

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



**MEJORAMIENTO DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA  
EDIFICACIÓN DE 9 PISOS USANDO AMORTIGUADORES DE  
MASA SINTONIZADA CON TANQUES ELEVADOS EN EL  
DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR**

**TESIS**  
**PARA OBTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE**  
**INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**Bach. ROJAS PANDURO, GONZALO JOEL**

**ASESOR: Mg. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO**

**LIMA – PERÚ**

**2021**

## **DEDICATORIA**

A mis padres Amelia y Gonzalo quienes estuvieron apoyándome en todo momento a seguir adelante a conseguir mis metas y brindarse su apoyo incondicional. A mis hermanos Sandy y Henry, por todos sus consejos y motivación constante. A mis familiares y amistades que me apoyaron para la culminación de la presente investigación.

## **AGRADECIMIENTOS**

Nuestro agradecimiento al ingeniero Francisco Gárate por sus consejos, compromiso y apoyo brindado para el desarrollo de la presente tesis.

Gratitud hacia nuestra alma mater, la Universidad Ricardo Palma, que nos acogió y nos brindó la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente y a GLJ Constructores e Inmobiliarios por abrirme sus puertas en el desarrollo de mi tesis.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	i
ABSTRACT.....	ii
INTRODUCCIÓN .....	iii
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos .....	1
1.1.1.Descripción del problema .....	1
1.1.2.Formulación del Problema: .....	6
1.2 Objetivo general y específico .....	6
1.2.1Objetivo General .....	6
1.2.2Objetivos Específicos.....	6
1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática.....	7
1.4 Justificación e importancia .....	8
1.4.1Justificación de la investigación.....	8
1.4.2Importancia de la investigación .....	9
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO .....	10
2.1. Antecedentes del estudio de Investigación .....	10
2.1.1.Investigaciones Internacionales .....	10
2.1.2Investigaciones Nacionales .....	11
2.2. Bases teóricas.....	13
2.2.1.Sistema de protección sismo resistente .....	13
2.2.2.Sistemas de Control Semiactivo .....	16
2.2.3.Sistemas de Control Híbrido .....	16
2.2.4Sistemas de Control Pasivo.....	17
2.2.5.Estructuración en edificaciones.....	18
2.2.6.Aislamiento sísmico .....	20
2.2.7Dinámica estructural .....	22
2.2.8Acciones y fuerzas dinámicas .....	22
2.2.9.Masa, rigidez y amortiguamiento.....	23
2.2.10.Modelamiento dinámico.....	24

2.2.11 Amortiguadores de Masa Sintonizados (AMS) .....	25
2.2.12 Clasificación de amortiguadores de masa sintonizada.....	27
2.2.16 Modelo de un AMS.....	33
2.2.17 Amortiguador de Liquido sintonizado (ALS).....	33
2.2.18 Sistema de tanques elevados .....	40
2.2.19 Tipos de tanques elevados.....	41
2.2.20 Funciones y características de un tanque elevado.....	42
2.3. Definición de términos básicos.....	43
<b>CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS .....</b>	<b>44</b>
3.1. Hipótesis .....	44
3.1.1 Hipótesis General: .....	44
3.1.2 Hipótesis Específicos:.....	44
3.2. Variables de la investigación .....	44
3.2.1 Variable Independiente .....	44
3.2.2 Variable dependiente .....	45
3.2.3. Operacionalización de variables .....	45
<b>CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN .....</b>	<b>46</b>
4.1. Tipo y nivel.....	46
4.1.1 Tipo.....	46
4.1.2. Nivel .....	46
4.2 Diseño de la investigación .....	46
4.3 Población y muestra.....	46
4.4 Técnicas e instrumento de recolección de datos .....	47
4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos .....	47
4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	48
4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos .....	48
4.4.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	49
<b>CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA .....</b>	<b>50</b>
5.1 Generalidades .....	50
5.2 Modelación estructural .....	50
5.2.1 Propiedades de los materiales .....	52
5.2.2 Secciones de los elementos .....	55
5.3 Cargas consideradas.....	62

5.3.1 Carga muerta.....	62
5.3.2 Carga viva.....	63
5.4 Parámetros sísmicos.....	64
5.4.1 Factor de Zona .....	64
5.4.2 Parámetros de sitio.....	64
5.4.3 Factor de amplificación sísmica .....	66
5.4.4 Categoría de la edificación y factor de uso.....	66
5.4.5 Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas .....	67
5.5. Análisis dinámico .....	68
5.5.1 Aceleración Espectral .....	68
5.5.2 Máxima deriva de entrepiso.....	70
5.5.3 Fuerza cortante de entrepiso .....	71
<b>CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA .....</b>	<b>73</b>
6.1 Parámetros óptimos del AMS .....	73
6.1.1. Masa del AMS .....	73
6.1.2. Rigidez del AMS .....	73
6.1.3 Amortiguamiento el AMS .....	74
6.1.4. Diseño del AMS .....	75
6.2. Modelamiento del AMS en ETABS .....	76
6.2.1 Modelamiento del tanque de concreto.....	76
6.2.2 Modelamiento de los aisladores .....	76
6.2.1. Ubicación en planta del AMS .....	80
6.2.4 Máxima deriva de entrepiso con reforzamiento sísmico.....	80
6.2.5 Fuerza cortante de entrepiso con AMS .....	82
<b>CAPÍTULO VII: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS .....</b>	<b>83</b>
7.1. Comparación técnica .....	83
7.1.1 Modos de vibración.....	83
7.1.2 Derivas .....	84
7.1.3 Desplazamientos.....	85
7.1.4 Torsión .....	86
7.1.5 Cortante basal .....	86
7.2. Comparación económica .....	87
7.2.1. Generalidades .....	87

7.2.2. Estimación de costos .....	87
7.3. Contratación de hipótesis .....	100
CONCLUSIONES .....	103
RECOMENDACIONES.....	105
REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA.....	106
ANEXO .....	110
ANEXO 1: Matriz de consistencia.....	110
ANEXO 2 Matriz operacional de variable.....	111
ANEXO 3: Carta de Autorización .....	112

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Parámetros de los principales terremotos históricos que ocurrieron en el Perú entre los años 1513 y 1959.....	9
Tabla 2: Presupuesto de investigación.....	16
Tabla 3: Razones óptimas de frecuencia $f$ y amortiguamiento $a$ de AMS para tres amortiguamientos.....	33
Tabla 4: Cuadro de resistencias de diseño utilizadas en la estructura.....	58
Tabla 5: Cuadro de columnas establecidas en la estructura.....	61
Tabla 6: Cuadro de placas establecidas en la estructura.....	63
Tabla 7: Cuadro de vigas establecidas en la estructura.....	65
Tabla 8: Cuadro de losas establecidas en la estructura.....	67
Tabla 9: Cuadro de cargas muertas en la losa.....	68
Tabla 10: Cargas vivas de diseño.....	69
Tabla 11: Factores de Zona.....	70
Tabla 12: Factor de Suelo.....	71
Tabla 13: Período “TP” y “TL”.....	71
Tabla 14: Sistemas Estructurales y Coeficiente básico de reducción $R_0$ .....	73
Tabla 15 : Derivas de entrepiso de la estructura por sismo dinámico X-X.....	76
Tabla 16: Derivas de entrepiso de la estructura por sismo dinámico Y-Y.....	76
Tabla 17: Fuerzas de entrepiso por sismo en eje X.....	77
Tabla 18: Fuerzas de entrepiso por sismo en eje Y.....	77
Tabla 19: Derivas de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico X-X....	86
Tabla 20: Derivas de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico Y-Y....	87
Tabla 21: Fuerza de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico X-X....	87
Tabla 22: Fuerza de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico Y-Y....	88
Tabla 23: Parámetros óptimos del AMS.....	89
Tabla 24: Modos de vibración de la estructura sin y con AMS.....	90
Tabla 25: Derivas de la estructura sin y con AMS.....	91
Tabla 26: Desplazamientos del centro de masa sin y con AMS.....	91
Tabla 27: Efectos torsionales de la estructura sin y con AMS.....	92
Tabla 28: Fuerza cortante basal sin y con AMS.....	92



Tabla 29: Presupuesto base de estructuras del edificio sin AMS.....	94
Tabla 30: Presupuesto base de estructuras del edificio con AMS.....	97
Tabla 31: Presupuesto estimado de edificación sin y con AMS.....	100

## INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012 (profundidad de 0 - 60 km).....	13
Figura 2: Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012 (profundidad de interferencia 61-300 km).....	13
Figura 3: Mapa de zonificación sísmica.....	¡Error! Marcado
Figura 4: Ubicación de la edificación de 9 niveles en el distrito de Magdalena del Mar.....	16
Figura 5: Residencial Gloria IV.....	17
Figura 6: Comparación de respuesta sísmica de edificio.....	20
Figura 7: Comparación de edificio sin disipadores y edificio.....	21
Figura 8: Diagrama de control activo.....	¡Error! Marcado
Figura 9: Protección sísmica de estructuras.....	¡Error! Marcado
Figura 10: sistema de control semiactivo.....	¡Error! Marcado
Figura 11: sistema de control híbrido.....	¡Error! Marcado
Figura 12: Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras.....	¡Error! Marcado
Figura 13: Reducción de aceleraciones por cambio de periodo.....	26
Figura 14: Reducción de aceleraciones por incremento de amortiguamiento.....	26
Figura 15: Acción y respuesta determinista.....	¡Error! Marcado
Figura 16: Acción dinámica y propiedades de la estructura.....	¡Error! Marcado
Figura 17: Modelo con varios grados de libertad: (a) Pórtico, (b) Modelo dinámico....	29
Figura 18: Amortiguador de masa sintonizado montado a un Sistema Principal.....	¡Error! Marcado
Figura 19: Amortiguador de masa en la Torre Taipéi 101.....	¡Error! Marcado
Figura 20: Amortiguadores de masa sobre aisladores.....	33
Figura 21: Amortiguador de masa sobre aisladores y deslizadores.....	¡Error! Marcado
Figura 22: Modelo general de AMS.....	¡Error! Marcado
Figura 23: Modelo de estructura-ALS.....	39
Figura 24: Ondas progresivas en agua de profundidad constante.....	40
Figura 25: Definición geométrica del amortiguador líquido sintonizado.....	41
Figura 26: Historias de tiempo de superficie libre cerca de la resonancia más baja; (a) Experimente con $w / w_1 = 1.00$ (b) Cálculo con $w / w_1 = 1.00$ (c) Cálculo con $w / w_1 =$	

1.05 (d) Cálculo con $w / w_1 = 1.05$ .....	43
Figura 27: Variación de los extremos relativos de la onda.....	44
Figura 28: Dos tipos de tanque elevado.....	45
Figura 29: Esquema estructural de un tanque elevado.....	45
Figura 30: Vista 3D del edificio modelado en el programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 31: Vista de una planta típica del edificio Gloria IV.....	59
Figura 32: Definición de concreto $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 33: Definición de concreto $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 34: Definición de concreto $f'c=350$ kg/cm <sup>2</sup> en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 35: Definición de concreto $f'c=280$ kg/cm <sup>2</sup> en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 36: Definición de la columna C-1 en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 37: Definición del refuerzo para la columna C-1 en programa ETABS.....	64
Figura 38: Definición de la placa P-1 en programa ETABS.....	66
Figura 39: Definición de la viga V-1 en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 40: Definición de la losa aligerada de 20cm en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 41: Definición de cargas en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 42: Espectro de respuesta definido en el Software ETABS v16.0.2.....	76
Figura 43: Definición de las cargas sísmicas dinámicas en el Software ETABSv.16.0.2.....	77
Figura 44: AMS del tanque.....	83
Figura 45: Modelamiento de las paredes del tnque en programa ETABS.....	84
Figura 46: Modelamiento de los aisladores en programa ETABS.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 47: Rigidez y amortiguamiento en la dirección U2.....	85

Figura 48: Rigidez y amortiguamiento en la dirección U3.....	86
Figura 49: Rigidez y amortiguamiento en la dirección R1.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
Figura 50: Ubicación del AMS en la estructura.....	
	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>

## RESUMEN

La presente investigación se basó en el uso de amortiguadores de masa sintonizada (AMS) con tanques elevados como un mecanismo de disipación de energía en un edificio multifamiliar, el cual tuvo como objetivo principal mejorar la respuesta dinámica de una estructura de 9 niveles incorporando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en el distrito de Magdalena del Mar.

Se analizó la estructura con y sin amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados, con apoyo de la Norma Técnica Peruana E030 Diseño Sismorresistente, mediante un análisis dinámico con el Software ETABS 2016 versión 16.0.2, el cual nos permitió obtener y comparar los resultados para cuantificar la mejora de la estructura en su respuesta dinámica.

En este ensayo se diseñó tres AMS con tanques elevados para modificar el comportamiento dinámico de la estructura a partir del primer modo de vibración. Los resultados obtenidos en cuanto a reducción de derivas se encontraron en un rango del 0.65% al 5.50%, los esfuerzos torsionales se redujeron hasta 5.01%, los desplazamientos hasta 3.5% y la fuerza cortante alcanzó una reducción de hasta 2.98%. Además, se obtuvo que el costo de implementación de todo el sistema representa tan solo el 5.63% del presupuesto base de estructuras en la edificación, lo cual no representó una incidencia significativa a comparación de la mejora en la respuesta dinámica que aporta al edificio.

Con esta mejora en el comportamiento dinámico del edificio se demostraron los beneficios del AMS con tanques elevados frente a un evento sísmico; con lo cual se reconoce el potencial uso de este sistema de disipación de energía.

**Palabras clave:** Respuesta dinámica, amortiguadores de masa sintonizada, tanques elevados, análisis sísmico

## **ABSTRACT**

The present research was based on the use of tuned mass dampers (AMS) with elevated tanks as an energy dissipation mechanism in a multi-family building, which had as main objective to improve the dynamic response of a 9-level structure incorporating dampers of tuned mass with elevated tanks in the Magdalena del Mar district.

The structure was analyzed with and without tuned mass dampers with elevated tanks, with the support of the Peruvian Technical Standard E030 Seismic-resistant Design, a dynamic analysis with the ETABS 2016 Software version 16.0.2, which obtained and compared the results to quantify improving the structure in its dynamic response.

In this test, three AMS with elevated tanks were designed to modify the dynamic behavior of the structure from the first vibration mode. The results obtained in terms of drift reduction were found in a range of 0.65% to 5.50%, torsional stresses were reduced to 5.01%, displacements to 3.5% and shear force achieved a reduction of up to 2.98%. In addition, the budget was obtained that the cost of implementation of the entire system represents only 5.63% of the base of structures in the building, which did not represent a significant incidence compared to the improvement in the dynamic response that it contributes to the building.

With this improvement in the dynamic behavior of the building, the benefits of AMS with elevated tanks in the face of a seismic event were demonstrated; with which the potential use of this energy dissipation system is recognized.

**Keywords:** Dynamic response, tuned mass dampers, elevated tanks, seismic analysis

# INTRODUCCIÓN

El presente trabajo se realiza en el departamento de Lima, donde en los últimos años se muestra un aumento de la población, lo cual implica una mayor demanda en las obras de edificios de gran altura. Este incremento vertical de las construcciones provoca que existan más grandes indagaciones relacionadas con las respuestas sísmicas que logren tener los inmuebles frente a cualquier acontecimiento telúrico, a fin defender y de asegurar la estabilidad de los individuos que las habiten.

Es por tal motivo que se presenta la siguiente tesis de investigación, mediante procedimientos analíticos y modelamiento numérico apoyados de la Norma Técnica Peruana E030 Diseño Sismorresistente y el Software ETABS, analiza un edificio multifamiliar, con el objetivo principal de mejorar la respuesta dinámica de una estructura de 9 niveles incorporando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, a fin de evaluar la eficiencia de estos disipadores de energía en conjunto con los tanques elevados en edificios de gran altura.

Para lo cual, se realiza un análisis dinámico del edificio con y sin el uso de amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados, obteniendo su respuesta sísmica en cuanto a derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales y fuerzas cortantes, a fin de comparar y cuantificar la mejora del comportamiento estructural de la estructura al incorporar el AMS con tanques elevados en el último nivel del edificio.

En el capítulo 1 se describe el planteamiento del problema, se presenta el problema, los objetivos, las delimitaciones, la importancia, la justificación y la limitación del estudio.

En el capítulo 2, se desarrolla el marco teórico, en donde se profundiza los conceptos relacionados a la presente investigación, los cuales sirven de soporte para sustentar el estudio, además de formular la hipótesis general e hipótesis específicas.

En el capítulo 3, se realiza el sistema de hipótesis, indicando las variables dependientes e independientes de la investigación.

En el capítulo 4, se realiza la metodología de la investigación, indicando el tipo y nivel, diseño de la investigación, población y muestra, tipos y criterios de confiabilidad, procedimiento, técnicas y análisis para la recolección de datos.

En el capítulo 5, se realiza el análisis sísmico de la estructura modelando en el software ETABS, adicionándole las propiedades de los materiales, sección de elementos, cargas consideradas, parámetros sísmicos según la norma E030 para obtener la respuesta dinámica sin el amortiguador de masa sintonizada con tanque elevado.

En el capítulo 6, se realiza el análisis sísmico de la estructura con los amortiguadores de masa sintonizada modelando en el software ETABS, adicionándole las propiedades de los materiales, sección de elementos, cargas consideradas, parámetros sísmicos según la norma E030 para obtener la respuesta dinámica sin el amortiguador de masa sintonizada con tanque elevado.

En el capítulo 7, se muestran y se analizan los resultados obtenidos a partir del análisis dinámico sin y con la incorporación del AMS con tanques elevados. Estos resultados se comparan en tablas técnicas y económicas, mostrando las derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales, fuerzas cortantes y presupuestos.

Con ello se generan las conclusiones correspondientes, los cuales responden a los objetivos e hipótesis, y se presentan recomendaciones que se deben tener en cuenta para futuras investigaciones.



# CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

## 1.1. Descripción y formulación del problema general y específicos

### 1.1.1. Descripción del problema

El presente trabajo de investigación se refiere al uso de amortiguadores de masa sintonizada adecuado para la aplicación en edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.

Uno de los grandes problemas en el Perú, sobre todo en Lima zona costera es la intensidad de los sismos, por lo que se tiene que sobre esforzar las estructuras para evitar daños. El crecimiento de las ciudades con la inmigración de personas hace que se incremente el crecimiento vertical de las edificaciones, donde hacen ver la necesidad de la implementación del uso de técnicas de control de respuesta sísmica con las que se puede hacer frente.

Ante ello existen dispositivos económicos que ayudan a minimizar los daños generados por los sismos, los amortiguadores de masa sintonizada en una edificación se encargan de minimizar los desplazamientos y torsiones que se pueda generar ante un movimiento sísmico, así mismo reduciendo las sollicitaciones de los elementos estructurales.

Los amortiguadores de masa sintonizada, conocidos de igual manera por el acrónimo TMD (del inglés tuned mass damper), son dispositivos para absorber vibraciones y ofrecer con la estabilización del desplazamiento en una composición sometida a una fuerza externa, evitando que la composición padezca perjuicios. Estos dispositivos son sistemas mecánicos del tipo amortiguador masa-resorte dotados de uno o más grados de independencia y diseñados para estar en resonancia con la composición en la que permanecen instalados. Una vez que la composición vibra por estar sometida a alguna fuerza de la misma forma que, ejemplificando, viento o un movimiento sísmico, los amortiguadores oponen la inercia de la masa al desplazamiento de vibración, generando de aquel modo, como impacto de la resonancia, fuerzas de igual intensidad y símbolo contrario capaces de anular los movimientos de la composición. En el campo técnico de la construcción y la obra, y en especial

en la obra de construcciones muy elevadas como por ejemplo edificio, torres y puentes que resultan muy propensos a eventos sísmicos y eólicos, los amortiguadores de masa sintonizados se fabrican en forma de construcciones pendulares en las que la masa es un bloque de cemento o acero soportado por cables o brazos juntos a la composición. La masa se mueve conforme con la ley de desplazamiento de un péndulo, almacenando y liberando energía potencial de manera semejante a una masa ligada por medio de un resorte de un sistema de amortiguador masa-resorte, consiguiéndose la acción de amortiguación por medio de uno o diversos medios de amortiguación, ejemplificando, de tipo hidráulico, dispuestos en una o algunas direcciones de desplazamiento predeterminadas. (Marioni, 2012)

Los monumentales sismos que perjudicaron al territorio peruano en el pasado es un registro fundamental pues posibilita conceptualizar el real potencial sísmico de cada zona. En Perú sobre la sismicidad histórica data del año 1500 y la calidad y autenticidad de su información dependerá del reparto y densidad de la población en las zonas dañadas por los sismos (ver figura 1 y figura 2). Para estos sucesos se sabe la fecha de ocurrencia, entonces tienen la posibilidad de ser usados para evaluar la tasa de recurrencia y la sismicidad de una cierta zona. La colección de esta información ha sido desarrollada por Silgado (1978) y Dorbath (1990); siendo más grande para eventos ocurridos ante la costa peruana con en relación con los que habrían ocurrido en el interior del territorio (ver tabla 1). Según dichos autores, los terremotos de más grande intensidad ocurridos ante la costa son el de 1586 (primer gran sismo con documentación histórica), 1687 y 1746 que destruyeron en gran porcentaje a la urbe de Lima, además de generar tsunamis con olas que probablemente alcanzaron alturas de 15-20 metros. En la zona sur, los terremotos más notables fueron los ocurridos en 1604, 1784 y 1868, siendo este último el mejor documentado y descrito en detalle por Montessus de Ballores (1911) y Vargas (1922). Estos sucesos produjeron males relevantes en las localidades de Arequipa, Moquegua y Tacna; además de Arica e Iquique en Chile. El sismo de 1868 habría creado tsunami con olas 14 metros de elevación perjudicando a los apartamentos de Tacna (Perú), Arica e Iquique (Chile). (Instituto Geofísico del Perú, 2014)

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

Fecha (dd-mm-aa)	Longitud	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	8.4
06-08-.1915	-15	-76	IX	7.2
24-05-.1940	-8.3	-77.8	X	7.5
10-11-.1946	-11	-75	IX	6
01-11-.1947	-14.4	-72.1	VII	7.7

Fuente: Instituto geofísico del Perú

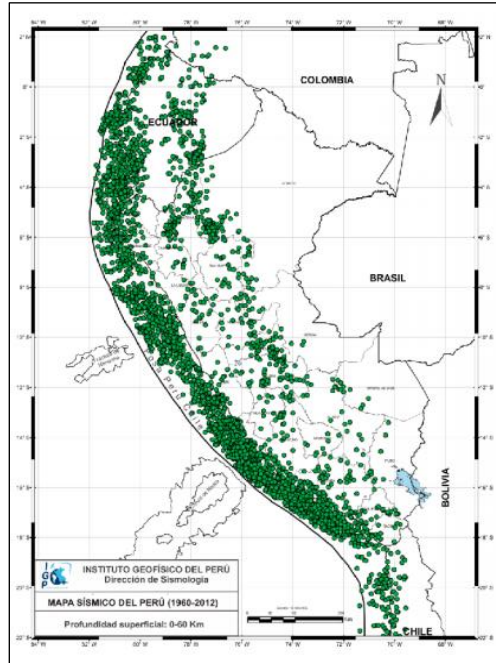


Figura 1: Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012 (profundidad de 0 - 60 km)

Fuente: Instituto geofísico del Perú

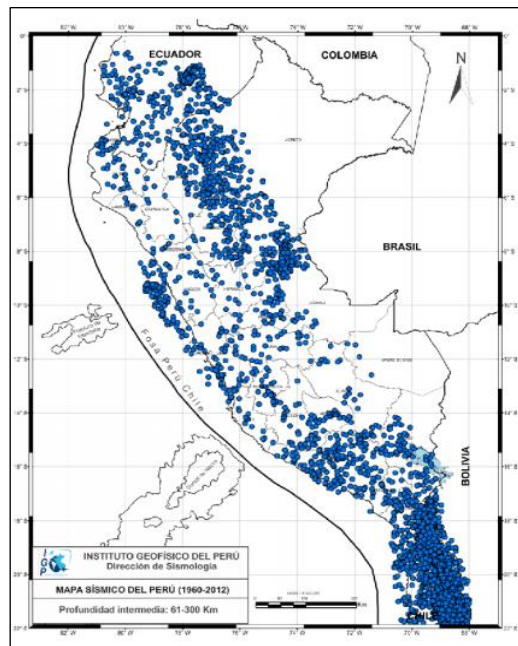


Figura 2: Mapa de sismicidad para el Perú, periodo 1960 al 2012 (profundidad de interferencia 61-300 km)

Fuente: Instituto geofísico del Perú

La situación geográfica del territorio peruano se ubica dentro del famoso "Anillo de Fuego". Existe una denominada zona de convergencia donde las placas chocan y provocan el proceso. La corteza oceánica se transporta bajo la placa continental provocando terremotos y tsunamis muy grandes en la Tierra. Antes de la costa de Perú y gran parte de América del Sur, la zona de contacto en expansión de la corteza oceánica de Nasca, introducida a un ritmo más lento que la placa continental de América del Sur, comienza una serie de procesos semanales. Actuó en Arequipa en 2001 y en Pisco en 2007. Como resultado, las ciudades costeras del territorio peruano están constantemente expuestas a terremotos y tsunamis. (INDECI, 2017, pág. 3).

Así mismo, Lima, capital del país y zona en la cual se desarrollará este estudio, se encuentra ubicado en la Zona Sísmica 4 (Ver Figura 3), según el mapa de Zonificación

Sísmica del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018); y que, además, es la ciudad que cuenta con la mayor densidad poblacional a nivel nacional, lo cual provoca que exista una mayor demanda en construir edificios cada vez más altos.

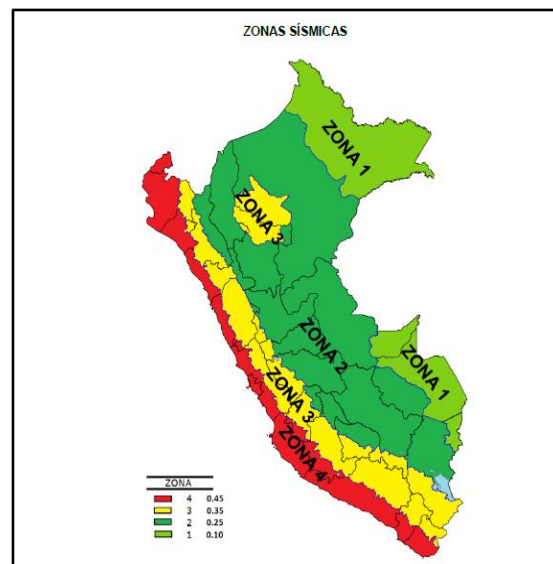


Figura 3: Mapa de zonificación sísmica.

Fuente: Ministerio de Vivienda y Construcción, 2018. Norma Técnica Peruana E.030.

### 1.1.2. Formulación del Problema:

#### a. Problema general

¿Cómo realizar el mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos usando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en el distrito de Magdalena del Mar?

#### b. Problemas específicos

- ¿Cuál es el peso óptimo del tanque elevado para mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar?
- ¿Cuál es el comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado, frente a los sismos en el distrito de Magdalena del Mar?
- ¿Cuál es el nivel de eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada, ante los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar?

## 1.2 Objetivo general y específico

### 1.2.1 Objetivo General

Realizar el mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos usando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en el distrito de Magdalena del Mar.

### 1.2.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar el peso óptimo del tanque elevado para mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.
- b) Evaluar el comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado, frente a los sismos en el distrito de Magdalena del Mar.
- c) Determinar la eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada, frente a

los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar.

### 1.3. Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática

#### 1.3.1 Delimitación temporal

La presente investigación se realizará en 6 meses, contando desde el mes de Mayo hasta el mes de octubre, sustentándolo en el mes de diciembre.

#### 1.3.2 Delimitación espacial

La presente tesis se realizará en el distrito de Magdalena del Mar, ubicado en el Jirón Alfonso Ugarte 535 con ubicación en las coordenadas latitud - 12.093095518766825 y longitud -77.0751726868813 (ver figura 4), cuya residencial tiene el nombre de Gloria IV (ver figura 5).

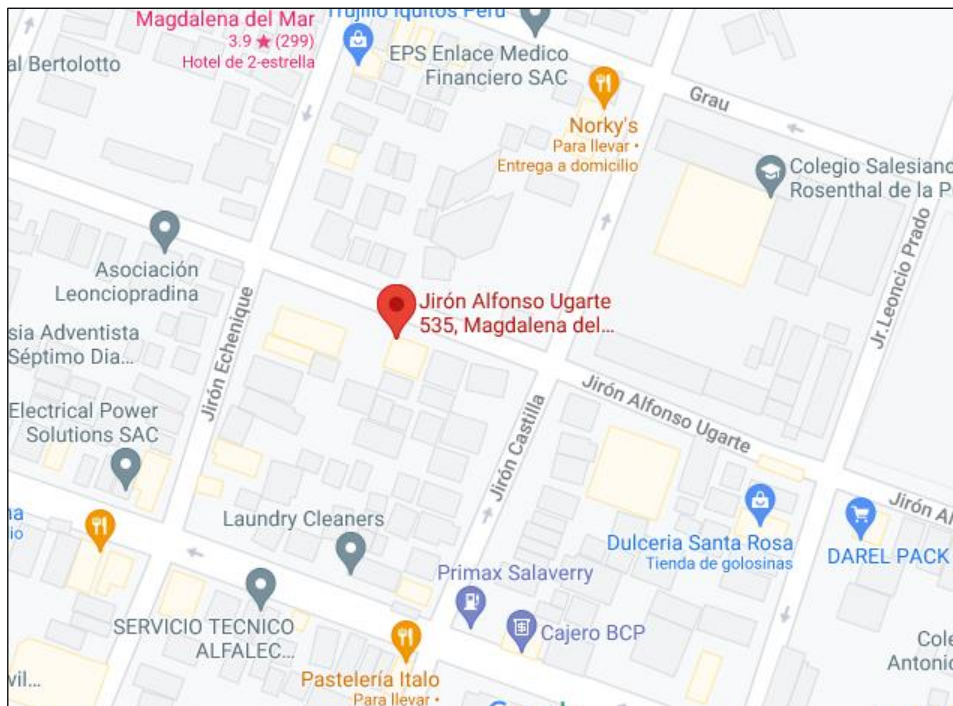


Figura 4: Ubicación de la edificación de 9 niveles en el distrito de Magdalena del Mar

Fuente: Google Maps.



Figura 5: Residencial Gloria IV

Fuente: fuente propia

### 1.3.3 Delimitación temática

La presente tesis tiene como línea de investigación el uso de amortiguadores de masa en edificios de 9 niveles en el distrito de Magdalena del Mar para reducir la respuesta dinámica ante un sismo, no se pretende realizar el diseño de la edificación ni de los amortiguadores, ya que solo está enfocado en el análisis de la estructura con y sin el uso amortiguadores de masa sintonizada de manera analítica, contando con los elementos estructurales del edificio previamente diseñado.

## 1.4 Justificación e importancia

### 1.4.1 Justificación de la investigación

#### a. Justificación teórica

La presente tesis se realiza con el propósito de aportar al conocimiento sobre el uso de amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en edificaciones de 9 niveles en el distrito de Magdalena del Mar, cuyos resultados podrán sintetizarse en una propuesta para ser incorporado en



más edificaciones a futuro, ya que se estaría demostrando que su uso mejoraría la respuesta dinámica de la edificación.

b. Justificación práctica

La presente tesis se realiza por la necesidad de saber el mejoramiento del desempeño de una edificación de 9 niveles usando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados, el cual reducirá las derivas y torsiones que genera el sismo en un rango permisible por la Norma E.030 Norma Técnica Diseño Sismo Resistente.

c. Justificación social

La presente tesis ofrece soluciones de demanda a la sociedad dando una buena calidad de vida, ya que al usar los amortiguadores de masa se reducirá la torsión y flexión que genera un sismo, por lo que se reducirá el sobre dimensionamiento de las estructuras reduciendo el costo de gasto de materiales como el acero y por ende se estaría reducción el costo de departamentos, el cual la sociedad tendrá mayor acceso.

d. Justificación económica

Para la elaboración de la presente tesis se presupuestó 1410 para los gastos.

#### 1.4.2 Importancia de la investigación

La presente tesis tiene como novedad usar amortiguadores de masa con tanques elevados que permitirá obtener una óptima respuesta dinámica ante un sismo.

Hasta el momento se ha llegado a estudiar edificios con amortiguadores de masa sintonizada con estructuras asimétricas y simétricas, la presente investigación tiene como novedad usar los amortiguadores en conjunto con la masa de un tanque elevado, el cual permitirá la mejora dinámica de la edificación y a la vez usar la masa del líquido dentro del tanque para contrarrestar desplazamientos y torsiones, el fluido del tanque se podrá usar como fluido contraincendios o como abastecimiento de agua para los departamentos ante cualquier emergencia.

En el distrito de Magdalena del Mar no se ha usado a la fecha amortiguadores de masa sintonizada, por lo que sería una opción novedosa y óptima para la mejora dinámica del edificio.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

### 2.1. Antecedentes del estudio de Investigación

#### 2.1.1. Investigaciones Internacionales

Bassotti y Ambrosini (2004) realizaron un trabajo de investigación "Influencia de Amortiguadores de masa sintonizados en la disminución de efectos torsionales de estructuras sismorresistentes" el cual tiene como objetivo principal estudiar numéricamente la respuesta torsional de una estructura asimétrica incorporando los AMS. Se usó en este análisis, como modelo físico, un modelo general de vigas y para laborar el dominio de la frecuencia se utilizó un procedimiento de incorporación numérica conjuntamente con el algoritmo de la transformada instantánea de Fourier (FFT). Los resultados de la averiguación indican que las instalaciones de los AMS en posiciones apropiadas poseen un doble beneficio, por un lado, disipa la energía que ingresa por el terremoto en la composición, y sin embargo reduce los esfuerzos torsionales. Es en tal sentido, que para el modelo físico trabajo, hace falta por lo menos 3 AMS (dos para el control de la contestación flexional en 2 direcciones ortogonales y uno para controla la contestación torsional). Esta averiguación, pese a laborar con un modelo general de vigas y no con un modelo de composición real, nos da como conclusión el valor de decidir los límites óptimos y la localización en planta precisa de los AMS, con el propósito de que logren mantener el control de tanto los efectos de flexión como de torsión.

Los estudios realizados por Aliante (2009) de la Universidad Austral de Chile en su tesis "Control de Efectos Torsionales en un Edificio Asimétrico De Hormigón Armado Con Amortiguadores De Masa Sintonizados" han demostrado, en primer lugar, la localización óptima de los amortiguadores de masa sintonizada (AMS) y en segunda la efectividad de la misma. La localización óptima del AMS en una construcción asimétrica está en la parte flexible de la composición debido a que dichos aportan rigidez y controlan los desplazamientos que tienen la posibilidad de generar las torsiones. Referente a la efectividad, se recibe que, el AMS en construcciones asimétricas consigue minimizar los efectos de torsión en un 15 a 20% a

diferencia de resultados teóricos.

Garrido (2016) de la universidad de Chile realizó una tesis sobre amortiguadores de masa sintonizada en edificios sometidos a registros sísmicos para optar por el título de ingeniero civil. Su análisis plantea 2 tipos de resultados, o resultados que tienen la posibilidad de clasificar de 2 modalidades: Globales y específicos. Donde los resultados globales evalúan un extenso rango de valores de lapso para valores fijos. Aproximadamente se tiene que existe una reducción porcentual positiva que se vuelve inefectiva al examinar los casos desfavorables. En los resultados específicos está el estudio de precio beneficio y el estudio preventivo. La investigación de precio beneficio pretende establecer la alteración en el funcionamiento del sistema al variar alguna propiedad de este. En lo que el estudio preventivo posibilita anteponerse ante ciertos inconvenientes en los cambios de las características que logren surgir en la composición.

### 2.1.2 Investigaciones Nacionales

Del estudio realizado por (Turpo, 2017), sobre el “Análisis de un edificio asimétrico de 10 niveles de concreto con amortiguadores de masa sintonizada” en el que se fundamenta en el diseño estructural de un inmueble de concreto armado incorporando un sistema de masa sintonizada en el último grado con el fin de minimizar la contestación sísmica de la composición y a impacto de equiparar precios – beneficios del sistema con y sin integración de esa masa sintonizada. Se hace la investigación sísmica, donde se hace una idealización de la composición que sea fácil y que cumpla los requisitos de la regla E-030; al integrar los amortiguadores de masa sintonizada en una composición de media o gran elevación, se modifica su contestación dinámica, se consiguen derivas de entrepiso, menores esfuerzos en la composición, se logran construcciones más seguras y el precio de amortiguadores de masa son económicos.

Del estudio realizado por (Ayhuasi, 2020) sobre “Comparación de la respuesta estructural en un edificio de 20 niveles con amortiguadores de masa sintonizada de tipo convencional y pendular mediante modelos físicos a escala” se obtuvo que el acoplamiento del sistema AMS Usual disminuye alrededor de

en un promedio de 40.66% los desplazamientos en el último grado del modelo físico a escala examinado. El acoplamiento del sistema AMS Pendular disminuye alrededor de en un promedio de 29.98% los desplazamientos en el último grado del modelo físico a escala examinado. Comparando los valores de movimiento entre un AMS usual y un AMS pendular difieren en un 10.68%, teniendo el AMS usual mejor contestación estructural.

Del estudio realizado por (Korwagen, 2012) sobre “Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú” donde la aislación de construcciones se basa en poner una interface flexible entre el suelo y la composición de manera que se disminuyan de manera considerable las solicitaciones sísmicas a las que ésta estaría sometida. De esta forma, se puede optar por un diseño con un componente de reducción de fuerza sísmica menor y se puede obtener como consecuencia una construcción que no sufrirá perjuicios y permanecerá plenamente operativa a lo largo de y luego de un acontecimiento sísmico. Las reducidas aceleraciones además salvaguardan a los recursos no estructurales y a los contenidos de la construcción. Los aisladores son dispositivos que cuentan con una alta rigidez a cargas verticales, empero son flexibles ante solicitaciones laterales. Por lo tanto, las fuerzas transmitidas a la composición por un terremoto severo producen desplazamientos del orden de 25 cm en la interfase de aislación, empero derivas de manera significativa menores en la superestructura. Esta tesis se enfoca en la utilización de aisladores elastoméricos, los cuales aprovechan la flexibilidad de un material semejante al caucho para lograr una baja rigidez lateral, empero lo combinan con planchas de acero para elevar la rigidez vertical. Al hacer un estudio del comportamiento de diversos tipos de construcciones con aisladores, se verificó que ciertas construcciones se benefician de la aislación más que otras, siendo la esbeltez y el lapso de vibración los componentes más influyentes. Como virtud adicional a la reducción de las fuerzas, se ha encontrado, ejemplificando, que la aislación centra la colaboración modal a únicamente un modo por cada dirección, disminuyendo de esta forma, la incertidumbre del comportamiento sísmico. Después, se escogió una de las construcciones analizadas y se creó con el propósito de mirar los beneficios en la conducta estructural y diferencias en los

precios. Se vio que la utilización de concreto y acero en la superestructura reduce, sin embargo, se incrementa en la cimentación. En términos de precio, no se considera una reducción fundamental, sino un aumento gracias a los aisladores. Sin embargo, tienen que cuantificarse los precios indirectos como las pólizas de seguros y el precio de cese de operación de una composición importante a lo largo de una emergencia como ventajas económicas. Al final, se incluye un detalle del método y sugerencias para el diseño.

## 2.2. Bases teóricas

### 2.2.1. Sistema de protección sísmo resistente

Durante las últimas dos décadas, la comunidad profesional ha aceptado el uso de sistemas sísmicos en estructuras. Entre estos, los más utilizados son los sistemas de aislamiento sísmico y disipación de energía. En general, los sistemas de aislamiento sísmico limitan la energía que un terremoto transmite a una superestructura, reduciendo en gran medida la tensión y la tensión en la estructura de aislamiento sísmico y previniendo daños estructurales y no estructurados. La Figura 6 muestra una comparación del desempeño de edificios sin aislamiento y edificios con aislamiento sísmico bajo la acción del terremoto. El sistema de disipación de energía permite concentrar la disipación de energía en un dispositivo especialmente diseñado para este propósito sin interferir con la penetración de energía en la estructura, y la cantidad de energía que debe disiparse en el dosel de la estructura se reducirá significativamente. El uso de tanques de energía reduce la respuesta estructural, lo que a su vez reduce el daño a los componentes estructurales y no estructurales. La Figura 7 muestra una comparación de rendimiento entre un edificio sin disipador y un edificio con disipador. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011)

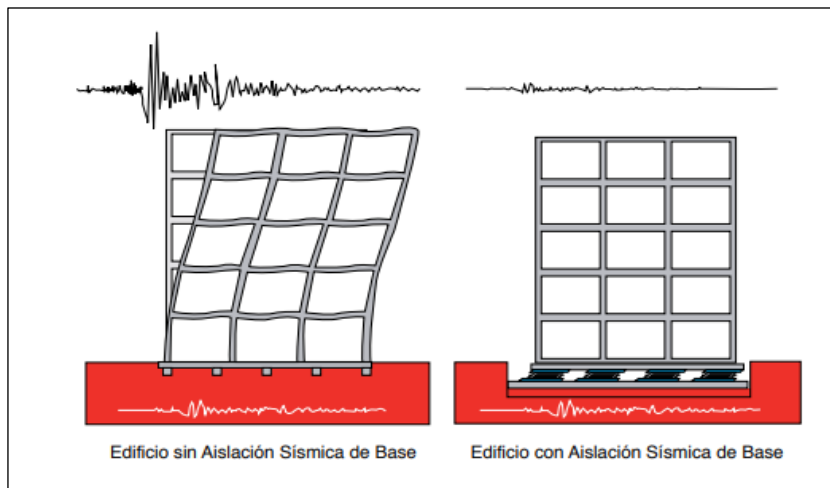


Figura 6: Comparación de respuesta sísmica de edificio

Fuente: Cámara Chilena de Construcción

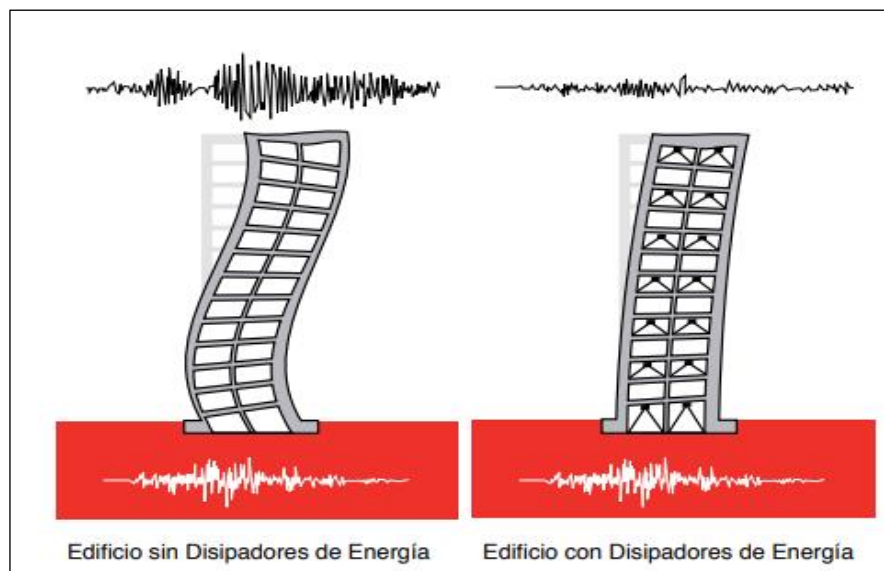


Figura 7: Comparación de edificio sin disipadores y edificio

Fuente: Cámara Chilena de Construcción

#### a. Sistemas de Control Activo

Un sistema de control activo necesita de una fuente externa de potencia para alimentar los actuadores que aplican fuerzas a la composición. Estas fuerzas tienen la posibilidad de ser utilizadas como para proporcionar como para disipar energía en la composición. En un sistema de control activo con retroalimentación, las señales enviadas a los actuadores de control son funcionalidad de las respuestas (normalmente movimientos) de

la composición, medidas con sensores físicos. (Gomez, 2008, págs. 80-81)



Figura 8: Diagrama de control activo

Fuente: Villarreal y Oviedo, 2008. Edificaciones con Disipadores de Energía

La Figura 9 esquematiza una estructura protegida con un sistema de control activo. En este ejemplo se tiene que el algoritmo de control en la parte inferior es la fuente externa de potencia, cuya actividad es desencadenada por un movimiento sísmico detectado por los sensores. La fuente entonces alimenta a los actuadores que emitirán fuerzas a la estructura para disipar la energía y equilibrar la estructura.

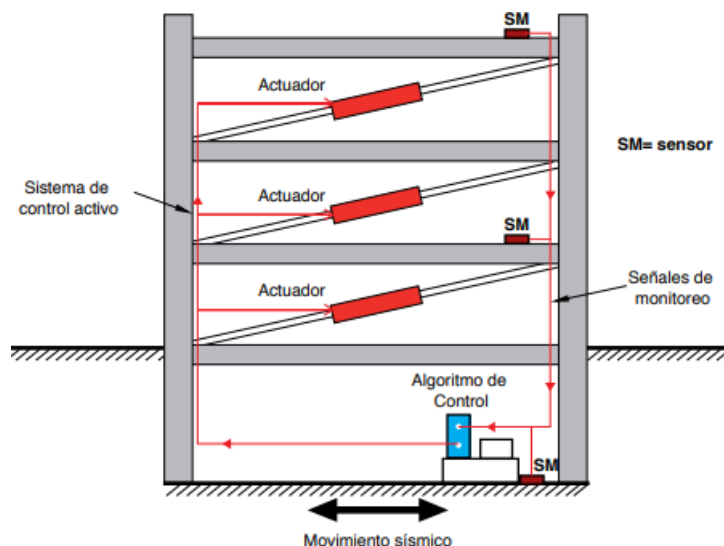


Figura 9: Protección sísmica de estructuras

Fuente: Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2012.

### 2.2.2. Sistemas de Control Semiactivo

Según (Villareal, 2009), los sistemas semiactivos poseen un esquema de manejo muy semejante a los sistemas activos, diferenciándose de éstos en que el control estructural se recibe desde dispositivos de carácter reactivo, cuyas propiedades mecánicas (rigidez o amortiguamiento) son controlables, lo que posibilita cambiar las características dinámicas de la composición con precios en (Ver Figura 10).



Figura 10: sistema de control semiactivo

Fuente: Villareal y Oviedo, 2008. Edificaciones con Disipadores de Energía

### 2.2.3. Sistemas de Control Híbrido

(Gomez, 2008), menciona lo siguiente:

Los sistemas de control híbrido son sistemas que emplean una conjunción de sistemas pasivos y activos. Ejemplificando, una composición acondicionada con amortiguadores viscoelásticos y un amortiguador activo de masa en la parte preeminente del inmueble; o una composición aislada en la base con actuadores controlados activamente para mejorar su comportamiento. (Villareal, 2009) Concuerdan con la definición descrita anteriormente. Ellos indican que este sistema de control híbrido resulta de la combinación de los sistemas activos y pasivos (Ver Figura 11).





Figura 11: sistema de control híbrido

Fuente: Villarreal y Oviedo, 2008. Edificaciones con Disipadores de Energía

#### 2.2.4. Sistemas de Control Pasivo

Son dispositivos adaptados a la composición que poseen la capacidad de absorber un gran porcentaje de las fuerzas dinámicas y disiparlas teniendo la funcionalidad de deformarse en el rango inelástico, lo cual provoca que la fuerza que tomen los recursos que componen el sistema estructural sea mínima. No requieren de ningún tipo de activador o fuente de potencia para su manejo. Dichos dispositivos producen fuerzas contrarias a la impartida por el movimiento sísmico. Dichos sistemas integran aisladores de base, amortiguadores viscoelásticos, disipadores histeréticos de energía y amortiguamiento por fricción. (Ahumada, 2010)

(Genatios & Lafuente, 2016) dicen además que, dichos sistemas de control pasivo se ordenan en sistemas con aislamiento sísmico con base y en sistemas con disipadores de energía (Ver Figura 12). Por un lado, los aisladores buscan impedir que el sismo del lote se transfiera a la composición. Y, sin embargo, los disipadores de energía son diseñados para disipar la energía que se introducen a la composición, producida por fuerzas Dinámicas externas, sean por efectos de terremoto o viento.

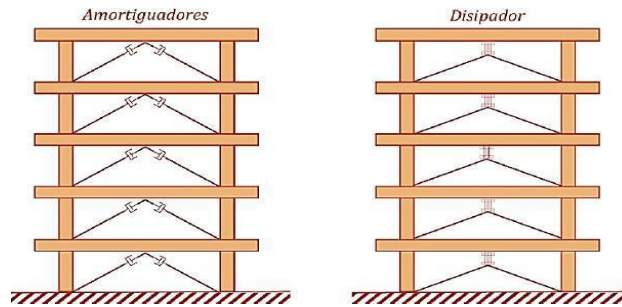


Figura 12: Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras

Fuente: Genatios y Lafuente, 2016.

### 2.2.5. Estructuración en edificaciones

(Instituto de la Construcción y Gerencia, 2002) En el diseño clásico, se propone que las construcciones presenten los próximos criterios para obtener un conveniente comportamiento sísmico de la composición y un menor mal de esta.

#### - Simplicidad y Simetría

El tener una geometría fácil y simétrica posibilita presagiar la conducta sísmica de una construcción a diferencia de una estructuración compleja y asimétrica, que llega a ser difícil de evaluar. Debería existir una sincronía entre el centro de masa de cada piso y centro de rigidez de los recursos que absorberán las fuerzas del movimiento sísmico, con la intención de evadir la producción de efectos torsionales.

#### - Resistencia y Ductilidad

Las construcciones tienen que tener resistencia sísmica en cada una de sus direcciones y a la vez exponer una ductilidad fundamental que llegue a deformar a la composición sin que esta colapse.

#### - Uniformidad y continuidad

La construcción debería ser diseñado de manera continua en todos sus niveles con recursos de igual o similar rigidez. Se debería de evadir bruscas concentraciones de esfuerzos y cambios bruscos en los niveles. En la situación del uso de placas (muros de corte) éstas tienen que ser llevadas a cabo de una manera continua en todos los niveles, no debería haber un cambio brusco sino una reducción en los niveles mejores.

- Rigidez lateral

La rigidez es uno de los más importantes elementos en una composición. La construcción al tener rigidez lateral en sus direcciones primordiales va a tener menores deformaciones y más grande resistencia de las fuerzas horizontales. No obstante, a medida que más dura sea la composición, la ductilidad no va a ser la deseada realizando que los exámenes sean más complicados. Por esto es fundamental combinar en las construcciones recursos sólidos y recursos a flexión, como son la utilización de muros de corte y pórticos presenciados en los inmuebles de Lima.

- Diafragma rígido

Una losa tiesa posibilita tener en cuenta a toda la composición como una sola unidad, donde compatibilizan los desplazamientos de los nudos de columnas y vigas. No obstante, esta composición no debería ser tan oblonga, debido a que podría padecer más grande mal en sus extremos, por esto es aconsejable la utilización de juntas sísmicas, dividiendo la construcción en bloques.

- Elementos no estructurales

Los recursos no estructurales son los que no son parte del sistema de soporte de la construcción. Para una composición aporricada y con placas, la rigidez de la tabiquería no es tan fundamental, debido a que esta tiene una menor proporción comparada con las placas de concreto armado.

- Sub-estructura o Cimentación

Se piensan componentes en el diseño de la cimentación como: La transmisión del corte basal de la composición al suelo, probabilidad de giro de la cimentación, licuefacción del subsuelo.

- Diseño de concreto armado

Se tomarán las próximas consideraciones para un diseño sismo-resistente:

- a. Precisar la cuantía de acero, para que la composición sea maleable y falle a tracción. - Evadir la fracasa por cortante en un componente sometido a flexión y cortante. - Hacer el aislamiento de las construcciones que muestran más grandes instantes. - Diseñar vigas con acero a compresión y tracción que permitan la redistribución de instantes.
- b. Diseñar columnas que logren resistir más grandes instantes al de las

vigas, las rotulas plásticas tienen que estar solo en los extremos de a vigas.

#### 2.2.6. Aislamiento sísmico

Según (Mendez, 2013) el aislamiento sísmico es fundamentalmente la separación de una estructura de los movimientos del suelo que podrían afectarla. Para lograr hacer esta separación, el sistema de aislamiento se fundamenta en diferentes dispositivos sísmicos llamados aisladores; que, por estar estratégicamente colocados en aspectos específicos de la estructura, pueden hacer un papel importante durante la acción de un terremoto. Los aisladores sísmicos otorgan suficiente flexibilidad a la estructura para que el transcurso natural de ésta se aleje lo suficiente del tiempo natural del terremoto (Figura 13). La correcta elección de la modificación de dicho tiempo evita principalmente la ocurrencia del efecto de resonancia que podrían ocasionar padecimientos e incluso el colapso. Un sistema de aislamiento eficaz debe por lo tanto destinar las siguientes 4 funciones:

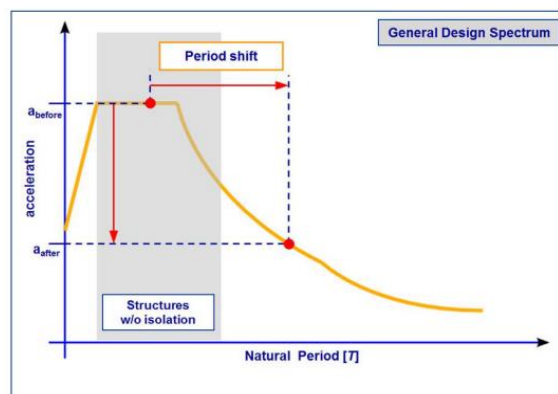


Figura 13: Reducción de aceleraciones por cambio de periodo

Fuente: Congreso de estructuras 2013, Costa Rica

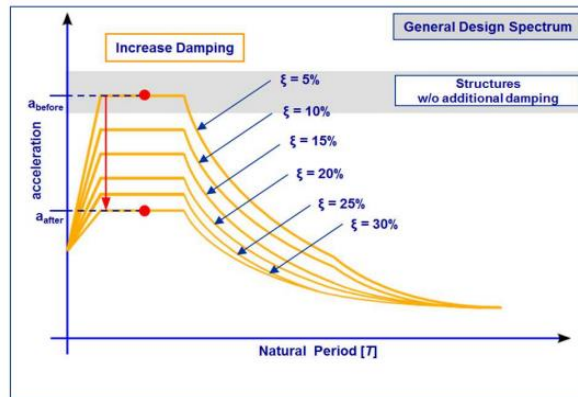


Figura 14: Reducción de aceleraciones por incremento de amortiguamiento

Fuente: Congreso de estructuras 2013, Costa Rica

- Tener un comportamiento adecuado bajo cualquier carga de servicio, tan eficaz como para los apoyos estructurales convencionales.
- Proporcionar la suficiente flexibilidad horizontal que hace falta para lograr el transcurso natural establecido para la cuarentena de la estructura.
- Tener capacidad de re-centrado aún después de un profundo sismo. Esto permite eludir la ocurrencia de movimientos residuales que podrían interrumpir el manejo de la estructura.
- Dedicar un nivel correcto de disipación de energía, a fin de controlar los movimientos que de otra forma podrían influir otros recursos estructurales. La averiguación sísmica es la respuesta de las estructuras sometidas a ocupaciones de impacto principalmente, y de sismos, de manera particular, requiere una evaluación de su comportamiento dinámico. Es por ello que los estudios dinámicos de las estructuras tienen como objetivo, en última instancia, “predecir el comportamiento de la misma para establecer el grado de seguridad frente al colapso”. (Reboredo, 1996, pág. 7)

Las estructuras, cuando están sujetas a cargas o desplazamientos en la base, en realidad trabajan dinámicamente, mejor dicho, desarrollan actividades opuestas al movimiento impuesto por tales cargas o

desplazamientos. Si éstos son aplicados bastante lento, las fuerzas de inercia son bastante pequeñas (al ser las aceleraciones bastante bajas) y por lo tanto se puede justificar un análisis de tipo estático. No obstante, las estructuras son un constante y tienen un infinito número de grados de libertad. Se han tratado anteriormente las formas de concentrar la evaluación en puntos (nudos o pisos) que son suficientes para dictaminar el comportamiento de la estructura y calcular sus fuerzas internas. La masa del sistema estructural es concentrada en los nudos o a nivel de los centros de masa de cada piso, según el modelo utilizado. Asimismo, si los análisis se realizan considerando que el material estructural tendrá un comportamiento flexible y lineal, las propiedades de rigidez de la estructura pueden aproximarse con un alto grado de confiabilidad, con ayuda de información experimental. Lo mismo puede asumirse para las propiedades de amortiguamiento. Las cargas dinámicas y las condiciones en la base de la cimentación acostumbran a ser difíciles de estimar, sobre todo en el caso de cargas sísmicas. (Salinas, 2012, pág. 17)

#### 2.2.7. Dinámica estructural

La dinámica estructural, percibida desde el punto de vista de la mecánica, es el estudio de los cuerpos o conjuntos de partículas en movimiento. El campo general de la dinámica se divide en 2 monumentales zonas: las cinemáticas y la cinética. La cinemática se ocupa exclusivamente del movimiento, es decir, de relacionar el desplazamiento, la velocidad o la aceleración con la época, y de la geometría de los movimientos, sin tomar en consideración las causas del movimiento. En lo cual la cinética estudia la relación entre las fuerzas que trabajan sobre un cuerpo, la masa del cuerpo y su movimiento, permitiendo predecir los movimientos que provocan las fuerzas, o entablar las fuerzas principales para producir un movimiento dado. Esta búsqueda concentra su análisis en el campo de la dinámica cinética en especial lo que compete a la dinámica estructural. (Rondón & Cho, 2004)

#### 2.2.8. Acciones y fuerzas dinámicas

Las actividades dinámicas definidas utilizando representaciones deterministas, son funciones del tiempo cuyo valor en cada instante es

conocido. Esta clase de representación es oportuna para evaluar el comportamiento de una estructura desde el acontecimiento que otorgó lugar a dicha acción. Por ejemplo, evaluar el comportamiento de un inmueble nuevo ante el sismo ocurrido en México en 1986 (del que se poseen registros). El diseño de una estructura no puede encararse con base a ocupaciones deterministas, pues nada nos asegura que la acción estudiada volverá a repetirse. (Casano, 2009)

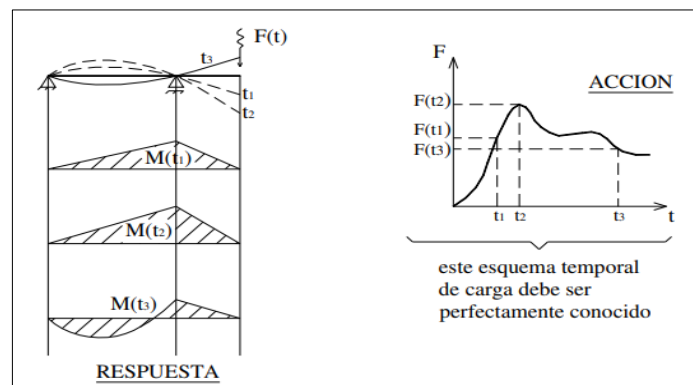


Figura 15: Acción y respuesta determinista

Fuente: Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas

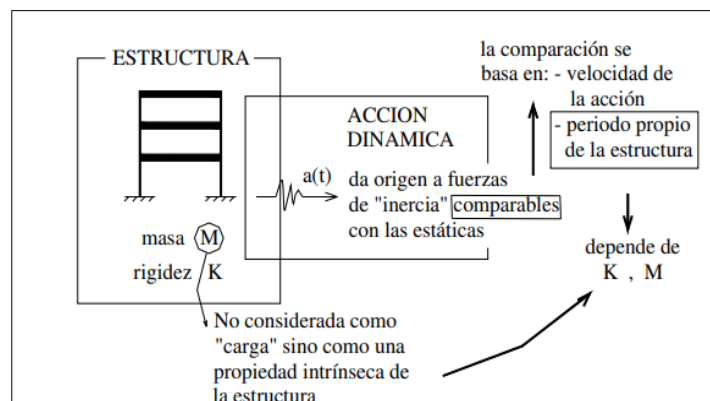


Figura 16: Acción dinámica y propiedades de la estructura

Fuente: Análisis de estructuras bajo acciones dinámicas

### 2.2.9. Masa, rigidez y amortiguamiento

La exploración para decidir los efectos dinámicos sobre las construcciones necesita considerar las características dinámicas primordiales de las

construcciones. Estas características son determinadas por las magnitudes, el peso, la rigidez relativa, el lapso importante, el tipo de apoyo y el nivel de elasticidad de los materiales de la composición, y por distintas influencias amortiguadoras que permanecen presentes; y tienen la posibilidad de ser representados convenientemente por el modelo matemático mostrado en la figura 17, que tiene un factor de masa  $m$  que representa la propiedad de masa o inercia de la composición, un factor  $k$ , que representa las fuerzas internas del sistema y la funcionalidad de la composición e guardar energía potencial (Rigidez), un factor de amortiguación  $c$  que equivale a las propiedades friccionales y a la pérdida de energía de la composición, y la fuerza de excitación  $a(t)$  correspondiente a las fuerzas externas que trabajan sobre el sistema estructural en función del tiempo. (Rondón & Cho, 2004).

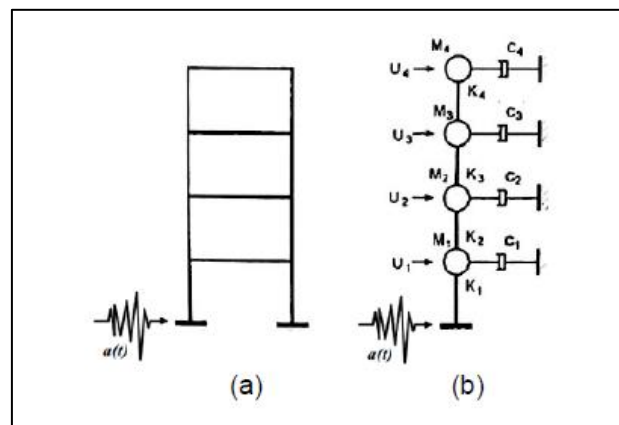


Figura 17: Modelo con varios grados de libertad: (a) Pórtico, (b) Modelo dinámico

Fuente: (Rondón & Cho, 2004)

#### 2.2.10. Modelamiento dinámico.

En la investigación dinámico de una estructura existe un aspecto de gran trascendencia y es la definición del modelo estructural que mejor represente el comportamiento real de la estructura. Definir un modelo preciso sería complejo y generalmente su exactitud se perdería, tanto por la complejidad de los modelos matemáticos que se utiliza en la investigación como por los errores provocados en todo el proceso de cálculo. Luego definir un modelo dinámico simplificado implica discretizar la estructura de tal forma que



permita una formulación adecuada del modelo matemático y, después, permita el cálculo de la respuesta. (Rondón & Cho, 2004)

#### 2.2.11. Amortiguadores de Masa Sintonizados (AMS)

El amortiguador de masa sintonizado es una herramienta ingenieril tradicional consistente en una masa, un resorte y un amortiguador viscoso colocados en el sistema vibrante elemental para reducir la vibración no deseada a una frecuencia determinada. La frecuencia natural del amortiguador se sintoniza con la frecuencia natural del sistema fundamental provocando que el amortiguador vibre en resonancia, disipando la energía absorbida mediante los mecanismos de amortiguamiento del AMS. (Ambrosini, Cuitiño, & Rebeco, 2004, pág. 449)

Los inmuebles modernos y las torres tienden a ser bastante livianos y delgados, por lo tanto, poseen un amortiguamiento natural bastante pequeño, lo que las hace más susceptibles a las oscilaciones del viento y los sismos. Dichas oscilaciones pueden ocasionar mal a la estructura, perjudicar su funcionalidad y/o ocasionar incomodidad. Los amortiguadores de masa sintonizados (AMS) son una clase de amortiguadores pasivos que se aplican en torres y inmuebles para la reducción de vibraciones (Bassotti & Ambrosini, 2004, pág. 2)

En la Figura 18 se muestra un sistema dinámico de masa concentrada para un grado de libertad montado sobre un sistema principal que está sometido a un movimiento en la base.

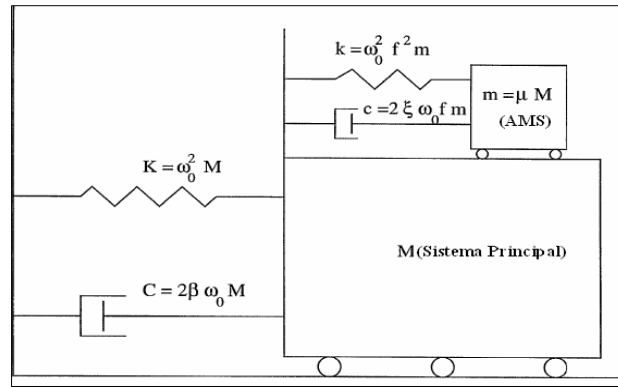


Figura 18: Amortiguador de masa sintonizado montado a un Sistema Principal

Fuente: Sadek et al., 1996. A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic applications

El amortiguador de masa sintonizado (AMS) se basa en un sistema masa/resorte/amortiguador que se ubica en la composición importante. La frecuencia natural del dispositivo debería ser cercana a la frecuencia dominante del sistema importante, para que vibre en resonancia. Su uso necesita conocer con exactitud las relaciones de frecuencia y amortiguamiento entre el dispositivo y la composición. (Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011, pág. 128)

Para el diseño de estructuras, en inicio, se consideran los efectos gravitatorios y las cargas adicionales debidas a las sobrecargas de acuerdo con el uso del inmueble. Cuando la estructura demanda una custodia adicional para fuerzas ambiental como el viento, mareas y sismos, la solución para la tipología estructural empleada se puede encontrar en los sistemas de aislación y control de vibraciones y así aumentar la vida eficaz de una creación además de reducir desde el punto de vista estructural periodos naturales elevados que conllevan a enormes desplazamientos por cargas dinámicas en particular sismos. Al integrar sistemas de disipación de energía en las estructuras de gran altura se puede componer de manera correcta sus propiedades, de manera que la respuesta dinámica sea compatible con las necesidades estructurales. La modificación de la rigidez, la masa o el amortiguamiento es un camino para solucionar esos problemas (los gigantes desplazamientos antes mencionados). Al modificar la rigidez y

la masa se consigue una variación de las frecuencias propias que desintonizan la estructura del rango de frecuencias donde la energía espectral es preponderante. El incremento de amortiguamiento es en ingeniería sísmica un llevado a cabo asociado al objetivo de aumentar artificialmente la ductilidad, a fin de disipar energía en forma controlada y estable, reduciendo la respuesta estructural dinámica. (Bozzo & Barbat, 2000, pág. 253).

#### 2.2.12. Clasificación de amortiguadores de masa sintonizada

La siguiente clasificación se ha realizado basados en las diferentes disposiciones del sistema en edificios existentes, es decir según se requería en cada caso.

##### a. Amortiguadores de masa pendulares

Los amortiguadores de masa pendular tienen la posibilidad de subdividir en; péndulo sencilla una vez que el lapso de vibración es dependiente solo del extenso del mismo, su clara desventaja es el espacio solicitado para su instalación, hay casos en que la cuerda es una barra tiesa y se aplican 2 masas una de las cuales tendrá que estar apoyada en el piso, hay además péndulos de rodillo y péndulo de diversas fases el cual disminuye el espacio vertical primordial a la mitad. (Chapoñan, 2015)

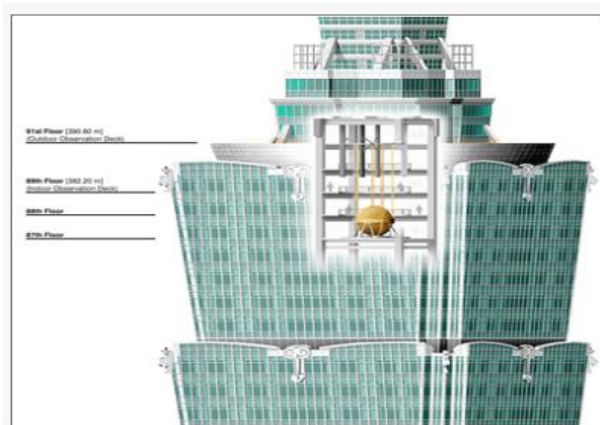


Figura 19: Amortiguador de masa en la Torre Taipéi 101

Fuente: (Pin, 2018)

b. Amortiguadores sobre aisladores

Los cuales consisten en un bloque de hormigón sobre aisladores elásticos estos trabajan para periodos de 0 a 0.9 segundos en inmuebles con altura media, para desplazamientos de masa de hasta 50 cm, este dispositivo incorpora amortiguamiento a la masa incorpora estabilidad a la estructura a un bajo costo. (Venegas & Gripdia, 2018)

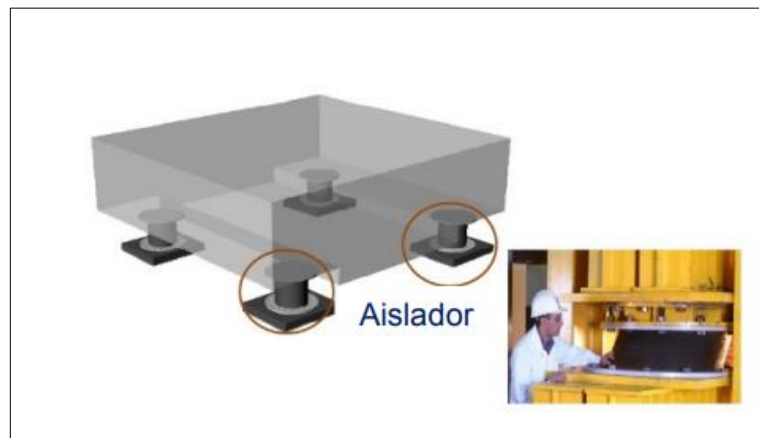


Figura 20: Amortiguadores de masa sobre aisladores

Fuente: (Venegas & Gripdia, 2018)

c. Amortiguadores sobre aisladores y deslizadores

La variación en este sistema radica en la unión de deslizadores, este, trabaja para periodos entre 1 y 1.25 segundos y para desplazamientos de masa de 1m, la función de los aisladores es ofrecer rigidez y amortiguamiento y la de los deslizadores es soportar el peso del AMS y ofrecer amortiguamiento. (Chapoñan, 2015)

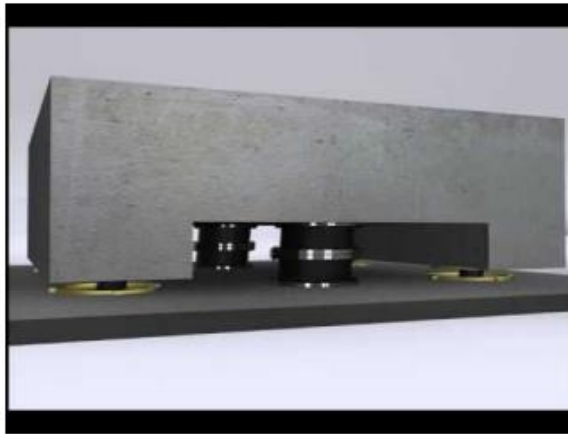


Figura 21: Amortiguador de masa sobre aisladores y deslizadores.

Fuente: (Chapoñan, 2015)

#### 2.2.13 Parámetros de diseño de los amortiguadores de masa

Los parámetros de diseño del AMS que se deben descubrir para lograr hacer la máxima eficiencia de este, son la relación de frecuencia (frecuencia del amortiguador/frecuencia de la estructura), relación de amortiguamiento y la relación de masa. Una de las principales ventajas de los AMS es que pueden ser colocados en estructuras existentes con problemas de vibraciones excesivas que son perceptibles por las personas o para el mejoramiento de la igualdad sísmica en estructuras levemente dañadas o sanas. (Ambrosini, Cuitiño, & & Rebeco, 2004, pág. 450)

Un amortiguador de masa sintonizado típico consiste en una masa  $m$  que se mueve con relación a la estructura y es unido a él por un resorte (con rigidez  $k$ ) y un amortiguador viscoso (con coeficiente  $c$ ) en paralelo. Un amortiguador de masa sintonizado se caracteriza por su afinación, masa y amortiguación ratios. La razón de sintonización  $f$  se define como la relación entre la frecuencia fundamental del amortiguador de masa sintonizada  $\omega_t$  y la frecuencia de la estructura  $\omega_0$ . (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996, pág. 3)

$$f = \frac{\omega_t}{\omega_0} \quad (2.1)$$

La relación de masa  $\mu$  según (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996) es:

$$\mu = \frac{m}{M} \quad (2.2)$$

Donde “M” es la masa total para una estructura con un grado de libertad y “m” la masa generalizada para un determinado modo de vibración de una estructura de varios grados de libertad calculada para una unidad de factor de participación modal unitario.

La relación de amortiguamiento de masa sintonizada según (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996) donde “c” es el coeficiente de amortiguamiento y viene dada por:

$$\xi = \frac{c}{2m\omega_t} \quad (2.3)$$

#### 2.2.14 Amortiguadores de masa sintonizada (AMS), para estructuras de 1 grado de libertad

(Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996) menciona que los parámetros óptimos de diseño para una estructura de 1GDL con AMS, presentado por simples ecuaciones para propósitos de diseño, en términos de la frecuencia natural y razón de amortiguamiento ( $\omega_0$  y  $\beta$ ) de la estructura, y las razones de masa, frecuencia, y amortiguamiento ( $\mu$ ,  $f$  y  $\xi$ ) del AMS son:

$$f = \frac{1}{1+u} \left(1 - \beta \sqrt{\frac{u}{1+u}}\right) \quad (2.4)$$

y

$$\xi = \frac{\beta}{1+u} + \sqrt{\frac{u}{1+u}} \quad (2.5)$$

Estas ecuaciones producen un error máximo de aproximadamente 0.2% en  $f$  y 0.4% en  $\xi$ . (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996, pág. 632)

El procedimiento postulado busca, numéricamente, los valores óptimos de  $f$  y  $\xi$  ( valores óptimos donde ambos primeros métodos poseen alrededor de igual causas de amortiguamiento) que corresponden a una cierta razón de masa  $\mu$ . Del mismo modo, nos indican que el método ha sido utilizado

para sistemas con causas de amortiguamiento  $\beta= 0, 0.02, \text{ y } 0.05$  y causas de masa  $\mu$  entre 0.005 y 0.15 con incrementos de 0.005. Las causas óptimas se presentan en la Tabla 3. (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996, pág. 621)

Tabla 3: Razones óptimas de frecuencia  $f$  y amortiguamiento  $\xi$  de AMS para tres amortiguamientos

Razón de masa $\mu$	$\beta=0$		$\beta=0.02$		$\beta=0.05$	
	$f$	$\xi$	$F$	$\xi$	$f$	$\xi$
0	1	0	1	0	1	0
0.005	0.995	0.0705	0.9936	0.0904	0.9915	0.1199
0.01	0.9901	0.0995	0.9881	0.1193	0.9852	0.1488
0.015	0.9852	0.1216	0.9828	0.1412	0.9792	0.1707
0.02	0.9804	0.14	0.9776	0.1596	0.9735	0.1889
0.025	0.9756	0.1562	0.9726	0.1757	0.968	0.2048
0.03	0.9709	0.1707	0.9676	0.19	0.9626	0.219
0.035	0.9662	0.1839	0.9626	0.2032	0.9573	0.232
0.04	0.9615	0.1961	0.9578	0.2153	0.9521	0.244
0.045	0.9569	0.2075	0.953	0.2266	0.947	0.2551
0.05	0.9524	0.2182	0.9482	0.2372	0.942	0.2656
0.055	0.9479	0.2283	0.9435	0.2472	0.937	0.2754
0.06	0.9434	0.2379	0.9389	0.2567	0.9322	0.2848
0.065	0.939	0.247	0.9343	0.2658	0.9274	0.2937
0.07	0.9346	0.2558	0.9298	0.2744	0.9226	0.3022
0.085	0.9216	0.2799	0.9165	0.2983	0.9087	0.3257
0.09	0.9174	0.2873	0.9122	0.3056	0.9042	0.3329
0.095	0.9132	0.2945	0.9079	0.3128	0.8998	0.3399
0.1	0.9091	0.3015	0.9036	0.3196	0.8954	0.3466
0.105	0.905	0.3083	0.8994	0.3263	0.891	0.3532
0.11	0.9009	0.3148	0.8952	0.3328	0.8867	0.3595
0.115	0.8969	0.3212	0.8911	0.339	0.8824	0.3656
0.12	0.8929	0.3273	0.887	0.3451	0.8782	0.3716
0.135	0.8811	0.3449	0.875	0.3624	0.8658	0.3886
0.14	0.8772	0.3504	0.871	0.3679	0.8618	0.3939
0.145	0.8734	0.3559	0.8671	0.3733	0.8578	0.3991
0.15	0.8696	0.3612	0.8633	0.3785	0.8538	0.4042

Fuente: (Sadek, Mohraz, Taylor, & Chung, 1996), A method of estimating the parameters of tuned mass dampers for seismic application

### 2.2.15 Amortiguador de masa sintonizada para Estructuras de “N” grados de libertad

Para una composición de  $n$  grados de independencia con un AMS acoplado a uno de sus pisos, hay  $n+1$  pares de métodos complicados conjugados. Para una composición de  $n$ GDL, el motivo de masa  $\mu$  es calculada como el motivo de masa del AMS con la masa generalizada para el modo importante que corresponde a una unidad de elemento de colaboración modal.

$$\mu = \frac{m}{\Phi_l^t [M] \Phi_l} \quad (2.6)$$

donde  $[M]$  es la matriz de masa y  $\Phi$  es la forma del modo fundamental normalizado para tener una unidad de factor de participación. Se encontró que la razón de frecuencia  $f$  para un sistema de  $n$ GDL es casi igual a la razón de frecuencia para un sistema de 1GDL para una razón de masa  $\mu\Phi$ , donde  $\Phi$  es la amplitud del primer modo de vibración para una unidad de factor de participación modal calculada en la ubicación del AMS; es decir,  $f_{nGDL}(\mu) = f_{1GDL}(\mu\Phi)$ . La ecuación para la razón de frecuencia es obtenida de la ecuación (2.7) substituyendo  $\mu$  por  $\mu\Phi$ . De esta manera,

$$f = \frac{1}{1+\mu\Phi} \left[ 1 - \beta \sqrt{\frac{u\Phi}{1+u\Phi}} \right] \quad (2.7)$$

La razón de amortiguamiento del AMS también corresponde aproximadamente a la razón de amortiguamiento calculada para un sistema de 1GDL multiplicada por  $\Phi$ , es decir,  $\xi_{nGDL}(\mu) = \Phi \xi_{1GDL}(\mu)$ . La ecuación para la razón de amortiguamiento es obtenida multiplicando la ecuación (2.8) por  $\Phi$

$$\xi = \Phi \left[ \frac{\beta}{1+\mu} + \sqrt{\frac{u}{1+u}} \right] \quad (2.8)$$

Para construcciones de  $n$ GDL, las ecuaciones anteriores generan un error de 0.4 a 0.5% para el motivo de frecuencia y 0.5 a 0.8% para el motivo de amortiguamiento. La ecuación (2.24) sugiere que la mejor localización para un AMS es donde éste resulte con el más grande  $\xi$ , o sea, en el grado donde



$\Phi$  y por consiguiente el amortiguamiento en el AMS y en ambos primeros métodos sean máximos. Debido a que en varios casos, el primer modo domina la contestación, en otros términos correcto para localizar el AMS en el último piso donde la amplitud de movimiento del primer modo es el más grande. Debería ser dicho que los AMS acoplados a las construcciones están afectando únicamente el amortiguamiento en ambos primeros métodos y no están afectando sobre los demás métodos que son asumidos con amortiguamiento cero.

#### 2.2.16 Modelo de un AMS

El modelo de Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) a considerar en la presente tesis será de un tanque de concreto apoyado sobre cuatro aisladores elastoméricos con refuerzo de acero (Ver Figura 22).

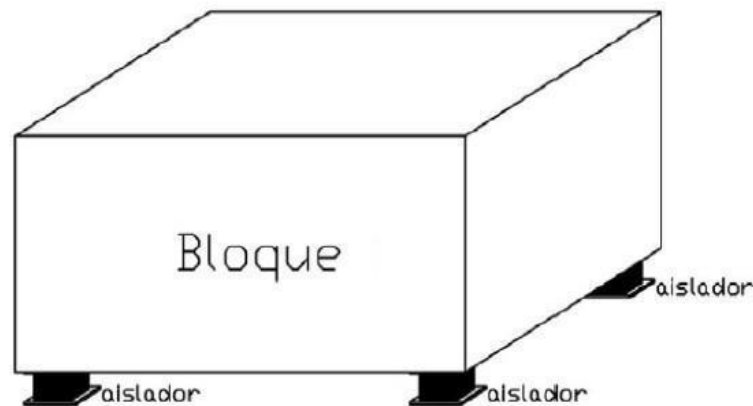


Figura 22: Modelo general de AMS

Fuente: Aliante, 2009. Control de efectos torsionales en un edificio asimétrico de hormigón armado con amortiguadores de masa sintonizados

#### 2.2.17 Amortiguador de Líquido sintonizado (ALS)

El ALS (amortiguador de líquido sintonizado) es, en el caso más general, un tanque que tiene líquido, que, en diversos casos, es agua que, como el amortiguador de masa sintonizada, debe ser sintonizado para que absorba

las vibraciones y disipe energía, absorben la energía de la vibración por el movimiento oscilante del líquido contenido en el recipiente y la disipan mediante la fricción intrínseca del líquido y la fricción con la zona de las paredes (ver figura 23). Se ha utilizado para aumentar la disipación de energía de piezas cilíndricas de polietileno que flotan en el líquido. La frecuencia del ALS, que se acomoda con la altura del agua y el tamaño de los recipientes, se sintoniza con la frecuencia natural del inmueble. (Montanaro, 2001)

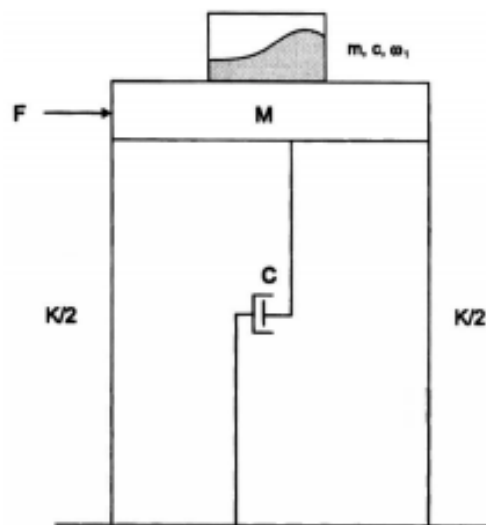


Figura 23: Modelo de estructura-ALS

Fuente: (Soong, 1997)

En amortiguadores de masa sintonizados (TMD), habitualmente un sólido bloque de hormigón o metal actúa como la masa secundaria, no obstante en algunos casos un tanque lleno de agua tiene el mismo objetivo. Se aplican resortes y amortiguadores adicionales para adjuntar esta masa secundaria a la estructura primaria, y ofrecer la restauración y mecanismos disipativos necesarios para sintonizar el sistema para una respuesta casi óptima bajo diferentes tipos de excitaciones dinámicas. (Soong, 1997)

#### a. Principios básicos del funcionamiento

A diferencia de los amortiguadores de masa sintonizada, primordialmente la respuesta de los amortiguadores de líquido sintonizado es bastante no lineal debido a salpicaduras de líquido o la

vida de orificios. La respuesta dependerá de la amplitud, incluso para estructuras que permanecen dentro del sistema flexible. Para desarrollar más apropiados criterios, primero es necesario comprender y cuantificar el comportamiento de los ALS. Las teorías clásicas se refieren a la formación de ondas progresivas en una capa de fluido no viscoso de profundidad constante “h” extensión infinita como se muestra en la figura 24. (Soong, 1997)

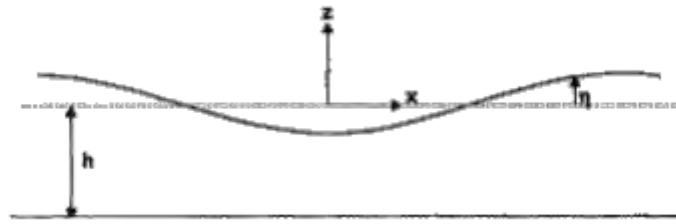


Figura 24: Ondas progresivas en agua de profundidad constante

Fuente: (Soong, 1997)

Por otro lado, un modelo para la respuesta de una capa fluida confinada dentro de un tanque de longitud finita, debido a la excitación de la base horizontal, que fue empleada por (Lepelletier & Raichlen, 1988) y se detalla a continuación:

Se considera la idealización bidimensional de un tanque rectangular de largo L y ancho b, como se muestra en la figura 25, que contiene agua de profundidad nominal h. Las ecuaciones que gobiernan el movimiento del fluido se pueden escribir en términos de la elevación de la onda.  $\eta(x, t)$  y la velocidad horizontal promediada en profundidad  $u(x, t)$ :

$$\eta + [(h + \dot{\eta})u], x = 0 \quad (2.9)$$

$$\dot{\eta} + uu_{,x} + g\eta_{,x} - \frac{h^2}{3}\dot{u}_{,xx} + \frac{1}{h}\left(\frac{vw}{2}\right)^{\frac{1}{2}}\left(1 + \frac{2h}{b} + C\right)u + \ddot{x}_b = 0 \quad (2.10)$$

Donde los subíndices que siguen a las comas denotan una diferenciación parcial con respecto a la coordenada espacial xy un punto superpuesto indican una derivada temporal parcial.

Donde en la ecuación. (2.10),  $\nu$ ,  $w$ ,  $g$  y  $\ddot{x}_b$  representan la viscosidad cinemática del fluido,  $\omega$  frecuencia característica del movimiento del fluido, la aceleración gravitacional y la aceleración horizontal de la base del tanque, respectivamente.

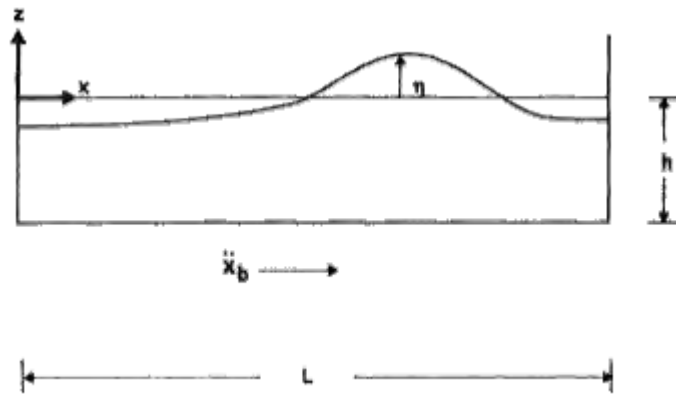


Figura 25: Definición geométrica del amortiguador líquido sintonizado

Fuente: (Soong, 1997)

Las no linealidades aparecen en los segundos términos en las dos ecuaciones y el cuarto término en la ecuación. (2.10) la participación proporciona dispersión, y los modelos de quinto término disipan asociada con la capa límite en el fondo del tanque y las paredes laterales.

Según (Miles, 1985) La disipación debida a la contaminación de la superficie libre también se incluye a través del parámetro  $C$ , que se encuentra en el rango de 0 a 2 y generalmente se le asigna un valor unitario. Las contribuciones relativas de la no linealidad y la dispersión se pueden determinar mediante considerando el parámetro adimensional de Stokes definido por  $Us = \frac{\omega^2 \eta}{h^3}$ , donde  $\eta$  representa la amplitud de onda y  $\omega$  es la longitud de onda horizontal. Para pequeños valores, la dispersión domina, mientras tanto que para valores gigantes del parámetro de Stokes la contestación se vuelve de manera significativa no lineal. Este último sistema se caracteriza por la aparición de ondas solitarias progresivas y bifurcaciones de frecuencia cercanas a la resonancia del líquido. Estas frecuencias de resonancia tienen la

posibilidad de establecer alrededor de tomando en cuenta las colaboraciones de dispersión para una contestación linealizada sin disipación. El natural resultante La frecuencia para el modo k-ésimo se puede redactar:

$$\omega_k = (2k - 1)\pi \frac{(gh)^{\frac{1}{2}}}{L} \left[ 1 - \frac{1}{6} (2k - 1)^2 \pi^2 \left(\frac{h}{L}\right)^2 \right] \quad (2.11)$$

(Shimizu & Hayama, 1987) desarrollaron una formulación a partir de los primeros principios asumiendo un flujo incompresible, no viscoso e irrotacional con presión constante sobre la superficie libre. Como resultado, para el flujo bidimensional, las ecuaciones que gobiernan la continuidad y el movimiento se pueden escribir a partir de las ecuaciones. (2.11) y (2.12), respectivamente, en la forma

$$\rho \dot{v}_i + \rho v_j v_{i,j} + p_{,i} = 0 \quad (2.12)$$

$$v_{ii} = 0 \quad (2.13)$$

$$u_{,x} + w_{,z} = 0 \quad (2.14)$$

$$\dot{u} + uu_{,x} + wu_{,z} = -\left(\frac{1}{\rho}\right) p_{,x} - \ddot{x}_b \quad (2.15)$$

$$\dot{w} + uu_{,x} + wu_{,z} = -\left(\frac{1}{\rho}\right) p_{,z} - g \quad (2.16)$$

Donde “u” y “w” son las velocidades de fluido horizontal y vertical, respectivamente, “p” es la densidad y “p” es la presión. Nuevamente, la aceleración de la base horizontal es, mientras que “g” representa la aceleración gravitacional vertical. Luego se introduce un potencial de velocidad  $\Phi$  en analogía con la teoría lineal, tal que

$$\Phi(x, z, t) = F(x, t) \cosh(k(h + z)) \quad (2.17)$$

$$u = \Phi_{,x} \quad (2.18)$$

$$w = \Phi_{,z} \quad (2.19)$$

Donde “k” es un número de onda. Al utilizar estas relaciones, las ecuaciones. (2.13), (2.14) y (2.15) se pueden integrar a través de la capa de fluido desde el fondo  $z = -h$  hasta la superficie  $z = \eta$ . Después de alguna manipulación, los resultados se pueden escribir.

$$\dot{\eta} + h\sigma(\phi u_s)_{,x} = 0 \quad (2.20)$$

$$\dot{u}_s + (1 + T_H^2)u_s u_{s,x} + g\eta_{,x} + gh\sigma\phi\eta_{,xx}\eta_{,x} = -\ddot{x}_b \quad (2.21)$$

$$\sigma = \frac{\tanh[kh]}{(kh)} \quad (2.22)$$

$$\phi = \frac{\tanh[k(h+\eta)]}{\tanh[kh]} \quad (2.23)$$

$$T_H = \tanh[k(h + \eta)] \quad (2.24)$$

" $u_s$ " es la velocidad horizontal en la superficie. Las ecuaciones anteriores son válidas para el número de onda arbitrario “k”. (Shimizu & Hayama, 1987) establecen k basándose en la primera respuesta de modo del problema lineal correspondiente. Desafortunadamente, esto destruye el carácter dispersivo de las soluciones. Para restaurar algo de dispersión, los autores emplean un método de diferencias finitas con el espaciado de la cuadrícula seleccionado de manera que la dispersión numérica coincida con la dispersión física que se espera en condiciones infinitesimales. Los autores comparan los resultados de este enfoque de diferencias finitas con los obtenidos mediante experimentos físicos en un tanque rectangular. Las historias de tiempo de respuesta de la elevación del área cerca de la primera resonancia se proporcionan en la figura 26, en lo cual los gráficos de los extremos relativos de la onda se presentan en la figura 27. Cabe señalar que también se incluyó un término de amortiguación en la formulación de diferencias finitas, presumiblemente para mejorar la correlación. Como resultado, el algoritmo numérico de Shimizu y Hayama (1987) proporciona simulaciones bastante precisas en el rango de comportamiento considerado en las Figs. 8.10 y 8.11. Además, la respuesta es consistente con la obtenida por Lepelletier y Raichlen (1988).

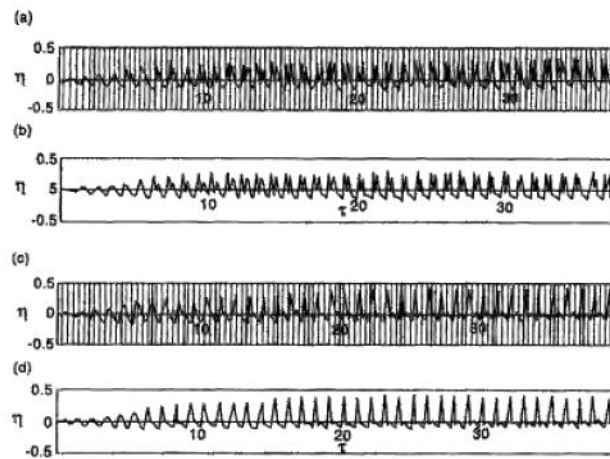


Figura 26: Historias de tiempo de superficie libre cerca de la resonancia más baja; (a) Experimente con  $w / w_1 = 1.00$  (b) Cálculo con  $w / w_1 = 1.00$  (c) Cálculo con  $w / w_1 = 1.05$  (d) Cálculo con  $w / w_1 = 1.05$

Fuente: (Shimizu & Hayama, 1987)

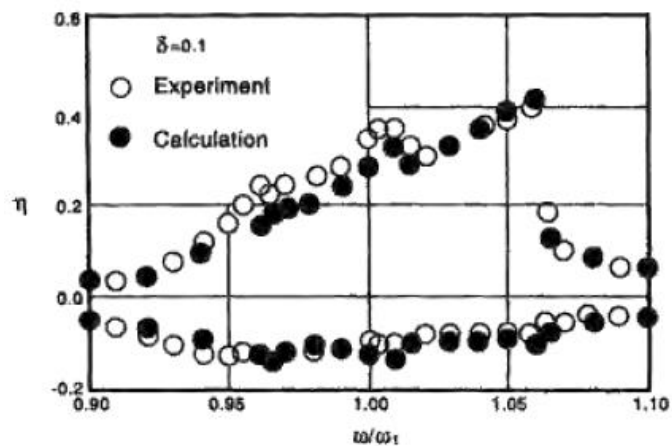


Figura 27: Variación de los extremos relativos de la onda

Fuente: (Shimizu & Hayama, 1987)

En las aproximaciones de aguas poco profundas anteriores, la dimensionalidad de las ecuaciones líderes se disminuye integrando o promediando por medio de la hondura del fluido. Alternativamente, se puede modelar de manera directa todo el dominio de los fluidos usando, ejemplificando, una formulación de diferencia finita o de recursos finitos.

### 2.2.18 Sistema de tanques elevados

Los tanques altos son comúnmente empleados una vez que es necesario elevación para obtener una óptima presión de agua y conseguir su repartición. Son de diferentes tamaños dependiendo del volumen que almacenarán y esto condicionará su forma. (Onofre, 2014, pág. 5)

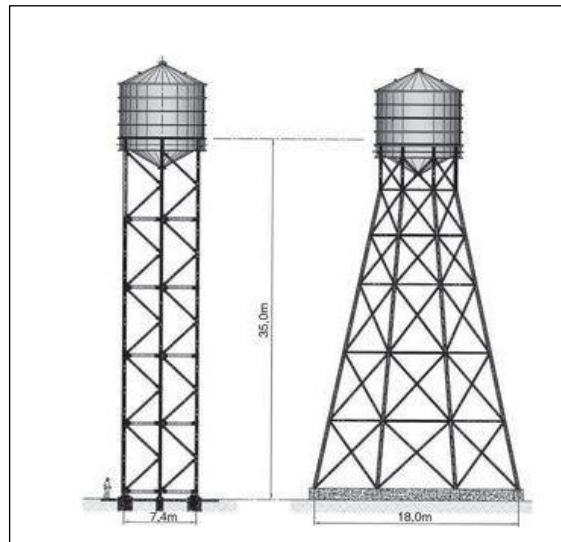


Figura 28: Dos tipos de tanque elevado

Fuente: (Martínez & Santiago del Río, 2016)

Las presiones dinámicas del líquido sobre los muros del contenedor tienen la posibilidad de dividirse en 2: una convectiva y otra impulsiva. Las presiones impulsivas permanecen relacionadas con las fuerzas de inercia elaboradas por movimientos impulsivos de los muros del tanque y son de manera directa proporcionales a las aceleraciones del mismo. Las presiones convectivas se generan por la oscilación del fluido en el área independiente y son efecto de las presiones impulsivas. (Hernández Barrios, 2006, pág. 4)



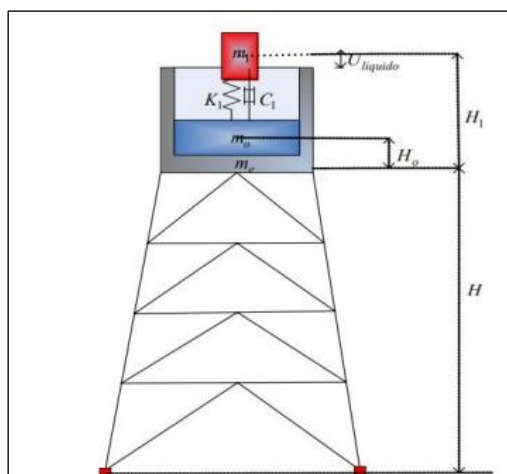


Figura 29: Esquema estructural de un tanque elevado

Fuente: (Hernández Barrios, 2006)

## 2.2.19 Tipos de tanques elevados

### a. Tanques elevados de acero

Los tanques hechos de materiales metálicos principalmente cuentan con maneras cilíndricas, la mayor parte son fabricados con láminas de acero corrugadas, galvanizadas y unidas con pernos de alta resistencia. Para poder obtener una hermeticidad e impermeabilidad para esta clase de composición con el material de acero, se toma en criterio las juntas; éstas se tienen que sellar con empacadoras de goma del tipo buena y con un sellador mono-componente flexible. (Rivera, 2018)

### b. Tanques elevados de concreto

Los tanques de concreto reforzado cuentan con gigantes ventajas comparativamente a otros materiales, entre ellas la impermeabilidad, que por sí mismo se recibe al instante de hacer un concreto bien dosificado y compactado, y al añadir aditivo impermeabilizante tiene gran resistencia contra los agentes químicos, así como al intemperismo. No obstante, varias características como la impermeabilidad de los depósitos tienen la posibilidad de ser dañados por la ejecución de la obra, así como la localización y el descriptivo de varias juntas. El concreto armado cuenta con diversas ventajas, es por esa razón que no se hace ajeno a esta clase

de construcciones. El tanque alto de concreto cuenta con secciones de extenso espesor en su diseño, el cual lo vuelve bastante sólido y resistente. (Rivera, 2018)

c. Tanques elevados de plástico

Los tanques plásticos o polietileno son uno de los modelos diseñados para el abasto de agua de forma segura y bastante práctica. Hay especificaciones técnicas donde el plástico, el cual está realizado tiene la resistencia elemental para la capacidad de almacén aguantando la presión del agua, debido a que es bastante compacto y está fabricado del todo unificado, es por esa razón que ofrece grandes facilidades para su uso de forma más económica. Con paso del tiempo este material ha ido perfeccionando considerablemente, satisfaciendo las necesidades de sus clientes. Los recursos que intervienen para que cumpla con los componentes de estabilidad, así como resistencia, impermeabilidad y mantenimiento, se debería a sus elementos como el polietileno de alta densidad que es un material aprobado por la FDA (Food and Drug Administration). (Rivera, 2018)

2.2.20 Funciones y características de un tanque elevado

El tanque alto sirve como almacenamiento y su uso se da para saciar las necesidades de agua de una población debida a que no se va a poder contar con un río constante en donde la demanda es bastante alta. Por otro lado, se va a poder regularizar el consumo según las necesidades poblacional gracias a los diferentes cambios de su demanda a lo largo de el día. Gracias a las estadísticas de consumo de agua se menciona que cada población tiene un caudal medio diario de consumo, además existe un mayor caudal diario, como además el mayor caudal horario que se produce en la hora de más grande consumo. (Rivera, 2018)

Los tanques elevados, al estar elevados brindan presión al agua. La gravedad permite al agua para que salga con presión a través de las tuberías. De esta forma el agua puede recorrer el sistema a alta velocidad y le dé la fuerza suficiente para que el agua llegue a los hogares, aunque estén a varios kilómetros de distancia. Los tanques elevados de agua al tener su propia

presión ahorran energía ya que no es necesario bombear el agua del tanque hacia los hogares. Solo es necesario bombear el agua al tanque únicamente permitiendo esto un ahorro considerable de energía comparado con otro sistema de almacenamiento de agua que este al ras del suelo. (ODAPAZ, 2021)

### 2.3. Definición de términos básicos

- Análisis dinámico: Es el estudio del comportamiento de una estructura.
- Amortiguador: Instrumento que absorbe la energía generada por un sismo.
- Cortante basal: Fuerza total sísmica en la base de la estructura
- Disipadores sísmicos: Elementos que se adosan a la estructura para evitar daños, disipando las acumulaciones de energía producidos por sismos.
- Ductilidad: Propiedad que posee un elemento, el cual permite experimentar deformaciones más allá de su límite elástico sin reducir significativamente su resistencia o rigidez.
- Grados de libertad: Número mínimo de parámetros que se necesita especificar para determinar el número de reacciones de una estructura.
- Periodo: El periodo natural de la estructura representa el tiempo necesario para completar una oscilación completa.
- Sismo: Movimiento repentinos de la corteza terrestre provocadas por perturbaciones de las placas tectónicas.
- Oscilación: movimiento que se presenta ante un sismo.
- Tanques elevados: Estructura de concreto armado que retiene agua ya sea para consumo humano o para almacenamiento en caso de incendio.
- Amortiguador de líquido sintonizado: tanque con un fluido que ayuda a reducir los desplazamientos.

## CAPITULO III: SISTEMA DE HIPÓTESIS

### 3.1. Hipótesis

#### 3.1.1 Hipótesis General:

La utilización de amortiguadores de masa sintonizada genera una reducción porcentual positiva de un 15% como respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos con tanques elevados, sometidos a registros sísmicos en el distrito de Magdalena del Mar.

#### 3.1.2 Hipótesis Específicos:

- a) El peso óptimo del tanque elevado pudiera ser el 1% del peso total de la edificación que permite mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.
- b) El comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado reduce en 10% la flexión y torsión frente a los sismos.
- c) Los amortiguadores de masa sintonizada podrían actuar en forma eficiente frente a los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar.

### 3.2. Variables de la investigación

#### 3.2.1 Variable Independiente

Es la variable que el investigador mide, manipula o selecciona para determinar su relación con el fenómeno o fenómenos observados. Esta variable es conocida también como variable estímulo o input. Es una variable que puede tener su origen en el sujeto o en el entorno del sujeto. Es la variable que el investigador manipula para ver los efectos que produce en otra variable. En la relación más simple, un investigador estudia qué le sucedería a la variable efecto cuando cambia los valores de la variable causa o variable independiente. (Buendia, Colas, & Hernandez, 2001, pág. 4)

La variable independiente de la presente tesis es “amortiguador de masa sintonizada”.

### 3.2.2 Variable dependiente

La variable dependiente es el factor que el investigador observa o mide para determinar el efecto de la variable independiente o variable causa. La variable dependiente es la variable respuesta o variable salida o output. En términos comportamentales, esta variable es el comportamiento resultante de un organismo que ha sido estimulado. Es el factor que aparece, desaparece, varía, etc., como consecuencia de la manipulación que el investigador hace de la variable independiente. (Buendia, Colas, & Hernandez, 2001, pág. 4)

La variable dependiente de la presente tesis es “Respuesta dinámica de un edificio de 9 niveles con tanque elevado”.

### 3.2.3. Operacionalización de variables

Es el proceso mediante el cual se explica cómo se medirán las variables formuladas en la hipótesis, para lo cual en muchos casos habrá que descomponerlas en indicadores susceptibles de poder medirse. No podrá desarrollarse una investigación si no se emplean indicadores que, en su conjunto, midan las variables de las hipótesis planteadas. La variable siempre se aplica al grupo u objeto que se investigan, los cuales adquieren distintos valores en función de la variable estudiada. (Borja, 2012).

## **CAPÍTULO IV: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN**

### 4.1. Tipo y nivel

#### 4.1.1 Tipo

La investigación aplicada se caracteriza porque busca la aplicación o utilización de los conocimientos que se adquieren. La investigación aplicada se encuentra estrechamente vinculada con la investigación básica, pues depende de los resultados y avances de esta última; esto queda aclarado si nos percatamos de que toda investigación aplicada requiere de un marco teórico. Busca confrontar la teoría con la realidad. Es el estudio y aplicación de la investigación a problemas concretos, en circunstancias y características concretas. (Rivero, 2008, pág. 20)

La presente investigación fue de tipo aplicada con enfoque cuantitativo.

#### 4.1.2. Nivel

La investigación descriptiva es aquella en que se busca describir determinadas características del objeto de estudio. (Borja, 2012, pág. 30)

La presente investigación tuvo un nivel descriptivo.

### 4.2 Diseño de la investigación

De acuerdo con (Borja, 2012, pág. 14) la investigación longitudinal estudia la evolución del fenómeno a través del tiempo. Corresponde a las investigaciones históricas.

La presente investigación fue no experimental con diseño longitudinal.

### 4.3 Población y muestra

(Borja, 2012, pág. 30) Nos menciona que la población es el conjunto de elementos o sujetos que serán motivos de estudio desde un punto de vista estadístico.

La población de estudio de la presente investigación estuvo comprendida por todos los edificios de 9 niveles de concreto armado ubicados en el distrito de Magdalena del Mar.

De acuerdo con (Rivero, 2008, pág. 52) la muestra es, en esencia, un subgrupo de la

población. Se puede decir que es un subconjunto de elementos que pertenecen a ese conjunto definido en sus necesidades al que llamamos población. Básicamente se categorizan las muestras en dos grandes ramas: las probabilísticas y las no probabilísticas. Entiéndase por muestras probabilísticas como el subgrupo de la población en el que todos los elementos de este tienen la misma probabilidad de ser escogidos; por consiguiente, las muestras no probabilísticas es cuando la elección de los elementos no depende de la investigación o de quien hace la muestra.

La muestra de la presente investigación es el edificio Residencial Gloria IV de 9 niveles con 4 sótanos y 1 semisótano, además de ser un edificio con 48 departamentos con área total techada de 4655.93 m<sup>2</sup> construido en un área de terreno de 773.57 m<sup>2</sup> ubicado en el Jr Alfonso Ugarte 535, en el distrito de Magdalena del Mar. La muestra se seleccionó mediante un muestreo no probabilístico por conveniencia.

#### 4.4 Técnicas e instrumento de recolección de datos

##### 4.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos

Las técnicas que usaron para la presente investigación son de observación ya que se pretende evaluar el comportamiento dinámico de la edificación de 9 niveles usando amortiguadores de masa sintonizada con tanque elevado.

Los instrumentos usados en la presente investigación son los siguientes:

Normas:

- E030 Norma Técnica Peruana Sismo resistente.
- E050 Norma Técnica Peruana de Suelos y Cimentaciones.
- E060 Norma Técnica Peruana de concreto armado.
- E070 Norma Técnica Peruana de albañilería.

Expediente Técnico:

- Memoria descriptiva.
- Memoria arquitectónica.
- Memoria descriptiva de sostenimiento de excavación mediante muros anclados.
- Memoria descriptiva de estructuras.

- Memoria descriptiva de instalaciones sanitarias.

Informes técnicos:

- (GMN Proyecto S.A, 2018) Estudio final de suelos.

Planos:

- Estructuras.
- Arquitectura.
- Instalaciones eléctricas.
- Instalaciones sanitarias
- Instalaciones mecánicas.

Software:

- ETABS versión 16.0.2.

#### 4.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos

Los instrumentos que se están usando en la presente tesis se considera validos ya que se está trabajando con las normas actuales y respecto al programa utilizado para el modelamiento y análisis sísmico es el Software ETABS versión 18.0.2, debido a su fiabilidad, poder de cálculo y versatilidad en el análisis y diseño de edificios, elaborado por *Computers and Structures*, empresa reconocida mundialmente como líder innovador en el desarrollo de software para el análisis y diseño de estructuras.

#### 4.4.3 Procedimientos para la recolección de datos

En la presente tesis se seguirá el siguiente procedimiento para la recolección de datos (ver figura 30) :



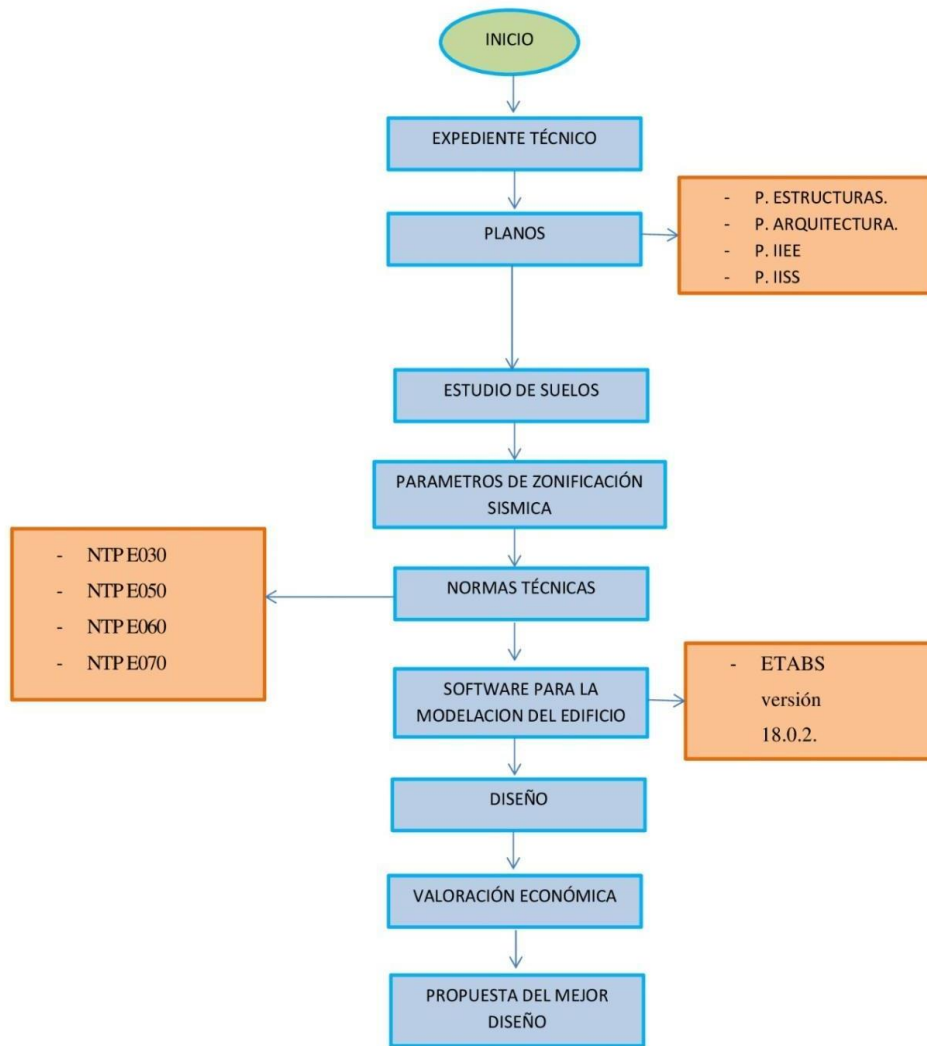


Figura 30: diagrama de recolección de datos

Fuente: Creación propia

#### 4.4.4 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información

Los datos logrados de los planos de la construcción fueron modelados en el programa ETABS V.16, donde se hizo la investigación de la composición y se obtuvieron los desplazamientos laterales, las derivas de entrepiso, los esfuerzos axiales, cortantes y de momento flector. Los valores resultantes de los desplazamientos y derivas fueron tomados para equiparar una vez que la composición se modele con los amortiguadores de masa sintonizada y poder mirar según los resultados para ver cuál es el más favorable y desfavorable ante un sismo. Tal cual los datos analizados cumplirán los requerimientos exigidos y garantizarán un comportamiento en las fronteras de la norma E030 de diseño sismorresistente.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS SÍSMICO DE LA ESTRUCTURA

### 5.1 Generalidades

La presente investigación está referida al edificio multifamiliar de 9 niveles, llamado Edificio Multifamiliar Gloria IV, el cual se encuentra ubicado en:

Calle: Jr. Alfonso Ugarte 535

Distrito: Magdalena del Mar

Provincia: Lima

Departamento: Lima

La estructura comprende 4 sótanos, 1 semisótano, 9 niveles. Siendo la altura total del proyecto 25.8 metros, con una altura de entrepiso de 2.70m.

De acuerdo con los planos estructurales de cimentaciones, la edificación se encuentra cimentada sobre grava pobremente gradada, el cual tiene una presión admisible de 4.25 kg/cm<sup>2</sup>.

El edificio tiene una configuración estructural de muros de concreto armado en ambas direcciones con presencia de pórticos de concreto armado.

En los sótanos presenta losas macizas de  $h = 0.2$  metros, y en los pisos superiores presentan losas aligeradas de  $h = 0.17$  metros.

### 5.2 Modelación estructural

En la Figura 30, se muestra el modelo analítico de la edificación en 3D desarrollado en el programa ETABS Versión 16.0.2 desde el nivel de la cisterna hasta el nivel 9, con todos sus elementos estructurales, cumpliendo con las características y especificaciones según los planos de estructuras.

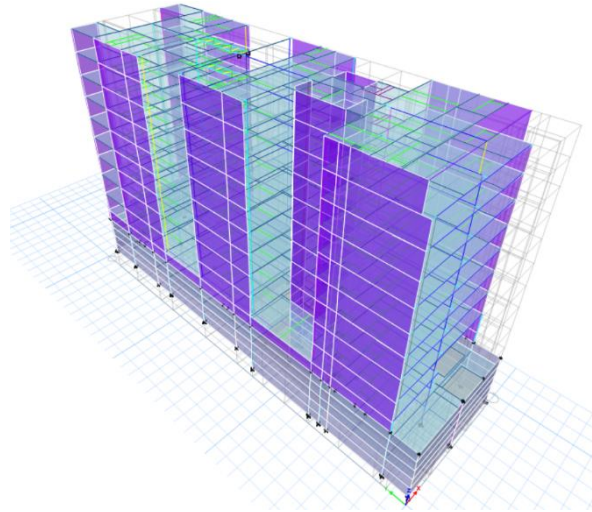


Figura 31: Vista 3D del edificio modelado en el programa

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

Así mismo, en la Figura 31, se muestra la planta típica de la edificación, modelado en ETABS, en el cual se observa la distribución de las vigas, columnas, placas y losas.

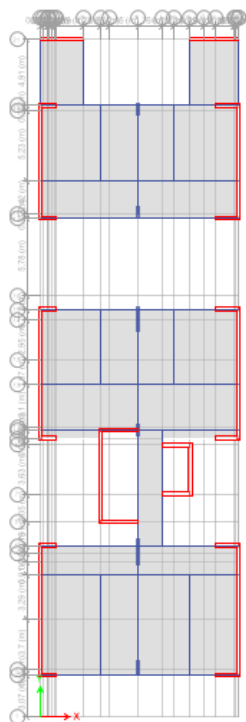


Figura 32: Vista de una planta típica del edificio Gloria IV

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

### 5.2.1 Propiedades de los materiales

- Concreto armado: La resistencia de concreto de los elementos estructurales del proyecto fueron definidos por la empresa HIGASHI INGENIERIOS S.A.C. en sus planos estructurales, donde se consideraron para modelar el edificio en el programa ETABS. En la Tabla 5, se muestran las resistencias de concreto de los elementos estructurales, las cuales varían de acuerdo al nivel y de acuerdo al tipo de elemento estructural.

Tabla 4: Cuadro de resistencias de diseño utilizadas en la estructura

Nivel	Resistencia a la Compresión del Concreto $f'_c$ (kg/cm <sup>2</sup> )			
	Placas	Columnas	Vigas	Losas
Sótano 4 - Semisótano	Ver tabla 5	Ver tabla 4	350 kg/cm <sup>2</sup>	350 kg/cm <sup>2</sup>
Piso 1 - Piso 9	Ver tabla 5	Ver tabla 4	280 kg/cm <sup>2</sup>	280 kg/cm <sup>2</sup>

Fuente: Elaboración propia

- Acero de refuerzo: El acero utilizado en esta edificación fue proporcionado por Aceros Arequipa, el cual tiene las siguientes características y cumple con:

- Norma Técnica Peruana NTP 341.031 Grado 60.
- Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú.
- ASTM A615 Grado 60.
- Resistencia a la fluencia  $f_y = 4200\text{kg/cm}^2$

A continuación, se mostrarán la definición de los materiales en el Software ETABS, para los materiales de concreto de  $f'_c=280\text{ kg/cm}^2$  y  $f'_c=350\text{ kg/cm}^2$ . En la Figura 32 se muestra la definición del material tipo concreto de resistencia a la compresión  $f'_c=280\text{ kg/cm}^2$ , con todos sus parámetros y características. Este concreto se utilizó para columnas en los primeros y últimos niveles del edificio.

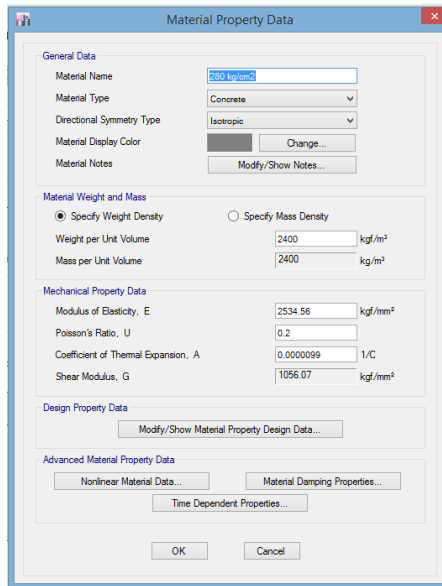


Figura 33: Definición de concreto  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

En la Figura 33 se muestra la definición del material tipo concreto de resistencia a la compresión  $f'c=350$  kg/cm<sup>2</sup>, con todos sus parámetros y características. Este concreto se utilizó para columnas, placas, vigas y losas.

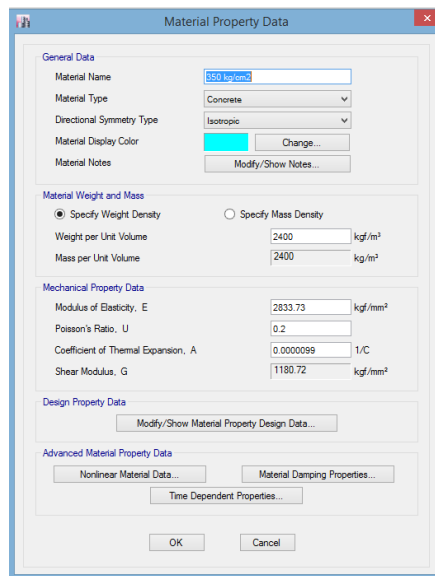


Figura 34: Definición de concreto  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup> en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

En la Figura 34 se muestra la definición del material tipo concreto de resistencia a la compresión  $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ , con todos sus parámetros y características. Este concreto también se utilizó para columnas, placas, vigas y losas, especialmente en la cimentación y niveles inferiores y de fundación.

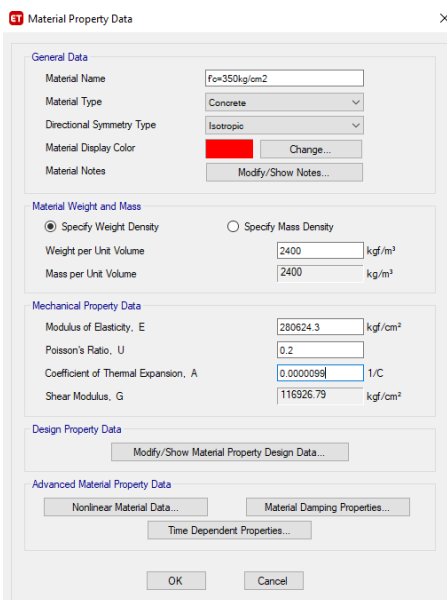


Figura 35: Definición de concreto  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$  en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

En la Figura 35 se muestra la definición del material tipo concreto de resistencia a la compresión  $f'_c=280 \text{ kg/cm}^2$ , con todos sus parámetros y características. Este concreto se utilizó para columnas y placas en casi todos los niveles para garantizar rigidez en la estructura.

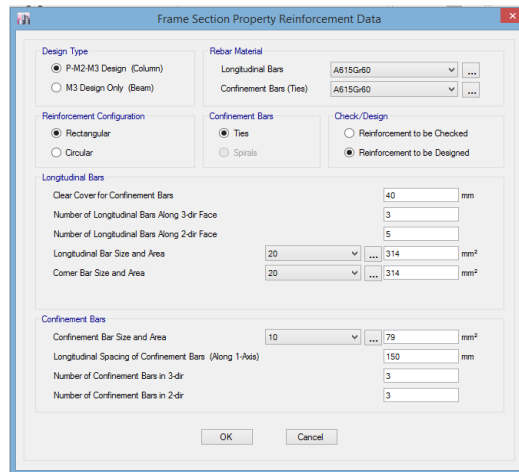


Figura 36: Definición de la columna C-1 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

### 5.2.2 Secciones de los elementos

#### a. Columnas

En la Tabla 5 se muestran las secciones de columnas, propuestas en el diseño de los planos estructurales, con sus respectivas dimensiones en unidades de centímetros, así como su resistencia a la compresión según sus niveles correspondientes.

Tabla 5: Cuadro de columnas establecidas en la estructura

COLUMNAS					
Elemento	Ancho (cm)	Largo (cm)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )	Nivel inicial	Nivel final
C-1	30	100	350	Sótano 4	Semisótano
	30	100	280	Piso 1	Piso 9
C-2	40	185	350	Sótano 4	Semisótano
	40	185	280	Piso 1	Piso 9
C-3	40	113	350	Sótano 4	Semisótano
	40	113	280	Piso 1	Piso 9
C-4	40	200	350	Sótano 4	Semisótano
	40	200	280	Piso 1	Piso 9
C-5	40	120	350	Sótano 4	Semisótano
	40	120	280	Piso 1	Piso 9
C-6	30	50	350	Sótano 4	Semisótano
	30	50	280	Piso 1	Piso 9
C-7	30	50	350	Sótano 1	Sótano 1

Fuente: Elaboración propia

Se muestra, a manera de ejemplo, la definición de la Columna 1, según la Tabla 5, en el Software ETABS (Ver Figura 36). Se le asigna la resistencia según corresponda y las dimensiones de acuerdo a las especificaciones con las unidades respectivas.

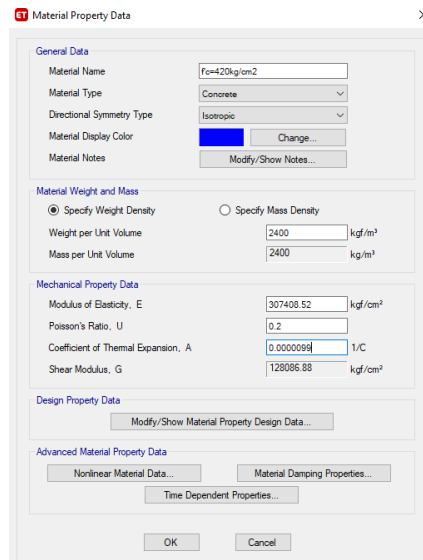


Figura 37: Definición de la columna C-1 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

Así mismo, se muestra la definición del acero de refuerzo de la Columna 1 en el Software ETABS (Ver Figura 37). La cuantía de acero considerada para el modelamiento se obtuvo de los planos estructurales del proyecto.

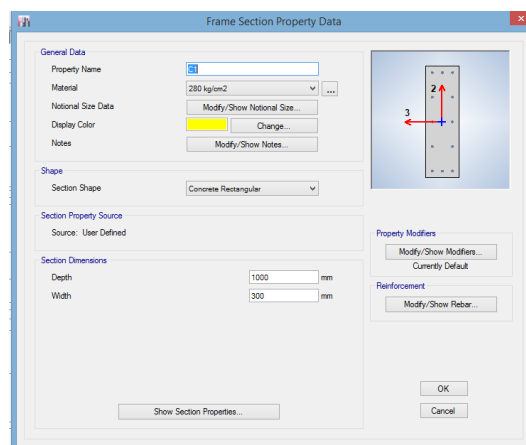


Figura 38: Definición del refuerzo para la columna C-1 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2



b. Placas

En la Tabla 6 se muestran las placas del proyecto, con sus respectivas secciones, las cuales se muestran en áreas, en unidades de metros cuadrados, debido a que presentan secciones irregulares; asimismo, se muestra la resistencia a la compresión de cada elemento según los niveles correspondientes.

Tabla 6: Cuadro de placas establecidas en la estructura

PLACAS				
Elemento	Área sección (m <sup>2</sup> )	f <sub>c</sub> (kg/cm <sup>2</sup> )	Nivel inicial	Nivel final
P-1	1.23	350	Sótano 4	Sótano 2
	1.24	350	Sótano 1	Semi Sótano
	0.9	280	Piso 1	Piso 8
	0.9	280	Piso 9	Piso 9
P-2	1.24	350	Sótano 4	Sótano 2
	1.26	350	Sótano 1	Semi Sótano
	0.9	280	Piso 1	Piso 8
	0.9	280	Piso 9	Piso 9
P-3	2.58	350	Sótano 4	Sótano 2
	2.58	350	Sótano 1	Semi Sótano
	2.58	280	Piso 1	Piso 8
	2.58	280	Piso 9	Piso 9
P-4	2.12	350	Sótano 4	Sótano 2
	1.74	350	Sótano 1	Semi Sótano
	1.74	280	Piso 1	Piso 8
	1.74	280	Piso 9	Piso 9
P-5	2.691	350	Sótano 4	Sótano 2
	2.691	350	Semi Sótano	Semi Sótano
	2.21	280	Piso 1	Piso 8
	2.21	280	Piso 9	Piso 9
P-6	2.685	350	Sótano 4	Sótano 2
	2.685	350	Semi Sótano	Semi Sótano

	2.21	280	Piso 1	Piso 8
	2.21	280	Piso 9	Piso 9
	2.685	350	Sótano 4	Sótano 2
P-7	2.685	350	Semi Sótano	Semi Sótano
	2.24	280	Piso 1	Piso 8
	2.24	280	Piso 9	Piso 9
	2.685	350	Sótano 4	Sótano 2
P-8	2.685	350	Semi Sótano	Semi Sótano
	2.24	280	Piso 1	Piso 8
	2.24	280	Piso 9	Piso 9
	2.97	350	Sótano 4	Sótano 2
P-9	2.97	350	Semi Sótano	Semi Sótano
	2.31	280	Piso 1	Piso 8
	2.01	280	Piso 9	Piso 9
	2.988	350	Sótano 4	Sótano 2
P-10	2.988	350	Semi Sótano	Semi Sótano
	2.988	280	Piso 1	Piso 8
	2.988	280	Piso 9	Piso 9

Fuente: Elaboración propia

De manera de ejemplo se muestra la definición del elemento estructural de la placa P-1, de acuerdo a la Tabla 6 (Ver Figura 38). Se le asigna la resistencia que corresponda y se modela como un Shell-Thin en el Software ETABS.

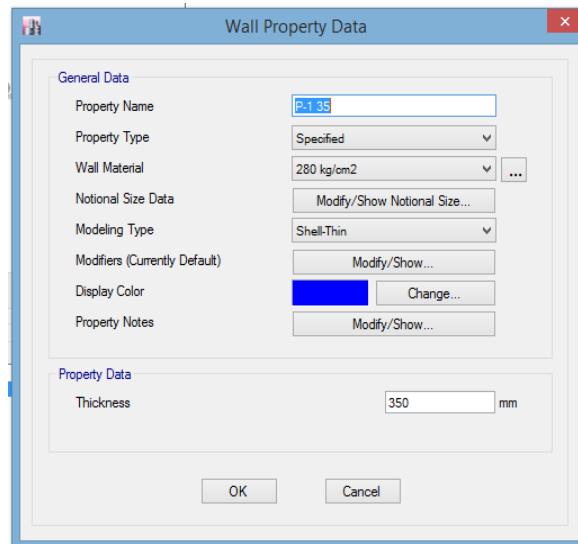


Figura 39: Definición de la placa P-1 en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

De igual forma se definieron las diferentes placas del proyecto de acuerdo a sus resistencias de concreto especificadas en la Tabla 6.

c. Vigas

La Tabla 7 muestra las secciones de vigas de la edificación, de acuerdo a los planos de estructuras, con sus respectivas dimensiones, así como su resistencia a la compresión según los niveles correspondientes.

Tabla 7: Cuadro de vigas establecidas en la estructura

VIGAS			
Elemento	Ancho (cm)	Peralte (cm)	f'c (kg/cm <sup>2</sup> )
V-1	30	58	350
V-2	30	58	350
V-3	30	58	350
V-4	20	58	350
V-5	40	58	350
V-6	25	58	350
V-7	25	58	350
V-8	30	58	350
V-9	30	58	350
V-10	30	58	350
V-11	30	58	350
V-12	30	58	350

V-13	30	58	350
V-14	30	58	350
V-15	30	58	350
V-16	30	58	350
V-17	25	58	350
V-18	30	58	350
V-19	30	58	350
V-20	25	58	350
V-21	30	58	350
V-22	30	58	350
V-23	30	58	350
V-24	30	58	350
V-25	30	58	350
V-26	30	58	280
V-27	30	58	350
V-28	30	58	350
V-29	30	58	350
V-30	30	58	350
V-31	30	58	350
V-32	30	58	350
V-33	25	58	350
V-34	25	58	350
V-35	25	58	350
V-36	40	58	350
V-37	25	58	280
V-38	25	58	350
V-39	30	58	280
V-40	30	58	280
V-41	30	58	280
V-42	30	58	280
V-43	30	58	280
V-44	30	58	280
V-45	30	58	280
V-46	30	58	280
V-47	40	58	280
V-48	25	58	280
V-49	30	58	280
V-50	25	58	280
V-51	30	58	280
V-52	30	58	280
V-53	25	58	280
V-54	25	58	280
V-55	25	58	280
V-56	30	58	280

V-57	25	58	280
V-58	30	58	280
V-59	30	58	280
V-60	25	58	280
V-61	30	58	280
V-62	30	58	280
V-63	30	58	280
V-64	25	58	280
V-65	40	58	280

Fuente: Elaboración propia

Se muestra, a manera de ejemplo, la definición de la viga V-1 (Ver Figura 39) con una resistencia de concreto de  $f'_c=350 \text{ kg/cm}^2$ , de acuerdo con la Tabla 5, en el Software ETABS y con sus dimensiones correspondientes.

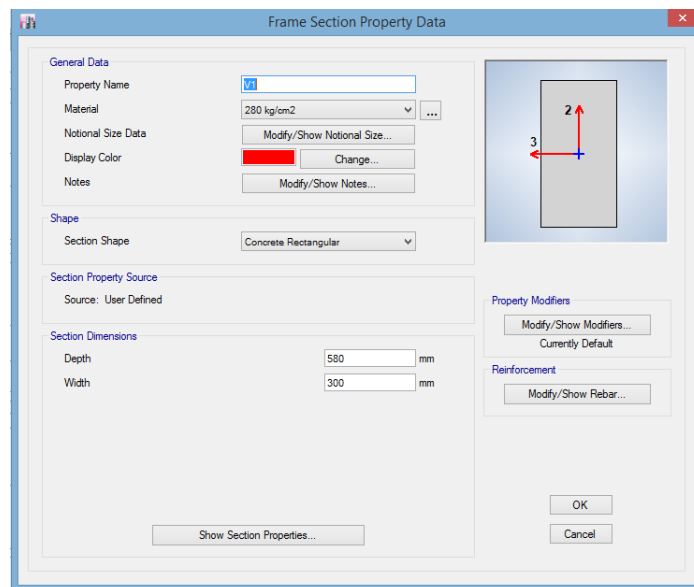


Figura 40: Definición de la viga V-1 en programa

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

De la misma manera se definieron las diferentes vigas del proyecto de acuerdo a sus resistencias de concreto especificadas en la Tabla 7.

#### d. Losas

El modelo analítico del proyecto presenta losas aligeradas unidireccionales y losas macizas en sus diferentes niveles de acuerdo a los planos estructurales con una resistencia a la compresión de  $280 \text{ kg/cm}^2$  y  $350 \text{ kg/cm}^2$ . La Tabla 8 muestra las secciones de losas, con sus respectivos

peraltes en unidades de centímetros, así como su resistencia a la compresión según los niveles correspondientes.

Tabla 8: Cuadro de losas establecidas en la estructura

LOSAS				
Elemento	Peralte (cm)	f'c (kg/cm2)	Nivel inicial	Nivel final
Maciza	20	350	Sótano 4	Semisótano
Aligerado	20	280	piso 1	Azotea

Fuente: Elaboración propia

En la figura 40 se muestra, a manera de ejemplo, la definición de la losa aligerada unidireccional con un espesor de 20 cm y con una resistencia de concreto de  $f'c=280$  kg/cm<sup>2</sup>, el cual fue definido como Shell-Thin en el Software ETABS.

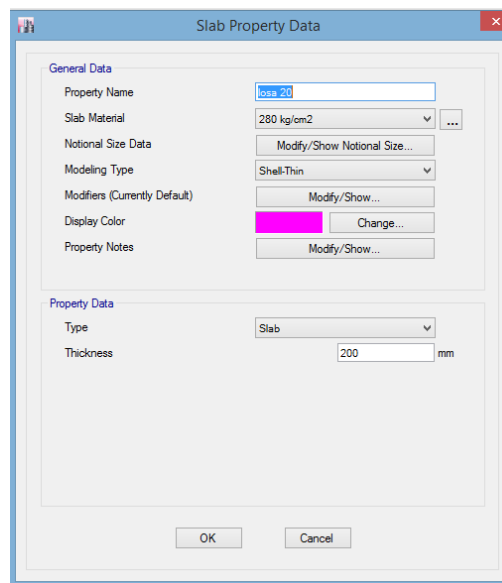


Figura 41: Definición de la losa aligerada de 20cm en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

De la misma manera se definieron las diferentes placas del proyecto de acuerdo con sus resistencias de concreto especificadas en la Tabla 6.

### 5.3 Cargas consideradas

#### 5.3.1 Carga muerta

Las cargas muertas consideradas sobre las losas en el modelo, como se muestra en la Tabla 9, fueron de acuerdo a la Norma E020, tales como tabiques, acabados y peso propio de las losas aligeradas.

Tabla 9: Cuadro de cargas muertas en la losa

Descripción	Carga muerta (kg/m <sup>2</sup> )
Tabiquería	150
Acabados	100
Aligerado e = 20 cm	210

Fuente: Elaboración propia

Así mismo, se consideró como carga muerta los tabiques de sílico-calcáreo de espesores de 10 cm, 12 cm y 15 cm, los cuales se encuentran ubicados sobre las vigas en los diferentes niveles del edificio, con un peso unitario de 1800 kg/m<sup>3</sup>.

### 5.3.2 Carga viva

La Tabla 10 muestra las cargas vivas consideradas en el diseño de la edificación, de acuerdo a la Norma Técnica Peruana E020 y a los planos de estructuras.

Tabla 10: Cargas vivas de diseño

Descripción	Carga viva (kg/m <sup>2</sup> )
Sobrecarga (Viviendas)	200
Sobrecarga (Escaleras)	200

Fuente: Elaboración propia

En la Figura 41 se muestran la definición de las cargas en el Software ETABS como cargas muertas, cargas vivas y cargas vivas de techo. Se considera un factor de 1 en la carga muerta por peso propio a fin de que el Software considere los pesos propios de cada elemento estructural modelado.

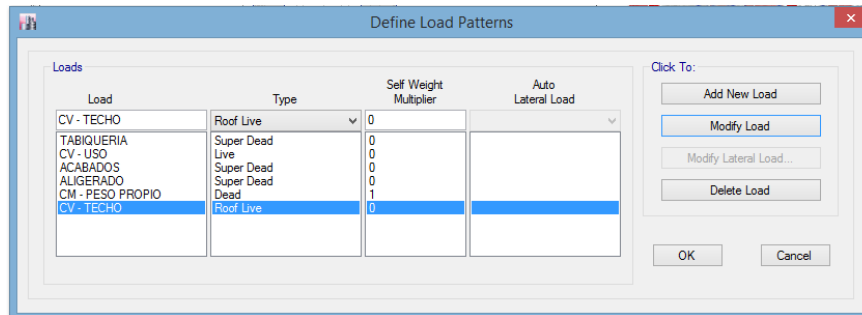


Figura 42: Definición de cargas en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

## 5.4 Parámetros sísmicos

### 5.4.1 Factor de Zona

De acuerdo al Mapa de Zonificación Sísmica, presentada en el Capítulo 1 de la presente investigación, se observa que a nivel nacional el territorio se considera dividido en cuatro zonas (Ver Figura 3); para los cuales a cada zona se le asigna un factor Z. La Tabla 9 muestra los valores correspondientes de Z para cada Zona.

Tabla 11: Factores de Zona

FACTORES DE ZONA “Z”	
ZONA	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Fuente: Ministerio de Vivienda y Construcción, 2018. Norma Técnica Peruana E.030

“Este factor se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018, p.4)

El edificio se encuentra ubicado en el distrito de Magdalena del Mar, el cual se ubica en la zona 4, para lo cual se consideró un factor de zona,  $Z=0.45$ .

### 5.4.2 Parámetros de sitio



La Norma Técnica Peruana E030 clasifica a los tipos de suelo de la siguiente manera:

- Perfil Tipo S0: Roca Dura
- Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos
- Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios
- Perfil Tipo S3: Suelos Blandos
- Perfil Tipo S4: Condiciones Excepcionales

De acuerdo con la ubicación del edificio y a los planos estructurales de cimentación, la estructura se encuentra ubicada en un Perfil Tipo S1.

La Tabla 12, es obtenida de la Norma Técnica Peruana E030 y muestra el factor de suelo a considerar para cada zona de acuerdo con la ubicación del proyecto.

Tabla 12: Factor de Suelo

ZONA	SUELO	FACTOR DE SUELO "S"			
		S0	S1	S2	S3
	Z4	0.8	1	1.05	1.1
	Z3	0.8	1	1.15	1.2
	Z2	0.8	1	1.2	1.4
	Z1	0.8	1	1.6	2

Fuente: Ministerio de Vivienda y Construcción, 2018. Norma Técnica Peruana E.030

La Tabla 13 muestra el periodo TP y TL a considerar de acuerdo con el tipo de suelo que el proyecto presente.

Tabla 13: Período "TP" y "TL"

	PERÍODOS "TP" y "TL"			
	Perfil de suelo			
	S0	S1	S2	S3
TP (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
TL (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Fuente: Ministerio de Vivienda y Construcción, 2018. Norma Técnica Peruana E.030

Por tal motivo, de acuerdo a las tablas N°11 y N°12, se obtuvieron los siguientes valores:

- $S = 1.0$
- $TP = 0.40$
- $TL = 2.5$

#### 5.4.3 Factor de amplificación sísmica

El factor de amplificación sísmica se define por las siguientes expresiones de acuerdo con la Norma E030:

$$T < TP \rightarrow C = 2.5$$

$$TP < T < TL \rightarrow C = 2.5 \left( \frac{TP}{T} \right)$$

$$TL < T \rightarrow C = 2.5 \left( \frac{TP TL}{T^2} \right)$$

De acuerdo con el programa ETABS 16.0.2, el periodo fundamental de la estructura en la dirección X y en la dirección Y fueron los siguientes:

- Periodo fundamental X (Tx): 0.737 s
- Periodo fundamental Y (Ty): 0.583 s

Considerando los resultados obtenidos se usó la ecuación 4.2 para determinar el factor de amplificación sísmica en cada dirección:

Dirección X:

$$TP < 0.737 < TL \quad C = 2.5 \left( \frac{0.4}{0.737} \right) = 1.36$$

Dirección Y:  $TP < 0.583 < TL$

$$C = 2.5 \left( \frac{0.4}{0.583} \right) = 1.72$$

#### 5.4.4 Categoría de la edificación y factor de uso

De acuerdo con la Norma E 030 – Diseño Sismorresistente, en el capítulo 3 “Categoría, sistema estructural y regularidad de edificaciones”, en el artículo 12 “Categoría de las Edificaciones y Factor de uso (U)”, se indican

los diferentes valores de U el cual depende de la categoría de la edificación. La estructura de la investigación, al ser un edificio multifamiliar, pertenece a la categoría C de edificaciones comunes, por tanto, corresponde un factor  $U = 1.0$ .

#### 5.4.5 Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas

El coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas  $R_0$  se determina mediante el producto del coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas ( $R_0$ ) con las irregularidades en planta y en altura.

##### a. Coeficiente básico de reducción ( $R_0$ )

De acuerdo al Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018), “los sistemas estructurales se clasifican según los materiales usados y el sistema de estructuración sismorresistente en cada dirección de análisis” (pág. 15). La Tabla 14, obtenida de la Norma Técnica Peruana E030 muestra los valores de coeficiente básico de reducción  $R_0$  para cada sistema estructural.

Tabla 14: Sistemas Estructurales y Coeficiente básico de reducción  $R_0$

SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coeficiente básico de reducción $R_0$
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera (Por esfuerzos admisibles)	7

Fuente: Ministerio de Vivienda y Construcción, 2018. Norma Técnica Peruana E.030

En consecuencia, a la Tabla 14 y de acuerdo a los planos estructurales definidos, se optó por un valor de:

$$R_{0X} = 6$$

$$R_{0Y} = 6$$

b. Irregularidad estructural:

Las irregularidades dadas en el edificio extraídas del expediente técnico son:

Factor de irregularidad en altura  $I_a=1.00$  (regular)

Factor de irregularidad en planta  $I_p= 0.9$ (irregular)

## 5.5. Análisis dinámico

### 5.5.1 Aceleración Espectral

Según la Norma E 030 – Diseño Sismorresistente, en el capítulo 4 “Análisis estructural”, en el artículo 26 “Análisis Dinámico Modal Espectral”, punto 26.2. “Aceleración Espectral”, menciona lo siguiente:

Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \quad (2.25)$$

La definición del espectro de respuesta en el Software ETABS, se realizó considerando los valores de la Tabla 14, obteniendo el espectro de respuesta que se observa en la Figura 42.

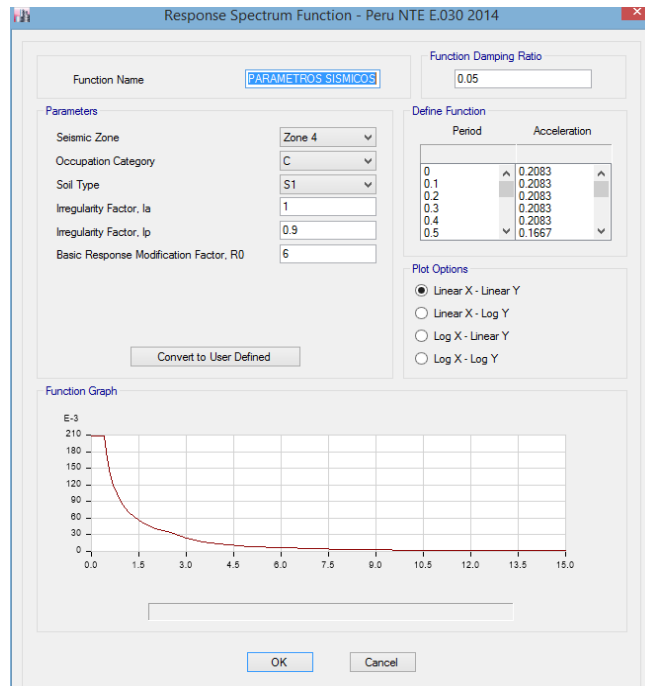


Figura 43: Espectro de respuesta definido en el Software ETABS v16.0.2

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

Así mismo, para el análisis modal espectral se definieron los casos de carga Sismo XX y Sismo YY, los cuales se muestran en la Figura 43.

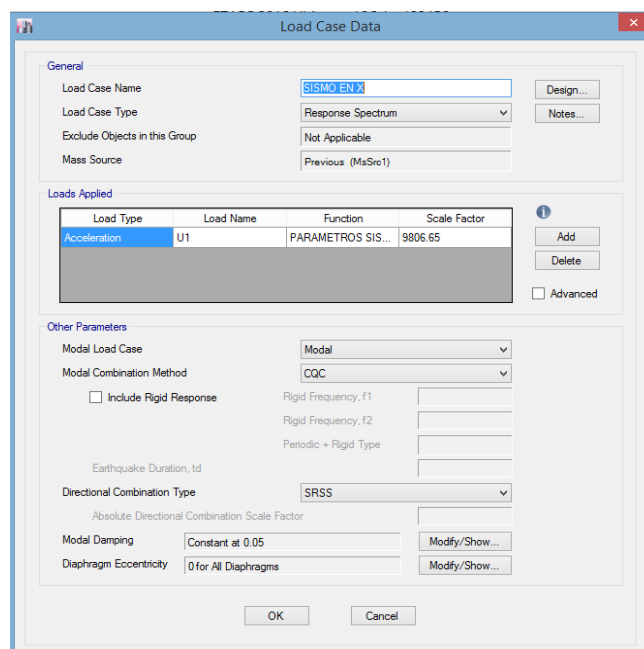


Figura 44: Definición de las cargas sísmicas dinámicas en el Software ETABS v.16.0.2

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

### 5.5.2 Máxima deriva de entrepiso

Según el MVCS (2018), Norma Técnica E.030, en el capítulo 5 “Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad”, artículo 28 “Determinación de Desplazamientos Laterales”, los desplazamientos de entrepiso serán reducidos por un factor, 0.75 para estructuras regulares y 0.85 para estructuras irregulares. Para nuestro caso el factor fue de 0.85 por tratarse de un edificio irregular.

Se realizó el Análisis Modal Espectral para el edificio sin ningún reforzamiento sísmico con el objetivo de conocer las derivas de entrepiso. En la Tabla 15 se muestran los resultados de las derivas de entrepiso en cada nivel en las direcciones X e Y producido por el sismo dinámico X-X, presentando las máximas derivas en la dirección X.

Tabla 15 : Derivas de entrepiso de la estructura por sismo dinámico X-X

Piso	Sismo Dinámico X-X			
	Drift X	Deriva X	Drift Y	Deriva Y
	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$
Piso 9	0.00105	0.005370	0.000063	0.00032
Piso 8	0.00110	0.005590	0.000048	0.00024
Piso 7	0.00113	0.005758	0.00004	0.00020
Piso 6	0.00114	0.005804	0.000037	0.00019
Piso 5	0.00111	0.005671	0.000025	0.00013
Piso 4	0.00104	0.005294	0.000019	0.00010
Piso 3	0.00090	0.004590	0.000013	0.00007
Piso 2	0.00069	0.003499	0.000008	0.00004
Piso 1	0.00042	0.002142	0.000016	0.00008

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 16 se muestran las derivas de entrepiso en la dirección X e Y, producidos por el sismo dinámico Y-Y, en el cual se observa que las derivas máximas se encuentran en la dirección Y.

Tabla 16: Derivas de entrepiso de la estructura por sismo dinámico Y-Y

Sismo Dinámico Y-Y				
Piso	Drift X	Deriva X	Drift Y	Deriva Y
	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$
Piso 9	0.000043	0.000219	0.000265	0.00135
Piso 8	0.000043	0.000219	0.000277	0.00141
Piso 7	0.000043	0.000219	0.000282	0.00144
Piso 6	0.000042	0.000214	0.000281	0.00143
Piso 5	0.000039	0.000199	0.000269	0.00137
Piso 4	0.000035	0.000179	0.000246	0.00125
Piso 3	0.000034	0.000173	0.000211	0.00108
Piso 2	0.000029	0.000148	0.000164	0.00084
Piso 1	0.000019	0.000097	0.000094	0.00048

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla 15 y Tabla 16 se observa que el diseño propuesto por la empresa HIGASHI INGENIERIOS S.A.C. cumple con lo especificado en la norma E030 en su artículo 32 “Desplazamientos laterales relativos admisibles”, debido a que las derivas máximas obtenidas son menores a 0.007 (valor que corresponde al límite de distorsión de entrepiso para concreto armado).

### 5.5.3 Fuerza cortante de entrepiso

Del análisis modal espectral, se obtuvieron las fuerzas cortantes de entrepiso en cada dirección de análisis. En la Tabla 17 se muestran fuerzas cortantes obtenidas por el sismo dinámico X-X en cada nivel de la estructura, obteniendo como fuerza cortante basal 360.89 tonf.

Tabla 17: Fuerzas de entrepiso por sismo en eje X

Nivel	Fuerzas de Entrepiso		
	Carga	VX (tonf)	Altura (m)
Piso 9	Sismo XX	80.0724	24.3
Piso 8	Sismo XX	149.3692	21.6
Piso 7	Sismo XX	201.2095	18.9
Piso 6	Sismo XX	241.2896	16.2
Piso 5	Sismo XX	275.658	13.5
Piso 4	Sismo XX	307.1536	10.8
Piso 3	Sismo XX	334.1359	8.1
Piso 2	Sismo XX	352.7867	5.4
Piso 1	Sismo XX	360.8966	2.7

Fuente: Elaboración propia

De la misma forma, en la Tabla 18 se muestran las fuerzas cortantes obtenidas por el sismo dinámico Y-Y en cada nivel de la estructura, obteniendo como fuerza cortante basal 19.18 tonf.

Tabla 18: Fuerzas de entrepiso por sismo en eje Y

<u>Nivel</u>	<u>Fuerzas de Entrepiso</u>		
	<u>Carga</u>	<u>VY (tonf)</u>	<u>Altura (m)</u>
Piso 9	Sismo YY	2.9382	24.3
Piso 8	Sismo YY	5.1277	21.6
Piso 7	Sismo YY	6.8286	18.9
Piso 6	Sismo YY	8.7497	16.2
Piso 5	Sismo YY	11.2447	13.5
Piso 4	Sismo YY	14.0509	10.8
Piso 3	Sismo YY	16.6011	8.1
Piso 2	Sismo YY	18.3872	5.4
Piso 1	Sismo YY	19.1845	2.7

Fuente: Elaboración propia



## CAPÍTULO VI: APLICACIÓN DE AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA

### 6.1 Parámetros óptimos del AMS

Para definir los parámetros óptimos, se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones de acuerdo al método de Sadek et. al:

- La masa equivalente considerada es del 1% de la masa total de la estructura.

Siendo  $\mu = 0.01$

- 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 elastoméricos con refuerzo de acero.
- Se consideró una razón de amortiguamiento entre el AMS y el edificio igual a 20% ( $\xi = 0.20$ ). En el modelo, el amortiguamiento del AMS fue definido por los amortiguamientos de los aisladores elastoméricos.

#### 6.1.1. Masa del AMS

La masa del AMS corresponde a 1% de la masa total de la estructura. De acuerdo a los valores obtenidos del ETABS, se obtuvo lo siguiente:

$$Peso\ AMS = \mu * Peso\ Estructura$$

$$Peso\ AMS = 0.01 * 14672.2858ton = 146.7228\ ton,$$

Por el modelo de la estructura se va a colocar tres tanques en distintas ubicaciones, por lo que se divide la masa en tres:

Peso AMS1: 48.92 ton

Peso AMS2: 48.92 ton

Peso AMS3: 48.92 ton

#### 6.1.2. Rigidez del AMS

La rigidez total del AMS corresponde a la suma de las rigideces horizontales de los aisladores elastoméricos. Para lo cual, de acuerdo a la ecuación 2.4, la rigidez total del AMS es:

$$K_{AMS} = n \frac{4\pi^2 P_t}{T^2 * g} \quad (2.26)$$

Dónde:  $n$  = número de aisladores elastoméricos

Del análisis de ETABS se obtiene la carga de compresión máxima,  $P_t$  (corresponde al porcentaje de masa participativa del primer modo de vibración) y el periodo fundamental  $T$ . La respectiva rigidez total del AMS se calcula a continuación:

Siendo:

$$P_T = 0.893 * (4892 \text{ kg}) = 4368.556 \text{ kg}$$

$$T = 0.737$$

Se obtuvo:

$$K_{AMS} = 4 \frac{4\pi^2 * 4368.56}{0.737^2 * 981} = 80.83 \text{ kg/cm}^2$$

En el cual, el valor de la rigidez de cada aislador es de:

$$K_{Aislador} = \frac{K_{AMS}}{4} = 20.208 \text{ kg/cm} \quad (2.27)$$

### 6.1.3 Amortiguamiento el AMS

El amortiguamiento del AMS, corresponde al amortiguamiento total de los 4 aisladores elastoméricos, lo cual se obtiene mediante la expresión 2.5. Por lo que, el amortiguamiento del AMS resulta de la siguiente expresión:

$$c = 2\xi \sqrt{K_{AMS} m_{AMS}} \quad (2.28)$$

Para lo cual se reemplazaron los valores de acuerdo a los resultados obtenidos en los puntos 5.1.1 y 5.1.2, y al valor propuesto en el punto 5.1 para la razón de amortiguamiento.

$$\xi = 0.20$$

$$K_{AMS} = 80.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$m_{AMS} = \frac{\text{Peso AMS}}{g} = \frac{4892}{981} = 4.98 \text{ kg} \cdot \text{s}^2/\text{cm} \quad (2.29)$$

Con los datos, se calculó el amortiguamiento del AMS:

$$c = 2 * 0.2 \sqrt{80.83 * 4.98} = 8.025 \text{ kg/cm}$$

Con lo cual, el amortiguamiento de cada aislador es:

$$C_{\text{aislador}} = \frac{c}{4} = 2.001 \frac{\text{kg}}{\text{cm}} \quad (2.30)$$

#### 6.1.4. Diseño del AMS

El AMS está conformado por un tanque de concreto y cuatro aisladores elastoméricos con refuerzo de acero, los cuales actúan como un sistema de protección pasivo provisto de masa, rigidez y amortiguamiento a la estructura.

El tanque de concreto se definió a fin de cumplir con la masa requerida del AMS, con un peso específico de 2.4 ton/m<sup>3</sup> del concreto, por lo tanto, se obtuvo lo siguiente:

$$(e^2 * (a - e) * h + e * 2 * b * h + a * b * e^2) * 2.4 = 19.92 \text{ ton} \quad (2.40)$$

Dónde a y b son los lados del bloque de concreto del AMS, h es la altura y e es el espesor del tanque.

Para el peso del agua se tiene:

$$(a - 2 * e) * (b - 2 * e) * (h - e^2 - 0.3) = 29.39 \text{ ton} \quad (2.50)$$

Considerando h = 2.1 m, e = 0.2 m y una sección cuadrada se tuvo:

$$a = b = 3 \text{ m}$$

Se muestra un tanque de concreto rectangular que actuará como amortiguador de la estructura en movimiento (Ver Figura 44), cuyas dimensiones son 3 metros de ancho y 2.1 metros de altura. El tanque estará apoyado sobre cuatro aisladores elastoméricos que en conjunto representan el AMS ubicado en la cúspide de la edificación.



Figura 45: AMS del tanque

Fuente: Elaboración propia

## 6.2. Modelamiento del AMS en ETABS

### 6.2.1 Modelamiento del tanque de concreto

Para el modelado del tanque de concreto, se definió las secciones en el programa ETABS de área Slab, tipo Shell Thin, en el cual se ingresaron las propiedades del tanque de concreto, como se puede observar en la Figura 45.

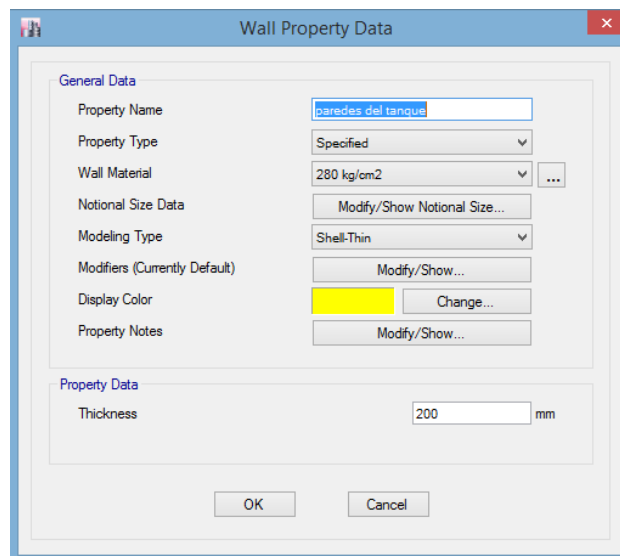


Figura 46: Modelamiento de las paredes del tanque en programa ETABS

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

### 6.2.2 Modelamiento de los aisladores

Para el modelado de los aisladores, se realizó lo siguiente:

- Se definió un Link con el nombre Aislador, en el cual se asignó el tipo y los grados de libertad del AMS, tal y como se muestra en la Figura 46.

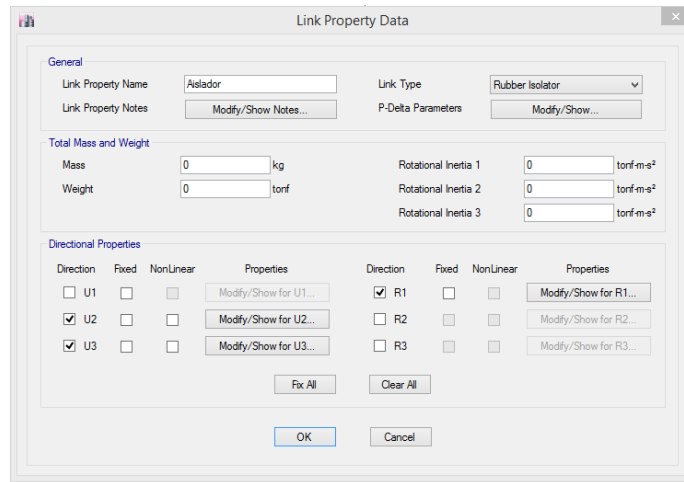


Figura 47: Modelamiento de los aisladores en programa ETABS.

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

- Se ingresó la rigidez efectiva y el amortiguamiento de cada aislador en sus diferentes grados de libertad. Para lo cual es importante mencionar que los ejes locales, para un elemento Link en el programa ETABS, están definidos de la siguiente manera:

U1 → UZ: traslación en dirección del eje 1 local y Z global  
 U2 → UX: traslación en dirección del eje 2 local y X global  
 U3 → UY: traslación en dirección del eje 3 local e Y global  
 R1 → RZ: rotación en torno al eje 1 local y Z global

R2 → RX: rotación en torno al eje 2 local y X global  
 R3 → RY: rotación en torno al eje 3 local e Y global

Es por ello que, los grados de libertad que se consideraron para el AMS son U2, U3 y R1, en donde se ingresaron las rigideces efectivas y amortiguamiento de acuerdo a lo calculado en la sección 2.27 y 2.30.

Cabe mencionar, que la rigidez para la rotación está dada por lo siguiente:

$$\text{Rigidez efectiva} = k_h * (x^2 + y^2)$$

Dónde X y Y son las distancias del centro de masa del AMS al centro de masa del aislador en sus respectivas direcciones.

Dirección U2:

$$Rigidez\ efectiva = 20.208\ kg/cm$$

$$Amortiguamiento\ efectivo = 2.001\ kg/cm$$

En la Figura 47 se muestra el ingreso de los valores de rigidez y amortiguamiento efectivos para la dirección U2 del aislador.

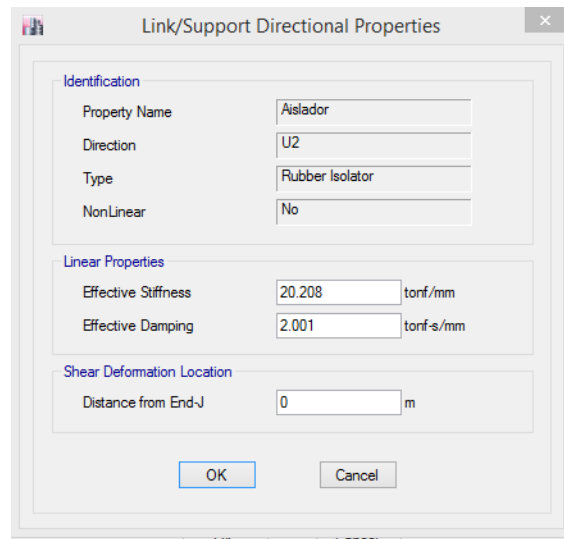


Figura 48: Rigidez y amortiguamiento en la dirección U2

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

Dirección U3:

$$Rigidez\ efectiva = 20.208\ kg/cm$$

$$Amortiguamiento\ efectivo = 2.001\ kg/cm$$

En la Figura 48 se muestra el ingreso de los valores de rigidez y amortiguamiento efectivos para la dirección U3 del aislador.

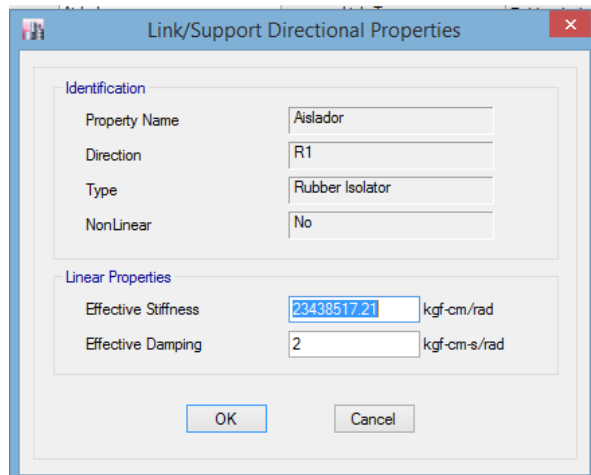


Figura 49: Rigidez y amortiguamiento en la dirección U3

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

Dirección R1:

$$Rigidez\ efectiva = 404160\ kg/cm$$

$$Amortiguamiento\ efectivo = 2.001\ kg/cm$$

En la figura 49 se muestra el ingreso de los valores de rigidez y amortiguamiento efectivos para la dirección R1 del aislador.

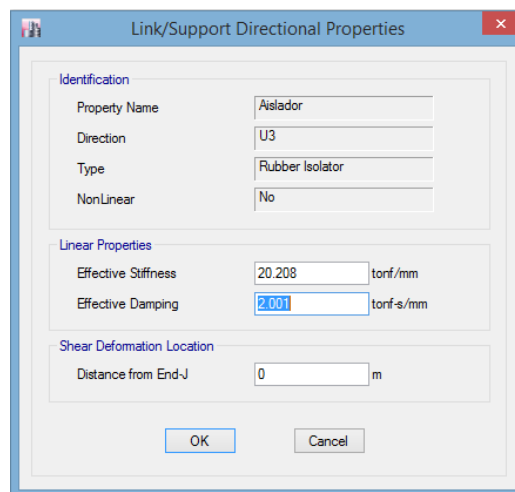


Figura 50: Rigidez y amortiguamiento en la dirección R1

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

- Por último, se asignaron los links en los nudos que soportan el AMS.

### 6.2.1. Ubicación en planta del AMS

Para la elección de la ubicación del AMS se tiene en cuenta una viga principal que sirva de soporte para transferir la carga que comprende el bloque de concreto. Asimismo, se considera un área libre en la azotea sin obstáculos ni perjudicando alguna instalación hecha o por hacer o a los departamentos ya establecidos en la edificación. En la figura 50 se observa la ubicación en planta y en una vista 3D del AMS en la estructura.

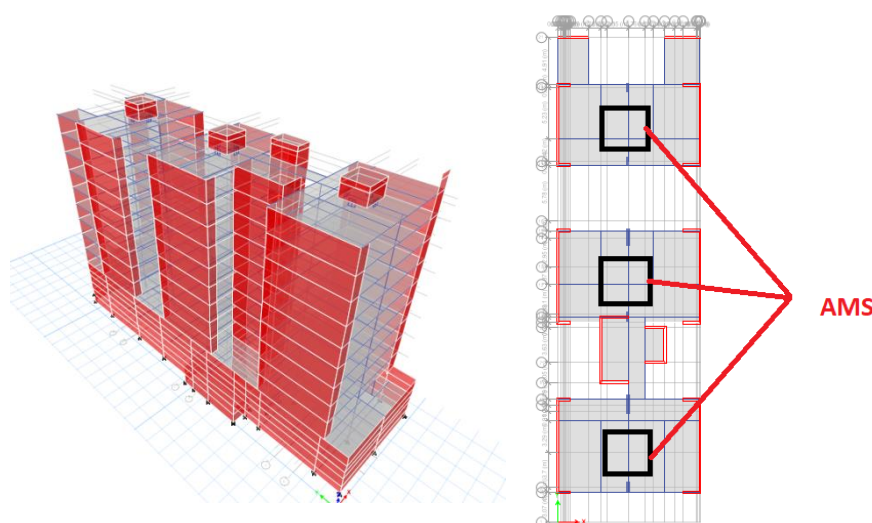


Figura 51: Ubicación del AMS en la estructura

Fuente: ETABS 2016 v.16.0.2

### 6.2.4 Máxima deriva de entrepiso con reforzamiento sísmico

Luego de la asignación de los AMS en el último nivel del edificio, se verificó el nuevo desplazamiento relativo de entrepiso. Según el MVCS (2018), Norma Técnica E030, en el capítulo 5 “Requisitos de rigidez, resistencia y ductilidad”, artículo 32 “Desplazamientos laterales relativos admisibles”, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso para concreto armado debe ser 0.007.

En la tabla 19 se muestran las derivas de entrepiso con la estructura incorporando el amortiguador de masa sintonizada, en el cual se observa que se obtienen las máximas

derivadas en la dirección X y que, además, todas las derivas se encuentran



dentro de lo permitido para estructuras de concreto armado según la norma técnica E030.

Tabla 19: Derivas de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico X-X

Piso	Sismo Dinámico X-X			
	Drift X	Deriva X	Drift Y	Deriva Y
	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$
Piso 9	0.000995	0.0050747	0.000059	0.000301
Piso 8	0.0010413	0.0053105	0.000045	0.00023
Piso 7	0.0010789	0.0055023	0.00004	0.000204
Piso 6	0.0010933	0.0055759	0.00003	0.000153
Piso 5	0.0010749	0.0054822	0.000019	0.000097
Piso 4	0.0010098	0.00515	0.000015	0.000077
Piso 3	0.0008814	0.004495	0.00001	0.000051
Piso 2	0.0006767	0.0034511	0.000005	0.000026
Piso 1	0.0004173	0.002128	0.000013	0.000066

Fuente: Elaboración propia

En la tabla 20 se muestran las derivas de entrepiso en la dirección X e Y incorporando el AMS, producidos por el sismo dinámico Y-Y, en el cual se observa que las derivas máximas se encuentran en la dirección Y. Adicional a ello, se observa que todas las derivas se encuentran dentro de lo permitido para estructuras de concreto armado según la norma técnica E030.

Tabla 20: Derivas de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico Y-Y

Piso	Sismo Dinámico Y-Y			
	Drift X	Deriva X	Drift Y	Deriva Y
	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$	$\Delta$	$\Delta*(0.85*R)$
Piso 9	0.00004	0.00021	0.0002543	0.001297
Piso 8	0.00004	0.00021	0.0002669	0.00136123
Piso 7	0.00004	0.00021	0.0002739	0.00139685
Piso 6	0.00004	0.0002	0.0002734	0.00139427
Piso 5	0.00004	0.00019	0.0002634	0.0013431
Piso 4	0.00003	0.00017	0.0002417	0.00123269
Piso 3	0.00003	0.00015	0.0002099	0.00107044
Piso 2	0.00003	0.00013	0.0001634	0.00083338
Piso 1	0.00002	0.00009	0.0000937	0.00047763

Fuente: Elaboración propia

### 6.2.5 Fuerza cortante de entrepiso con AMS

Del análisis dinámico de la estructura incorporando el AMS, se obtuvieron las fuerzas cortantes de entrepiso en cada dirección de análisis. En la Tabla 21 se muestran las fuerzas cortantes obtenidas por el sismo dinámico X-X en cada nivel de la estructura, obteniendo como fuerza cortante basal 359.8966 tonf.

Tabla 21: Fuerza de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico X-X

Nivel	Fuerzas de Entrepiso		
	Carga	VX (tonf)	Altura (m)
Piso 9	Sismo XX	83.1124	24.3
Piso 8	Sismo XX	150.459	21.6
Piso 7	Sismo XX	200.1087	18.9
Piso 6	Sismo XX	240.2596	16.2
Piso 5	Sismo XX	274.589	13.5
Piso 4	Sismo XX	305.2687	10.8
Piso 3	Sismo XX	332.4895	8.1
Piso 2	Sismo XX	351.1287	5.4
Piso 1	Sismo XX	359.8966	2.7

Fuente: Elaboración propia

Asimismo, se obtuvieron las fuerzas cortantes de entrepiso por el sismo dinámico Y-Y, las cuales se muestran en la Tabla 22, obteniendo como fuerza cortante basal 18.992 tonf.

Tabla 22: Fuerza de entrepiso de la estructura con AMS por sismo dinámico Y-Y

Nivel	Fuerzas de Entrepiso		
	Carga	VY (tonf)	Altura (m)
Piso 9	Sismo YY	3.1258	24.3
Piso 8	Sismo YY	5.9125	21.6
Piso 7	Sismo YY	6.5589	18.9
Piso 6	Sismo YY	8.489	16.2
Piso 5	Sismo YY	10.8596	13.5
Piso 4	Sismo YY	13.9869	10.8
Piso 3	Sismo YY	15.989	8.1
Piso 2	Sismo YY	18.01801	5.4
Piso 1	Sismo YY	18.9912	2.7

Fuente: Elaboración propia

## CAPÍTULO VII: PRESENTACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 7.1. Comparación técnica

Al incluir el AMS a la estructura, su comportamiento dinámico varía debido al amortiguamiento propuesto y a la rigidez del sistema, los cuales se obtuvieron a partir de sus parámetros óptimos.

Estos parámetros óptimos, los cuales se muestran en la tabla 23, responden al primer objetivo específico del presente trabajo de investigación:

Tabla 23: Parámetros óptimos del AMS

Parámetros óptimos	
Razón de masas ( $\mu$ )	0.01
Razón de frecuencias ( $f$ )	1
Razón de amortiguamiento ( $\xi$ )	0.20

Fuente: Elaboración propia

Con los valores propuestos se calculó la masa, rigidez y amortiguamiento del AMS, las cuales se detallaron en el capítulo VI.

A partir del análisis dinámico de la estructura, sin y con la incorporación del amortiguador de masa sintonizada, se presentan las tablas de los resultados de sus modos de vibración, derivas, desplazamientos del centro de masa, torsión y fuerza cortante basal los cuales responden al segundo objetivo específico del presente trabajo de investigación.

#### 7.1.1 Modos de vibración

En la tabla 24 se muestran los resultados de los 12 primeros modos de vibración de la estructura sin y con la incorporación del AMS, en los cuales se observa que en los primeros 3 modos de vibración, en donde predomina el desplazamiento en Y (UY), desplazamiento en X (UX) y rotación en Z (RZ), disminuyen su masa participativa con la incorporación de los AMS.

Tabla 24: Modos de vibración de la estructura sin y con AMS

Modo	SIN AMS				CON AMS			
	Periodo (s)	UX	UY	RZ	Periodo (s)	UX	UY	RZ
1	0.89	0.1873	0.0000	0.2178	0.8800	0.1877	0.0000	0.2183
2	0.63	0.3571	0.0006	0.1146	0.6200	0.3582	0.0006	0.1157
3	0.345	0.0007	0.0083	0.1423	0.3450	0.0008	0.0088	0.1425
4	0.309	0.0000	0.2163	0.0005	0.3140	0.0000	0.2152	0.0005
5	0.266	0.0008	0.3063	0.0005	0.2700	0.0007	0.3144	0.0031
6	0.265	0.0001	0.0065	0.0417	0.2650	0.0002	0.0000	0.0403
7	0.191	0.0545	0.0000	0.0360	0.1930	0.0542	0.0000	0.0356
8	0.161	0.0788	0.0003	0.0286	0.1630	0.0786	0.0003	0.0289
9	0.145	0.0001	0.0000	0.0000	0.1450	0.0001	0.0000	0.0000
10	0.095	0.0003	0.0000	0.0001	0.0950	0.0003	0.0000	0.0001
11	0.085	0.0049	0.0000	0.0045	0.0850	0.0054	0.0000	0.0045
12	0.083	0.0014	0.0000	0.0009	0.0830	0.0016	0.0000	0.0010

Fuente: Elaboración propia

Para el primer modo de vibración, la reducción de la masa participativa en la dirección UX, es del 0.21%; en el segundo modo, la reducción de la masa participativa en la dirección UY es del 0.33%; y en el tercer modo de vibración, la reducción de la masa participativa en la dirección UZ es del 0.14%. Así mismo, es importante mencionar que el periodo en el primer modo de vibración se reduce en un 1.12%.

### 7.1.2 Derivas

Se obtuvieron las derivas máximas de la estructura sin y con AMS en los capítulos V y VI respectivamente, los cuales se muestran de manera resumen en la Tabla 25; en donde, además, se muestra el porcentaje de reducción en las derivas al incluir los AMS en los diferentes niveles de la estructura.

Tabla 25: Derivas de la estructura sin y con AMS

Piso	Sin AMS		Con AMS		% Reducción	
	Derivas X	Derivas Y	Derivas X	Derivas Y	X	Y
Piso 9	0.00537	0.00135	0.005075	0.001297	5.50%	3.93%
Piso 8	0.00559	0.00141	0.005311	0.00136123	5.00%	3.46%
Piso 7	0.005758	0.00144	0.005502	0.00139685	4.44%	3.00%
Piso 6	0.005804	0.00143	0.005576	0.00139427	3.93%	2.50%
Piso 5	0.005671	0.00137	0.005482	0.0013431	3.33%	1.96%
Piso 4	0.005294	0.00125	0.005150	0.00123269	2.72%	1.39%
Piso 3	0.00459	0.00108	0.004495	0.00107044	2.07%	0.89%
Piso 2	0.003499	0.00084	0.003451	0.00083338	1.37%	0.79%
Piso 1	0.002142	0.00048	0.002128	0.00047763	0.65%	0.49%

Fuente: Elaboración propia

Se observa de la Tabla 25 que el porcentaje de reducción de las derivas es mayor en los pisos superiores, y que, además, el porcentaje de reducción se encuentra en un rango del 0.65% al 5.50% para el análisis en la dirección X, y de 0.49% al 3.93% para el análisis en la dirección Y.

### 7.1.3 Desplazamientos

Los desplazamientos en milímetros del centro de masa en cada nivel en las direcciones de análisis X e Y, obtenidos de los análisis dinámicos en el Software ETABS, y las reducciones del desplazamiento producto de la incorporación del AMS, se muestran en la Tabla 26.

Tabla 26: Desplazamientos del centro de masa sin y con AMS

Piso	Sin AMS		Con AMS		% Reducción	
	UX (mm)	UY (mm)	UX (mm)	UY (mm)	X	Y
Piso 9	24.641	7.033	23.779	6.857	3.50%	2.50%
Piso 8	16.564	4.526	16.067	4.415	3.00%	2.45%
Piso 7	21.585	6.054	20.957	5.909	2.91%	2.40%
Piso 6	14.709	3.92	14.293	3.831	2.83%	2.26%
Piso 5	18.426	5.073	17.934	4.965	2.67%	2.13%
Piso 4	12.696	3.301	12.376	3.233	2.52%	2.06%
Piso 3	15.153	4.077	14.782	3.998	2.45%	1.94%
Piso 2	10.543	2.681	10.303	2.630	2.28%	1.89%
Piso 1	11.844	3.115	11.591	3.059	2.14%	1.79%

Fuente: Elaboración propia

En la dirección de análisis X se observa una reducción del 2.14% en el primer nivel hasta una reducción del 3.5% en la azotea. De la misma forma, se obtiene una reducción en la dirección Y del 1.79% en el primer nivel y una reducción del 2.50% en la azotea.

#### 7.1.4 Torsión

Los resultados que se obtienen por efectos torsionales de la estructura para el análisis sísmico en la dirección X e Y se muestran en la Tabla 27. En la tabla se muestra los esfuerzos torsionales, en cada nivel de la estructura, indicando además el porcentaje de reducción en cada nivel que es producto de la incorporación del AMS en el edificio.

Tabla 27: Efectos torsionales de la estructura sin y con AMS

Piso	Sin AMS		Con AMS		% Reducción	
	Tx (tonf.m)	Ty (tonf.m)	Tx (tonf.m)	Ty (tonf.m)	X	Y
Piso 9	1688.039	759.530	1645.838	720.79353	2.50%	5.10%
Piso 8	3084.836	1514.805	3011.417	1443.6094	2.38%	4.70%
Piso 7	4034.990	2183.870	3946.624	2089.7448	2.19%	4.31%
Piso 6	4690.228	2760.268	4596.893	2650.6854	1.99%	3.97%
Piso 5	5244.536	3239.847	5147.512	3125.8043	1.85%	3.52%
Piso 4	5833.814	3619.404	5737.556	3507.2025	1.65%	3.10%
Piso 3	6458.044	3899.677	6362.465	3791.2657	1.48%	2.78%
Piso 2	7008.114	4085.086	6919.811	3982.9585	1.26%	2.50%
Piso 1	7363.483	4184.396	7284.694	4100.7081	1.07%	2.00%

Fuente: Elaboración propia

Se observa de la Tabla 27 que la reducción de los esfuerzos torsionales en la dirección de análisis X es hasta un 2.50% y en la dirección de análisis Y es hasta un 5.10%.

#### 7.1.5 Cortante basal

Con la incorporación del AMS en la estructura se obtiene, además, una reducción de la fuerza cortante basal, obtenidas de los análisis dinámicos, las cuales se muestran en la Tabla 28.

Tabla 28: Fuerza cortante basal sin y con AMS

Piso	Sin AMS		Con AMS		% Reducción	
	Vx (tonf)	Vy (tonf)	Vx (tonf)	Vy (tonf)	X	Y
Piso 1	359.8966	19.1845	349.5648	18.6129	2.87%	2.98%

Fuente: Elaboración propia

La tabla nos muestra una reducción del 2.87% de la fuerza cortante en la dirección de análisis X y una reducción del 2.98% en la dirección de análisis Y.

Es importante mencionar que el AMS incorporado a la estructura se diseñó a fin de modificar el comportamiento dinámico de la estructura a partir del primer modo de vibración, la cual, como se observó en la Tabla 27, predomina el desplazamiento en Y; es por tal motivo que, de los resultados obtenidos de las derivas, desplazamientos y fuerzas cortantes, se observa que el porcentaje de reducción es mayor en la dirección Y en todos los niveles.

## 7.2. Comparación económica

### 7.2.1. Generalidades

Es de importancia tener en cuenta los siguientes criterios para realizar un apropiado análisis costo-beneficio de una estructura amortiguada en contraste con una estructura convencional:

- La ventaja del AMS se va a hacer notar al ocurrir un sismo de considerable magnitud, ya que es en ese momento donde actúa para brindar alivio y seguridad a los habitantes de la edificación. Un comportamiento que no se daría a notar en una edificación sin este mecanismo y que se encuentre en estado armónico al no ser sometido a algún movimiento mayor.
- Se debe considerar, asimismo, la protección ante cualquier daño en la edificación, tanto estructural como no estructural, ya que por más mínima que sea generaría un costo de reparación. De esta manera el mecanismo lograría un ahorro de costos a largo plazo al evitar por lo menos los daños más costosos que son los daños estructurales.

### 7.2.2. Estimación de costos

Para realizar la comparación de económica se realizaron cuadros comparativos para demostrar la diferencia de precios de una estructura con AMS en comparación con la estructura convencional.

Se analiza toda la edificación en estudio, desde su cimentación hasta la superestructura completa, considerando únicamente las partidas relacionadas a estructuras, ya que el AMS es parte de una composición estructural.

A continuación, en la Tabla 29, se muestra el presupuesto de estructuras del edificio convencional desgregado por partidas, el cual asciende a un monto total de S/4,306,391.42.



Tabla 29: Presupuesto base de estructuras del edificio sin AMS

<u>PRESUPUESTO SIN AMS</u>					
Ítem	Descripción de partida	Und.	Metrado	P.U.	Parcial S/
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD</b>				<b>432,619.53</b>
<b>01.01</b>	<b>OBRAS E INSTALACIONES PROVISIONALES</b>				<b>99,038.54</b>
<b>01.01.01</b>	<b>CONSTRUCCIONES PROVISIONALES</b>				<b>99,038.54</b>
01.01.01.01	OFICINAS (CONTAINER)	mes	18.00	650.00	11,700.00
01.01.01.02	ALMACEN (CONTAINER)	m2	18.00	750.00	13,500.00
01.01.01.03	CASETA GUARDIANA	m2	2.88	556.92	1,603.93
01.01.01.04	COMEDOR PERSONAL OBRERO	m2	72.00	248.90	17,920.80
01.01.01.05	VESTUARIO PERSONAL OBRERO	m2	14.40	260.81	3,755.66
01.01.01.06	SERVICIOS HIGIENICOS DE OBRA (CONTENEDORES)	mes	18.00	900.00	16,200.00
01.01.01.07	CERCO DE OBRA CON POSTES DE MADERA Y TRIPLAY	m	17.75	105.98	1,881.15
01.01.01.08	CARTEL DE OBRA	und	1.00	467.68	467.68
01.01.01.09	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	glb	1.00	31,209.32	31,209.32
01.01.01.10	INSTALACION TELEFONICA Y COMUNICACIÓN PROVISIONAL	glb	1.00	800.00	800.00
<b>01.02</b>	<b>INSTALACIONES PROVISIONALES</b>				<b>97,329.80</b>
<b>01.02.01</b>	<b>AGUA PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>3,200.00</b>
01.02.01.01	OBTENCION DEL SERVICIO	glb	1.00	500.00	500.00
01.02.01.02	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION	mes	18.00	150.00	2,700.00
<b>01.02.02</b>	<b>DESAGUE PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>300.00</b>
01.02.02.01	INSTALACION DE DESAGUE	glb	1.00	300.00	300.00

<b>01.02.03</b>	<b>ENERGIA ELECTRICA PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>2,660.00</b>
01.02.03.01	CONEXION E INSTALACION	glb	1.00	500.00	500.00
01.02.03.02	CONSUMO Y MANTENIMIENTO	mes	18.00	120.00	2,160.00
<b>01.02.04</b>	<b>INSTALACION TELEFONICA Y COMUNICACIÓN PROVISIONAL</b>				<b>2,660.00</b>
01.02.04.01	CONEXION E INSTALACION	glb	1.00	500.00	500.00
01.02.04.02	CONSUMO Y MANTENIMIENTO	mes	18.00	120.00	2,160.00
<b>01.02.05</b>	<b>TRAZOS, NIVELES Y REPLANTEO</b>				<b>88,509.80</b>
01.02.05.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	771.65	9.30	7,176.35
01.02.05.02	TRAZO DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	mes	7,097.16	11.46	81,333.45
<b>01.03</b>	<b>DEMOLICIONES Y DESMONTAJES</b>				<b>35,000.00</b>
01.03.01	DEMOLICION CONSTRUCCION EXISTENTE	glb	1.00	35,000.00	35,000.00
<b>01.04</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>				<b>201,251.19</b>
<b>02</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				<b>2,978,113.42</b>
<b>02.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>296,513.89</b>
<b>02.01.01</b>	<b>EXCAVACIONES</b>				<b>63,029.95</b>
02.01.01.01	EXCAVACION MASIVA	m3	5,116.22	8.45	43,232.06
02.01.01.02	EXCAVACIONES SIMPLES - CIMIENTOS Y ZAPATAS	m3	333.41	59.38	19,797.89
<b>02.01.02</b>	<b>RELLENOS</b>				<b>54,495.34</b>
02.01.02.01	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	100.49	29.38	2,952.40
02.01.02.02	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	686.05	75.13	51,542.94
<b>02.01.03</b>	<b>NIVELACION INTERIOR Y APISONADO</b>				<b>3,148.97</b>
02.01.03.01	NIVELACION INTERIOR Y APISONADO	m2	686.05	4.59	3,148.97
<b>02.01.04</b>	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>175,839.63</b>
02.01.04.01	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	7,221.34	24.35	175,839.63
<b>02.02</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				<b>209,979.71</b>
<b>02.02.01</b>	<b>CIMIENTOS</b>				<b>13,455.17</b>

02.02.01.01	CONCRETO CIMIENTOS CORRIDOS MEZCLA 1:8 (100 kg/cm2)+ 30% P.M.	m3	61.56	218.57	13,455.17
<b>02.02.02</b>	<b>FALSA ZAPATAS</b>				<b>159,049.02</b>
02.02.02.01	CONCRETO FALSA ZAPATAS DE 1:10 (100 kg/cm2)+ 30% P.G.	m3	727.68	218.57	159,049.02
<b>02.02.03</b>	<b>SOLADOS</b>				<b>9,813.98</b>
02.02.03.01	CONCRETO SOLADO MEZCLA 1:10 CEMENTO-HORMIGON e=0.05 m.	m2	242.56	40.46	9,813.98
<b>02.02.04</b>	<b>FALSO PISO</b>				<b>27,661.54</b>
02.02.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO FALSO PISO e=4" f'c=140 kg/cm2	m2	686.05	40.32	27,661.54
<b>02.03</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>				<b>2,459,180.24</b>
<b>02.03.01</b>	<b>CIMIENTOS REFORZADOS</b>				<b>6,074.62</b>
02.03.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO CIMIENTOS REFORZADOS f'c=280 kg/cm2	m3	6.15	319.43	1,964.49
02.03.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CIMIENTOS REFORZADOS	m2	30.68	30.34	930.83
02.03.01.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	871.04	3.65	3,179.30
<b>02.03.02</b>	<b>ZAPATAS</b>				<b>112,573.32</b>
02.03.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=280 kg/cm2	m3	204.02	319.43	65,170.11
02.03.02.02	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	12,987.18	3.65	47,403.21
<b>02.03.03</b>	<b>VIGA DE CIMENTACION</b>				<b>13,634.62</b>
02.03.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACION f'c=280 kg/cm2	m3	11.03	317.58	3,502.91
02.03.03.02	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	2,775.81	3.65	10,131.71
<b>02.03.04</b>	<b>MUROS DE CONTENCION</b>				<b>265,192.84</b>
02.03.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCION f'c=280 kg/cm2	m3	200.02	318.49	63,704.37

02.03.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MURO DE CONTENCION	m2	1,419.72	37.51	53,253.70
02.03.04.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	11,742.48	3.65	42,860.05
02.03.04.04	ANCLAJES POS-TENSADOS TEMPORALES	und	44.00	2,394.88	105,374.72
<b>02.03.05</b>	<b>PLACAS</b>				<b>707,052.53</b>
02.03.05.01	CONCRETO PREMEZCLADO PLACAS f'c=280 kg/cm2	m3	662.13	317.86	210,464.64
02.03.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACAS	m2	5,609.33	33.52	188,024.74
02.03.05.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	84,537.85	3.65	308,563.15
<b>02.03.06</b>	<b>COLUMNAS</b>				<b>104,114.17</b>
02.03.06.01	CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS f'c=280 kg/cm2	m3	78.44	317.86	24,932.94
02.03.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m2	535.11	33.52	17,936.89
02.03.06.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	16,779.27	3.65	61,244.34
<b>02.03.07</b>	<b>VIGAS</b>				<b>595,454.02</b>
02.03.07.01	CONCRETO PREMEZCLADO VIGAS f'c=280 kg/cm2	m3	499.54	317.58	158,643.91
02.03.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m2	4,083.19	34.85	142,299.17
02.03.07.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	80,687.93	3.65	294,510.94
<b>02.03.08</b>	<b>LOSAS ALIGERADAS</b>				<b>490,212.60</b>
02.03.08.01	CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS ALIGERADAS f'c=280 kg/cm2	m3	336.60	317.58	106,897.43
02.03.08.02	VIGUETA PREFABRICADO	m	8,236.69	14.18	116,796.26
02.03.08.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS ALIGERADAS	m2	4,226.45	26.86	113,522.45
02.03.08.04	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	15,885.46	3.65	57,981.93
02.03.08.05	BOVEDILLA DE ARCILLA h = 15 cm PARA TECHO ALIGERADO	und	33,813.00	2.81	95,014.53
<b>02.03.09</b>	<b>LOSAS MECIZAS</b>				<b>105,867.63</b>
02.03.09.01	CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS f'c=280	m3	139.18	320.59	44,619.72

	kg/cm2				
02.03.09.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m2	695.89	34.48	23,994.29
02.03.09.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	10,206.47	3.65	37,253.62
<b>02.03.10</b>	<b>RAMPAS</b>				<b>27,298.44</b>
02.03.10.01	CONCRETO PREMEZCLADO RAMPA f'c= 280 kg/cm2	m3	36.71	317.58	11,658.36
02.03.10.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO RAMPAS	m2	183.54	39.04	7,165.40
02.03.10.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	2,321.83	3.65	8,474.68
<b>02.03.11</b>	<b>ESCALERAS</b>				<b>31,705.45</b>
02.03.11.01	CONCRETO PREMEZCLADO ESCALERA f'c=280 kg/cm2	m3	30.58	318.21	9,730.86
02.03.11.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO ESCALERAS	m2	183.47	39.04	7,162.67
02.03.11.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	kg	4,058.06	3.65	14,811.92
<b>02.04</b>	<b>VARIOS</b>				<b>12,439.58</b>
02.04.01	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA CIRTERNA	kg	223.56	33.80	7,556.33
02.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE SUBZAPATA Y CIMENTOS	m2	75.00	34.05	2,553.75
02.04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ZAPATAS	m2	75.00	31.06	2,329.50
<b>COSTO DIRECTO</b>					<b>S/ 3,410,732.95</b>
<b>GASTOS GENERALES</b>					<b>3% + S/ 102,321.99</b>
<b>DIRECCION TECNICA Y UTILIDAD</b>					<b>4% + S/ 136,429.32</b>
<b>SUB TOTAL PRESUPUESTO</b>					<b>S/ 3,649,484.26</b>
<b>I.G.V</b>					<b>18% S.656,907.17</b>
<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>SIN AMS</b>		<b>S/ 4,306,391.42</b>

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla 30 se presenta un presupuesto propuesto de estructuras para el edificio incorporando el AMS disgregado por partidas, el cual considera el costo por el bloque de concreto del AMS y los aisladores elastoméricos en el cual se apoya. El presupuesto propuesto asciende a una suma total de S/4,548,760.93.

Tabla 30: Presupuesto base de estructuras del edificio con AMS

<u>PRESUPUESTO CON AMS</u>					
Ítem	Descripción de partida	Und.	Metrado	P.U.	Parcial S/
<b>01</b>	<b>OBRAS PROVISIONALES, TRABAJOS PRELIMINARES, SEGURIDAD Y SALUD</b>				<b>432,619.53</b>
<b>01.01</b>	<b>OBRAS E INSTALACIONES PROVISIONALES</b>				<b>99,038.54</b>
<b>01.01.01</b>	<b>CONSTRUCCIONES PROVISIONALES</b>				<b>99,038.54</b>
01.01.01.01	OFICINAS (CONTAINER)	mes	18.00	650.00	11,700.00
01.01.01.02	ALMACEN (CONTAINER)	m2	18.00	750.00	13,500.00
01.01.01.03	CASETA GUARDIANIA	m2	2.88	556.92	1,603.93
01.01.01.04	COMEDOR PERSONAL OBRERO	m2	72.00	248.90	17,920.80
01.01.01.05	VESTUARIO PERSONAL OBRERO	m2	14.40	260.81	3,755.66
01.01.01.06	SERVICIOS HIGIENICOS DE OBRA (CONTENEDORES)	mes	18.00	900.00	16,200.00
01.01.01.07	CERCO DE OBRA CON POSTES DE MADERA Y TRIPLAY	M	17.75	105.98	1,881.15
01.01.01.08	CARTEL DE OBRA	und	1.00	467.68	467.68
01.01.01.09	MOVILIZACION Y DESMOVILIZACION DE EQUIPOS Y MAQUINARIAS	Glb	1.00	31,209.32	31,209.32
01.01.01.10	INSTALACION TELEFONICA Y COMUNICACIÓN PROVISIONAL	Glb	1.00	800.00	800.00
<b>01.02</b>	<b>INSTALACIONES PROVISIONALES</b>				<b>97,329.80</b>
<b>01.02.01</b>	<b>AGUA PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>3,200.00</b>
01.02.01.01	OBTENCION DEL SERVICIO	Glb	1.00	500.00	500.00
01.02.01.02	ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCION	mes	18.00	150.00	2,700.00
<b>01.02.02</b>	<b>DESAGUE PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>300.00</b>
01.02.02.01	INSTALACION DE DESAGUE	Glb	1.00	300.00	300.00

<b>01.02.03</b>	<b>ENERGIA ELECTRICA PARA LA CONSTRUCCION</b>				<b>2,660.00</b>
01.02.03.01	CONEXION E INSTALACION	Glb	1.00	500.00	500.00
01.02.03.02	CONSUMO Y MANTENIMIENTO	mes	18.00	120.00	2,160.00
<b>01.02.04</b>	<b>INSTALACION TELEFONICA Y COMUNICACIÓN PROVISIONAL</b>				<b>2,660.00</b>
<b>01.02.05</b>	<b>TRAZOS, NIVELES Y REPLANTEO</b>				<b>88,509.80</b>
01.02.05.01	TRAZO, NIVELES Y REPLANTEO PRELIMINAR	m2	771.65	9.30	7,176.35
01.02.05.02	TRAZO DURANTE LA EJECUCION DE LA OBRA	mes	7,097.16	11.46	81,333.45
<b>01.03</b>	<b>DEMOLICIONES Y DESMONTAJES</b>				<b>35,000.00</b>
<b>01.04</b>	<b>SEGURIDAD Y SALUD</b>				<b>201,251.19</b>
<b>02</b>	<b>ESTRUCTURAS</b>				<b>3,170,074.06</b>
<b>02.01</b>	<b>MOVIMIENTO DE TIERRAS</b>				<b>296,513.89</b>
<b>02.01.01</b>	<b>EXCAVACIONES</b>				<b>63,029.95</b>
<b>02.01.02</b>	<b>RELLENOS</b>				<b>54,495.34</b>
02.01.02.01	RELLENO CON MATERIAL PROPIO	m3	100.49	29.38	2,952.40
02.01.02.02	RELLENO CON MATERIAL DE PRESTAMO	m3	686.05	75.13	51,542.94
<b>02.01.03</b>	<b>NIVELACION INTERIOR Y APISONADO</b>				<b>3,148.97</b>
02.01.03.01	NIVELACION INTERIOR Y APISONADO	m2	686.05	4.59	3,148.97
<b>02.01.04</b>	<b>ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE</b>				<b>175,839.63</b>
02.01.04.01	ELIMINACION DE MATERIAL EXCEDENTE	m3	7,221.34	24.35	175,839.63
<b>02.02</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO SIMPLE</b>				<b>209,979.71</b>
<b>02.02.01</b>	<b>CIMIENOS</b>				<b>13,455.17</b>
02.02.01.01	CONCRETO CIMIENTOS CORRIDOS MEZCLA 1:8 (100 kg/cm2)+ 30% P.M.	m3	61.56	218.57	13,455.17
<b>02.02.02</b>	<b>FALSA ZAPATAS</b>				<b>159,049.02</b>
02.02.02.01	CONCRETO FALSA ZAPATAS DE 1:10 (100 kg/cm2)+ 30% P.G.	m3	727.68	218.57	159,049.02



<b>02.02.03</b>	<b>SOLADOS</b>				<b>9,813.98</b>
02.02.03.01	CONCRETO SOLADO MEZCLA 1:10 CEMENTO- HORMIGON e=0.05 m.	m2	242.56	40.46	9,813.98
<b>02.02.04</b>	<b>FALSO PISO</b>				<b>27,661.54</b>
02.02.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO FALSO PISO e=4" f'c=140 kg/cm2	m2	686.05	40.32	27,661.54
<b>02.03</b>	<b>OBRAS DE CONCRETO ARMADO</b>				<b>2,459,180.24</b>
<b>02.03.01</b>	<b>CIMIENTOS REFORZADOS</b>				<b>6,074.62</b>
02.03.01.01	CONCRETO PREMEZCLADO CIMIENTOS REFORZADOS f'c=280 kg/cm2	m3	6.15	319.43	1,964.49
02.03.01.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN CIMIENTOS REFORZADOS	m2	30.68	30.34	930.83
02.03.01.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	871.04	3.65	3,179.30
<b>02.03.02</b>	<b>ZAPATAS</b>				<b>112,573.32</b>
02.03.02.01	CONCRETO PREMEZCLADO ZAPATAS f'c=280 kg/cm2	m3	204.02	319.43	65,170.11
02.03.02.02	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	12,987.18	3.65	47,403.21
<b>02.03.03</b>	<b>VIGA DE CIMENTACION</b>				<b>13,634.62</b>
02.03.03.01	CONCRETO PREMEZCLADO VIGA DE CIMENTACION f'c=280 kg/cm2	m3	11.03	317.58	3,502.91
02.03.03.02	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	2,775.81	3.65	10,131.71
<b>02.03.04</b>	<b>MUROS DE CONTENCIÓN</b>				<b>265,192.84</b>
02.03.04.01	CONCRETO PREMEZCLADO MURO DE CONTENCIÓN f'c=280 kg/cm2	m3	200.02	318.49	63,704.37
02.03.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN MURO DE CONTENCIÓN	m2	1,419.72	37.51	53,253.70
02.03.04.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	11,742.48	3.65	42,860.05
02.03.04.04	ANCLAJES POS-TENSADOS TEMPORALES	und	44.00	2,394.88	105,374.72
<b>02.03.05</b>	<b>PLACAS</b>				<b>707,052.53</b>

02.03.05.01	CONCRETO PREMEZCLADO PLACAS $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	662.13	317.86	210,464.64
02.03.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN PLACAS	m <sup>2</sup>	5,609.33	33.52	188,024.74
02.03.05.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	Kg	84,537.85	3.65	308,563.15
<b>02.03.06</b>	<b>COLUMNAS</b>				<b>104,114.17</b>
02.03.06.01	CONCRETO PREMEZCLADO COLUMNAS $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	78.44	317.86	24,932.94
02.03.06.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN COLUMNAS	m <sup>2</sup>	535.11	33.52	17,936.89
02.03.06.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	Kg	16,779.27	3.65	61,244.34
<b>02.03.07</b>	<b>VIGAS</b>				<b>595,454.02</b>
02.03.07.01	CONCRETO PREMEZCLADO VIGAS $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	499.54	317.58	158,643.91
02.03.07.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN VIGAS	m <sup>2</sup>	4,083.19	34.85	142,299.17
02.03.07.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	Kg	80,687.93	3.65	294,510.94
<b>02.03.08</b>	<b>LOSAS ALIGERADAS</b>				<b>490,212.60</b>
02.03.08.01	CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS ALIGERADAS $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	336.60	317.58	106,897.43
02.03.08.02	VIGUETA PREFABRICADO	M	8,236.69	14.18	116,796.26
02.03.08.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS ALIGERADAS	m <sup>2</sup>	4,226.45	26.86	113,522.45
02.03.08.04	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	Kg	15,885.46	3.65	57,981.93
02.03.08.05	BOVEDILLA DE ARCILLA h = 15 cm PARA TECHO ALIGERADO	und	33,813.00	2.81	95,014.53
<b>02.03.09</b>	<b>LOSAS MECIZAS</b>				<b>105,867.63</b>
02.03.09.01	CONCRETO PREMEZCLADO LOSAS MACIZAS $f_c=280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	139.18	320.59	44,619.72
02.03.09.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO EN LOSAS MACIZAS	m <sup>2</sup>	695.89	34.48	23,994.29
02.03.09.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm <sup>2</sup> GRADO 60	Kg	10,206.47	3.65	37,253.62
<b>02.03.10</b>	<b>RAMPAS</b>				<b>27,298.44</b>
02.03.10.01	CONCRETO PREMEZCLADO RAMPA $f_c= 280$ kg/cm <sup>2</sup>	m <sup>3</sup>	36.71	317.58	11,658.36

02.03.10.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO RAMPAS	m2	183.54	39.04	7,165.40
02.03.10.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	2,321.83	3.65	8,474.68
<b>02.03.11</b>	<b>ESCALERAS</b>				<b>31,705.45</b>
02.03.11.01	CONCRETO PREMEZCLADO ESCALERA f'c=280 kg/cm2	m3	30.58	318.21	9,730.86
02.03.11.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO ESCALERAS	m2	183.47	39.04	7,162.67
02.03.11.03	ACERO CORRUGADO FY= 4200 kg/cm2 GRADO 60	Kg	4,058.06	3.65	14,811.92
<b>02.04</b>	<b>VARIOS</b>				<b>12,439.58</b>
02.04.01	ADITIVO IMPERMEABILIZANTE PARA CIRTERNA	Kg	223.56	33.80	7,556.33
02.04.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE SUBZAPATA Y CIMENTOS	m2	75.00	34.05	2,553.75
02.04.03	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO DE ZAPATAS	m2	75.00	31.06	2,329.50
<b>2.05</b>	<b>AMORTIGUADOR DE MASA SINTONIZADA</b>				<b>191,960.64</b>
02.05.01	CONCRETO PREMEZCLADO F'C= 210 kg/cm2	m3	24.912	220	5480.64
02.05.02	ENCOFRADO Y DESENCOFRADO	m2	129.6	50	6480
02.05.03	AISLADORES ELASTOMÉRICOS	und	12	15,000.00	180000
	<b>COSTO DIRECTO</b>				<b>S/ 3,602,693.59</b>
	GASTOS GENERALES	3%		+	S/ 108,080.81
	DIRECCION TECNICA Y UTILIDAD	4%		+	S/ 144,107.74
	<b>SUB TOTAL PRESUPUESTO</b>				<b>S/ 3,854,882.14</b>
	I.G.V	18%			S.693,878.79
	<b>TOTAL PRESUPUESTO</b>			<b>SIN AMS</b>	<b>S/ 4,548,760.93</b>

Fuente: Elaboración propia

Ambos presupuestos, presentados en la Tabla 29 y Tabla 30, presentan una diferencia de S/242369.5, los cuales corresponden a la implementación del AMS a la estructura. En la Tabla 31 se observa esa diferencia el cual representa el 5.63% del costo total del presupuesto base de estructuras. Este aumento en los costos no representa una incidencia significativa al costo total del proyecto, obteniendo consigo una mejora en la respuesta dinámica de la estructura.

Tabla 31: Presupuesto estimado de edificación sin y con AMS

<u>Presupuesto sin y con AMS</u>	
Presupuesto estructuras base	S/.4306391.42
<u>Presupuesto estructuras con AMS</u>	<u>S/.4548760.92</u>
Diferencia (Costo AMS)	S/. 242369.5

Fuente: Elaboración propia

Con el resultado obtenido se resalta el primordial e indiscutible beneficio en el uso de este mecanismo. Se trata de brindar comodidad y resguardar en seguridad ante algún amenazador evento sísmico al recurso humano que se encuentre tanto habitando, ocupando o en cercanía de la edificación en cuestión.

### 7.3. Contrastación de hipótesis

#### - Hipótesis general:

La utilización de amortiguadores de masa sintonizada genera una reducción porcentual positiva de un 15% como respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos con tanques elevados, sometidos a registros sísmicos en el distrito de Magdalena del Mar.

La hipótesis no se cumple debido a que la mejora en la respuesta dinámica no corresponde a un 15%. De acuerdo a la hipótesis general planteada y los resultados obtenidos se observa que se obtiene una mejor respuesta dinámica en cuanto a periodos, derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales y fuerzas cortantes de la estructura. En cuanto a derivas se obtiene una mejor respuesta en el último nivel de 5.50% en la dirección “X” y de 3.93% en la dirección “Y”. En cuanto a desplazamientos, se obtiene una reducción de desplazamientos en el último nivel de 3.50% en la dirección “X” y 2.50% en la dirección Y. En cuanto a

los esfuerzos torsionales, se tiene una reducción de hasta 2.5% en la dirección de análisis “X”, y en la dirección de análisis Y hasta un 5.10%. En relación a las fuerzas cortantes se obtiene una reducción en el primer nivel del 2.87% en la dirección “X” y 2.98% en la dirección “Y”.

- Hipótesis específicas

a. El peso óptimo del tanque elevado pudiera ser el 1% del peso total de la edificación que permite mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar

Se cumple la hipótesis planteada ya que de acuerdo a los resultados del análisis dinámico de la estructura con AMS realizado, se observa que los parámetros de diseño propuestos son óptimos en cuanto a razón de masa, razón de frecuencias y razón de amortiguamientos. Así mismo ese 1 % de masa en el sistema de Amortiguador de masa sintonizada permite la mejora a la respuesta dinámica.

b. El comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado reduce en 10% la flexión y torsión frente a los sismos.

La hipótesis no se cumple debido a que mejora en 5.50% en derivas en el eje “X” y 3.93% en derivas en el eje “Y”, en torsión mejora un 2.5% en dirección “X” y 5.10 % en dirección Y por lo que no llega al 10% de mejora.

c. Los amortiguadores de masa sintonizada podrían actuar en forma eficiente frente a los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar.

Implementar el AMS con tanques elevados actuarían de forma eficiente ante un sismo ya que reducen la respuesta dinámica, también nos permite usar los tanques elevados como almacenamiento de agua contra incendio ya que solo se usaría en caso de emergencia y se estaría eliminando la cisterna contra incendio que esta conectada a una bomba de presión constante para poder usar ese espacio como estacionamiento.... en la estructura representa un costo del 1.87% del presupuesto de estructuras del edificio por tanque elevado con amortiguador de 0masa sintonizada. Es en tal sentido que, al no presentar una incidencia significativa para

el presupuesto, presenta una buena relación costo-beneficio, ya que se mejora el comportamiento de la estructura en cuanto a derivas, desplazamientos, esfuerzos torsionales y fuerzas cortantes, reduciendo los riesgos que puedan presentarse ante un evento sísmico; con lo cual se cumple con la hipótesis planteada.

## CONCLUSIONES

1. Con la incorporación del AMS con tanques elevados en la Residencial Gloria IV, edificio multifamiliar de 9 niveles se obtiene una mejora en la respuesta dinámica de la estructura debido a que el AMS con tanque elevado aporta rigidez y amortiguamiento a la estructura, reduciendo las derivas, desplazamientos y fuerzas cortantes. La reducción de derivas en el último nivel es del 5.5% en la dirección de análisis X y en la dirección de análisis Y es de 3.93%. En cuanto a desplazamientos en el último nivel, la reducción es del 3.5% en la dirección de análisis X y del 2.5% en la dirección de análisis Y. Asimismo, la reducción de la fuerza cortante basal es de 2.87% en la dirección X y del 2.93% en la dirección Y.
2. Los parámetros propuestos para el AMS con tanques elevados son óptimos e influyen positivamente en la estructura reduciendo su respuesta dinámica, cumpliendo con la hipótesis específica planteada, debido a que incorpora masa, rigidez y amortiguamiento a la estructura, reduciendo la torsión.
3. La respuesta dinámica mejora en todos los niveles de la estructura, reduciendo las derivas de entrepiso en la dirección X desde 0.65%, en el primer nivel, hasta 5.5%, en el último nivel; así mismo, en la dirección Y se reducen las derivas desde 0.49% hasta 3.93%, cumpliendo con la hipótesis planteada.
4. De los resultados presentados se observa que se produce una mayor reducción en la respuesta dinámica de la estructura en la dirección X, esto se debe a que la rigidez incorporada por el AMS con tanques elevados se diseñó considerando el primer modo de vibración de la estructura, el cual predomina la masa participativa en la dirección X.
5. Al incorporar AMS con tanques elevados se quita la cisterna contra incendio y se usarían los tanques como depósito de agua en caso de emergencia ante un incendio, uno de los beneficios es que se estaría ganando presión por gravedad
6. El costo de estructuras de la edificación es de S/4,306,391.42, y con la implementación del AMS con tanques elevados el costo de estructuras asciende a S/4,548,760.92. Esta incorporación del AMS con tanques elevados no genera mucha incidencia en el presupuesto el cual representa el 5.63% del costo total de estructuras de la edificación, mejorando la respuesta dinámica de la estructura y aumentando la seguridad estructural. El resultado cumple con la hipótesis

planteada debido a que se obtuvo una buena eficiencia al usar los amortiguadores de masa sintonizadas.



## RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar evaluando la eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en edificios de 9 niveles a más, en los distritos de Lima, ante cargas sísmicas con análisis dinámico no lineal a fin de obtener y observar los resultados en el rango inelástico y poder realizar normativas que nos permitan usar en construcciones futuras.
2. Teniendo en cuenta los beneficios técnicos y económicos, se recomienda evaluar el comportamiento de las estructuras en otros distritos de Lima y observar el comportamiento y comparar las mejoras, especialmente los edificios que no han sido diseñados y construidos con la normativa vigente, para considerar mejorar su comportamiento estructural con el uso de amortiguadores de masa sintonizada.
3. Se recomienda para próximas investigaciones evaluar y considerar el uso de los tanques elevados en las edificaciones como un sistema de control pasivo, debido a que estas estructuras aportan masa y podría apoyarse sobre aisladores, el cual influya y mejore el comportamiento estructural de los edificios.
4. Se recomienda evaluar en estructuras existentes si es factible usar tanques elevados como reemplazo de las cisternas contra incendio o caso contrario evaluar si se puede usar como apoyo a la cisterna contra incendio.
5. Se recomienda para futuras investigaciones el estudio de la atenuación del desplazamiento lateral en edificaciones usando tanque elevado como amortiguador de masa sintonizada.

## REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- Ahumada, J. (2010). Sistema de control en estructuras.
- Ambrosini, D., Cuitiño, G., & Rebeco, J. (2004). Eficiencia de amortiguadores de masa sintonizada en estructuras sismoresistentes. Argentina, Bariloche: Mecánica Computacional Vol. XXIII.
- Araya, P. L. (2012). Estimacion multimodelo de parámetros estructurales para el diseño sintonía de amortiguadores de masa sintonizados . Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- Borja, M. (2012). Metodología de la investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
- Bozzo, L., & Barbat, A. (2000). Diseño sismo resistente de edificios. Barcelona, España: Reberté, S. A.
- Buendía, L., & Colás, P. y. (2001). Metodos de investigación en psicopedagogía. Madrid.
- Buendía, L., Colas, P., & Hernandez, F. (2001). Metodos de investigación en Psicopedagogía. Madrid.
- Carcamo, S. P. (2011). Estudio de la eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada en la respuesta sísmica de edificios estructurados en vase a marcos de hormigon armado. Chile: Universidad Austral de Chile.
- Casano, A. M. (2009). Analisis de estructuras bajo acciones dinámicas. Paraná: Editorial de la Universidad Tecnológica Nacional.
- Chapoñan, L. (2015). Dispositivos anisismicos. IV Congreso Asociación de Ingenieros Civiles Estructurales. Lima: SIRVE S.A.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). Proteccion sísmica de estructuras. Chile.
- Daniel Ambrosini, G. C. (2004). Eficiencia de amortiguadores de masa sintonizada en estructuras sismo resistentes. Argentina: Universidad Nacional de Cuyo.
- Dennis Poon, S.-S. S. (2004). Structural Design of Taipei 101, the world's Tallest Building. 9.
- Dionicio, M. Á. (2019). Sistema de amortiguamiento de vibraciones para un edificio de cuatro plantas. Madrid: Universidad Carlos III de Madrid.
- Dionisio, M. A. (2019). Sistema de amortiguamiento de un edificio de 4 plantas.

Madrid.

Escobar, C. M. (2019). Diseño de edificios de altura de estructuras irregulares, utilizando sistema de masa sintonizada. Ecuador: Pontificia Universidad Católica del Ecuador.

Escobar, C. M. (2019). Diseños de edificios de altura de estructuras irregulares, utilizando sistema de masa sintonizada en Quito. Quito.

Genatios, C. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Caracas.

Genatios, C., & Lafuente, M. (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras. Caracas.

GMN Proyecto S.A. (2018). Informe final de estudio de suelos. Lima.

Gomez, D. M. (2008). Sistemas de control para la protección de estructuras civiles sometidas a cargas dinámicas.

Hernández Barrios, H. (2006). Análisis sísmico de tanques rectangulares elevados. Puerto Vallarta: Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo.

INDECI. (2017). Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: sismo 8.8 Mw. Lima.

Instituto de la Construcción y Gerencia. (2002). Diseño Sismo Resistente de estructuras. Lima.

Instituto Geofísico del Perú. (2014). Evaluación del Peligro Sísmico en Perú. Lima.

Jorge, Q. R., & Aaron, R. A. (2020). MEJORAMIENTO DE LA RESPUESTA DINÁMICA EN UN EDIFICIO DE 26 NIVELES INCORPORANDO AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA EN JESÚS MARÍA. Lima - Perú: Escuela de Ingeniería URP.

korwagen, P. (2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Leon, L. (2016). Disipadores y aisladores sísmicos, modelado de puente vehicular con disipador y sin disipador de energía, comparación de los resultados sísmicos. Bogotá.

Leopoldo Breschi, A. C. (2015). Uso de amortiguadores de masa sintonizada en ingeniería estructural: Edificio parque Araucano en Santiago de Chile. Chile: Universidad Católica de Chile.

Leopoldo Breschi, A. C. (2015). Uso de amortiguadores de masa sintonizada en ingeniería estructural: Edificio parque Arauco Santiago de Chile. Santiago de Chile.

Lepelletier, T., & Raichlen, F. (1988). *Nonlinear Oscillations in Rectangular Tanks*. ASCE.

Marioni, A. (2012). España Patente n° 2386209.

Martínez, J., & Santiago del Río, R. (2016). *Diseño sísmico de un tanque elevado en Costa Rica*. Costa Rica.

Mendez, C. (2013). *Beneficios y ventajas de los sistemas de protección sísmica*. XII SEMINARIO DE INGENIERIA ESTRUCTURAL Y SISMICA. Costa Rica.

Miles, J. (1985). *Resonantly Forced, Nonlinear Gravity Waves in a Shallow Rectangular Tank Wave Motion*. Appl. Mech.

Montanaro, I. (2001). *Sistema de control de vibración en estructuras de gran altura*. Buenos Aires - Argentina: Universidad Nac. del Centro de la Pcia.

Nimmy, S., Abey, T., & Jency, K. (2017). *Seismic analysis of elevated water tank in a building*. Revista Internacional de Investigación de Ingeniería y Tecnología, 484-499.

Noemi Roxana Ayhuasi Sarmiento, J. E. (2020). *Comparación de la respuesta estructural en un edificio de 20 niveles con amortiguadores de masa sintonizada de tipo convencional y pendular mediante modelos físicos a escala*. Juliaca: Universidad Peruana Union.

ODAPAZ. (2021). ODAPAZ ZUMPANGO. Obtenido de <http://www.odapazumpango.gob.mx/obras/>

Onofre, L. (2014). *Procedimientos Constructivo de Tanques Rectos en la Planta de Aguas Residuales Atotonilco*. Mexico: Universidad Nacional Autónoma de México.

Pin, A. (2018). *La Torre Taipei 101*.

Rani, S., Reddy, S., & Reddy, K. (2015). *Time history analysis of building*. Revista Internacional de Investigación de Ingeniería y Tecnología (IRJET), 84-90.

Reboredo, A. (1996). *El análisis dinámico de construcciones sismo resistentes*. Argentina.

Ricardo Bassotti, D. A. (2004). *Eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada en estructuras sismo resistentes*. Cuyo.

Ricardo Bassotti, D. A. (2007). *Cuyo*.

Rivera, C. (2018). *Influencia del tanque elevado en la respuesta sísmica de edificaciones aporticadas de concreto armado*. Lima: Universidad Cesar Vallejo.

Rivero, D. S. (2008). *Metodología de la investigación*. Bogota: Shalom.

Rondón Esperanza, M., & Cho Gustavo, C. (2004). *Análisis sísmico de*

edificaciones. Colombia: Universidad Industrial de Santander.

Rosa, L. (2018). Modelo y Análisis de una estructura metálica de 20 niveles con sistemas de masas sintonizadas. Managua.

Sadek, F., Mohraz, B., Taylor, A., & Chung, R. (1996). A Method of Estimating the Parameters of Tuned Mass Dampers for Seismic Applications. Dallas, Texas: National Institute of Standards and Technology.

Salinas, R. (2012). Fundamento del análisis dinámico de estructuras. Lima.

Shimizu, T., & Hayama, S. (1987). Nonlinear Response of Sloshing Based on the Shallow Water Wave Theory. JSME.

Soong, T. (1997). Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering. New York: Universidad Estatal de Nueva York.

Ticse, C. (2019). Control de irregularidad por torsión en una edificación de 12 pisos mediante el reforzamiento con disipadores de energía fluido viscoso. Lima.

Turpo, R. P. (2017). Análisis de un edificio asimétrico de 10 niveles de concreto con amortiguadores de masa sintonizada. Arequipa: Universidad de Nacional de San Agustín.

Venegas, R., & Gripdia, R. (2018). Modelo y Análisis de una estructura metálica de 20 niveles con sistemas de masas sintonizadas. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.

Yogesh, S. (2015). Time History Analysis of Structure having Water Tank at the Top of Building Acting as a Tuned Liquid Damper. *Revista Internacional de Investigación de Ingeniería y Tecnología*, 484-499.

## ANEXO

### ANEXO 1: Matriz de consistencia

**MATRIZ DE CONSISTENCIA: MEJORAMIENTO DE LA RESPUESTA DINÁMICA DE UNA EDIFICACION DE 9 PISOS USANDO AMORTIGUADORES DE MASA SINTONIZADA CON TANQUES ELEVADOS EN EL DISTRITO DE MAGDALENA DEL MAR**

PREGUNTAS PRINCIPAL	OBJETIVOS PRINCIPAL	HIPOTESIS GENERAL	ALCANCE DE INVESTIGACION	UNIVERSO INVESTIGADO	TECNICA E INSTRUMENTO	TAMAÑO, MUESTRA Y ENSAYOS
¿Como realizar el mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos usando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en el distrito de Magdalena del Mar?	Realizar el mejoramiento de la respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos usando amortiguadores de masa sintonizada con tanques elevados en el distrito de Magdalena del Mar	La utilización de amortiguadores de masa sintonizada genera una reducción porcentual positiva de un 15% como respuesta dinámica de una edificación de 9 pisos con tanques elevados, sometidos a registros sísmicos en el distrito de Magdalena del Mar.	Tipo:Aplicativo con enfoque cuantitativo  Nivel: descriptivo  Diseño: No experimental	Edificios de nueve niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.	Normas de diseño E030(sismos), E050(suelos), E060(concreto) y E070(albañilería), programa de diseño Etabs.18.2.1 y hoja de calculo Excel.	Edificio de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar
PREGUNTAS ESPECIFICAS	OBJETIVOS ESPECIFICAS	HIPOTESIS ESPECIFICAS	ALCANCE DE INVESTIGACION	UNIVERSO INVESTIGADO	TECNICA E INSTRUMENTO	TAMAÑO, MUESTRA Y ENSAYOS
¿Cuál es el peso óptimo del tanque elevado para mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar?	Determinar el peso óptimo del tanque elevado para mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.	El peso óptimo del tanque elevado pudiera ser 1 tonelada lo que permite mejorar la respuesta dinámica de una edificación de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.			parametros de diseño de sismos dados por la norma E030(sismoresistente)	
¿Cuál es el nivel de eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada, ante los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar?	Determinar la eficiencia de los amortiguadores de masa sintonizada, frente a los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar	Los amortiguadores de masa sintonizada, podrían actuar en forma eficiente frente a los efectos de los sismos, en una edificación de 9 pisos con tanques elevados, en el distrito de Magdalena del Mar	Tipo:Aplicativo con enfoque cuantitativo  Nivel: descriptivo  Diseño: No experimental	Edificios de nueve niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar.	Parametros de suelos dados por la norma E050	Edificio de 9 niveles ubicado en el distrito de Magdalena del Mar
¿Cuál es el comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado, frente a los sismos en el distrito de Magdalena del Mar?.	Evaluar el comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado, frente a los sismos en el distrito de Magdalena del Mar.	El comportamiento de una edificación de 9 niveles que emplea amortiguadores de masa con tanque elevado, reduce en 10% la flexión y torsión frente a los sismos			Parametros de diseño de estructuras de concreto dado por la norma E060(concreto armado) y E070(albañilería)	

ANEXO 2 Matriz operacional de variable

Variable		Definición conceptual	Dimensiones	Indicador	Instrumento
Independiente	Amortiguador de masa sintonizada	Disipador de energía que dependen del periodo fundamental y la masa del edificio	Parámetros de diseño	Masa Rigidez Amortiguamiento	Método de Sadek et al. (1996) Microsoft Excel
Dependiente	Respuesta dinámica de un edificio de 9 niveles con tanque elevado	Resultado de un análisis sísmico expresado en derivas de entrepiso.	Análisis dinámico	Desplazamiento lateral Distorsión de entrepiso Esfuerzos torsionales Cortante basal	Norma E 030 (2018) Norma E 020 Norma E 060 Norma E 070 Software ETABS 18.0.2

ANEXO 3: Carta de Autorización



Paje. José Sánchez Lagomarcino 1745 Urb. Chacra Rios Norte – Lima – Perú / Teléfono: (+511) 425-5600 / (+511) 425-5896  
Página Web: [www.grupo3s.pe](http://www.grupo3s.pe) / email: [grupo3s@grupo3s.pe](mailto:grupo3s@grupo3s.pe)

Lima, 30 de setiembre del 2021

Señores:  
**UNIVERSIDAD RICARDO PALMA**  
Lima.-

De nuestra consideración:

Nuestra empresa GLJ Constructores e Inmobiliarios SAC. Con Ruc: 20547261551 domiciliado en Pje. Jose Sánchez Lagomarcino 1745 Lima – Lima, representado por el Sr. Marco Antonio Gomero Bravo identificado con DNI N° 08688921; me presento y expongo

Que autorizamos al Sr. Gonzalo Joel Rojas Panduro, a fin de que pueda utilizar los datos, figuras, o fotografías de la obra GLORIA IV construido por la empresa para la elaboración de su tesis.

Sin otro particular, me despido

Atentamente,

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'M. Gomero Bravo', written over a horizontal dotted line.

.....  
MARCO ANTONIO GOMERO BRAVO  
GLJ CONSTRUCTORES E INMOBILIARIOS SAC  
Apoderado