974 E-W	-7.4611	-0.2531	7.4611	0.761	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 E-W	8.2248	0.2816	8.2248	0.838	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 E-W	-7.4282	-0.2816	7.4282	0.757	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 N-S	0.175	6.1329	6.1329	0.625	Extenso
Story2	TH_NL_LIMA1966 N-S	-0.175	-7.6144	7.6144	0.776	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 E-W	6.8504	0	6.8504	0.698	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 E-W	-6.3739	0	6.3739	0.650	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 N-S	0	6.2643	6.2643	0.639	Extenso
Story1	TH_NL_ICA2007 N-S	0	-5.8494	5.8494	0.596	Moderado
Story1	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	7.7335	7.7335	0.788	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	-8.6989	8.6989	0.887	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1974 E-W	6.7504	0	6.7504	0.688	Extenso

Story1	TH_NL_LIMA1974 E-W	-6.5107	0	6.5107	0.664	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 E-W	6.4551	0	6.4551	0.658	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 E-W	-12.6801	0	12.6801	1.293	Completo
Story1	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	8.0646	8.0646	0.822	Extenso
Story1	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	-6.1045	6.1045	0.622	Extenso
Base	TH_NL_ICA2007 E-W	3.7745	0	3.7745	0.385	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 E-W	-3.0851	0	3.0851	0.314	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 N-S	0	3.7468	3.7468	0.382	Moderado
Base	TH_NL_ICA2007 N-S	0	-3.6978	3.6978	0.377	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	4.5375	4.5375	0.463	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 N-S	0	-5.2592	5.2592	0.536	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 E-W	3.2809	0	3.2809	0.334	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1974 E-W	-5.0045	0	5.0045	0.510	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1966 E-W	4.9944	0	4.9944	0.509	Moderado
Base	TH_NL_LIMA1966 E-W	-6.0522	0	6.0522	0.617	Extenso
Base	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	6.0611	6.0611	0.618	Extenso
Base	TH_NL_LIMA1966 N-S	0	-4.9802	4.9802	0.508	Moderado

Nota: Fuente propia

Debido al aumento de la rigidez que están aportando los dispositivos SLB la estructura en general se ve que a nivel de aceleraciones se presentan un mayor daño en los contenidos de la edificación como instalaciones, equipos, etc. Esto se debe a que al aumentar la rigidez está reduciendo los periodos de la estructura como se ve en la Tabla 15 y esto aumenta las aceleraciones.

## **CAPÍTULO VI: PRESENTACIÓN DE ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

### 6.1 Análisis, Interpretación y Discusión de Resultados

- Como se puede observar en la Tabla 14 Cortante que toma las columnas con y sin disipador SLB, al incorporar el sistema de disipación, estos elementos si ayudan a tomar parte de la fuerza cortante, lo que no ocurre en el sistema aporticado en el cual las columnas van a recibir toda la fuerza sísmica. Esto se evidencia con una reducción del 50.15% en la dirección X y 61.39% en la dirección Y; esto se debe principalmente al aporte que tienen los muros desacoplados, de esta forma podemos observar que el sistema aporticado por sí mismo no podría cumplir con los requerimientos necesarios para asegurar la seguridad y mantener la continuidad de los servicios necesarios.
- Según lo observado en la Tabla 16 Máxima derivas de entre piso sin Disipadores SLB y Tabla 17 Máxima derivas de entre piso con Disipadores SLB, se puede ver que las derivas de entrepisos disminuye con el uso de los disipadores SLB con muros desacoplados ya que estos aportan ductilidad y rigidez a la estructura, esto se ve reflejado en el porcentaje de disminución que corresponde a un 83.56% en dirección X y en dirección Y un 80.88% , también se ve que las derivas de entre piso están en el rango aceptable según lo consultado en el Anexo 5.
- Lo que se observa en la Tabla 20 Porcentaje de absorción que absorbe la estructura y los disipadores con muros desacoplados es que la estructura está disipando un 17.41% mientras que los disipadores con los muros desacoplados tienen un 82.59%, esto nos lleva a pensar que este sistema en particular tiene una gran eficiencia superando más del 50% de la energía disipada, lo cual va a llevar a que la estructura en si no sufra grandes daños
- En la Tabla 18 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Este - Oeste y Tabla 19 Máximo dispositivo esforzado en la dirección Norte – Sur se puede ver como los dispositivos comienzan a plastificar lo cual muestra su eficiencia al entrar en

funcionamiento para desplazamientos muy bajos como son 0.59 mm y 0.54 mm, además se debe tomar en cuenta que en promedio estos dispositivos tienen la particularidad que pueden plastificar desde 1 mm hasta 30 mm, lo cual le da un rango óptimo de funcionamiento.

- En la Tabla 22 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 se puede observar como con las aceleraciones los elementos de contenido, entran en un rango de posible daño completo o extenso según el manual de Hazus 1999, pero esto no significa que los elementos estructurales tengan daño.

## 6.2 Contratación de las Hipótesis

- De la hipótesis general: El desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con los disipadores SLB “Shear Link Bozzo” es completamente operacional ante el sismo máximo

El desempeño sísmico del hospital de concreto armado con los disipadores SLB “Shear Link Bozzo” logró una mejora en lo que respecta su comportamiento estructural, esto es cuantificable con la reducción de derivas, verificación de fuerzas cortantes, porcentajes de disipación; aunque como se observa en la Tabla 21 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 sin Disipadores SLB y la Tabla 22 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 con Disipadores SLB, la estructura presenta algunos daños en contenidos como instalaciones, equipos, etc., debido a las aceleraciones. Esto se debe a la disminución de periodos, lo que ocasiona un aumento en las aceleraciones, aun así, no significa que la estructura es vulnerable, solo que los elementos del contenido, así como los equipos pueden recibir daño frente al sismo máximo. A pesar de esto, queda demostrado que estos dispositivos SLB con muros desacoplados tienen un gran aporte estructural, además de ayudar a mantener la estética de esta edificación sin la necesidad de ampliar otros elementos. En

síntesis, tomando en cuenta, los alcances del ítem 1 de RECOMENDACIONES, la hipótesis general se cumple.

- De la hipótesis específica 1: Las derivas de un Hospital con los disipadores SLB cumplen con los límites máximos del manual HAZUS para el sismo máximo.

Como se observa en la Tabla 16 Máxima derivas de entre piso sin Disipadores SLB y la Tabla 17 Máxima derivas de entre piso con Disipadores SLB, con el uso de este sistema de protección sísmica “disipadores SLB con muros desacoplados”, se obtuvo una reducción considerable de un 83.56% para la máxima deriva en X y 80.88% para la máxima deriva en Y, valores que se encuentran dentro del rango establecido por el manual de HAZUS que toma un valor de 0.003 como deriva máxima. Se obtuvieron también algunos valores de derivas que superan ligeramente este valor, sin embargo, en el Anexo 5, Luis Bozzo, en función de la norma E0.31, presenta un límite de 0.0035, conteniendo los valores en mención, por lo que la hipótesis específica 1 se cumple.

- De la hipótesis específica 2: Las aceleraciones de entrepiso en un Hospital con protección sísmica SLB cumplen con las limitaciones del manual HAZUS para el sismo máximo.

En este caso como se ve en la tabla Tabla 22 Aceleraciones Máximas basadas en el análisis tiempo historia no lineal con la clasificación del Hazus 1999 con Disipadores SLB, la estructura presenta daños extensos, moderados y completos, aunque esto no es a nivel estructural pues se refiere a elementos de contenido, aunque cabe recalcar que esto es bajo acción del sismo máximo. Basados en este razonamiento, se puede afirmar que la hipótesis específica 2 no se cumple, aunque hay alternativas de solución que se pueden usar como contramedidas indicadas en las RECOMENDACIONES.

- De la hipótesis específica 3: El disipador SLB presenta una gran eficiencia como protección sísmica del hospital.

Luego de analizar los resultados presentados en la Tabla 20 Porcentaje de absorción de la estructura y los disipadores con muros desacoplados, se evidencia la eficiencia de los disipadores SLB con muros desacoplados al disipar un 82.59% de la energía sísmica en toda la estructura, esto no solo demuestra su validez como sistema de protección sísmica, también demuestra que es una alternativa muy eficiente si se quiere reducir en gran medida el esfuerzo en ciertos elementos. Por lo tanto, se afirma que la hipótesis específica 3 se cumple.

## CONCLUSIONES

1. Se analizó el desempeño sísmico del Hospital de concreto armado con disipadores SLB en la zona sísmica 4, concluyendo que, el sistema de protección sísmica con disipadores SLB cumple el objetivo deseado de operación inmediata en estructuras esenciales planteado en las diversas normativas internacionales aplicadas en esta tesis, demostrándose mediante la reducción de derivas de entrepiso ante el aporte de rigidez de los disipadores. Además, las aceleraciones disminuyeron no significativamente, mediante la flexibilidad y ductilidad en la plastificación del SLB en desplazamientos pequeños reflejándose en la histéresis, evidenciado también con la reducción de periodos lo que indica que cumplen con el concepto sistema rígido-flexible, lo que se traduce en una amplia disipación de energía del sistema, absorbiendo gran cantidad de esfuerzos y mitigando los posibles daños.
2. Con el uso de los disipadores SLB “*Sheark Link Bozzo*”, se verificó las derivas de entrepiso, teniendo como resultado una reducción del 83.56% en dirección X y un 80.88% en dirección Y, aportando rigidez a la estructura y ductilidad mediante la plastificación del elemento sometido al sismo máximo de  $T_r=2500$  años. Cumpliendo con el criterio de desempeño planteado por el manual HAZUS 1999 menores a 0.003.
3. En el análisis de las aceleraciones de entrepiso, no se lograron obtener valores inferiores al límite de 0.3, establecido en el manual HAZUS 1999 para mitigar los daños en el contenido de la edificación, aun así, redujeron las aceleraciones, el cual en un inicio presentaba flexibilidad con periodos de 0.865 s en dirección X y en dirección Y 0.853 s. Al incorporarse el sistema de protección sísmica SLB, la estructura presenta rigidez y ductilidad mediante la plastificación, reflejados en la disminución de derivas y periodos a 0.301 s en dirección X y en dirección Y 0.324, otros sistemas disipadores solo aportan rigidez aumentando únicamente las aceleraciones.
4. Se evaluó la eficiencia de los disipadores SLB con muros desacoplados basada en la histéresis y la disipación de energía, se obtuvieron valores como máximo de 82.59% para los sismos máximos aplicados de  $T_r= 2500$  años. Asumiendo un daño imperceptible en los elementos estructurales del hospital.

## RECOMENDACIONES

1. Para disminuir el daño y probables accidentes a causa del efecto del incremento de las aceleraciones en el contenido de la estructura hospitalaria, es recomendable el uso de sistemas de aislamiento y fijaciones en los equipos médicos sensibles, así mismo aislamiento de entresijos en los niveles de mayor importancia.
2. En este sistema de dispositivos SLB con muros desacoplados no es necesario tener una continuidad ya que no transmite carga axial, se puede liberar los primeros niveles del sistema por aspectos arquitectónicos, teniendo como mayor importancia su colocación en las zonas de mayores derivas y aceleraciones como sucede en los niveles 2 y 3, pero es recomendable realizar los análisis de esfuerzos cortantes e irregularidad.
3. El sistema aporticado presenta ciertas deficiencias dada su baja resistencia a las cargas laterales y por su alta flexibilidad que lo hace vulnerable y aumenta la posibilidad de sufrir mayores daños estructurales, por lo tanto, si se quiere optimizar la estructura se podría hacer uso de otros sistemas como un sistema dual.
4. Realizar análisis de costos y comportamiento estructural del sistema de aislamiento contra el sistema SLB en estructuras esenciales con el fin de diversificar la información y aplicación ingenieril de estos métodos en las distintas zonas y usos de nuestro país.
5. Realizar el análisis tiempo historia considerando la no linealidad de la estructura con el fin de llegar a resultados muchos más exactos, incluyendo el método integración directa en el conjunto de mayores registros sísmicos.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ACI Committe 318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318-14)[and] Commentary on Building Code Requirements for Structural Concrete (ACI 318R-14).
- Agudelo, G., Aignerren, M., & Restrepo, J. (2008). *Experimental y no-experimental. La sociología en sus escenarios, (18)*.
- Aguilar , R., Rodríguez, M., & Mora, D. (2015). *Análisis sísmico de estructuras con disipadores ADAS o TADAS*. Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería, CIMNE. Monografías de Ingeniería Sísmica, IS-72, Universidad Politécnica de Cataluña. .
- Blanco Blasco, A. (1994). *Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado*. Lima: COLEGIO DE INGENIEROS DEL PERÚ/1994-1995.
- Bozzo, L. M. (En prensa). *Estructuras con Dispositivos Antisísmicos*. Lima: Propia.
- Bozzo, L., & Gaxiola, G. (2015). El Concepto "Rígido-Flexible-Dúctil" y las conexiones SLB. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica*.
- Bozzo, L., & Hurtado, F. (2008). *Numerical and Experimental Analysis of Shear Link Energy Dissipator for Seismic Protection of Buildings*.
- Bozzo, L., Gonzáles, H., Pantoja, M., Muñoz, E., & Ramirez, J. (2019). Modeling, Analysis and Seismic Design of Structures Using Energy Dissipattors SLB. *International Symposiumon Earthquake Engineering*.
- Bozzo, L., Gonzales, H., Pantoja, M., Muñoz, E., Herrera, G., Pérez, L., . . . Ramírez, J. (2019). *Análisis y Diseño utilizando Disipadores Sísmicos tipo SLB Ejemplos de aplicación*.
- Bozzo, L., Ramirez, J., Bairan, J., Bozzo, G., & Muñoz , E. (2020). *Precast Building Equipped with SLB Seismic Devices*. Sendai: 17° Word Conference Earthquake Ingeeniering.
- Carmilema Guanga, L. M. . (2016). *Disipadores de energía para edificaciones esenciales: caso quirófanos del hospital del IESS José Carrasco Arteaga de la ciudad de Cuenca*. Cuenca.

- Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas, Y., Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), & Ministerio de Salud Del Perú (MINSA). (2013). *Estudio de vulnerabilidad sísmica estructural, no estructural y funcional hospital de emergencias José Casimiro Ulloa, Miraflores*. Retrieved from <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/22>
- Ciliento , F., Ramirez, J., Nuzzo, I., Bozzo, L., Caterino, N., & Serino, G. (2020). *Comparison of Seismic Design Procedures for Estructures Equipped with Hysteretic Dampers*.
- Ciliento, F. (2018 - 2019). *Development of Seismic Design Procedures For Building Structure Equipped with SLB Metallic Hysteretic Dampers*. Napoles: (Tesis de Maestría) Departamento de Estructuras para Arquitectura e Ingeniería - Universidad de Napoles Federico II.
- Ciliento, F., Ramirez, J., Nuzzo, I., Bozzo, L., Caterino, N., & Serino, G. (2020). Comparison of Seismic Design Procedures for Estructures Equipped with Hysteretic Dampers. xxxx (pp. 1-3). xxx: ABC.
- Constantinou, M. C., Soong, T. T., & Dargush, G. F. (1998). *Passive Energy Dissipation System for Structural Design and Retrofit*. Buffalo, NY 14261: (MCEER Monograph nº 1) Multidisciplinary Center for Earthquake Engineering Research.
- Cordero, Z. (2009). *La investigación aplicada: una forma de conocer las realidades con evidencia científica*. *Revista educación*, 33(1), 155-165.
- Del Rosario G., M. R. (2018). *Desempeño Sísmico de Aisladores: Estudio de un Hospital de Concreto Armado*. Lima: (Tesis de Pregrado) Pontificia Universidad Católica del Perú - PUCP.
- Duque, E., Inaudi, J., & García, V. (2015). *Eficiencia de disipadores sintonizados de masa en estructuras con comportamiento elasto-plástico sometidas a cargas sísmicas*. Retrieved from Scipedia: [https://www.scipedia.com/public/Duque\\_et\\_al\\_2015a](https://www.scipedia.com/public/Duque_et_al_2015a)
- Enriques Acosta, M. A., & Sánchez Guevara, C. F. (2018). *Evaluación sísmica y propuesta de reforzamiento con disipadores de energía al “hospital nacional*

- almanzor aguinaga asenjo” de chiclayo–región lambayeque, actualizado a la norma E.030-2016.* Lambayeque.
- Estrada, M., Rivas , A., Chávez, C., Tovar, A., Callapiña, G., & Chacón, K. (2020, Mayo 3). *Ojo Público*. Retrieved from <https://ojo-publico.com/1798/los-14-hospitales-paralizados-por-sospechas-de-corrupcion>
- Federal Emergency Management Agency. (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings*. Washington, DC.: Report No. FEMA-273.
- Flores, J. (1993). Modelos de daño concentrados para la simulación numérica del colapso de pórticos planos. *Revista Internacional de Métodos Numéricos*.
- Gil, E. L. (1997). Análisis de sensibilidad con comportamiento no lineal del material y su aplicación en el diseño asistido de estructuras. Barcelona: Universidad Politécnica de Catalunya.
- Gonzáles, V., Botero, J. C., Rochel, R., Vidal, J., & Álvarez, M. (2005). Propiedades Mecánicas del Acero de Refuerzo Usado en Colombia. *Redalyc.Org*, 67-76.
- Gulkan, P., & Sozen, M. A. (1974). Inelastic Response of Reinforced Concrete Structures to Earthquake Motions. *ACI Journal Proceedings*, V. 71, No. 12, Dec, 604-610.
- Hazus. (1999). *Earthquake Loss Estimation*.
- Iasevoli, R. (2018-2019). *The Use and Design of "Shear Link Bozzo" (SLB) Energy Dissipation Devices For Seismic Protection of Precast R.C. Building*. Napoles: (Tesis de Maestría) Universidad de Napoles Federico II.
- Medina , C. (2012). *Estudio de la relación momento – curvatura como herramienta para entender el comportamiento de secciones de hormigón armado*. Ambato: (Tesis de Grado) Universidad Técnica de Ambato.
- Mena Hernandez, U. (2002). *Evaluación de Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas*. Barcelona: (Tesis de Doctorado) Universidad Politécnica de Cataluña.
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2009). *NTP E.060 Concreto Armado*. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/sencico/informes-publicaciones/887225-normas-del-reglamento-nacional-de-edificaciones-rne>

- Ministerio de Vivienda, C. y. (2015). *Norma E. 020 Cargas*. Retrieved from <https://ww3.vivienda.gob.pe/DGPRVU/docs/RNE/T%C3%ADtulo%20III%20Edificaciones/50%20E.020%20CARGAS.pdf>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2018). *NTP E.030 Diseño Sismoresistente*. Retrieved from <https://www.gob.pe/institucion/vivienda/normas-legales/259580-043-2019-vivienda>
- Ministerio de Vivienda, C. y. (2019). *Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico”*.
- Mora, D., & Aguilar, R. (2015). Modelación de diagrama momento-curvatura y momento-rotación en secciones de acero estructural. *Revista Ciencia*, 99-124.
- Mora, D., & Aguilar, R. (2018). *Modelación de Diagrama Momento-Curvatura y Momento-rotación en Secciones de Acero Estructural*. Ciencia.
- Morales, F. (2012). *Conozca 3 tipos de investigación: Descriptiva, Exploratoria y Explicativa*.
- Nuzzo, I., Lossano, D., Caterino, N., Serino, G., & Bozzo, L. (2018). *Experimental and Analytical Characterization of Steel Shear Links for Seismic Energy Dissipation*. Elsevier.
- Nuzzo, Y., Losanno, D., Serino, G., & Bozzo, L. (2015). A Seismic-resistant Precast r.c. System equipped with Shear Link Dissipators for Residential Buildings. *International Journal of Civil and Structural Ingenieering*, 2, 270-273.
- Pantoja, M., Gonzáles, H., Bozzo, L., & Flores, M. (2020). *Numerical Analysis and Experimental Correlation of Uncoupled Concrete Walls Incorporating SLB Devices*. Sendai: 17° Word Conference Earthquake Engeeniering.
- Pantoja, M., Gonzáles, H., Bozzo, L., Bozzo, G., & Ramirez, J. (2020). *Experimental Vs. Numerical Correlation for a Shaking Table Test of a Concrete Precast Model Structure Equipped with SLB Devices*.
- Quispe H., C. K., & García U., P. A. (2019). *Reforzamiento Sísmico Mediante el Uso de Disipadores Histeréticos Tipo Shear Link Bozzo en un Edificio de 14 Niveles en la Ciudad de Lima*. Lima: (Tesis de Pregrado) Universidad Ricardo Palma.

- Silgado, E. (1978). *Historia de los sismos más notables ocurridos en Peru (1513-1974)*. Lima: Instituto de Geología y Minería, Boletín 3, serie C. Geodinámica e Ingeniería Geológica.
- Symans , M. D., & Constantinou, M. C. (1995). *Development and Experimental Study of Semi-Active Fluid Damping Devices for Seismic Protection of Structures*. Buffalo, NY.: (Technical Report NCEER-95-0011) National Center for Earthquake Engineering Research.
- Tavera, H., Bernal, I., Condori, C., Ordaz, M., Zevallos, A., & Ishisawa, O. (2014). *Evaluación del Peligro Sísmico en el Perú*. Lima: Insituto Geofísico del Perú.
- Uang, C.-M., & Bertero, V. V. (1988). *Use of Energy as a Design Criterion in Earthquake Resistant Design*. Richmond, CA 94804: Earthquake Engineering Research Center University of California.
- Universidad Nacional del Nodeste (UNNE). (2005). *Estabilidad III – Capítulo III: Análisis Plástico de Estructuras*. Retrieved from [http://ing.unne.edu.ar/pub/e3\\_cap5.pdf](http://ing.unne.edu.ar/pub/e3_cap5.pdf)
- Valdés, V., Pupo, D., Rolando, M., Martínez, R., & Recarey, C. (2019). New Proposal for Seismic Rehabilitation of Hospitals in Cuba. *Open Access Library Journal*, 6.
- Yucra, M. (2018). *Evaluación del Desempeño Sísmico de Hospitales Aislados en el Perú* . Lima: Tesis de Maestría.

## ANEXOS

**Anexo 1 : Tabla N°5 Categoría de las edificaciones y factor “U”**

<b>Tabla N° 5</b>		
<b>CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR “U”</b>		
<b>CATEGORÍA</b>	<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>FACTOR U</b>
<b>A</b> Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: <ul style="list-style-type: none"> <li>- Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1.</li> <li>- Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones.</li> <li>- Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía.</li> <li>- Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua.</li> <li>- Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.</li> <li>- Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos.</li> <li>- Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.</li> </ul>	1,5
<b>B</b> Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
<b>C</b> Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
<b>D</b> Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

**Nota 1:** Las nuevas edificaciones de categoría A1 tienen aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable puede decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U es como mínimo 1,5.

**Nota 2:** En estas edificaciones se provee resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

Nota: Tomado de Tabla N° 5 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente (2018)

## Anexo 2: Tabla N°7 Sistema Estructurales

Tabla N°7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente Básico de Reducción RO (*)
<b>Acero:</b>	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
<b>Concreto Armado:</b>	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de Ductilidad limitada	4
<b>Albañilería Armada o Confinada</b>	3
<b>Madera</b>	7(**)

(\*) Estos coeficientes se aplican únicamente a estructuras en las que los elementos verticales y horizontales permitan la disipación de la energía manteniendo la estabilidad de la estructura. No se aplican a estructuras tipo péndulo invertido.

(\*\*) Para diseño por esfuerzos admisibles.

Nota: Tomado de Tabla N° 7 de la *Norma Técnica E.030 Diseño Sismo Resistente* (2018)

### **Anexo 3: Petición y consentimiento para uso de información proporcionada por el Ing. Luis Bozzo**

**Yorshman Albrizzio Francia** <yorshmanalbrizzio@gmail.com>  
Para: "Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L," <info@luisbozzo.com>

28 de octubre de 2020, 17:21

Ingeniero mis saludos, disculpe queria pedir su consentimiento para utilizar la información del correo enviado el día 23 de Septiembre a las 4:06 sobre la consulta de Muros Desacoplados, para adjuntarla a una tesis que me encuentro realizando sobre el uso de los disipadores SLB con muros desacoplados.

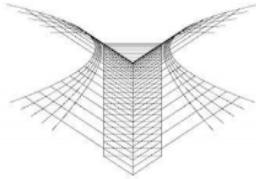
**Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L,** <info@luisbozzo.com>  
Para: Yorshman Albrizzio Francia <yorshmanalbrizzio@gmail.com>

29 de octubre de 2020, 3:25

Si claro, puedes emplearlo siempre indicando que es imforamacion que te di.

LB

---



Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L,

## Anexo 4: Aclaración sobre la consulta del factor R para muros desacoplados con Disipadores SLB por el Ing. Luis Bozzo

Yorshman Albrizzio Francia <yorshmanalbrizzio@gmail.com>  
Para: "Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L." <info@luisbozzo.com>

22 de septiembre de 2020, 22:59

Ingeniero mis saludos, quisiera hacerle una consulta con respecto a los muros desacoplados que se usan con los disipadores slb en el caso de hospitales con una altura de 4 m no habría problema o usarían alguna medida adicional, y en el caso de los parámetros de la norma E.030 que usamos en Perú está diseñada para salvaguardar la vida, para un análisis sería aceptable usar esos valores, por ejemplo el factor de reducción R cuánto podría ser, sería recomendable usar 8 o 1 en el caso de querer simular el peor sismo y hacer que los dispositivos funcionen a su máxima capacidad

Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L., <info@luisbozzo.com>  
Para: Yorshman Albrizzio Francia <yorshmanalbrizzio@gmail.com>

23 de septiembre de 2020, 4:06

Yorshman,

No hay inconveniente en tener un muro de concreto de 4m de altura sujeto con 2 disipadores (uno por extremo superior) siempre que cumpla con su diseño. Es decir se modela el muro aparte y se ponen como acciones las  $F_{max}$  de cada dispositivo seleccionado a los 4m de altura.

Con respecto al R en una estructura equipada con disipadores tipo SLB es la suma del R de la estructura base y el R' de los disipadores. Es decir una estructura equipada con disipadores es una estructura formada por dos en paralelo o trabajando conjuntamente: la estructura sin disipadores y los porticos o ejes con disipadores.

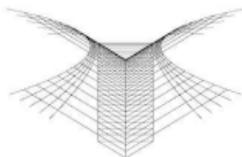
El R base se puede seleccionar el de la normativa, por ejemplo el R=8 que mencionas para pórticos dúctiles aunque ese valor es alto para un hospital pues no queremos tener daño. Por tanto para un hospital el R debe de ser mas bajo, por ejemplo la mitad. Este valor se podría aumentar con el R' de los dispositivos el cual según el numero y disposición puede llegar hasta R'=5.

Una manera practica de trabajar seria seleccionar R=4 y hacer uso de un análisis TH no lineal concentrando la no linealidad solo en los disipadores. De esta forma podrias diseñar la estructura tomando en cuenta la reducción por ductilidad originada por los dispositivos. Para ello necesitarías 10 señales compatibles con el suelo. Te adjunto las que usamos nosotros en suelo tipo S1 para zona sísmica 4 de Peru.

Atentamente

Luis Bozzo, Msc., PhD.

---



Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L.,

## **Anexo 5: Consulta sobre rango de Derivas para llegar a un sistema totalmente operacional al Ing. Luis Bozzo**

**Yorshman Albrizzio Francia** <yorshmanalbrizzio@gmail.com>  
Para: "Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L," <info@luisbozzo.com>

2 de noviembre de 2020, 17:21

Ingeniero Bozzo quisiera hacer una consulta, en manual de Hazus de 1999 menciona que la deriva para tener una estructura totalmente operacional es de 0.003 , mientras que la norma peruana E.031 menciona que no debe exceder el 0.0035 aunque está última es basada para aisladores, en su experiencia cuál sería una deriva aceptable o un rango en la cual se debería considerar .  
Agradezco su atención.

**Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L,** <info@luisbozzo.com>  
Para: Yorshman Albrizzio Francia <yorshmanalbrizzio@gmail.com>

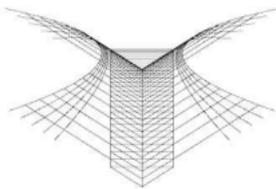
3 de noviembre de 2020, 3:28

Yorshman

El drift para operatividad continua para el espectro de Peru seria de 0,004 a 0,003 pero depende del espectro de diseño. En otros paises se definen espectros de rotura y espectros de servicio y claro los limites son distintos.

Luis Bozzo

---



Luis Bozzo Estructuras y Proyectos S.L,

## Anexo 6: Pre-dimensionamiento de los Elementos

### Pre-dimensionamiento de Vigas

VIGAS						
DIR X (m)	DIR Y (m)	B (cm)	H (cm)	P.E	PESO X (kg)	PESO Y (kg)
2.5	3.5	0.4	0.6	2400	1440	2016
5	3.5	0.4	0.6	2400	2880	2016
5.5	3.5	0.4	0.6	2400	3168	2016
2.5	7	0.4	0.6	2400	1440	4032
5	7	0.4	0.6	2400	2880	4032
5.5	7	0.4	0.6	2400	3168	4032
2.5	6.5	0.4	0.6	2400	1440	3744
5	6.5	0.4	0.6	2400	2880	3744
5.5	6.5	0.4	0.6	2400	3168	3744

## Metrado de Pesos por Área Tributaria

ENTREPISO

2 DIRECCIONES

H=0.25 m

DIR X (m)	DIR Y (m)	AREA (m2)	S/C (kg/m2)	CM(kg/m2)	PESO LOSA	PESO vigas	peso del nivel	niveles	Peso Total (kg)
2.5	3.5	8.75	400	790	15,627.50	3456	19,083.50	3	57,251
5	3.5	17.5	400	790	20,825.00	4896	25,721.00	3	77,163
5.5	3.5	19.25	400	790	22,907.50	5184	28,091.50	3	84,275
2.5	7	17.5	400	790	20,825.00	5472	26,297.00	3	78,891
5	7	35	400	790	41,650.00	6912	48,562.00	3	145,686
5.5	7	38.5	400	790	45,815.00	7200	53,015.00	3	159,045
2.5	6.5	16.25	400	790	19,337.50	5184	24,521.50	3	73,565
5	6.5	32.5	400	790	38,675.00	6624	45,299.00	3	135,897
5.5	6.5	35.75	400	790	42,542.50	6912	49,454.50	3	148,364

AZOTEA

2 DIRECCIONES

H=0.25 m

DIR X (m)	DIR Y (m)	AREA (m2)	S/C (kg/m2)	CM(kg/m2)	PESO LOSA	PESO vigas	peso del nivel	niveles	Peso Total (kg)
2.5	3.5	8.75	100	580	5,950	3,456	9,406	1	9,406
5	3.5	17.5	100	580	11,900	4,896	16,796	1	16,796
5.5	3.5	19.25	100	580	13,090	5,184	18,274	1	18,274
2.5	7	17.5	100	580	11,900	5,472	17,372	1	17,372
5	7	35	100	580	23,800	6,912	30,712	1	30,712
5.5	7	38.5	100	580	26,180	7,200	33,380	1	33,380
2.5	6.5	16.25	100	580	11,050	5,184	16,234	1	16,234
5	6.5	32.5	100	580	22,100	6,624	28,724	1	28,724
5.5	6.5	35.75	100	580	24,310	6,912	31,222	1	31,222

Pre-dimensionamiento de Columnas

Tipo de Columna	f'c (kg/cm2)		ΣPesos x Área	B*B (Área)		B (cm)	H (cm)
ext	280		66656.5	1,785.44	42.25	45	45
ext	280		93959	2,516.76	50.17	55	55
ext	280		102548.5	2,746.83	52.41	55	55
ext	280		96263	2,578.47	50.78	55	55
interior	280		176398	2,771.97	52.65	55	55
interior	280		192425	3,023.82	54.99	55	55
ext	280		89798.5	2,405.32	49.04	50	50
interior	280		164621	2,586.90	50.86	55	55
interior	280		179585.5	2,822.06	53.12	55	55

Peso Col (Kg)	(peso Total)	
8,359.20	300,062.80	
12,487.20	425,784.80	
12,487.20	460,142.80	
12,487.20	1,305,002.40	
12,487.20	2,266,622.40	
12,487.20	2,458,946.40	
10,320.00	400,474.00	
12,487.20	708,432.80	
12,487.20	768,290.80	
10,328,799.20		Peso Total (kg)
10,328.80		Peso Total (Tn)

TIPO DE COLUMNA	K	n
Columna interior Primeros Pisos	1.1	0.3
Columna interior 4 últimos pisos	1.1	0.25
Columnas extremas de pórticos interiores	1.25	0.25
Columnas de esquina	1.5	0.2

Pre-dimensionamiento de Losas en 2 direcciones

Luz mayor en X	6.55 m
Luz mayor en Y	7.5 m
Perímetro de paño	28.1 m
<b>H=</b>	<b>0.25</b>

*Nota:* Tomado de (Blanco Blasco, 1994, pág. 37) Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado

**Anexo 7: Prediseño y verificación de dispositivos SLB con la ayuda del Software Dissipator SLB**

						MURO						
						ESPESOR(mm)	LONG (mm)	FC	Vu (kN)	F max Etabs (kN)		
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.71	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.43	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.01	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.6	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	227.75	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.75	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	228.18	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	259.01	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	228.18	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.7	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	227.75	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.44	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.01	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.33	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.71	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.17	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.44	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	267.08	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.2	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.86	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.42	1.41	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.27	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.73	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.33	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.73	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.08	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.42	1.41	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.02	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.2	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.58	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.44	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.8	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	205.89	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	224	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	206.48	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	223.88	OK

SLB2 15_4	149.7	276.57	197.16	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	209.19	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.74	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	209.19	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.74	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.24	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.16	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.24	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	206.48	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.36	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	205.89	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.5	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	205.89	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.82	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	206.48	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.68	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.16	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.49	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.74	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.5	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.74	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.24	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	197.16	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	210.24	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	206.48	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.36	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	205.89	1.38	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	234.5	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.44	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	267.05	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.2	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.82	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.42	1.41	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.24	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.73	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.3	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.73	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.07	OK
SLB2 15_3	126.1	240.45	178.42	1.41	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	180.01	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.2	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.56	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.44	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	266.79	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.71	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.38	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.01	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.54	OK

SLB2 15_5	172.5	310.13	227.75	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.67	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	228.18	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.93	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	228.18	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.69	OK
SLB2 15_5	172.5	310.13	227.75	1.32	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	258.43	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	213.01	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.31	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.71	1.42	Ok!	150	4000	28	1976	658.8	222.14	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	258.89	1.37	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	252.92	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	203.27	1.36	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	251.59	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	247.64	1.32	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	260.76	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	245.28	1.3	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	259.46	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	245.28	1.3	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	260.26	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	247.64	1.32	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	261.56	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	203.27	1.36	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	251.61	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	258.89	1.37	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	252.94	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	278.72	1.48	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	340.66	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	274.73	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	336.63	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	209.01	1.4	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	245.09	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.16	1.42	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	248.14	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.16	1.42	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	248.25	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	209.01	1.4	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	245.2	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	274.73	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	336.55	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	278.72	1.48	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	340.58	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	278.72	1.48	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	340.57	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	274.73	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	336.54	OK

SLB2 15_4	149.7	276.57	209.01	1.4	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	245.13	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.16	1.42	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	248.18	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	212.16	1.42	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	248.18	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	209.01	1.4	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	245.13	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	274.73	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	336.55	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	278.72	1.48	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	340.58	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	258.89	1.37	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	253.03	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	203.27	1.36	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	251.69	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	247.64	1.32	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	261.57	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	245.28	1.3	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	260.26	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	245.28	1.3	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	260.26	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	247.64	1.32	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	261.56	OK
SLB2 15_4	149.7	276.57	203.27	1.36	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	251.6	OK
SLB2 20_4	188.3	348.53	258.89	1.37	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	252.93	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.12	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	493.49	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.53	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	494.03	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	497.16	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	499.93	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	498.2	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.21	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	498.2	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.29	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	497.16	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.01	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.53	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	494.09	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.12	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	493.55	OK
SLB3 25_5	319	592.39	455.8	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.37	OK
SLB3 25_5	319	592.39	457.1	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.05	OK

SLB3 25_4	279.6	526.49	414.05	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	418.98	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.74	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.03	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.74	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.07	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.05	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.02	OK
SLB3 25_5	319	592.39	457.1	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.12	OK
SLB3 25_5	319	592.39	455.8	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.44	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.01	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	442.76	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.88	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	442.59	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	415.99	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	432.47	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	417.1	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	432.35	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	417.1	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.07	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	415.99	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.19	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.88	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	439.97	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.01	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	440.14	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.01	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	440.14	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.88	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	439.98	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	415.99	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.16	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	417.1	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.04	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	417.1	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.08	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	415.99	1.49	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	433.2	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.88	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	439.97	OK
SLB3 25_5	319	592.39	434.01	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	440.13	OK
SLB3 25_5	319	592.39	455.8	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.42	OK
SLB3 25_5	319	592.39	457.1	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.1	OK

SLB3 25_4	279.6	526.49	414.05	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.02	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.74	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.07	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.74	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.1	OK
SLB3 25_4	279.6	526.49	414.05	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	419.05	OK
SLB3 25_5	319	592.39	457.1	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.14	OK
SLB3 25_5	319	592.39	455.8	1.43	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	491.46	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.12	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	493.58	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.53	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	494.12	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	497.16	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.03	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	498.2	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.31	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	498.2	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.33	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	497.16	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	500.05	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.53	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	494.15	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	491.12	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	493.61	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	566.18	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	566.99	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	562.8	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	564.32	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	573.3	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	591.54	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	569.88	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	588.71	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	569.88	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	589.11	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	573.3	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	591.94	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	562.8	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	564.33	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	566.18	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	566.99	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	618.54	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	663.65	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.91	1.48	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	599.75	OK

SLB3 25_6	357.1	655.63	524.9	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	549.92	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	563.55	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	555.91	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	563.55	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	555.98	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	524.9	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	550	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.91	1.48	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	599.7	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	618.54	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	663.59	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	618.54	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	663.58	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.91	1.48	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	599.69	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	524.9	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	549.96	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	563.55	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	555.95	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	563.55	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	555.93	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	524.9	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	549.94	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.91	1.48	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	599.71	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	618.54	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	663.6	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	566.18	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	567.02	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	562.8	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	564.35	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	573.3	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	591.92	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	569.88	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	589.09	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	569.88	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	589.12	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	573.3	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	591.95	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	562.8	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	564.32	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	566.18	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	566.98	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.36	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	640.67	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.72	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.44	OK

SLB3 30_7	461.3	838.79	638.67	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.65	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	640.27	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.72	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	640.27	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.76	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.67	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.69	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.72	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.47	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.36	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	640.7	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	579.87	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.71	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	581.42	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.41	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	551.49	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.35	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	552.57	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.26	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	552.57	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.28	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	551.49	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.38	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	581.42	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.44	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	579.87	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.74	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	538.18	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	543.18	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	539.09	1.37	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	543.06	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	525.27	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.48	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	526.78	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.19	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	526.78	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.4	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	525.27	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.69	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	539.09	1.37	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.02	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	538.18	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.14	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	538.18	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.13	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	539.09	1.37	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.02	OK

SLB3 25_6	357.1	655.63	525.27	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.67	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	526.78	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.38	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	526.78	1.48	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.41	OK
SLB3 25_6	357.1	655.63	525.27	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	536.7	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	539.09	1.37	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.01	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	538.18	1.36	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	542.13	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	579.87	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.74	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	581.42	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.44	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	551.49	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.38	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	552.57	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.28	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	552.57	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.3	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	551.49	1.4	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	561.4	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	581.42	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.46	OK
SLB3 25_8	430.7	776.4	579.87	1.35	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	605.76	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.36	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	640.73	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.72	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.5	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.67	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.71	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	640.27	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.77	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	640.27	1.39	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.79	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.67	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.72	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.72	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	641.52	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	638.36	1.38	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	640.75	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	777.23	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	739.88	OK
SLB3 30_8	508	915.5	726.08	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	736.17	OK

SLB3 40_6	528.7	967.95	789.44	1.49	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	770.37	OK
SLB3 30_8	508	915.5	737.51	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	766.67	OK
SLB3 30_8	508	915.5	737.51	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	766.8	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	789.44	1.49	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	770.5	OK
SLB3 30_8	508	915.5	726.08	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	736.18	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	777.23	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	739.89	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	778.99	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	789.36	OK
SLB3 30_8	508	915.5	725.16	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	722.95	OK
SLB3 30_8	508	915.5	730.61	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	717.98	OK
SLB3 30_8	508	915.5	731.36	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	724.93	OK
SLB3 30_8	508	915.5	731.36	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	724.96	OK
SLB3 30_8	508	915.5	730.61	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	718.01	OK
SLB3 30_8	508	915.5	725.16	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	722.94	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	778.99	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	789.34	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	778.99	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	789.33	OK
SLB3 30_8	508	915.5	725.16	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	722.93	OK
SLB3 30_8	508	915.5	730.61	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	718	OK
SLB3 30_8	508	915.5	731.36	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	724.95	OK
SLB3 30_8	508	915.5	731.36	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	724.94	OK
SLB3 30_8	508	915.5	730.61	1.44	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	717.99	OK
SLB3 30_8	508	915.5	725.16	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	722.94	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	778.99	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	789.35	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	777.23	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	739.89	OK
SLB3 30_8	508	915.5	726.08	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	736.18	OK

SLB3 40_6	528.7	967.95	789.44	1.49	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	770.48	OK
SLB3 30_8	508	915.5	737.51	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	766.78	OK
SLB3 30_8	508	915.5	737.51	1.45	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	766.8	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	789.44	1.49	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	770.5	OK
SLB3 30_8	508	915.5	726.08	1.43	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	736.17	OK
SLB3 40_6	528.7	967.95	777.23	1.47	Ok!	200	5500	28	3623	1207.8	739.88	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.63	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.62	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.63	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.62	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.63	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.62	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.62	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.35	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK

SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 25_7	394.5	716.83	581.43	1.47	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	568.1	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_7	461.3	838.79	667.44	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	650.37	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK

SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 30_8	508	915.5	735.53	1.45	Ok!	200	4000	28	2635	878.4	714.65	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	864.24	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	864.24	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	864.24	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	864.24	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	28	2718	905.8	840.5	OK

SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	866.62	1.46	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	840.5	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	864.23	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	864.23	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	864.23	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	892.68	OK
SLB3 40_7	595.4	1082.3	886.17	1.49	Ok!	150	5500	<u>28</u>	2718	905.8	892.68	OK

### Anexo 8: Matriz de consistencia

	Problema	Objetivo	Hipotesis	Variables	Indicadores	Indice	Instrumento
General	¿Cuál es el desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores SLB "Shear Link Bozzo" en la zona 4?	Analizar el desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores SLB "Shear Link Bozzo" en la zona 4.	El desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con los disipadores SLB "Shear Link Bozzo" es completamente operacional luego de un evento sísmico.	Variable Independiente	Operacional Ocupación Inmediata Seguridad de vida Próximo al colapso	derivas%	FEMA-ETABS
					Rigidez-ductilidad	tipo	DISIPATOR-SLB
Específico 1	¿Cuáles son las derivas de un hospital de 4 niveles con y sin disipadores SLB frente a las demandas sísmicas?	Verificar las derivas de un hospital de 4 niveles con y sin disipadores SLB frente a las demandas sísmicas.	Las derivas de un Hospital con los disipadores SLB disminuyen con el uso de estos dispositivos.	Desempeño Estructural	Derivas, aceleración, cortante y período	% , g, kgf , t	HAZUS NTP E0.30 NTP E0.31
Específico 2	¿Cuáles son las aceleraciones de un Hospital de 4 niveles con disipadores SLB frente a las demandas sísmicas?	Verificar las aceleraciones de un hospital de 4 niveles con disipadores SLB frente a las demandas sísmicas.	Las aceleraciones en un Hospital no van a ocasionar daño en los elementos no estructurales	Variable Dependiente	Energía Disipada	%	ETABS
					Curva Histerética		Manual Luis Bozzo
Específico 3	¿Cuál es la eficiencia del disipador SLB como un sistema de protección sísmica en un hospital de 4 niveles?	Evaluar la eficiencia del disipador SLB como protección sísmica de un hospital de 4 niveles.	El disipador SLB presenta una gran eficiencia como protección sísmica del hospital.	Disipador SLB	Deformación de los dispositivos	m	Manual Luis Bozzo

