

**UNIVERSIDAD CATÓLICA SANTO TORIBIO DE MOGROVEJO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**



**Evaluación del desempeño sísmico de un edificio incorporando  
amortiguadores de masa sintonizada**

**TRABAJO DE INVESTIGACIÓN PARA OPTAR EL GRADO ACADÉMICO DE  
BACHILLER EN INGENIERÍA CIVIL AMBIENTAL**

**AUTOR**

**Kevin Antonio Llontop Izquierdo**

**ASESOR**

**Ronald Esteban Villanueva Maguiña**

<https://orcid.org/0000-0002-3707-5503>

**Chiclayo, 2023**

## Articulo

### ORIGINALITY REPORT

24%

SIMILARITY INDEX

23%

INTERNET SOURCES

3%

PUBLICATIONS

11%

STUDENT PAPERS

### PRIMARY SOURCES

1	<a href="http://repositorio.urp.edu.pe">repositorio.urp.edu.pe</a> Internet Source	5%
2	<a href="http://hdl.handle.net">hdl.handle.net</a> Internet Source	2%
3	<a href="http://repositorio.upla.edu.pe">repositorio.upla.edu.pe</a> Internet Source	2%
4	<a href="http://elcomercio.pe">elcomercio.pe</a> Internet Source	2%
5	<a href="http://upcommons.upc.edu">upcommons.upc.edu</a> Internet Source	2%
6	<a href="http://repositorio.upt.edu.pe">repositorio.upt.edu.pe</a> Internet Source	1%
7	<a href="http://www.accentjournals.org">www.accentjournals.org</a> Internet Source	1%
8	<a href="http://dspace.utpl.edu.ec">dspace.utpl.edu.ec</a> Internet Source	1%
9	<a href="http://www.scielo.cl">www.scielo.cl</a> Internet Source	1%

## Índice

Resumen .....	4
Abstract .....	5
Introducción .....	6
Situación Problemática.....	7
Metodología .....	7
Resultados y Discusión .....	12
Conclusiones .....	14
Referencias .....	15

## Resumen

Perú está ubicado en uno de los continentes que presentan mayor actividad sísmica causando muchas pérdidas humanas y daños excesivos en elementos estructurales y no estructurales, así mismo para disminuir estos movimientos sísmicos se ha estudiado un sistema de protección sísmica llamado Amortiguamiento de masa sintonizada con el fin de aumentar el desempeño sísmico, El edificio analizado es: las dos torres de Salaverry ubicado en la ciudad de Chiclayo del territorio Peruano, Dicho amortiguamiento de masa sintonizada se ha colocado en la parte final del edificio con el propósito de disminuir los desplazamientos laterales ,Los Análisis utilizados han sido el Estático,Dinámico Y el Análisis tiempo historia cumpliendo también con los requisitos de la Norma E030 , Para el análisis tiempo historia se han seleccionado los sismos ocurridos en Piura el 18 de octubre de 2021 y el 3 de febrero Condorcanqui Amazonas y uno de los sismos más fuertes de Perú que es de lima 1974, de los resultados obtenidos se ha concluido que este sistema de amortiguamiento de masas sintonizada al incorporar a edificios reduce considerablemente los desplazamientos laterales, resultando ser uno de sistemas de protección sísmica favorable

**Palabras clave:** Amortiguador de masa sintonizada, Protección Sísmica, Desempeño Sísmico, Vulnerabilidad, Análisis Dinámico

## Abstract

Peru is located in one of the continents that present the greatest seismic activity, causing many human losses and excessive damage to structural and non-structural elements. Likewise, in order to reduce these seismic movements, a seismic protection system called Tuned mass damping has been studied in order to increase the seismic performance, The analyzed building is the two Salaverry towers located in the city of Chiclayo in the Peruvian territory, This tuned mass damping has been placed in the final part of the building with the purpose of reducing lateral displacements, The Analyzes used have been the Static, Dynamic and Time History Analysis, also complying with the requirements of Standard E030. For the time history analysis, the earthquakes that occurred in Piura on October 18, 2021 and February 3, Condorcanqui Amazonas and one of the strongest earthquakes in Peru, which is from Lima 1974, of the results obtained It has been concluded that this tuned mass damping system when incorporated into buildings considerably reduces lateral displacements, turning out to be one of the favorable seismic protection systems.

**Keywords:** Tuned mass damper, Seismic Protection, Seismic Performance, Vulnerability, Dynamic Analysis

## Introducción

América es uno de los continentes que presentan mayor actividad sísmica y sus movimientos llegan a magnitudes muy altas, causando muchas pérdidas en la humanidad y desastres. (Cunlata and Caiza 2022) ,Sin embargo, En el continente sudamericano principalmente los países de Argentina y Chile se encuentran las dos placas de Nazca y Sudamérica. Sabiendo que la placa de nazca se desplaza 6.6 cm/año hacia el este y al oeste la placa Sudamericana 3 cm/año, Esto hace que genere un proceso de convergencia ya que la placa de nazca se inserta debajo de la placa de Sudamérica provocando una zona de alta riesgo sísmico.(Cardona et al. 2017)

Así mismo Perú se encuentra en esta placa sudamericana y nazca y geográficamente se encuentra en el cinturón de fuego del pacífico donde ocurre cerca del 90% de actividad sísmica mundial siendo los más afectados por sismos, las ciudades de Chiclayo, Piura, Ica, La libertad, y algunas ciudades de la sierra. (EL COMERCIO 2014)

Dado a esto se producen daños excesivos en elementos estructurales y no estructurales por excitaciones sísmica intensas., con altos índices de daños en las edificaciones, Por la actividad sísmica debido al cinturón de fuego, La construcción en las zonas sísmicas está aumentando día a día en el Perú y la seguridad estructural tiene un papel importante en el desarrollo nacional. Por ello, a lo largo del tiempo, se han investigado en nuestro país diversas formas de reducir la vulnerabilidad de las edificaciones convencionales ya que estos cuentan con desplazamientos laterales elevados llegando a que la estructura pueda colapsar ante los impactos sísmicos(Espinoza, Neira, and Cifuentes 2018)(Lozada Ramos and Rivera Alfaro 2016). Así mismo en este proyecto de investigación se adoptado incorporar un amortiguador de masas sintonizada para contrarrestar la actividad sísmica ya que estos pueden ser de varios tipos como de concreto o masas de acero, descansando en apoyos elásticos, Los Amortiguadores son una opción factible debido a su diversidad comparándolos con otros sistemas de protección sísmica y también que su incorporación puedan ser en la base de un edificio o en el último piso, En Antecedentes anteriores se desarrolló una investigación para ver la efectividad de los amortiguadores de masas sintonizada , seleccionando sismos registrados en chicle como es el terremoto de Maule (2010) y el terremoto de Tarapacá (2005) en la cual se modelo la estructura para ver el comportamiento lineal y no lineal en el software SAP 2000 y Matlab,(Garrido 2016) concluyo que al colocar los registros sísmicos en una estructura de 10 pisos con masa sintonizada (AMS) se obtuvo una reducción de 55.3 % (de la respuesta sísmica) y una amplificación de 7.7% que el edificio sin amortiguador de masa sintonizada

Se cuenta con un gran número de investigadores, los cuales realizaron publicaciones sobre amortiguadores de masa sintonizada. Entre los investigadores más destacados en esta temática se encuentra Calderón, el cual realizo una investigación a partir del modelamiento de 2 estructuras de gran altura (Calderón 2017), se ha dedicado a utilizar la masa sintonizada como un elemento de protección sísmica ya que se encuentra ubicado en Loja , Sudamérica , el objetivo de su investigación, es modelar 2 estructuras con bastante altura y colocar los amortiguadores de masas sintonizada en el último piso diseñando el amortiguador a 0.2 % de la masa total de la edificación con la finalidad de conocer la influencia de los amortiguadores de masas, en la cual Calderón concluyó que la eficacia del Amortiguamiento de masas sintonizada (AMS) es mayor cuando este actúa para controlar la respuesta dinámica estructural por acción de cargas armónicas , y cuando los sismos son de larga duración es decir cuando el fenómeno sísmico y armónico

en el tiempo es mayor . por último, el autor recomendó utilizar los AMS en estructuras de mayor elevación ya que cumplen un mejor desempeño sísmico.

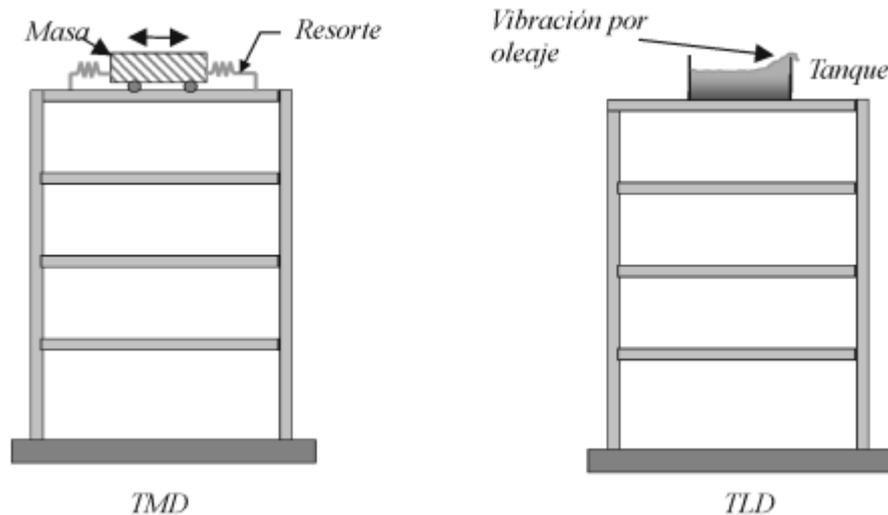
### Situación Problemática

En esta investigación se está tomando nueva tecnología como es el Amortiguador de masa sintonizada para evitar el riesgo sísmico de una edificación se centrará en ver el comportamiento sísmico de una estructura con amortiguadores de masas y realizar un análisis comparativo de una estructura con Amortiguador de masas sintonizada (Ams) y otra sin Amortiguador de masas sintonizada (Ams) Ya que nos encontramos en un área geográfica de vulnerabilidad sísmica

### Metodología

El Amortiguador actúa como una masa en el edificio este vibrara de tal modo que la vibración del edificio sea igual a la vibración de la frecuencia natural ,si estas frecuencias coinciden , entonces la masa del sistema principal permanece quieta, y el absorbedor genera en todo instante sobre la estructura fuerzas iguales y contrarias a la excitación (Oviedo and Duque 2009) El amortiguador de masa será modelado en un edificio ubicado en la ciudad de Chiclayo en territorio peruano, serán modelado en forma rectangular de concreto que descansa en cuatro aisladores elastómericos,

Figura 1 Sistema Convencional de Masa Sintonizada



Fuente : (Oviedo and Duque 2009)

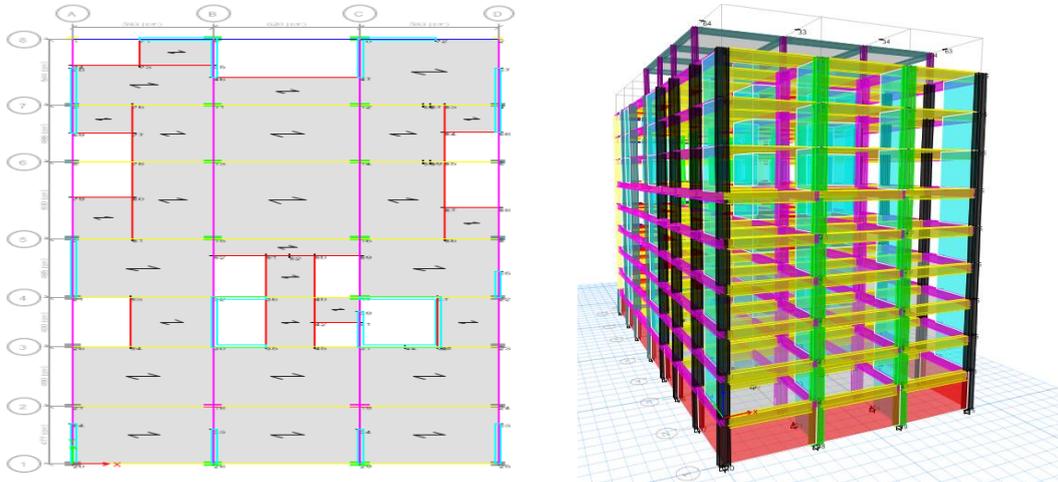
### Sistema estructural

-La Edificación analizada las dos torres de Salaverry conta de 9 pisos + 1 sótano +1 azotea teniendo una altura de entrepiso de 3 metros desde el sótano a la base y desde la base a los pisos posteriores es de 2.7 metros. (Ver la figura 2)

-Este diseño estructural es de concreto armado con un  $f_c = 210$  y un área de 17.96 metros de ancho y 34.92 de largo obteniendo 697.02 metros cuadrados

-Esta estructura presenta losas de  $h=20$  cm en la azotea y los demás pisos de,  $h=25$  cm de espesor, las vigas son la mayoría en dirección x de  $35 \times 65$  cm y  $25 \times 60$  cm en la dirección y con respecto a las columnas hay de varias dimensiones, pero en este modelo la más representativa es de  $90$  cm  $\times$   $35$  cm

Figura 2 Sistema Estructural del edificio Salaverry



Fuente: Elaboración Propia

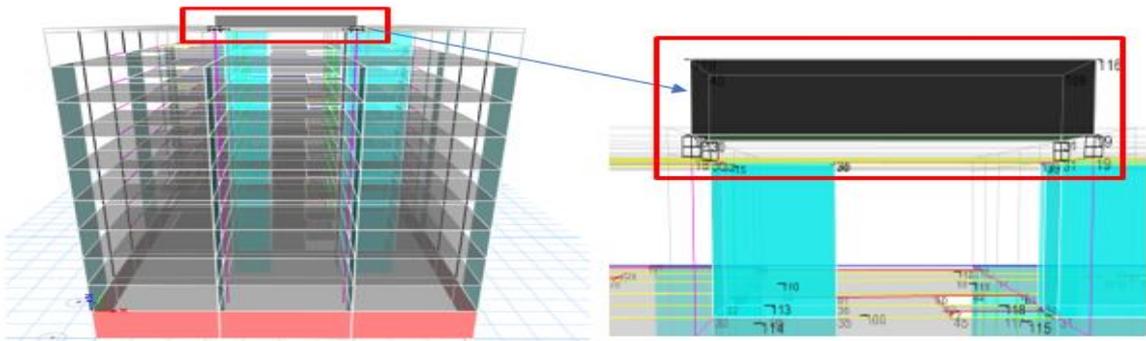
### Diseño del AMS e Incorporación en el Modelo matemático

En cuanto al diseño de la masa sintonizada amortiguada, se han encontrado investigaciones en las que se muestra la importancia de algunas características para su construcción. (González Martínez G, Machado Laitón L 2021)

La masa que se ha diseñado es de concreto apoyado en cuatro aisladores elastómericos con refuerzo de acero, los cuales actúan como un sistema de protección pasivo de masa, rigidez y amortiguamiento a la estructura. El bloque de concreto se definió a fin de cumplir con la masa requerida del AMS este diseño de amortiguador de masa se a colocado e el ultimo piso del edificio (Quispe and Rojas 2020)

-En la figura 3 se puede ver la Ubicación del Amortiguador de masa Sintonizada

Figura 3 Ubicación del Amortiguador de Masa Sintonizada



Fuente: Elaboración Propia

De Acuerdo al diseño se obtuvo criterios según la metodología de Sadek:

- la masa considerada es del 5% de la masa total del edificio Siendo  $u = 0.05$
- Se consideró una relación de frecuencias entre el AMS y el edificio igual a 1, siendo una sintonía perfecta. La rigidez del AMS se encuentra definida por la rigidez lateral de los aisladores elastómericos con refuerzo de acero. (Quispe and Rojas 2020)

$$Peso\ ams = u * Masa\ de\ la\ estructura$$

### **Rigidez del Amortiguador de masas sintonizada**

La rigidez total del AMS corresponde a la suma de las rigideces horizontales de los aisladores elastómericos. Para lo cual, de acuerdo a la ecuación, la rigidez total, del AMS es:

$$Kams = n \frac{4\pi^2 * P_T}{T^2 * g}$$

Se calcula  $P_T$  la carga de compresión máxima de un aislador

$$P_T = c * masa\ de\ la\ estructura$$

$c =$  porcentaje de masa participativa del primer modo de vibracion

### **Amortiguador de masa sintonizada**

El amortiguamiento del AMS, corresponde al amortiguamiento total de los 4 aisladores elastómericos, lo cual se obtiene mediante la expresión

$$C = 2\xi\sqrt{Kams * Aams}$$

### **Amortiguador de cada Aislador**

$$Caislador = \frac{C}{4}$$

Donde

$$Mams = \frac{PesoAMS}{g}$$

-Resumen de datos del amortiguador de Masa Sintonizada ver tabla 1

*Tabla 1 Datos del Amortiguador de Masa Sintonizada*

Datos del Amortiguador de masa sintonizada		
Pams	59.2139016	tn
Kams	2464.99287	tn/m
kaislador	616.248218	tn/m
Mams	6.0360756	tn*s <sup>2</sup> /m
Caislador	3.67949949	tn/m

## Análisis de respuesta Sísmica

El Análisis del comportamiento sísmico simula la respuesta de un edificio sometido a fuerzas sísmicas en la base de la estructura en este presente artículo nos basamos en la dinámica y en el modelo matemático, en este trabajo hemos considerado desarrollar los métodos de análisis de Estático o fuerzas equivalentes, respuesta modal espectral Y análisis tiempo historia (Esteba, Abel Edwar Dirigido, Apaza Miguel, Jesús García 2020)

### Análisis estático

La fuerza cortante total en la base de la estructura, se determinó usando la expresión dada por la Norma E-030:

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

Siendo  $z = 4$  un factor zona que se ubica en la costa del Perú,  $U$  se adoptado en 1 ya que es una edificación común,  $S$  es la amplificación del suelo de tipo  $s_2$  y se considera 1.05 y el factor de amplificación se a tomado  $c = 2.5$  y  $R$  es la reducción de la fuerza sísmica y se a tomado 5.4 estos parámetros se pueden ver en la tabla 2 de parámetros sísmicos

-se Hizo una verificación de Irregularidades en planta ( $I_p$ ) y en altura ( $I_a$ ) de acuerdo a la norma peruana e0.30

Tabla 2 Parámetros Sísmicos

PARAMETROS SISMICOS				
<b>UBICACIÓN:</b>		<b>FACTOR DE USO "U":</b>		
DEPARTAMENTO:	LAMBAYEQUE	FACTOR DE USO:	C	
PROVINCIA:	CHICLAYO	EDIFICACIÓN:	Comunes	
DISTRITO:	CHICLAYO	U =	1	
<b>FACTOR DE ZONA:</b>		<b>REDUCCIÓN DE FUERZA SÍSMICA:</b>		
ZONA:	4	SISTEMA ESTRUCT:	Dirección X	Dirección Y
Z =	0.45		DUAL	M ESTRUCT.
<b>AMPLIFICACIÓN DEL SUELO:</b>		$R_0 =$	7	6
TIPO DE SUELO:	S2	$I_a =$	1	1
S =	1.05	$I_b =$	1	1
$T_p (s) =$	0.60	$R =$	7	6
$T_L (s) =$	2.00			

Fuente: Elaboración Propia

El peso se obtuvo sumando las masas de todos los pisos del edificio y luego se multiplica por su gravedad para tener el peso total del edificio estos datos de la tabla 3 son extraídos del modelo matemático del software Etabs

Tabla 3 Peso de la Estructura

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s <sup>2</sup> /m	peso (TN)
BASE	D1	77.24886	757.8113166
Story1	D2	64.1818	629.623458
Story2	D3	64.1818	629.623458
Story3	D4	64.1818	629.623458
Story4	D5	64.1818	629.623458
Story5	D6	64.1818	629.623458
Story6	D7	64.1818	629.623458
Story7	D8	64.1818	629.623458
Story8	D9	58.83136	577.1356416
azotea	D10	18.25474	179.0789994
Peso de una estructura			5921.390164

Fuente: Elaboración Propia

## Análisis dinámico

### Aceleración Espectral

La Norma peruana E030 nos comenta que para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por (Norma E.030 Diseño Sismorresistente 2019)

$$S_a = \frac{Z * U * S * C}{R} * g$$

### Determinación de desplazamientos laterales.

Para estructuras regulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.75R, los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas. Para estructuras irregulares, los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por 0.85 R, los resultados obtenidos del análisis lineal elástico. En nuestra edificación como es una estructura Irregular en planta se multiplica por 0.85 R (Esteba, Abel Edwar Dirigido, Apaza Miguel, Jesús García 2020)

### Análisis Tiempo Historia

Este tipo de analisis consiste en ver el riesgo sismico atraves de acelerogramas ,en la cual en esta investigacion se ha tomado tres sismos ocurridos en el Peru estos sismos han sido escalados en su base (Esteba, Abel Edwar Dirigido, Apaza Miguel, Jesús García 2020)

### Sismos Seleccionados

Los sismos que han sido seleccionados y corregidos han sido los sismos ocurridos en el Piura 18 de octubre de 2021 y el 3 de febrero Condorcanqui Amazonas y uno de los sismos más fuertes de Perú que el de lima 1974

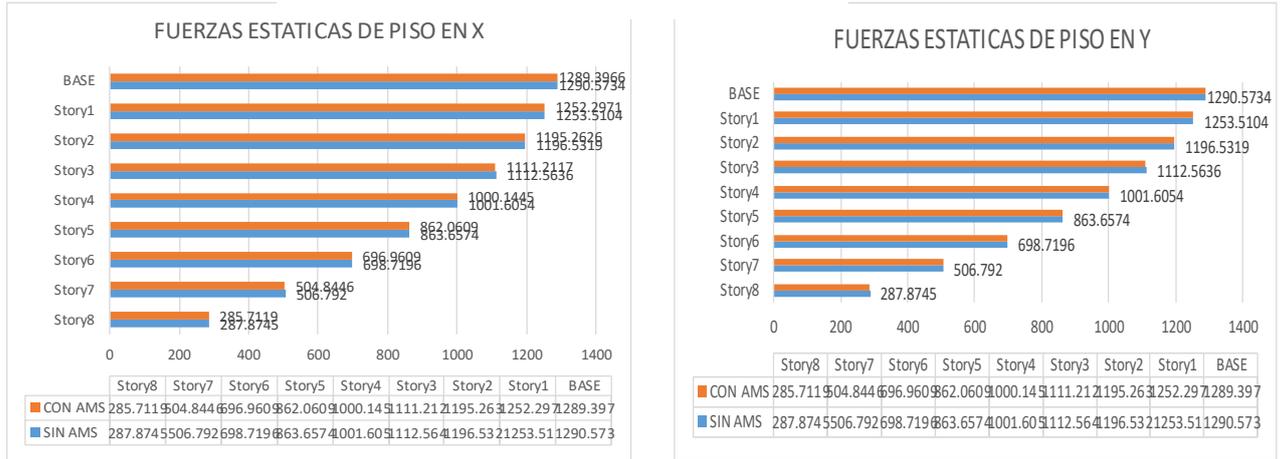
## Resultados y Discusión

### Evaluación de cortante de pisos estático y dinámico

-Como se puede ver en la figura 4 de las fuerzas estáticas de piso tanto para X y para Y hay una pequeña reducción

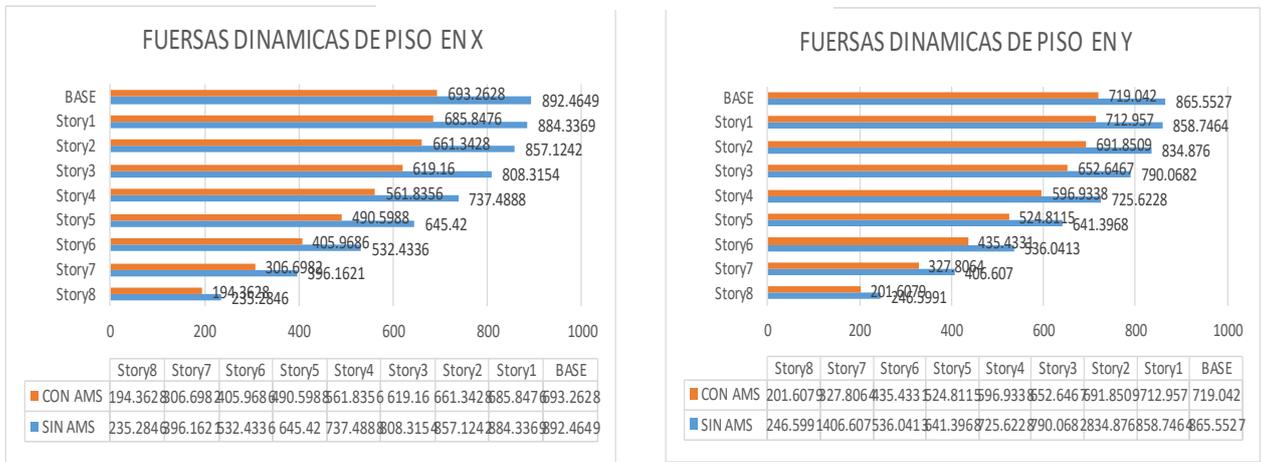
- En la figura 5 las fuerzas dinámicas por piso la reducción es más notable exactamente de un 20% de reducción por piso

Figura 4 Fuerzas Cortantes de Piso Dinámicas



Fuente: Elaboración Propia

Figura 5 Fuerzas Cortantes de Piso Estáticas

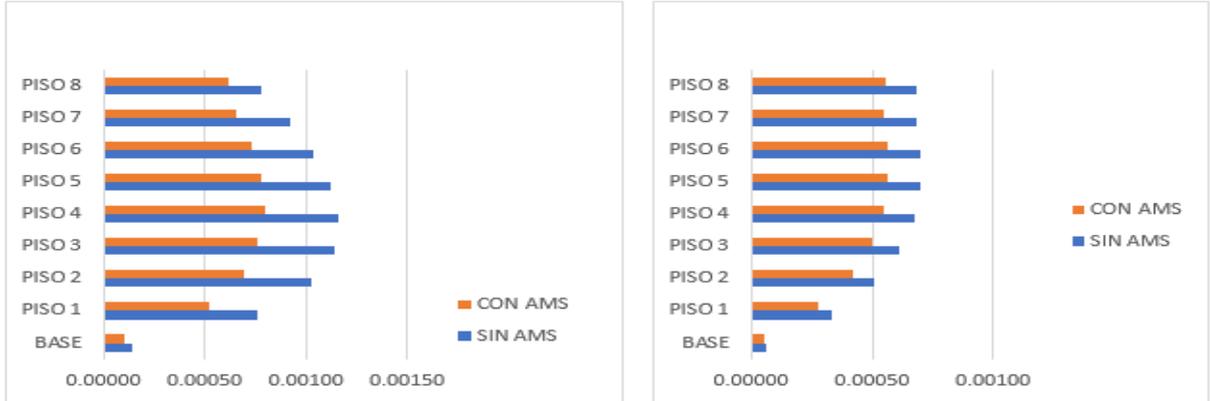


Fuente: Elaboración Propia

### Evaluación De Derivas

Los desplazamientos laterales (Derivas) obtenidos del modelo matemático cumple con el requisito de la Norma e0.30 y se puede observar en la figura 6 que la reducción tanto para Dirección X, como para Y es bastante, un aproximado de 22% en la dirección X y en la dirección Y un 17%

Figura 6 Desplazamientos Laterales

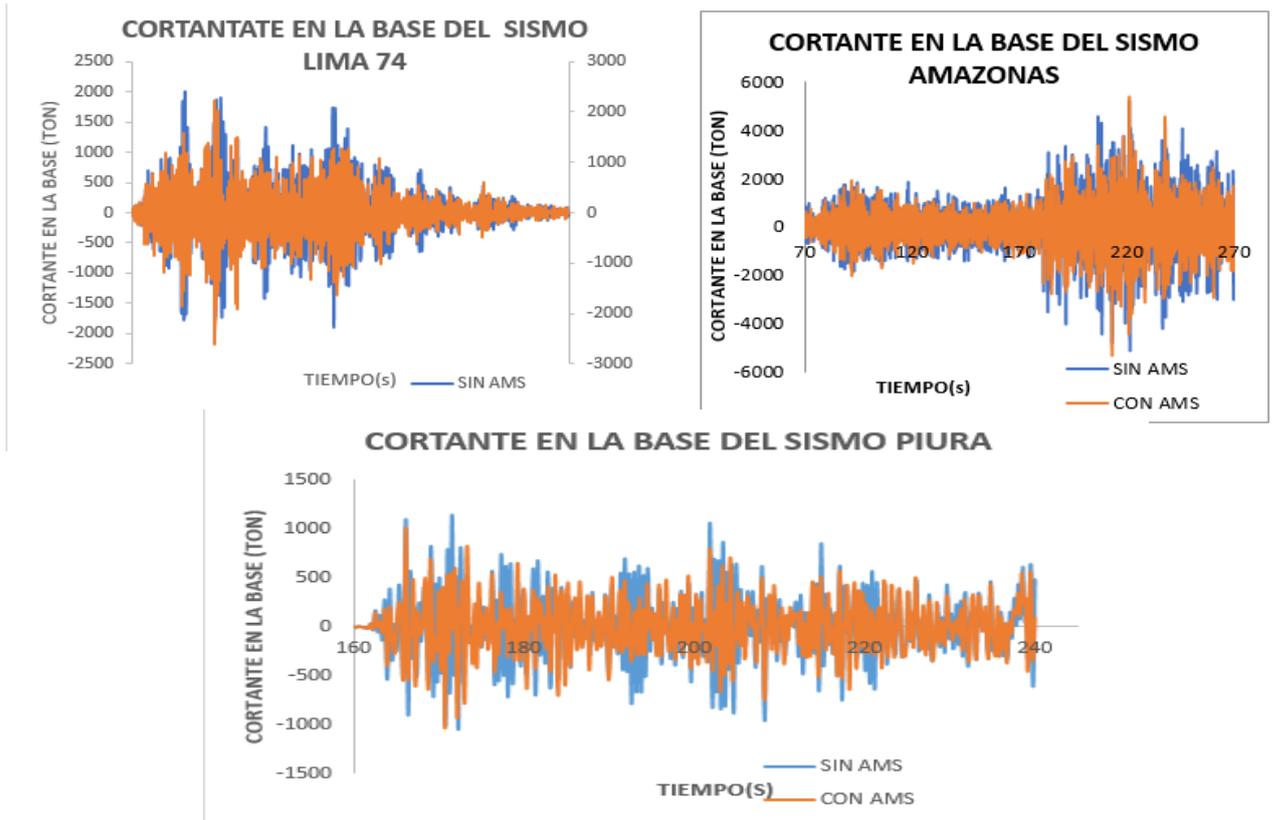


Fuente: Elaboración Propia

**Evaluación de cortante en la base con Análisis Tiempo Historia**

-Se puede Observar en la figura 7 que los cortantes en la base se han disminuido Al incorporar el Amortiguador de masa Sintonizada, Esta Reducción es Notoria en los tres Sismo Seleccionados

Figura 7 Cortante En la Base Tiempo Historia



Fuente: Elaboración Propia

## Conclusiones

-Se ha podido concluir que al incluir este sistema de amortiguamiento de masas sintonizada a edificios reduce considerablemente los desplazamientos laterales, resultando ser uno de sistemas de protección sísmica favorable ya que se puede incluir en la base del edificio y en la parte final.

-Al incluir el amortiguador de masa sintonizada se ha obtenido una reducción considerable de cortantes de piso dinámico aproximadamente de un 22% en cada piso y en los desplazamientos laterales la reducción habido un 20% para dirección X y para la dirección Y de un 17%

-Se ha podido concluir que los amortiguadores de masas sintonizada son más eficientes cuando se hace un análisis dinámico la reducción Es más notoria a comparación de un Análisis Estático

## Referencias

- Calderón, Enrique Israel. 2017. “Reducción de La Respuesta Dinámica En Estructuras Sismo Resistentes Con Amortiguadores de Masa Sintonizada.” 1–193.
- Cardona, Omar Darío, Gabriel A. Bernal, Daniela Zuloaga, Mario A. Salgado-Gálvez, and Diana González. 2017. “Amenaza Y Riesgo Sísmico Del Cono Sur.” *Revista de Estudios Latinoamericanos Sobre Reduccion Del Riesgo de Desastres* 1(1):43–69. doi: 10.55467/reder.v1i1.4.
- EL COMERCIO. 2014. “Sismos En Perú: ¿Qué Es El Cinturón de Fuego Del Pacífico Y Dónde Se Localiza? | MAPA | Anillo de Fuego Del Pacífico | Sismos | Temblores | Terremotos | Volcanes | Revtli | RESPUESTAS | EL COMERCIO PERÚ.” Retrieved October 13, 2022 (<https://elcomercio.pe/respuestas/sismo-que-es-el-cinturon-de-fuego-del-pacifico-y-donde-se-localiza-mapa-anillo-de-fuego-del-pacifico-sismos-temblores-terremotos-volcanes-revtli-noticia/>).
- Cunalata, Fabiana, and Pablo Caiza. 2022. “State of the Art of Seismic Vulnerability Studies in Ecuador.” *Revista Politecnica* 50(1):55–64. doi: 10.33333/RP.VOL50N1.06.
- Espinoza, Gilda, Diego Neira, and Albert Cifuentes. 2018. *Análisis de Un Amortiguador de Masa Sintonizado Óptimo En Estructuras Asimétricas No Lineales*.
- Esteba, Abel Edwar Dirigido, Apaza Miguel, Jesús García, Bairán. 2020. “Estudio De La Influencia De Las Demandas De Viento En Un Edificio De Altura Ubicado En Zona De Alta Sismicidad Y De La Efectividad De Los Medios Para Optimizar Su Diseño.”
- Garrido, Bastian. 2016. “Amortiguadores de Masa Sintonizada En Edificios Sometidos a Registros Sísmicos En Chile.” 1–27.
- González Martínez G, Machado Laitón L, ORTIZ CANO N. 2021. “Propuesta de Diseño de Un Amortiguador de Masa Sintonizada Para Modelos Dinámicos de Laboratorio.” 39. doi: 10.14482/inde.39.2.620.104.
- Lozada Ramos, Helbert Gonzalo, and Fernando Franco Rivera Alfaro. 2016. “REDUCCIÓN DE DESPLAZAMIENTOS LATERALES EN EDIFICIOS CON SISTEMA ESTRUCTURAL DE PÓRTICOS DE 7 A 10 PISOS UTILIZANDO AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA.”
- Norma E.030 Diseño Sismorresistente. 2019. “Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.” *El Peruano* 80.
- Oviedo, Juan Andrés, and María del Pilar Duque. 2009. “Disipadores Histeréticos Metálicos Como Sistemas De Control De Respuesta Sismica En Edificaciones.” *Revista EIA* (11):51–63.
- Quispe, Jorge, and Aarón Rojas. 2020. “Mejoramiento de La Respuesta Dinámica En Un Edificio de 26 Niveles Incorporando Amortiguadores de Masa Sintonizada En Jesús María.”