



REVISTA TÉCNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA

Una Revista Internacional Arbitrada
que está indizada en las publicaciones
de referencia y comentarios:

- REDALYC
- REDIB
- SCIELO
- DRJI
- INDEX COPERNICUS INTERNATIONAL
- LATINDEX
- DOAJ
- REVENCYT
- CHEMICAL ABSTRACT
- MIAR
- AEROSPACE DATABASE
- CIVIL ENGINEERING ABTRACTS
- METADEX
- COMMUNICATION ABSTRACTS
- ZENTRALBLATT MATH, ZBMATH
- ACTUALIDAD IBEROAMERICANA
- BIBLAT
- PERIODICA

UNIVERSIDAD DEL ZULIA



REVISTA TÉCNICA
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



*Dr. Jesús Enrique Lossada - Primer rector en la reapertura de LUZ 1946.
Abogado, docente, poeta, escritor, ensayista, dramaturgo,
traductor, parlamentario, periodista y profesor universitario zuliano.*

Influencia Estructural de Disipadores SLB para Muros Desacoplados en Estructuras de Concreto Armado y Arriostramientos en Estructuras Metálicas

Jorge Alexander Brito-Tapia , Ramiro Alejandro Terán-Coloma ,
David Patricio Guerrero-Cuasapaz* 

Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Politécnica Salesiana. Quito, Ecuador.

*Autor de correspondencia: dguerrero@ups.edu.ec

<https://doi.org/10.22209/rt.v45n3a05>

Recepción: 29 de junio 2022 | Aceptación: 27 de julio de 2022 | Publicación: 01 de septiembre de 2022

Resumen

Los disipadores *Shear Link Bozzo* (SLB) actúan en el rango no lineal con el fin de generar una deformación en el dispositivo, previniendo daños estructurales en las edificaciones, por tal motivo, es importante realizar un análisis no lineal tiempo-historia mínimo con tres eventos sísmicos representativos del Ecuador, y así obtener las características fundamentales de cada estructura, conociendo el comportamiento sismorresistente de los dispositivos en el país. Es por ello que, en el presente estudio se realizó un análisis comparativo no lineal tiempo-historia usando disipadores de energía SLB frente a métodos constructivos tradicionales, tanto en concreto armado como en estructura metálica, con el fin de determinar qué sistema presenta un mejor comportamiento con dichos dispositivos. De esta manera, se modelaron dos edificios con diferentes características arquitectónicas, que generaron un total de ocho estructuras; cuatro de ellas en concreto armado y cuatro en estructura metálica, de las cuales dos correspondieron a estructura con método tradicional y dos con la implementación de disipadores SLB. Los resultados que se generaron en ambos sistemas constructivos, demuestran que los disipadores de energía SLB disminuyen dichas características fundamentales, principalmente el cortante máximo de piso, donde la reducción fue mayor al 75 % en ambos casos.

Palabras clave: análisis no lineal; análisis tiempo-historia; curvas histeréticas; muros desacoplados; *Shear Link Bozzo*.

Structural Influence of SLB Dissipators for Decoupled Walls in Reinforced Concrete Structures and Bracing in Metal Structures

Abstract

Shear Link Bozzo (SLB) dissipators act in the nonlinear range in order to generate a deformation in the device, preventing structural damage in buildings, for this reason, it is important to perform a nonlinear time-history analysis with at least three events seismic representative of Ecuador, and thus obtain the fundamental characteristics of each structure, knowing the seismic behavior of the devices in the country. That is why, in the present study, a non-linear time-history comparative analysis was carried out using SLB energy dissipators compared to traditional construction methods, both in reinforced concrete and in metallic structures, in order to determine which system presents a better behavior. with these devices. In this way, two buildings with different architectural characteristics were modeled, which generated a total of eight structures; four of them in reinforced concrete and four in metallic structure, of which two corresponded to structure with traditional method and two with the implementation of SLB

dissipators. The results that were generated in both construction systems show that SLB energy dissipators reduce these fundamental characteristics, mainly the maximum floor shear, where the reduction was greater than 75% in both cases.

Keywords: decoupled walls; hysteretic curves; nonlinear analysis; *Shear Link Bozzo*; time-history analysis.

influência Estrutural de Dissipadores SLB para Paredes Desacopladas em Estruturas de Concreto Armado e Contraventamento em Estruturas Metálicas

Resumo

Os dissipadores Shear Link Bozzo (SLB) atuam na faixa não linear de forma a gerar uma deformação no dispositivo, evitando danos estruturais nas edificações, por esta razão, é importante realizar uma análise temporal não linear com pelo menos três eventos sísmicos representativos do Equador, e assim obter as características fundamentais de cada estrutura, conhecendo o comportamento sísmico dos dispositivos no país. Por isso, no presente estudo, foi realizada uma análise comparativa não linear tempo-histórica utilizando dissipadores de energia SLB em comparação com métodos construtivos tradicionais, tanto em concreto armado quanto em estruturas metálicas, a fim de determinar qual sistema apresenta melhor comportamento com esses dispositivos. Dessa forma, foram modelados dois edifícios com características arquitetônicas diferentes, o que gerou um total de oito estruturas; quatro deles em betão armado e quatro em estrutura metálica, dos quais dois corresponderam a estrutura com método tradicional e dois com implementação de dissipadores SLB. Os resultados gerados em ambos os sistemas construtivos mostram que os dissipadores de energia SLB reduzem essas características fundamentais, principalmente o cisalhamento máximo do piso, onde a redução foi superior a 75% em ambos os casos.

Palavras-chave: análise não linear; análise de histórico de tempo; curvas histeréticas; paredes dissociadas; *Shear Link Bozzo*.

Introducción

Los dispositivos *Shear Link Bozzo* (SLB) son artefactos que permiten disipar energía mediante un mecanismo metálico de plastificación. Están conformados por un pórtico que no permite la transferencia de cargas axiales, convirtiéndolos en un mecanismo óptimo de disipación para ser utilizados en diversos sistemas constructivos, como son: sistemas duales, pórticos flexibles con muros desacoplados y sistemas arriostrados con acero. También resultan ser eficaces debido a su alta capacidad de disipación, reemplazo y fiabilidad (Figura 1) (Quispe y García, 2019; Cervantes y Albrizzio, 2020).



Figura 1. Fotografía de un disipador SLB (*Shear Link Bozzo*).

Un método constructivo para la implementación de estos dispositivos en estructuras de concreto armado es a través de muros desacoplados (Figura 2A), los cuales están formados por un sistema aporticado constituido en su interior por un muro con juntas en sus capas laterales y superior, lo que ayuda a controlar la respuesta sísmica, evitando así daños estructurales, además; mantiene su integridad luego de un evento sísmico, mientras que en estructura metálica, se presenta el uso de arriostres concéntricos (V invertida) de acero conectados al dispositivo (Figura 2B), que no permite la transferencia de cargas axiales debido a que la unión superior se considera como una zona panel, por lo que se concentra la no linealidad de las conexiones (Bozzo *et al.*, 2015; Enciso, 2019).

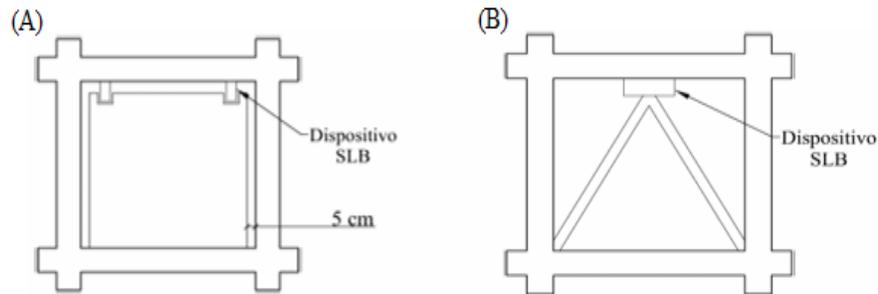


Figura 2. Esquema de sistemas constructivos con disipadores SLB: *Shear Link Bozzo*. (A) Muro desacoplado, (B) Arriostres concéntricos (V invertida).

Estos dispositivos al ser una innovación en el diseño clásico de las estructuras, se basan en la ductilidad e hiperestatismo, aportando a la estructura rigidez y ductilidad, ya que al momento que suceda un evento sísmico de gran magnitud, actuarán en el rango no lineal, ocasionando cierta deformación en el dispositivo y así reduciendo el riesgo de que la estructura sufra daños significativos, por lo tanto, la conexión SLB trabaja como una rótula plástica que puede ser ubicada según el criterio del diseñador (FEMA 356, 2000; FEMA 440, 2005; ASCE/SEI, 2022). El análisis dinámico no lineal tiempo-historia es el método más aproximado al comportamiento real que va a tener la estructura frente una acción sísmica, a través de registros reales o sintéticos obtenidos a partir de modelos sintéticos, para conocer la respuesta sísmica de una estructura (Núñez, 2017).

En este estudio se buscó definir en qué tipo de estructura los disipadores de energía SLB presentan un mejor comportamiento dinámico no lineal, mediante la simulación de dos edificaciones con sus respectivas características geométricas, en concreto armado y en estructura metálica, utilizando el método convencional frente al uso de dispositivos SLB en cada sistema antes mencionados, definiendo que sistema constructivo se comporta mejor el dispositivo.

Materiales y Métodos

Se modeló dos tipos de edificaciones con diferentes características, que permitió determinar el impacto de los dispositivos SLB, tanto en los sistemas constructivos de concreto armado como de estructura metálica. En el sistema de concreto armado el análisis comparativo se realizó utilizando muros de corte en el sistema tradicional frente el uso de muros desacoplados con dispositivos SLB, mientras que en el sistema de estructura metálica, se dispusieron arriostres concéntricos en el sistema tradicional con respecto al uso de arriostres con disipadores SLB. En la Tabla 1 se muestran las características geométricas generales de las dos estructuras analizadas, mientras que en la Figura 3 se presentan los modelos estructurales en cada sistema constructivo, realizados con un programa de análisis estructural comercial (Etabs, 2018).

Tabla 1. Parámetros geométricos de las edificaciones para su respectivo modelado.

Características geométricas	Edificio 1	Edificio 2
Altura entrepiso (m)	3,42	3,42
Altura total (m)	13,68	23,94
Número de niveles	4	7
Área planta tipo (m ²)	455,05	575,80

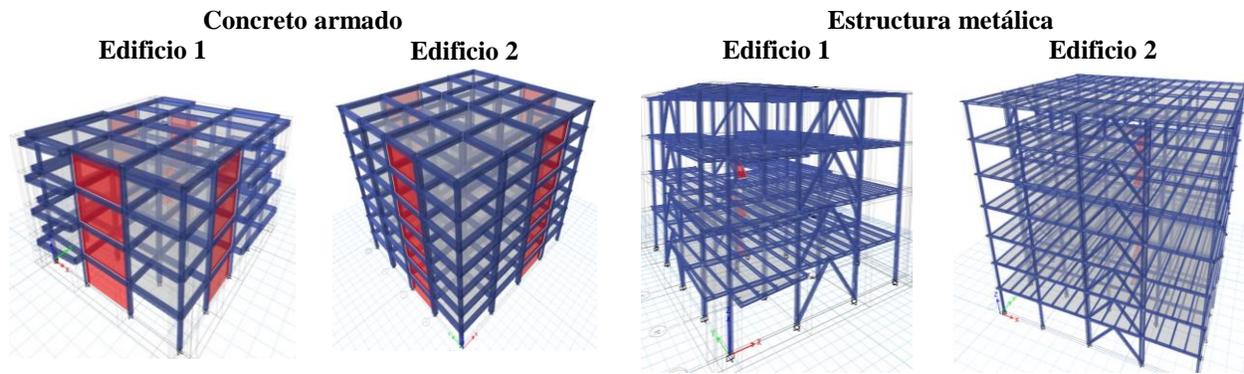


Figura 3. Modelos tipo estructurales en Etabs de cada sistema constructivo (Etabs, 2018). Muros de concreto armado: color rojo, arriostres concéntricos: diagonales.

Los edificios modelados fueron diseñados para el uso residencial, con ubicación en la ciudad de Esmeraldas (Ecuador), en un suelo tipo “D” con un factor de reducción de $R=8$: La concepción de la planta tipo del edificio 1 fue irregular, mientras que la del edificio 2 fue regular, con la finalidad de analizar la incidencia de la irregularidad en cuanto al uso de dispositivos SLB (NEC, 2015). Los componentes de los edificios en concreto armado correspondieron a: columnas, vigas principales, losas nervadas, mientras que en la estructura metálica se compuso de: columnas, vigas principales, vigas secundarias, viguetas y losa con placa colaborante de acero A-653 SS40. En la Tabla 2 se resumen las propiedades de los materiales para ambos sistemas.

Tabla 2. Propiedades asumidas de los materiales para la modelación de las estructuras.

Concreto armado		Estructura metálica	
Material	Valor	Material	Valor
$f'c$ (MPa)	23,54	$f'c$ (MPa)	23,54
f_y (MPa)	412	f_y (MPa)	250
γ concreto (KN/m ³)	23,54	γ concreto (KN/m ³)	23,54
γ acero (KN/m ³)	76,98	γ acero (KN/m ³)	76,98
E (GPa)	$4,7 \sqrt{f'c}$	E acero (MPa)	200000

$f'c$: resistencia a la compresión del concreto, f_y : límite de fluencia del acero, γ : peso específico, E: módulo de elasticidad.

Modelos estructurales utilizando concreto armado

Este sistema estructural trabajó como un pórtico especial resistente a momentos para los dos métodos constructivos, en el caso del sistema tradicional se utilizó muros de corte de 20 cm de espesor mientras que en el segundo sistema de muros desacoplados con dispositivos SLB el espesor es de 15 cm (ACI 318, 2008). En la Tabla 3 se presenta el respectivo análisis de carga empleado en las estructuras de concreto armado para los dos edificios, cuyo uso responde a una vivienda con losa inaccesible en la terraza.

Muros desacoplados

Los muros desacoplados no permiten que se transmitan fuerzas axiales hacia las columnas, debido a la separación que tienen de la misma; también brindan anclaje para los dispositivos SLB, aportan rigidez lateral y resistencia a fuerzas cortantes producidas por eventos sísmicos (Enciso, 2019). En la Tabla 4 se muestra el procedimiento y el cumplimiento del método directo en el edificio 1, que consiste en encontrar un dispositivo SLB que satisfaga las condiciones de corte (V2), ya que cada disipador posee una fuerza de plastificación (F_y) que contrarresta estos efectos de corte, de donde se obtuvo la índice demanda/capacidad (D/C), que debe ser menor o igual a 1,5 para que no se sobredimensione el dispositivo (Bozzo *et al.*, 2019). Este procedimiento se realizó también para el edificio 2.

Tabla 3. Análisis de carga vertical para el modelado de los edificios 1 y 2 (concreto armado).

Planta tipo		Losa inaccesible	
Descripción de pesos	Unidad (kN/m ²)	Descripción de pesos	Unidad (kN/m ²)
Losa nervada (25 cm)	3,81	Mampostería	0,06
Mampostería	1,96	Masillado	0,17
Masillado (2 cm)	0,43	Enlucido (2 cm)	0,17
Enlucido (2 cm)	0,43	Recubrimiento (2 cm)	0,54
Recubrimiento (2 cm)	0,43	Instalaciones	0,15
Instalaciones	0,15	Carga muerta permanente	1,08
Carga muerta permanente	3,40	Carga viva losa inaccesible	0,98
Carga viva vivienda	1,96	Carga total	2,06
Carga total	9,18	Peso propio	2,94
Peso propio	2,94		

Tabla 4. Proceso de diseño de los dispositivos SLB por el método directo del edificio 1-nivel 4.

Link	Iteración inicial			Iteración final			Control		
	V (kN)	SLB	F _y (kN)	V (kN)	SLB	F _y (kN)	D/C		
Nivel 4	K13	133,88	SLB3 6_2/3,25	10,95	145,73	SLB3 15_3	126,10	1,16	OK
	K14	135,50	SLB3 6_2/3,25	10,95	148,14	SLB3 15_3	126,10	1,17	OK
	K19	127,36	SLB3 6_2/3,25	10,95	110,77	SLB3 10_5	112,20	0,99	OK
	K20	133,09	SLB3 6_2/3,25	10,95	172,02	SLB3 15_3	126,10	1,36	OK
	K27	110,63	SLB3 6_2/3,5	10,17	116,37	SLB3 10_5	112,20	1,04	OK
	K28	110,82	SLB3 6_2/3,5	10,17	116,83	SLB3 10_5	112,20	1,04	OK
	K5	184,61	SLB3 6_2/2,5	14,24	181,29	SLB3 15_3	126,10	1,44	OK
	K6	214,43	SLB3 6_2/1,5	23,73	210,66	SLB3 15_4	149,70	1,41	OK

V: cortante dispositivo, F_y: fuerza de plastificación, SLB: dispositivo *Shear Link Bozzo*, D/C: índice demanda/capacidad.

En la Tabla 5 se especifica el procedimiento de diseño del método iterativo inverso del edificio 1, que tiene como fin reducir el tamaño del dispositivo SLB mediante el control de las deformaciones que se generen en el disipador, y el control por corte. Para cumplir estos controles mencionados, se hizo uso del índice demanda/capacidad (D/C) para el control por corte (debe encontrarse entre 1,4 y 1,1 para no sobredimensionar el disipador); mientras en el control de deformaciones se parte de la rigidez inicial del dispositivo (K) y se compara con una deformación ficticia calculada (K_f). Este procedimiento se aplicó para el edificio 2 (Aguilar, 2016).

Tabla 5. Proceso de diseño de los dispositivos SLB por el método indirecto del edificio 1-nivel 4.

Link	SLB _r	V2 (kN)	D/C	D _y (cm)	SLB _F	V2 (kN)	D/C	SLB _r	K ₁ (kN/cm)	K _f (kN/cm)		
Nivel 4	K13	SLB3 15_3	148,98	1,18	0,08	SLB3 15_2	149,03	1,18	ok	SLB3 15_3	1961,47	1661,11
	K14	SLB3 15_3	151,39	1,20	0,08	SLB3 15_2	151,45	1,20	ok	SLB3 15_3	1961,47	1704,05
	K19	SLB3 10_5	149,70	1,33	0,07	SLB3 15_2	148,70	1,33	ok	SLB3 15_3	1961,47	1702,24
	K20	SLB3 15_3	158,70	1,26	0,08	SLB3 15_2	157,70	1,25	ok	SLB3 15_3	1961,47	1803,67
	K27	SLB3 10_5	128,01	1,14	0,10	SLB3 10_4	134,32	1,20	ok	SLB3 15_2	1571,47	1183,76
	K28	SLB3 10_5	128,83	1,15	0,10	SLB3 10_4	135,40	1,21	ok	SLB3 15_2	1571,47	1184,85
	K5	SLB3 15_3	160,46	1,27	0,13	SLB3 10_3	160,13	1,27	ok	SLB3 10_5	1237,80	1120,67
	K6	SLB3 15_4	201,10	1,34	0,12	SLB3 10_5	200,69	1,34	ok	SLB3 15_2	1571,47	1348,12

V2: cortante dispositivo, D_y: deformación dispositiva, K₁: rigidez inicial, K_f: rigidez ficticia, SLB_r: disipador *Shear Link Bozzo* ficticio, SLB_F: disipador *Shear Link Bozzo* real, D/C: índice demanda/capacidad.

Curva histerética

El comportamiento que presentan los dispositivos SLB corresponde a la curva histerética idealizada del disipador de energía metálico o histerético estable, propuesto por Wen en 1976. El modelo de Wen se compone de una fuerza restauradora que recurre a las variables de desplazamiento en el eje de las abscisas y de una variable adimensional en z ; la curva se genera a partir de la disipación de energía que presentan los dispositivos SLB, a causa de la plastificación que sufre frente a la acción de un evento sísmico cuando ingresa al rango no lineal (Quispe y García, 2019). En la Figura 4 se muestra la curva histerética idealizada de Wen, que representa el comportamiento del dispositivo SLB.

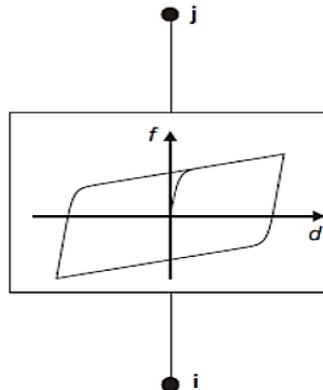


Figura 4. Modelo de plasticidad para la deformación uniaxial de un elemento NLINK (conocido en el programa estructural) propuesto por Wen (Bozzo *et al.*, 2019). J: eje de la fuerza restauradora, d: eje de los desplazamientos, f: fuerza aplicada.

La curva histerética generada a partir de un análisis no lineal tiempo-historia del evento sísmico de Pedernales de magnitud 7,8 del disipador SLB (LINK) K6, donde se asignó un dispositivo SLB3 30_2, se presenta en la Figura 5, el cual genera un corte máximo de 339,82 kN con un desplazamiento de 2,07 cm.

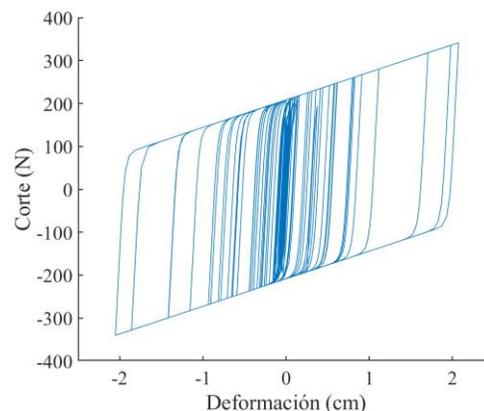


Figura 5. Curva histerética generada del sismo de Pedernales link K6 (SLB3 30_2), edificio 1.

Modelos estructurales utilizando estructura metálica

El sistema estructural empleado fue un pórtico especial resistente a momento con arriostramientos concéntricos (AISC 341, 2010). Para la ubicación de los dispositivos SLB en estructura metálica se optó por la solución de diagonales V invertida, que trata de emplear tubos metálicos rectangulares o cuadrados, conectándose al pórtico mediante el disipador de energía. En la parte superior se deja una junta entre las diagonales y el disipador, de tal forma que solo trabaje por fuerzas horizontales y no por cargas verticales, de esta manera, la conexión no sufre degradación significativa después de varios ciclos de carga, demostrando ser una conexión estable (Mena, 2019). En la Tabla 6 se muestra el respectivo análisis de carga empleado en estructura metálica.

Tabla 6. Análisis de carga vertical para el modelado de los edificios 1 y 2 (estructura metálica).

Planta tipo		Losa inaccesible	
Descripción de pesos	Unidad (kN/m ²)	Descripción de pesos	Unidad (kN/m ²)
Losa Deck (7 cm)	2,18	Mampostería	0,06
Mampostería	1,96	Gypsum	0,20
Gypsum	0,20	Recubrimiento (2 cm)	0,54
Recubrimiento (2 cm)	0,43	Instalaciones	0,15
Instalaciones	0,15	Carga muerta permanente	0,94
Carga muerta permanente	2,74	Carga viva losa inaccesible	0,98
Carga viva vivienda	1,96	Carga total	1,92
Carga total	7,55	Peso propio	0,51
Peso propio	0,51		

Análisis no lineal tiempo historia

La norma ecuatoriana de la construcción propone este método como complemento del diseño estático o lineal espectral. El análisis tiempo-historia se realiza con registros de eventos sísmicos, los cuales deben ser escalados a partir del espectro de diseño de cada edificio, mediante el uso mínimo de datos de 3 eventos sísmicos (NEC, 2015). Así, en la presente investigación se utilizó el sismo de Pedernales magnitud 7,8: primera réplica del sismo de Pedernales magnitud 6,7 y segunda réplica del sismo de Pedernales magnitud 6,9 (RENAC, 2021).

En las Figuras 6A y 6B se presentan los acelerogramas de la componente horizontal este y horizontal norte, respectivamente, después de aplicar una depuración de los datos del registro (Seismo Signal, 2016). Para la aplicación de estos registros sísmicos fue necesario realizar una depuración de datos del registro, realizando un filtrado de valores y una corrección por línea base, que se aplica cuando los datos reportados por el equipo se desplazan de la línea cero de la componente de la aceleración (Guerrero y López, 2019). De esta manera, el filtrado de datos permite eliminar los errores que afectan a los acelerogramas de estudio, que son causados principalmente por el ruido (Erazo y Vargas, 2020). Posteriormente, se procedió a realizar un escalado de los mismos en función del espectro de diseño de los edificios, con el fin de que las señales sísmicas y la forma espectral fueran compatibles. En la Figura 7 se presenta el resultado de escalar los acelerogramas aplicados para el presente estudio en el edificio 1, con el sistema constructivo de concreto armado.

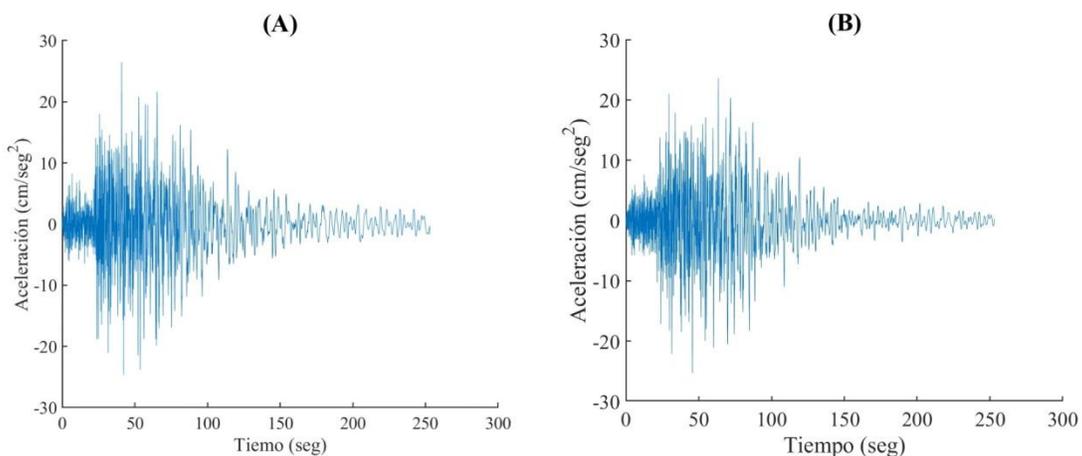


Figura 6. Acelerogramas del sismo de Pedernales sentido este (A) y norte (B) (RENAC, 2021).

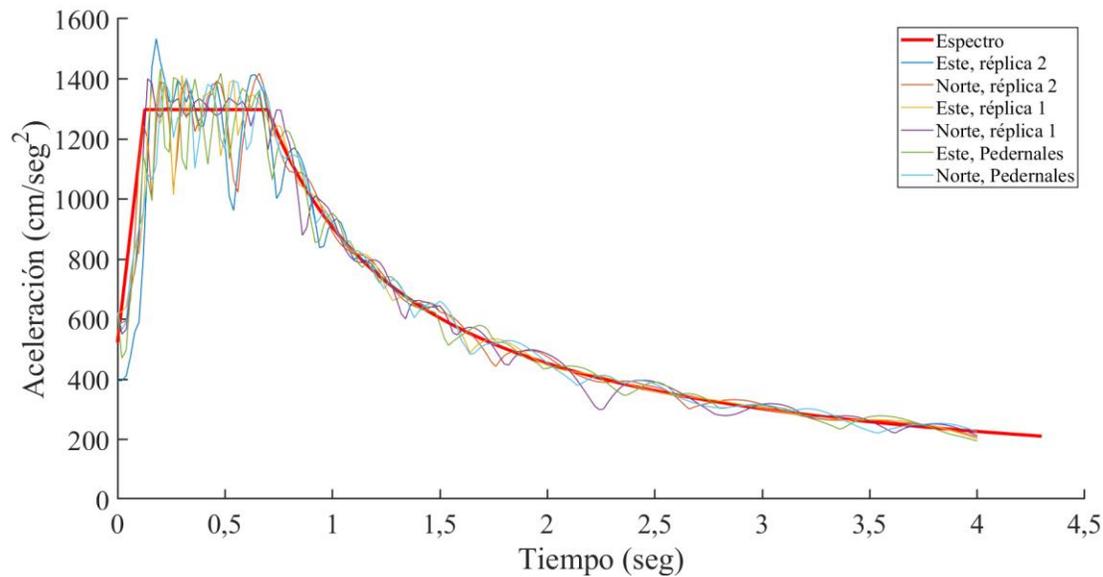


Figura 7. Escalado de acelerogramas en función del espectro de diseño edificio 1 (Seismo Signal, 2016).

Resultados y Discusión

Para realizar la comparación entre los dos sistemas constructivos descritos en la sección anterior, con la implementación de los dispositivos SLB, se generaron los resultados de los parámetros principales para el diseño estructural, como son: periodos de vibración, derivas inelásticas, desplazamientos, fuerzas cortantes de piso y energía actuante en la estructura. A continuación, se explica cada uno de ellos.

Periodos de vibración

A partir del análisis modal espectral, se obtuvieron los resultados de los periodos de vibración, tanto en concreto armado como estructura metálica. En la Tabla 7 se observa que el edificio 1 presentó un aumento en los periodos de vibración, pasando de ser de 0,353 seg en el sistema tradicional de concreto armado con muros de corte, a 0,510 seg con muros desacoplados; de igual manera para el método constructivo de estructura metálica se vio un aumento de 0,449 a 0,573 seg del método tradicional a la implementación de dispositivos SLB.

Tabla 7. Resultados de los periodos de vibración en concreto armado edificios 1 y 2.

		Concreto armado				Estructura metálica					
	Tipo	Modo	Periodo (seg)	UX	UY	Tipo	Modo	Periodo (seg)	UX	UY	
Edificio 1	Muro de corte	1	0,353	0,603	0,000	Arriostres	1	0,449	0,000	0,811	
		2	0,296	0,000	0,746		2	0,421	0,743	0,000	
		3	0,204	0,147	0,000		3	0,297	0,102	0,000	
	Disipadores SLB	1	0,510	0,673	0,000		Arriostres con SLB	1	0,573	0,778	0,000
		2	0,413	0,000	0,751			2	0,569	0,000	0,802
		3	0,315	0,102	0,001			3	0,408	0,068	0,000
Edificio 2	Muro de corte	1	0,591	0,000	0,715	Arriostres	1	0,881	0,000	0,778	
		2	0,538	0,713	0,000		2	0,790	0,771	0,000	
		3	0,383	0,000	0,000		3	0,518	0,000	0,000	
	Disipadores SLB	1	0,767	0,000	0,763		Arriostres con SLB	1	1,100	0,000	0,780
		2	0,731	0,759	0,000			2	0,955	0,781	0,000
		3	0,527	0,001	0,001			3	0,648	0,000	0,001

UX: porcentaje de la masa desplazada en el eje x-x, UY: porcentaje de la masa desplazada en el eje y-y, SLB: disipador *Shear Link Bozzo*.

El uso del dispositivo SLB en los sistemas constructivos de concreto armado y estructura metálica presenta inconvenientes en los periodos fundamentales de vibración, debido a que la conexión tipo peine desacopla el dispositivo con la estructura, y aumenta los periodos en cada edificio, pero su implementación ayuda a controlar la torsión en planta con relación a los métodos tradicionales planteados (Enciso, 2019).

Derivas inelásticas

La norma delimita la deriva inelástica máxima a 0,02 (2 %) (NEC, 2015). En la Figura 8 se detallan los resultados de derivas inelásticas por piso con el análisis no lineal, para estructuras de concreto armado de tipo convencional con muros de corte y con la implementación de conexiones SLB en muros desacoplados, a su vez; en la Figura 9 se muestran las derivas inelásticas en estructura metálica del tipo convencional con un valor máximo de derivas de 0,0181 en el edificio 2, y con el uso dispositivos SLB con diagonales tipo Chevron con valor máximo 0,0101 para el mismo edificio. Por su parte, en la Figura 10 se presenta la comparación en derivas inelásticas máximas de piso para los edificios 1 y 2, en los dos sistemas constructivos antes mencionados.

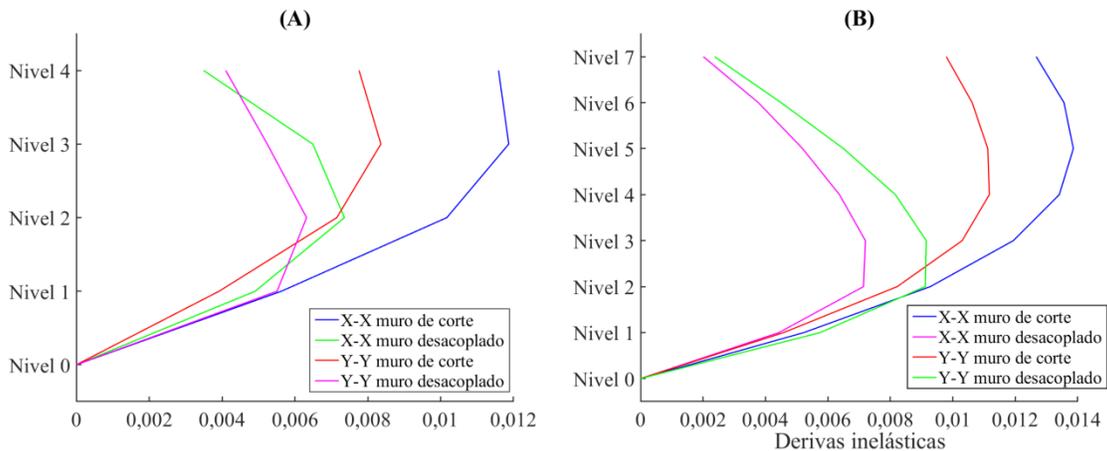


Figura 8. Derivas inelásticas en concreto armado. (A) edificio 1, (B) edificio 2.

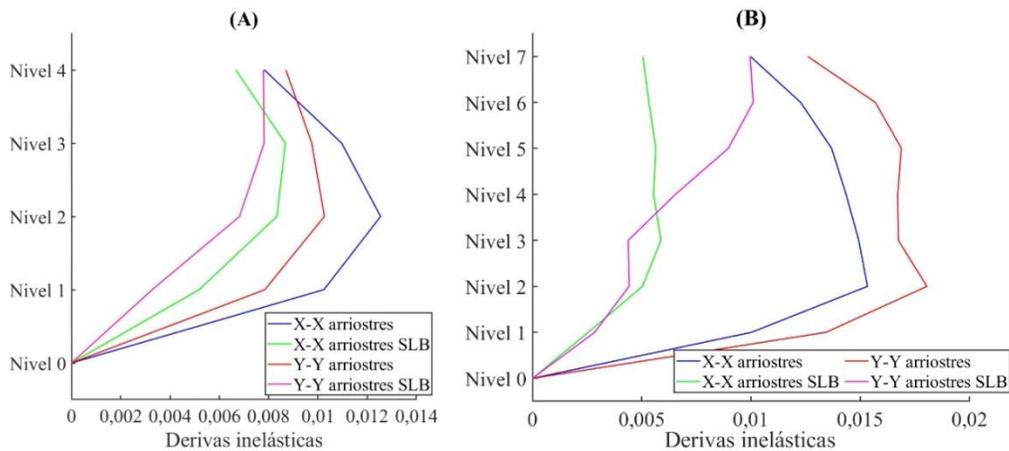


Figura 9. Derivas inelásticas en estructura metálica. (A) edificio 1, (B) edificio 2. SLB: disipador *Shear Link Bozzo*.

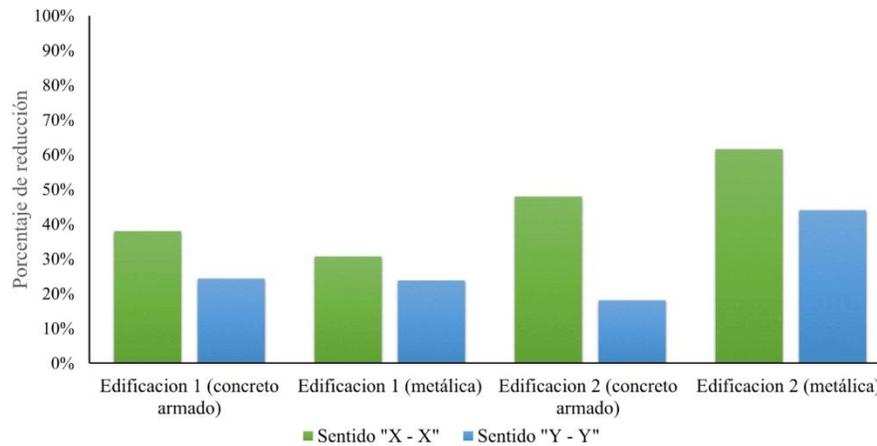


Figura 10. Análisis comparativo de derivas de máximas de piso de los edificios 1 y 2.

Tal como se visualiza en la Figura 10, el sistema constructivo de concreto armado presentó una reducción de derivas con el uso de muros desacoplados del 37,94 % en el sentido X-X y 24,38 % en el sentido Y-Y, con respecto a los muros de corte para el edificio 1. En el sistema constructivo de estructura metálica se presentó una reducción de derivas con la implementación de conexiones SLB en diagonales Chevron del 30,76 % en el sentido X-X y 23,81 % en el sentido Y-Y, frente al uso de diagonales convencionales. En tanto que en el edificio 2 el sistema constructivo de concreto armado presentó una reducción de derivas con el uso de muros desacoplados del 48,04 % en el sentido X-X y 18,10 % en el sentido Y-Y, con respecto a los muros de corte. A su vez en el sistema constructivo de estructura metálica se presentó una reducción de derivas con la implementación de conexiones SLB en diagonales Chevron del 61,65 % en el sentido X-X y 44,05 % en el sentido Y-Y, en comparación con las diagonales Chevron.

Las derivas inelásticas son una de las características que presentan una mejora con el uso de dispositivos SLB, ya que permiten una reducción de este parámetro en comparación a los métodos tradicionales. Así, se pudo diferenciar en esta investigación que el sistema constructivo de concreto armado tiene un mejor comportamiento en el edificio 1, en comparación al edificio 2, donde el desempeño es mejor en estructura metálica (Cervantes y Albrizzio, 2020).

Desplazamientos

En la Figura 11 se presentan los desplazamientos laterales por piso para el caso de estructura de concreto armado convencional con un valor máximo de derivas de 0,0364 m en el edificio 2, y con el uso de disipadores SLB con un valor máximo de derivas de 0,0157 m para el mismo edificio, mientras que la Figura 12 se muestran los valores para la estructura metálica convencional y con la conexión SLB. Por su parte, en la Figura 13 se detalla la comparación entre los desplazamientos máximos de piso para los edificios 1 y 2, en los dos sistemas constructivos antes mencionados.

Se puede observar en la Figura 13 que los modelos de concreto armado del edificio 1 aplicando muros desacoplados con conexiones SLB, presentaron una reducción en desplazamientos máximos del 43,08 % en el sentido X-X y 26,58 % en el sentido Y-Y, con respecto al método tradicional. A su vez, en el sistema de estructura metálica con conexiones SLB con arriostres Chevron, se presentó una reducción del 31,61 % en el sentido X-X y 29,28 % en el sentido Y-Y, en comparación al uso exclusivo de arriostres Chevron. En el caso del edificio 2, en el sistema constructivo de concreto armado con el uso del dispositivo SLB, se observó una reducción de desplazamientos máximos del 56,96 % en el sentido de X-X y del 33,20 % en el sentido Y-Y, frente al uso de muros de corte. En cuanto al sistema constructivo de estructura metálica, se presentaron reducciones del 29,28 y 54,72 % en los sentidos X-X e Y-Y, respectivamente, frente al uso de arriostres convencionales.

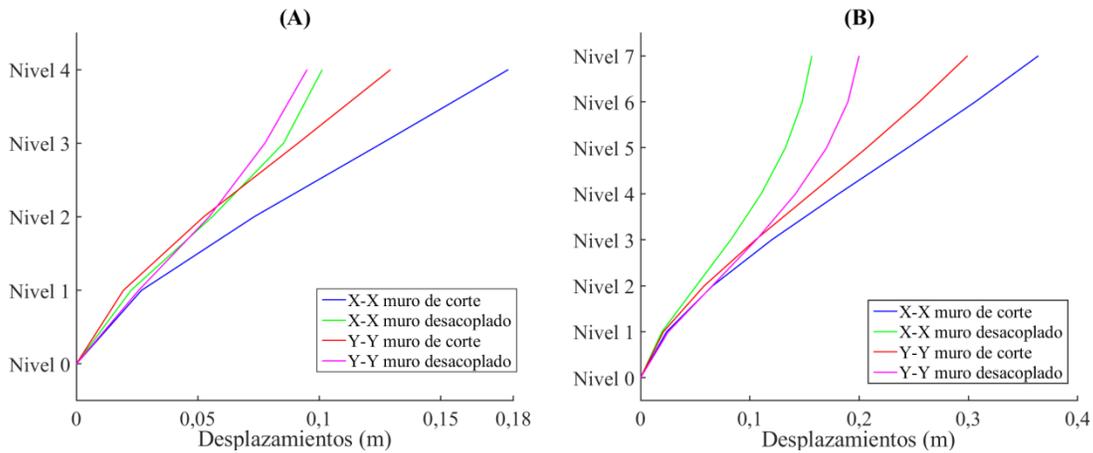


Figura 11. Desplazamientos máximos de piso en estructura concreto armado. (A) edificio 1, (B) edificio 2.

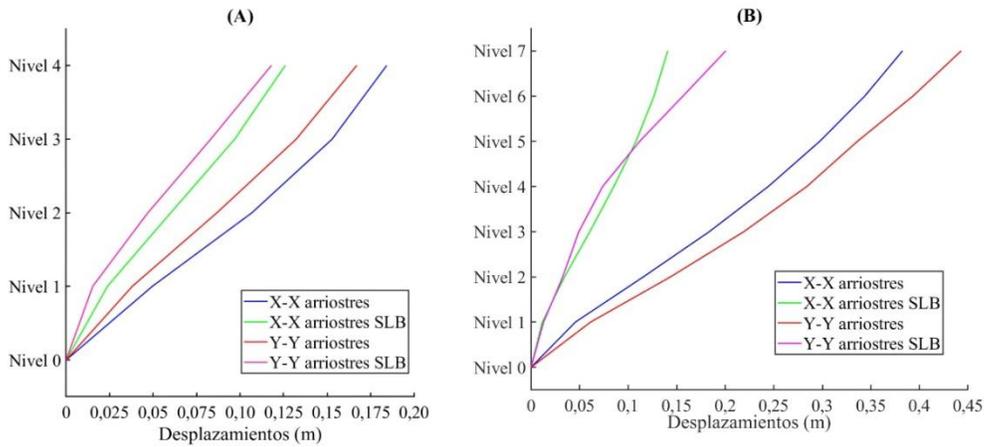


Figura 12. Desplazamientos máximos de piso en estructura metálica. (A) edificio 1, (B) edificio 2. SLB: disipador *Shear Link Bozzo*.

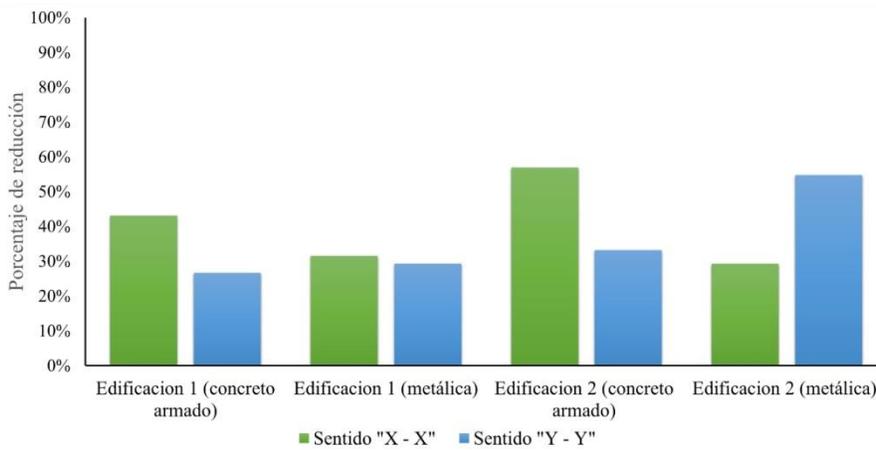


Figura 13. Análisis comparativo de desplazamientos máximos de piso de los edificios 1 y 2.

Como consecuencia de la mejoría en el parámetro de derivas inelásticas también se presenta una reducción en los desplazamientos con el uso de los disipadores de energía SLB en ambos sistemas constructivos, ya que el

sistema de concreto armado fue el que presentó una reducción mayor en este parámetro en comparación al sistema de estructura metálica (Mena, 2019).

Cortantes máximos

En la Figura 14 se muestran los cortantes por piso generados por la acción del evento sísmico más crítico para el sistema de concreto armado. A su vez, en la Figura 15 se incluyen los cortantes obtenidos a través de las modelaciones en el programa de análisis estructural, para el sistema de estructura metálica con un valor máximo de 38486,83 kN en el edificio 2, y con los métodos constructivos convencionales encontramos un valor máximo de 4553,87 kN. De la misma manera, en la Figura 16 se presenta la comparación entre los cortantes máximos de piso para los edificios 1 y 2, en los dos sistemas constructivos antes mencionados.

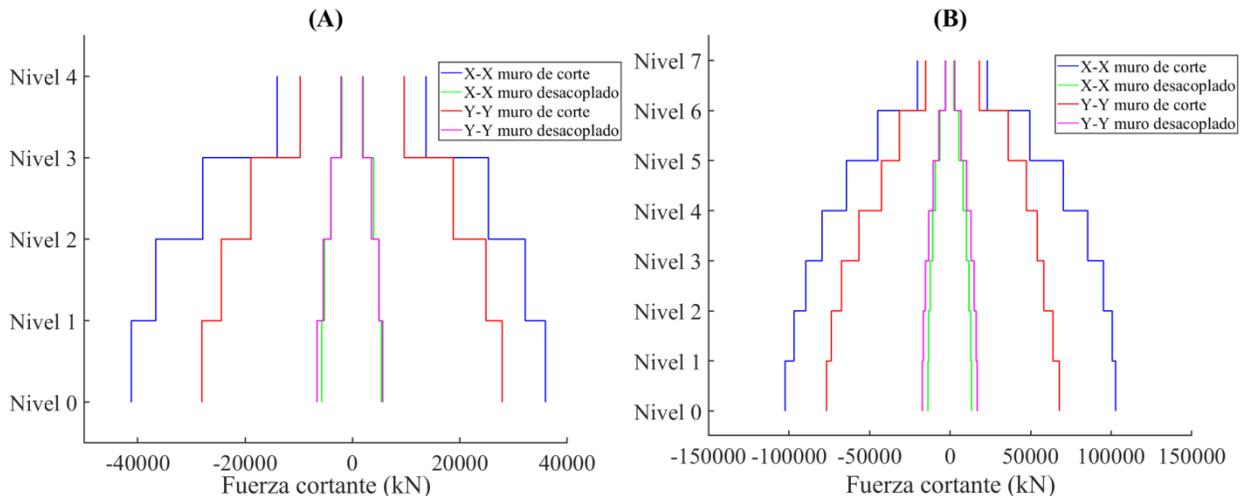


Figura 14. Cortantes máximos de piso en concreto armado. (A) edificio 1 (B) edificio 2.

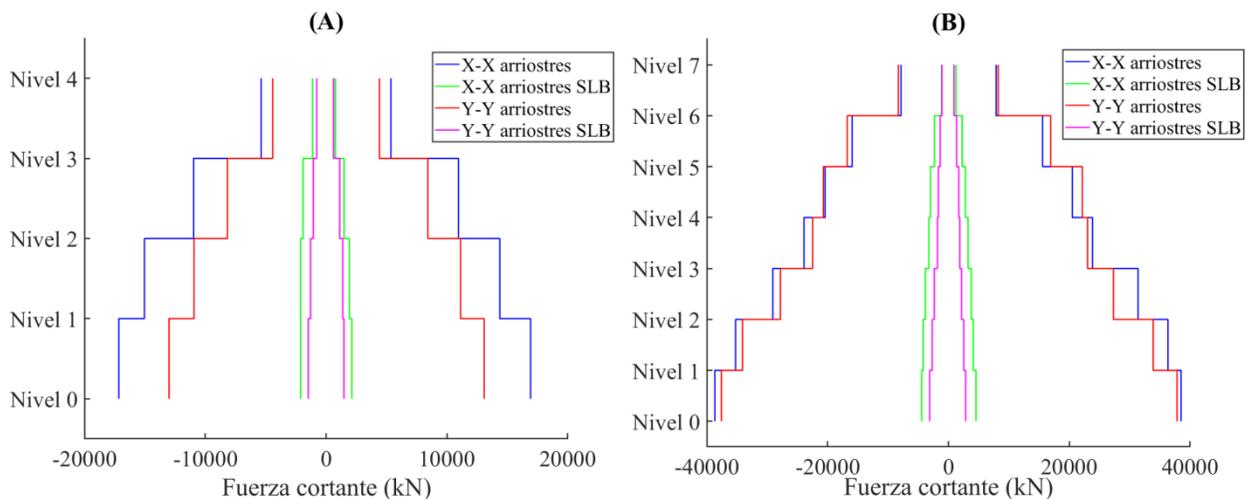


Figura 15. Cortantes máximos de piso en estructura metálica. (A) edificio 1, (B) edificio 2. SLB: disipador *Shear Link Bozzo*.

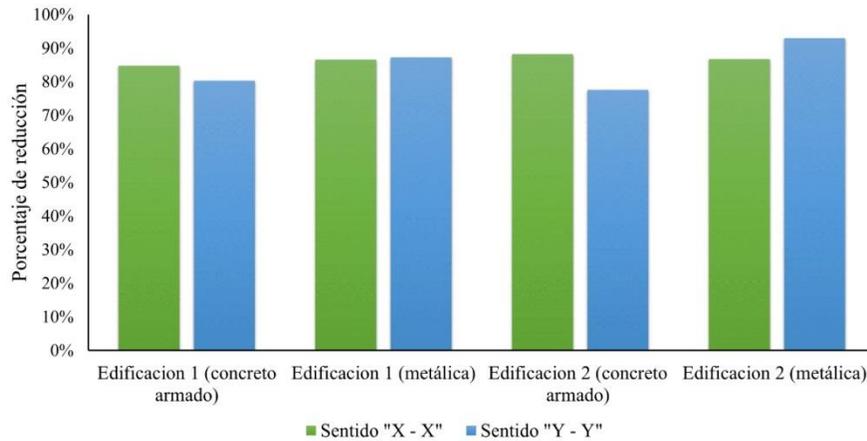


Figura 16. Análisis comparativo de cortantes máximos de piso de los edificios 1 y 2.

En la Figura 16 se muestra para el edificio 1 en el sistema constructivo de concreto armado con muros desacoplados con conexiones SLB, se redujo el cortante por piso en 84,80 % en el sentido X-X y 80,37 % en el sentido Y-Y, con relación a los muros de corte. De igual manera, en el sistema de estructura metálica con conexiones SLB se presentaron reducciones del 86,53 y 87,27 % en los sentidos Y-Y y X-X, respectivamente, con respecto a dichos arriostres sin conexión. En el caso del edificio 2, el sistema de concreto armado presentó una reducción del cortante por piso con el uso de muros desacoplados con conexiones SLB del 88,15 % en el sentido de X-X y del 77,56 % en el sentido de Y-Y, frente a muros de corte. Del mismo modo, en el sistema constructivo de estructura metálica se observaron reducciones con el uso de disipadores SLB del 86,73 y 91,74 % en los sentidos X-X e Y-Y, respectivamente, frente a las diagonales convencionales.

En el parámetro de cortantes máximos de piso se ve una reducción significativa con el uso de disipadores SLB, ya que al analizar los dos edificios, tanto en concreto armado como en estructura metálica, la reducción supera el 75 % del cortante máximo global, siendo el sistema de estructura metálica el que presenta una reducción mayor en ambos edificios (Enciso, 2019).

Balance de energía

Conociendo que los dispositivos SLB tienen como propósito la disipación de energía, en la Tabla 8 se observan los diferentes tipos de energía actuantes en la estructura de concreto armado y estructura metálica, siendo la energía histerética el porcentaje de disipación de energía del dispositivo SLB. En tal sentido, en las Figuras 17A y 17B se visualiza el porcentaje de energía disipada por los dispositivos SLB para los edificios de concreto armado y estructura metálica, respectivamente, donde se puede observar que son de gran ayuda ya que para los modelos propuestos absorbieron entre 38 y 62 % de la energía total del sismo actuante en las estructuras.

Tabla 8. Resultados de energía que ingresa a los edificios 1 y 2 con los sismos propuestos.

Evento	Entrada (KN-m)		Cinética (KN-m)		Potencial (KN-m)		Histerético Link (KN-m)		
	CA	EM	CA	EM	CA	EM	CA	EM	
Edificio 1	Pedernales Mag, 7,8	4685,6	3238,2	251,2	173,6	185,0	72,9	2812,4	1997,1
	Réplica 1 Mag, 6,7	3899,8	2480,4	406,0	128,6	427,5	90,2	2201,8	1464,8
	Réplica 2 Mag, 6,9	4277,3	2667,7	211,1	264,2	158,6	182,2	2594,9	1509,0
Edificio 2	Pedernales Mag, 7,8	16369,3	7972,3	1159,4	429,8	1159,9	142,4	7050,7	4213,0
	Réplica 1 Mag, 6,7	13311,4	6757,1	1774,0	418,7	1556,8	199,4	5773,3	3566,8
	Réplica 2 Mag, 6,9	15736,4	5256,4	1460,2	528,2	1353,4	233,1	6005,6	2700,9

CA: concreto armado, EM: estructura metálica, Mag: magnitud.

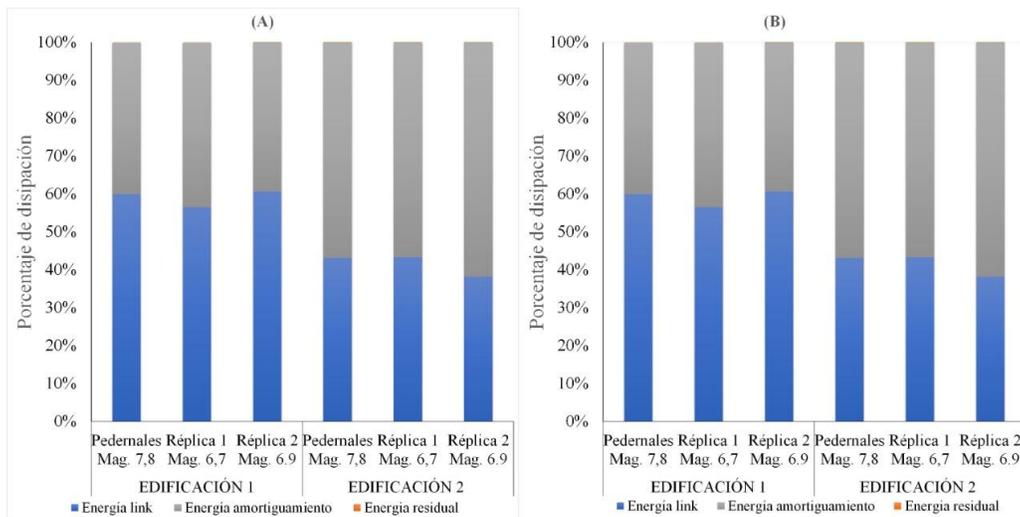


Figura 17. Balance de energía en (A) concreto armado y (B) estructura metálica de los edificios 1 y 2. Mag: magnitud.

Energía

En la Figura 18 se incluye el balance de energía para el edificio 1 en estructura metálica con dispositivos SLB, donde se puede observar cómo actúa este tipo de conexión durante la duración del evento sísmico de Pedernales, disipando parte de la energía total que ingresa al sistema.

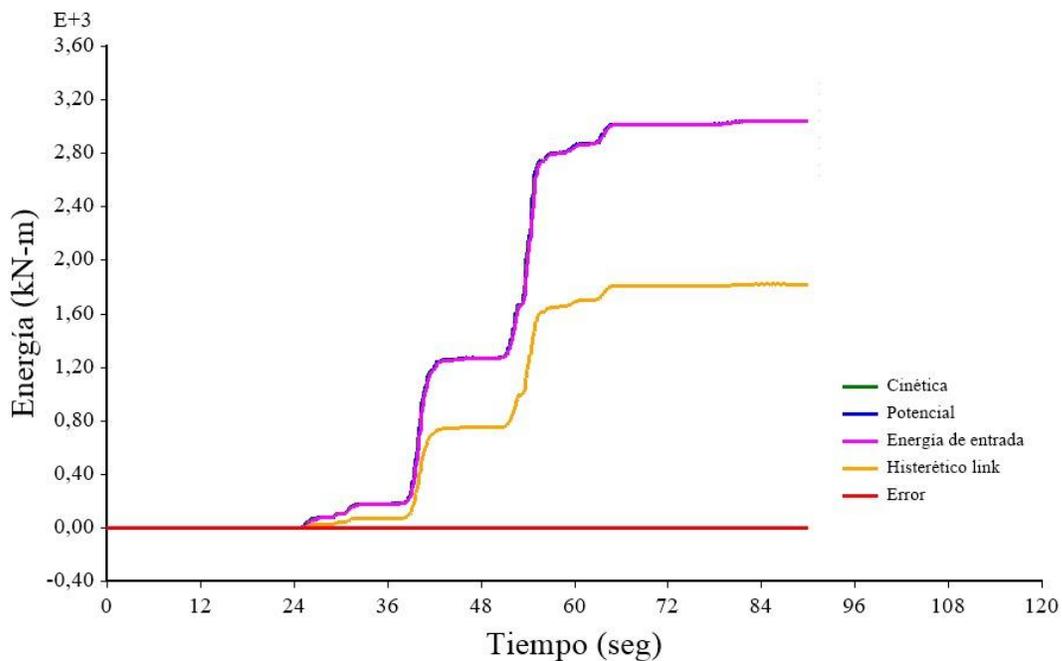


Figura 18. Balance de energía del edificio 1 en estructura metálica con el sismo de Pedernales.

Las conexiones SLB actúan disipando parte de la energía producida por un evento sísmico, por lo cual este parámetro se ve sujeto a las características arquitectónicas de cada edificio, tal como se muestra en el análisis, se

observó que los rangos de disipación son similares tanto para muros desacoplados en concreto armado como en arriostamientos concéntricos tipo Chevron en estructura metálica y su diferencia tuvo que ver con número de niveles y la fuerza cortante que intervino en cada piso

Conclusiones

Los disipadores SLB desarrollan un mejor desempeño ante la acción de sismos de gran magnitud, encontrándose su comportamiento óptimo al ingresar al rango no lineal, por lo cual, se pudo observar una reducción en los siguientes parámetros: cortantes máximos, desplazamientos y derivas inelásticas. También ayudan a absorber la gran cantidad de energía que se genera por un evento sísmico, tal como se muestra en las estructuras analizadas. Entonces, debido a esto, se concluye que ambos sistemas, muros desacoplados y arriostres concéntricos tipo Chevron, con la implementación de dispositivos SLB, presentan ventajas tanto en derivas, desplazamientos y cortantes de piso, con respecto a los métodos convencionales en las modelaciones presentadas, por lo cual, para implementar este nuevo método constructivo, se deben tomar en cuenta las necesidades y el financiamiento del proyecto.

Referencias Bibliográficas

ACI 318. (2008). *Requisitos de reglamento para concreto estructural*. Farmington Hills: American Concrete Institute (ACI).

Aguiar, R. (2016). *Reforzamiento de estructuras con disipadores de energía*. Quito: Instituto Panamericano de Geografía e Historia.

AISC 341. (2010). *Seismic provisions for structural steel buildings*. Chicago: Seismic Provisions for Structural Steel Buildings.

ASCE/SEI. (2022). *Minimum design load and associated criteria for buildings and other structures*. Virginia: American Society of Civil Engineers (ASCE).

Bozzo, L., Gonzales, H., Pantoja, M., Muñoz, E., Ramírez, J. (2019). Modeling, analysis and seismic design of structures using energy dissipators SLB. *International Symposium on Earthquake Engineering Enhancement of Building Technologies for Resilient Cities*, 27(4), 2-11.

Bozzo, L., Ramírez, J., Gonzales, H. (2019). *Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo SLB*. Barcelona: World Earthquake.

Bozzo, L., Gaxiola, G. (2015). *El concepto rígido flexible-dúctil y las conexiones SLB*. Memorias del congreso nacional de ingeniería sísmica. Ciudad de México: Sociedad Mexicana de Ingeniería, 1-20.

Cervantes, F., Albrizzio, Y. (2020). *Desempeño sísmico de un hospital de concreto armado con disipadores "SLB" Shear Link Bozzo en la zona sísmica 4*. Tesis de titulación. Lima: Universidad Ricardo Palma.

Etabs. (2018). Building analysis and design (versión 18.1) [en línea] disponible en: <https://www.Etabsespana.com/software/5/etabs#> [consulta: 18 enero 2022].

Enciso, F. (2019). *Análisis comparativo del diseño sísmico de una estructura con muros continuos y con muros desacoplados incorporando disipadores SLB en la ciudad de Huancayo*. Tesis de titulación. Huancayo: Universidad Nacional Del Centro.

Erazo, D., Vargas, P. (2020). *Desarrollo de un software para procesamiento y corrección de registros, y generación de espectros de respuesta sísmica*. Tesis de titulación. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

FEMA 356. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building rehabilitation*. Washington D. C.: Federal Emergency Management Agency.

FEMA 440. (2005). *Improvement of nonlinear static seismic analysis procedures*. Washington D. C.: Federal Emergency Management Agency.

Guerrero, A., López, O. (2019). Espectro de respuesta del sismo de Caracas de 1967. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad del Zulia*, 42(3), 104-111.

Mena, A. (2019). *Diseño estructural de un edificio de cinco plantas con estructura metálica. utilizando disipadores sísmicos SLB*. Tesis de titulación. Quito: Universidad Politécnica Salesiana.

NEC. (2015). Peligro sísmico. NEC SE DS. Quito: Dirección de Comunicación Social, MIDUVI.

Núñez, A. (2017). *Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia*. Tesis de titulación. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.

Quispe, C., García, P. (2019). *Reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo SLB en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima*. Tesis de titulación. Lima: Universidad Ricardo Palma.

RENAC. (2021). Red Nacional de Acelerógrafos (RENAC) - Instituto Geofísico - EPN [en línea] disponible en: <https://www.igeppn.edu.ec/red-nacional-de-acelerografos> [consulta: 05 febrero 2022].

Seismo Signal. (2016). Solutions seismosoft earthquake software [en línea] disponible en: <https://seismosoft.com/products/seismosignal/> [consulta: 16 febrero 2022].



UNIVERSIDAD
DEL ZULIA

REVISTA TECNICA

DE LA FACULTAD DE INGENIERIA
UNIVERSIDAD DEL ZULIA

Vol. 45. N°3, Septiembre - Diciembre, 2022 _____

*Esta revista fue editada en formato digital y publicada en Agosto 2022, por el **Fondo Editorial Serbiluz, Universidad del Zulia. Maracaibo-Venezuela***

**www.luz.edu.ve
www.serbi.luz.edu.ve
www.produccioncientificaluz.org**