

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE  
HUAMANGA**

**FACULTAD DE INGENIERÍA DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL**

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



**"SIMULACIÓN DE UN AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO  
SINTONIZADO (ALS) INCORPORADO A UNA  
EDIFICACIÓN ESENCIAL EN AYACUCHO, PARA SU  
DESEMPEÑO ESTRUCTURAL MEJORADO, 2020".**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:**

**INGENIERA CIVIL**

**PRESENTADO POR:**

**LINDA ESTRELLA QUISPE MENESES**

**ASESOR:**

**MSc. ING. RUBÉN AMÉRICO YACHAPA CONDEÑA**

**AYACUCHO - PERÚ**

**2022**

# Resumen

Hay diversas edificaciones en el Perú y el mundo, que al pasar los años bajan su nivel de desempeño ante la ocurrencia de eventos sísmicos, es así que prestigiosos investigadores en el rubro de la Ingeniería Antisísmica desarrollan continuamente nuevos métodos para controlar el movimiento sísmico y que este no afecte la estructuración de un edificio. Un tipo de Sistema de Control es el Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS), este sistema al interactuar con una estructura, disipa la energía del movimiento provocado por un sismo, es decir, el líquido actúa como una fuerza amortiguadora a la fuerza basal que se produce por el sismo, controlando de esta manera que los desplazamientos de la estructura se minimicen. Se pretende incorporar este Sistema de ALS en el módulo D1 de Emergencias del Hospital Miguel Ángel Mariscal Llerena de Ayacucho, debido a que dicha infraestructura fue ejecutada con normativa de Diseño Sismorresistente del año 2013. Resaltar que, según normativa vigente esta edificación es de categoría esencial A1 y debería contemplar un sistema de control sísmico en su diseño.

*Palabras clave:* Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS), análisis sísmico, disipador sísmico, deriva de piso, desplazamiento, desempeño estructural mejorado, sistema de control sísmico.

# Abstract

There are various buildings in Peru and the world, which over the years lower their level of performance in the event of seismic events, so that prestigious researchers in the field of Anti-seismic Engineering continually develop new methods to control seismic movement and that it does not affect the structure of a building. One type of Control System is the Tuned Liquid Dampener (ALS), this system, when interacting with a structure, dissipates the energy of the movement caused by an earthquake, that is, the liquid acts as a damping force to the base force that is generated. produced by the earthquake, thus controlling that the displacements of the structure are minimized. It is intended to incorporate this

---

ALS System in the D1 Emergency module of the Miguel Ángel Mariscal Llerena Hospital in Ayacucho, due to the fact that said infrastructure was executed with the Seismic Design regulations of the year 2013. It should be noted that, according to current regulations, this building is of an essential category A1 and should include a seismic control system in its design.

*keywords:* Tuned Liquid Dampers (TLD), seismic analysis, seismic damper, story drift, displacement, improved structural performance, seismic control system.

# Introducción

El diseño Sismorresistente en el Perú se encuentra normado y va considerando nuevos parámetros, criterios y condiciones mínimas según pasan los años, consistiendo su filosofía de diseño en que se debe garantizar la seguridad física de las personas, minimizar los daños estructurales en las edificaciones, y garantizar la continuidad de los servicios básicos a las personas, haciendo hincapié que las edificaciones esenciales deben permanecer operativas para las atenciones correspondientes ante un evento sísmico severo.

Por tal, se deben realizar diseños de estructuras que sean capaces de resistir cargas dinámicas externas y que puedan finalmente brindar resultados satisfactorios respecto de su comportamiento. Sin embargo, la eventualidad de los sismos suele ser impredecible, con aceleraciones que podrían no haber sido experimentadas antes, es así que existen muchas investigaciones y avances en lo que se refiere al refuerzo de estructuras para su mejor desempeño ante estos eventos sísmicos. Estos avances engloban distintos tipos de Sistemas de Control, uno de ellos son los Amortiguadores de Líquido Sintonizado (ALS), el mismo que consiste en un tanque rígido contenido de líquido, que actúa como una fuerza de amortiguamiento inversa a la fuerza que ejerce un Sismo, buscando así que las derivas de piso de la estructura se minimicen.

*Dedicatoria...*

*A Celia y Serapio; mis padres, que son el mayor y más importante soporte de vida que poseo. Ya mis hermanos, que estuvieron, están y estarán siempre apoyando cada decisión mía. A ellos, por ser los seres más queridos de mi vida.*

# Agradecimientos

*Al MSc. Ing. Rubén Américo Yachapa Condeña, asesor de la presente tesis, por sus sugerencias, recomendaciones, apreciaciones y por brindarme la información necesaria para la elaboración del presente trabajo de investigación.*

*Al MSc. Ing. Jean M. Huacre Vila y al Ing. Luis A. Vargas Moreno, por el apoyo y apreciaciones brindadas durante la revisión de este trabajo.*

*A mis amigos y compañeros de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil y todas las personas que contribuyeron en el desarrollo de esta investigación.*

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN CRISTÓBAL DE HUAMANGA

AYACUCHO, MARZO DEL 2022

*LINDA ESTRELLA QUISPE MENESES*

# Índice General

Resumen . . . . .	ii
Introducción . . . . .	iv
Dedicatoria . . . . .	v
Agradecimientos . . . . .	vi
Índice General . . . . .	vii
Índice de Figuras . . . . .	x
Índice de Tablas . . . . .	xii
Glosarios . . . . .	xiii
Lista de Acrónimos . . . . .	xv
Símbolos . . . . .	xvi

## Capítulo I

<b>Planteamiento del Problema . . . . .</b>	<b>1</b>
1.1. Descripción del problema . . . . .	1
1.1.1. Perspectiva mundial . . . . .	1
1.1.2. Perspectiva nacional . . . . .	1
1.1.3. Perspectiva regional . . . . .	2
1.2. Delimitación del problema . . . . .	3
1.2.1. Espacial (geográfica) . . . . .	3
1.2.2. Temporal . . . . .	3
1.2.3. Temática y unidad de análisis . . . . .	3
1.3. Formulación del problema . . . . .	4
1.3.1. Problema general . . . . .	4
1.3.2. Problemas específicos . . . . .	4
1.4. Justificación e importancia . . . . .	4
1.4.1. Justificación . . . . .	4
1.4.2. Importancia . . . . .	5
1.5. Limitaciones de la investigación . . . . .	5
1.6. Objetivos . . . . .	5
1.6.1. Objetivo general . . . . .	5
1.6.2. Objetivos específicos . . . . .	6

## Capítulo II

<b>Marco Teórico . . . . .</b>	<b>7</b>
2.1. Antecedentes . . . . .	7
2.1.1. Investigaciones internacionales . . . . .	7

2.1.2. Investigaciones nacionales. . . . .	8
2.2. Bases teóricas . . . . .	9
2.3. Marco conceptual . . . . .	15
2.3.1. Sistemas de Protección Sísmica. . . . .	15
2.3.2. Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS). . . . .	22
2.3.3. Tipos de ALS's. . . . .	24
2.3.4. Aplicaciones del ALS . . . . .	26
<b>Capítulo III</b>	
<b>Método de la Investigación . . . . .</b>	<b>28</b>
3.1. Enfoque . . . . .	28
3.2. Alcances . . . . .	28
3.3. Diseño de investigación. . . . .	28
3.4. Población y muestra . . . . .	29
3.4.1. Población . . . . .	29
3.4.2. Muestra del estudio . . . . .	29
3.5. Hipótesis . . . . .	29
3.5.1. Hipótesis general . . . . .	29
3.5.2. Hipótesis específicas . . . . .	29
3.6. Operacionalización de variables . . . . .	29
3.6.1. Variables independientes (X). . . . .	30
3.6.2. Variables dependientes (Y) . . . . .	30
3.7. Técnicas e instrumentos . . . . .	31
3.7.1. Técnicas . . . . .	31
3.7.2. Instrumentos. . . . .	32
3.8. Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información . . . . .	32
3.9. Desarrollo del trabajo de tesis . . . . .	32
3.9.1. Análisis del Bloque D1 sin ALS . . . . .	32
3.9.1.1. Descripción del Proyecto . . . . .	32
3.9.1.2. Descripción del Bloque D1 . . . . .	33
3.9.1.3. Bloque D1 según Expediente Técnico. . . . .	36
3.9.1.4. Bloque D1 según Normativa vigente. . . . .	39
3.9.2. Análisis del Bloque D1 con ALS. . . . .	55
3.9.2.1. Diseño del ALS . . . . .	56
3.9.2.2. Modelado del Bloque D1 con ALS . . . . .	62
<b>Capítulo IV</b>	
<b>Resultados. . . . .</b>	<b>71</b>
4.1. Contrastación de hipótesis. . . . .	71



---

4.2. Análisis e interpretación .....	71
4.2.1. Comparativa de Resultados con y sin ALS .....	71
4.2.1.1. Dirección X .....	71
4.2.1.2. Dirección Y .....	72
4.2.1.3. Curva de Reducción X.....	72
4.2.2. Curva de Reducción Y .....	73
<b>Conclusiones</b> .....	<b>74</b>
Conclusiones .....	74
Recomendaciones .....	74
Trabajos futuros.....	75
<b>Referencias bibliográficas</b> .....	<b>76</b>

# Índice de Figuras

Figura 1	Esquema del tanque rectangular para un movimiento horizontal. . . . .	9
Figura 2	Esquema de la fuerza cortante de la base del ALS, debido al movimiento del líquido. . . . .	13
Figura 3	Modelo de una agrupación de masas en una estructura de n pisos. . . . .	13
Figura 4	Sistema de grados de libertad de una estructura con el ALS, caso 01. . . . .	14
Figura 5	Sistema de grados de libertad de una estructura con el ALS, caso 02. . . . .	14
Figura 6	Clasificación de los Sistemas de control de Respuesta sísmica. . . . .	17
Figura 7	Técnicas de aislamiento sísmico en la base. . . . .	19
Figura 8	Ejemplos. Izquierda: Aislador con núcleo de plomo. Medio: Aislador sin núcleo de Plomo. Derecha: Aislador con deslizador de superficie curva. . . . .	19
Figura 9	Ejemplos. Izquierda: Disipador RESTONSA. Medio: Disipador RESTON STU. Derecha: Disipador RESTON PSD. . . . .	21
Figura 10	Esquema de AMS y ALS. . . . .	22
Figura 11	Esquema de Clasificación de las familias de los ALS. . . . .	24
Figura 12	Amortiguador De Columna De Liquido Sintonizado (TLCD). . . . .	25
Figura 13	Área y ubicación del terreno del proyecto. . . . .	33
Figura 14	Distribución de bloques o módulos del proyecto. . . . .	34
Figura 15	Vista en elevación del Bloque D1. . . . .	34
Figura 16	Vista en planta del Bloque D1 (1er piso). . . . .	35
Figura 17	Asignación de datos para Espectro de aceleraciones en Eje X. . . . .	54
Figura 18	Asignación de datos para Espectro de aceleraciones en Eje Y. . . . .	54
Figura 19	Ubicación del ALS sobre la continuación de dos muros estructurales. . . . .	56
Figura 20	Dimensiones que debe adoptar el ALS. . . . .	57
Figura 21	Geometría del ALS (Izquierda: vista en corte. Derecha: vista en planta). . . . .	58
Figura 22	Creación de la nueva propiedad Link. . . . .	63
Figura 23	Asignación de propiedad Link U2. . . . .	64
Figura 24	Asignación de propiedad Link U3. . . . .	64
Figura 25	Definición de punto con propiedad Spring. . . . .	65
Figura 26	Vista de Bloque D1 con asignación Link y Spring. . . . .	66
Figura 27	Vista de Bloque D1 con asignación Link y Spring. . . . .	66
Figura 28	Vista 3D de Bloque D1 con asignación Link y Spring. . . . .	67
Figura 29	Respuesta de espectros en eje X. Etabs. . . . .	68
Figura 30	Respuesta de espectros en eje Y. Etabs. . . . .	69
Figura 31	Derivas de piso - sismo XX. . . . .	72

Figura 32 Derivas de piso - sismo YY..... 73

# Índice de Tablas

Tabla 1	<i>Comparación de tipos de TLD's</i> .....	26
Tabla 3	<i>Variable dependiente y sus subvariables</i> . ....	30
Tabla 2	<i>Variable independiente y sus subvariables</i> . ....	31
Tabla 4	<i>Cuadro de factores de reducción de resistencia</i> .....	37
Tabla 5	<i>Verificación de la 1era condición de irregularidad de rigidez - piso blando</i> . ..	43
Tabla 6	<i>Verificación de 2da condición de irregularidad de rigidez - piso blando</i> . ....	44
Tabla 7	<i>Verificación de irregularidad de resistencia o piso débil</i> . ....	45
Tabla 8	<i>Verificación de 1era condición de irregularidad extrema de rigidez</i> .....	46
Tabla 9	<i>Verificación de 2da condición de irregularidad extrema de rigidez</i> . ....	46
Tabla 10	<i>Verificación de irregularidad extrema de Resistencia</i> . ....	47
Tabla 11	<i>Verificación de irregularidad de masa o peso</i> . ....	47
Tabla 12	<i>Verificación de irregularidad geométrica vertical</i> .....	48
Tabla 13	<i>Condición para la verificación de la irregularidad torsional</i> . ....	49
Tabla 14	<i>Verificación de irregularidad torsional</i> . ....	50
Tabla 15	<i>Verificación de irregularidad torsional extrema</i> . ....	51
Tabla 16	<i>Modos de vibración y su participación de masa modal</i> .....	53
Tabla 17	<i>Verificación de las Derivas de piso mínimas</i> . ....	55
Tabla 18	<i>Control de derivas de piso para el Bloque D1 con ALS</i> . ....	70
Tabla 19	<i>Derivas inelásticas del Bloque D1 con y sin ALS, en el eje X</i> . ....	71
Tabla 20	<i>Derivas inelásticas del Bloque D1 con y sin ALS. En el eje Y</i> . ....	72

# Glosarios

**Aislación Sísmica** Son dispositivos estructurales que sirven para desemparejar una superestructura de una edificación, del suelo y así proteger la integridad del edificio.

**Cargas dinámicas** Son aquellas cargas que actúan sobre la estructura en forma repentina, variando su magnitud y ubicación durante el transcurso del tiempo. Entre ellas están las cargas del viento, lluvias, nieve, sismos, etc.

**Cinturón de Fuego del Pacífico** También llamado Anillo de Fuego del Pacífico, es una de las zonas de subducción ubicada en las costas del océano Pacífico caracterizada por concentrar a regiones sísmicas y volcánicas más importantes y activas del mundo.

**Derivas de piso** Es el desplazamiento horizontal relativo entre dos puntos colocados en la misma línea vertical, en dos pisos o niveles consecutivos de la edificación.

**Disipación de energía** Su función principal es disipar las acumulaciones de energía que genera un evento sísmico en una edificación, asegurándose que los elementos de la estructura no sean sobre solicitados, y evitando daños a la estructura. Es decir, los disipadores sísmicos ofrecen un incremento de la amortiguación a la estructura.

**Intensidad sísmica** Es una descripción cualitativa de los efectos de los sismos, en ella intervienen la percepción de las personas así como los daños materiales y económicos sufridos a causa del evento.

**Magnitud sísmica** Es un número que busca caracterizar el tamaño de un sismo y la energía sísmica liberada, mide la energía liberada durante la ruptura de una falla.

**Periodo de retorno** Usada comúnmente para representar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado.

**Sistemas de Control Estructural** Los sistemas son métodos alternativos que se atribuyen o incorporan a una estructura para minimizar la magnitud de las fuerzas internas, mejorando sus propiedades y la respuesta dinámica, pueden ser de control pasivo, activo o híbrido.

**Subestructura** Sistemas de apoyo y/o cimentación de una estructura situada por debajo del nivel del suelo.

**Vida Útil** Es la duración estimada que una estructura puede tener, cumpliendo correctamente

con la función para el cual ha sido diseñado. Normalmente se calcula en años de duración.

**Vulnerabilidad Sísmica** Es la propiedad intrínseca de la estructura, una característica de su propio comportamiento ante la acción de un sismo descrito a través de una ley de causa-efecto, donde la causa es el sismo y el efecto es el daño.

# Lista de Acrónimos

<b>ALS</b>	: Amortiguador de Líquido Sintonizado.
<b>ASCE/SEI</b>	: American Society of Civil Engineers/Structural Engineering Institute.
<b>DTLCD</b>	: Double Tuned Liquid Columns Damper.
<b>ER</b>	: Electro Rheological (Electro Reológico).
<b>GDL</b>	: Grado de Libertad.
<b>HTLCD</b>	: Hybrid Tuned Liquid Column Damper.
<b>LCVA</b>	: Liquid Columns Vibration Absorbers.
<b>MDF</b>	: Método de Diferencias Finitos.
<b>MEF</b>	: Método de Elementos Finitos.
<b>MMC</b>	: Millones de Metros Cúbicos.
<b>MR</b>	: Magneto Rheological (Magneto Reológico).
<b>NTP</b>	: Norma Técnica Peruana.
<b>PTLCD</b>	: Pressurized Tuned Liquid Columns Damper.
<b>RAE</b>	: Diccionario de la Lengua Española.
<b>RNE</b>	: Reglamento Nacional de Edificaciones.
<b>TLCD</b>	: Tuned Liquid Columns Damper.
<b>TLD</b>	: Tuned Liquid Damper.
<b>TSD</b>	: Tuned Sloshing Damper.

# Símbolos

$A_S$	Aceleración [m/s <sup>2</sup> ]
$g$	Aceleración de la Gravedad [m/s <sup>2</sup> ]
$\nu$	Coefficiente de Poisson
$c$	Coefficiente Sismico
$V_{basal}$	Constante Basal
$q$	Deformación [cm]
$\epsilon$	Deformación Unitaria
$\rho$	Densidad del Liquido [Tn/m <sup>3</sup> ]
$e$	Espesor [m]
$\omega$	Valor de la Frecuencias [1/s]
$\omega_i$	Frecuencias [1/s]
$M_W$	Matrix de Masas del Agua
$M$	Matriz de Masa
$K_e$	Matriz de Rigidez del Elemento Finito
$K_W$	Matriz de Rigidez del Agua
$T$	Periodo [s]
$\gamma$	Peso Especifico [tn/m <sup>3</sup> ]
$\gamma_w$	Peso Especifico del Agua [Tn/m <sup>3</sup> ]
$\gamma$	Peso Especifico del Material [Tn/m <sup>3</sup> ]
$P_T$	Peso Total [tn]
$P_{hd}$	Presión Hidrodinamica [Tn <sup>2</sup> ]
$P_{hs}$	Presión Hidrostatica [Tn <sup>2</sup> ]
$Q_a$	Vector de Cargas []
$\phi$	Modos de Vibración



# Capítulo I

## Planteamiento del Problema

---

### 1.1 Descripción del problema

#### 1.1.1 Perspectiva mundial

En la actualidad, a lo largo de los años las normativas de análisis y diseño del sistema estructural de edificaciones se van actualizando, debido a que cada vez más se tienen estudios específicos del comportamiento del suelo durante un evento sísmico, por otro lado, en países desarrollados como Estados Unidos, Japón, China y de potencia mundial, también se han estudiado y desarrollado distintos sistemas de control de las estructuras para minimizar los desplazamientos cuando ocurriese un sismo, cuyos sistemas son aplicables para nuevas edificaciones así como también para el reforzamiento de otras existentes.

Para el caso de edificaciones que ya fueron construidas, se tiene la necesidad de investigar sistemas de control que ayuden a minimizar la respuesta de una estructura ante un evento sísmico, y que a su vez éstas sean viables respecto del proceso constructivo y tema económico. Generalmente, estos sistemas de control que se investigan a nivel internacional, son clasificados en tres tipos: sistemas activos, pasivos y semiactivos (híbridos), y contemplan parámetros y/o variables que se continúan estudiando, considerando condiciones mínimas requeridas para su aplicación. Los sistemas de control consistentes en aislación de base o disipación de energía se encuentran en el tipo de sistema de control pasivo.

#### 1.1.2 Perspectiva nacional

La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E-030, permite el uso y aplicación de sistemas de control de aislamiento de base o disipación de energía, siempre que la edificación sea de categoría esencial A1 (establecimientos de salud públicos o privados, de 2do o 3er nivel de servicio médico), se encuentre en una zona sísmica crítica y en la medida que sea aplicable

según documentación técnica internacional.

El Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) o Tuned Liquid Damper (TLD) como es conocido internacionalmente, es un sistema de control pasivo de disipación de energía, que podría utilizarse en nuestro territorio, tanto para edificaciones nuevas como edificaciones ya construidas, basándose técnicamente en investigaciones extranjeras.

A nivel nacional, no hay edificaciones que se hayan construido con este tipo de sistema de control sísmico, así como tampoco existe imposibilidad de que pueda ser utilizado para construcciones nuevas o existentes.

### **1.1.3 Perspectiva regional**

En los últimos años, la demanda de usuarios en el Sector de Salud ha ido aumentando, por lo que el gobierno opta por construir más establecimientos de salud como hospitales, postas, centros de salud, entre otros. En el departamento de Ayacucho, a fin de cubrir esta demanda de usuarios, el Gobierno Regional de Ayacucho construyó el Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena en el distrito de Andrés Avelino Cáceres, el cual se encuentra actualmente en servicio.

El Expediente Técnico para la construcción de este Hospital se realizó en octubre del 2013, por lo que, el análisis y diseño sismorresistente se realizó con base a la Norma Técnica E030 del año 2006, Norma que fue actualizada al pasar de los años, siendo su última modificación en enero del 2019.

Con la actualización de la Norma E030, ya no se consideran 3 zonas sísmicas, sino 4, además de ello, para las edificaciones nuevas en las zonas sísmicas 3 y 4 que sean de categoría esencial A1 (Establecimientos del sector salud, públicos y privados, del segundo y tercer nivel), se debe incluir en su diseño los aisladores de base, los mismos que no han sido considerados como parte del diseño en el Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena, esto hace que la edificación sea más vulnerable ante un sismo severo.

El caso del Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena, un establecimiento de Salud público de 3er nivel que se encuentra en zona sísmica 3, podría adaptarse para la incorporación de un sistema de Aisladores de base, pero éste tendría un proceso constructivo de alto costo, por lo que, según la norma, también se puede optar por un sistema de disipación de energía, que a su vez es un sistema adaptable post constructivo, que es el AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO SINTONIZADO (ALS).

Como parte de esta investigación, se realizará la simulación de la incorporación del Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) en una de las edificaciones del Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena, teniendo en cuenta que lo que prima es el análisis y diseño de un ALS y su aplicación en una edificación esencial, con el fin de mejorar el desempeño sismorresistente de la edificación, que fue construida bajo parámetros que ya no se encuentran vigentes.

## **1.2 Delimitación del problema.**

### **1.2.1 Espacial (geográfica)**

El Hospital Miguel Ángel Mariscal Llerena, es una edificación de Categoría Esencial A1 (establecimiento de salud de nivel III) que pertenece a la zona sísmica 3, y que no cuenta con aisladores de base o disipadores de energía, por lo que se realizará esta investigación sobre la simulación de la incorporación del Amortiguador de Líquido Sintonizado en una de sus edificaciones, a fin de controlar su respuesta estructural con menores desplazamientos. Esta edificación se encuentra ubicada en el distrito de Andrés Avelino Cáceres, provincia de Huamanga, departamento de Ayacucho.

### **1.2.2 Temporal**

El periodo de investigación será de acuerdo al tiempo de recolección de información y su procesamiento, el cual corresponde al año 2020 y 2021.

### **1.2.3 Temática y unidad de análisis.**

La edificación en la que se realizará dicha simulación será en el módulo D1 de Emergencias, que es un edificio de 5 niveles. Se ha elegido el módulo D1 debido a la importancia que tiene, siendo ésta una edificación que debe mantenerse funcional en caso de un evento sísmico, además de poseer equipos y ambientes especializados para la atención rápida en caso de emergencias, los cuales deben contar con total disponibilidad.

## 1.3 Formulación del problema

### 1.3.1 Problema general

- a) ¿Es el Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) incorporado en la Edificación D1 del Hospital Regional de Ayacucho Miguel Ángel Mariscal Llerena, el que minimiza la deriva de piso, 2020?

### 1.3.2 Problemas específicos

- a) ¿Qué características físicas del ALS son las que minimizan la deriva de piso de la Edificación D1?
- b) ¿Qué parámetros de diseño del ALS sintonizados a los de la estructura, son los que minimizan la deriva de piso de la Edificación D1?

## 1.4 Justificación e importancia

### 1.4.1 Justificación

La Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente E-030, con última modificación en febrero del 2019, indica que edificaciones esenciales del tipo A1 deben incluir en sus diseños los aisladores sísmicos de base o disipadores de energía, esto en cuanto a edificaciones que recién serán construidas, pero, ¿Qué hay de las edificaciones que ya fueron construidas sin esta consideración?, respecto del sistema de aisladores de base, resultaría difícil su incorporación en esta edificación por su evidente proceso constructivo (ya que van entre la subestructura y superestructura). Es por ello que se busca soluciones fuera de la Norma, lo que constituye una de las justificaciones para esta investigación, que las edificaciones construidas se puedan acoplar con otros tipos de sistemas de control estructural que, en muchos casos puedan resultar ser más económicos y eficaces que los aisladores de base.

El ALS (Amortiguador de Líquido Sintonizado) es un sistema de control estructural que se puede acoplar a una edificación ya construida, por lo que el Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena de Ayacucho es un ejemplo para esta investigación, pues el sistema estructural de todos sus 25 módulos, fueron diseñados bajo la Normativa E030-2006, el cual estaba limitado solo a tres zonas sísmicas, entre otras condiciones. Por lo que se pretende incorporar el ALS en el diseño de uno de sus módulos, siendo el módulo D1 correspondiente

al área de Emergencias.

Por otro lado, el Perú es un país altamente sísmico debido a que está ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, esto impulsa a que cada vez se enriquezcan los estudios sobre diseños antisísmicos de estructuras a pesar de su escasa información en Latinoamérica, lo que también justifica realizar esta investigación para ampliar nuestro conocimiento acerca de una de las muchas formas de hacer que nuestras edificaciones tengan un mejor desempeño ante eventos sísmicos.

### **1.4.2 Importancia**

Existen muchas alternativas para controlar el movimiento de edificaciones ante un sismo severo, como los disipadores de energía, siendo uno de ellos el Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS), que es un sistema que representa un modo eficaz y sencillo para aumentar el amortiguamiento de las estructuras como respuesta al movimiento sísmico, este sistema consiste en uno o más recipientes de líquido incorporados a la estructura en zonas adecuadamente estudiadas.

Es importante esta investigación, porque se pretende incorporar este sistema de ALS en el módulo D1 del Hospital referido, para poder minimizar los desplazamientos de la estructura ante un evento sísmico, convirtiéndose así en una edificación menos vulnerable a posibles daños estructurales, evitando posteriores reparaciones y gastos al Estado.

## **1.5 Limitaciones de la investigación**

Esta investigación no tiene limitación en cuanto a recursos económicos o humanos.

## **1.6 Objetivos**

### **1.6.1 Objetivo general**

- a) Simular la incorporación del Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) en la Edificación D1 del Hospital Regional de Ayacucho Miguel Ángel Mariscal Llerena, a fin de minimizar la deriva de piso, 2020.

### **1.6.2 Objetivos específicos**

- a) Analizar las características físicas del ALS que minimizan la deriva de piso de la Edificación D1.
- b) Analizar los parámetros de diseño del ALS sintonizados a los de la estructura, que minimizan la deriva de piso de la Edificación D1.

# Capítulo II

## Marco Teórico.

---

### 2.1 Antecedentes.

#### 2.1.1 Investigaciones internacionales

En la historia de los Amortiguadores de Líquido Sintonizado (ALS o TLD), las primeras aplicaciones de estos sistemas estuvieron en los satélites espaciales y buques marinos. Años más tarde se usaron en plataformas marinas y estructuras de tierra, dando lugar al desarrollo de estudios e investigaciones para edificios y obras civiles.

Se han realizado múltiples investigaciones a cerca de ALS, que es un dispositivo de amortiguación inercial que se introduce en el sistema estructural de un edificio y se ajusta para actuar como un amortiguador dinámico de vibraciones a causa de movimientos sísmicos. Los ALS también se han utilizado para suprimir las vibraciones inducidas por el viento en estructuras altas.

Estas investigaciones han sido en primera instancia a nivel analítico, las que han establecido bases teóricas y que a partir de ellas se han desarrollado diseños variables de Amortiguadores de Líquido Sintonizado, los que incorporados a una edificación han demostrado ser sistemas de control estructural eficaces.

Las primeras aplicaciones de ALS se han realizado principalmente en Japón en la década del año 1980, desarrollándose con éxito para el control de desviaciones de puentes, torres de control de aeropuertos, torres de radio y plataformas en alta mar debido al viento. En cuanto a edificios, se tienen como ejemplos la Torre del Aeropuerto de Nagasaki, instalada en 1987, la Torre Marina de Yokohama, también instalada en 1987, el Hotel Shin-Yokohama Prince, instalado en 1992, y la Torre del Aeropuerto Internacional de Tokio, instalada en 1993. Posteriormente estas aplicaciones se dieron en Estados Unidos, el One Rincon Hill Hotel, en

China el Shanghai Financial Trade Center y en Australia el Hobart Tower, entre otros. Donde describimos brevemente algunos de ellos:

El ALS instalado en la **Torre del Aeropuerto de Tokio** de altura 77.6m, consta de unos 1400 recipientes que contienen agua, estos recipientes son cilindros circulares de acero de 0.6m de diámetro y 0.75m de altura, con una masa total aproximadamente del 3.5% de la masa total de la torre. Se ha demostrado que, bajo una velocidad máxima instantánea del viento de 25m/s, el ALS redujo la respuesta de aceleración en la dirección del viento cruzado a aproximadamente el 60% de su valor sin el TLD.

En el caso de la **Torre Marina de Yokohama**, que es una torre de acero de una altura de 100m y de sección transversal decagonal, tiene instalado el ALS bajo un conjunto de 39 recipientes cilíndricos de 0.5m de diámetro y 0.05m de altura. La masa total del ALS es aproximadamente el 1% de la masa generalizada de la torre, donde la relación de amortiguamiento de la torre aumentó 7 veces con la colocación del ALS.

De manera similar se tiene al **Hotel Shin Yokohama Prince**, que tiene una altura de 149.35m. El ALS está ubicado en el último piso y es un conjunto de 30 cilindros de 2m de diámetro y 2m de altura total. La masa del líquido es el 1% de la masa generalizada fundamental de la estructura. Se alcanzó una reducción del 50% en la aceleración cuando la velocidad del viento es 25m/s.

Otro caso es el de la **Torre One Rincon Hill**, el cual posee una altura aproximada de 180m (60 pisos). Cuatro tanques de concreto que contienen hasta 190 toneladas de agua, están instalados en la parte superior del rascacielos para mitigar la respuesta inducida por el viento y sismos. El nivel de agua en los tanques se ajusta para tener una frecuencia natural de chapoteo cercana a la de la estructura del edificio.

### 2.1.2 Investigaciones nacionales

En cuanto al ámbito nacional, hay variedad de investigaciones a cerca de los sistemas de control estructural mediante disipadores de energía en edificaciones, los que solo hacen mención de manera conceptual a los Amortiguadores de Líquido Sintonizado. En el Perú no existe edificación que incorpore en su diseño este ALS.



## 2.2 Bases teóricas

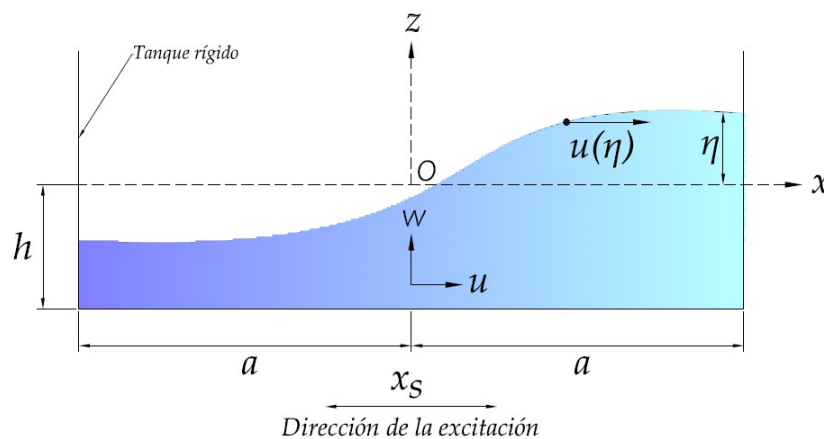
Hossein (2015) afirma que al instalar este sistema de ALS en la superficie superior de ciertas estructuras existentes, para después experimentar vibraciones inducidas por la fuerza del viento, muestran una notoria reducción de oscilación de dichas estructuras desde un 4% a 17%.

### MODELO DE SUN LIMIN

Sun (1991) emplea una combinación de la teoría de la capa límite y la teoría de la onda de agua poco profunda, donde las ecuaciones resultantes se resolvieron usando métodos numéricos. Un aspecto importante de este modelo es que considera la rotura de olas bajo grandes excitaciones por medio de dos coeficientes empíricos. A continuación, se proporcionará un resumen de este modelo.

Sea un tanque rectangular rígido mostrado en la figura 1, con la longitud  $2a$ , ancho  $b$  y el nivel de agua no perturbado  $h$ , que está sometido a un desplazamiento lateral  $x_s$  y a su vez este movimiento se desarrolla en el plano  $xz$ . Se supone las siguientes condiciones:

- El líquido es incompresible, de flujo irrotacional, y homogéneo.
- La presión en la superficie libre del líquido es constante.
- Las paredes del tanque rectangular del ALS son rígidos.
- El comportamiento del ALS se considerará lineal.



**Figura 1** Esquema del tanque rectangular para un movimiento horizontal.

**Origen de las ecuaciones:** Ecuación de continuidad:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0 \quad (2.1)$$

Ecuación del movimiento:

Ecuaciones bidimensionales de Navier's Stokes, que son para describir el deslizamiento de líquido.

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + w \frac{\partial u}{\partial z} = -1 \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) - \ddot{x}_s \quad (2.2)$$

$$\frac{\partial w}{\partial t} + u \frac{\partial w}{\partial x} + w \frac{\partial w}{\partial z} = -1 \frac{1}{\rho} \cdot \frac{\partial p}{\partial z} + \nu \cdot \left( \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 w}{\partial z^2} \right) - g \quad (2.3)$$

Donde  $u(x, t)$  y  $w(x, t)$  son las velocidades relativas del líquido en el tanque en la dirección  $x$  y  $z$  respectivamente,  $g$  es la aceleración por gravedad,  $p$  es la presión,  $\rho$  denota la densidad y  $\nu$  representa la viscosidad cinemática del líquido.

El líquido fuera de la capa límite, se considera como un flujo potencial y ese potencial de la velocidad, según Sun (1991) se expresa como:

$$\phi(x, z, t) = -\frac{gH}{2\omega} \cdot \frac{\cosh(k(z+h))}{\cosh(kh)} \cdot \cos(kx - \omega t) \quad (2.4)$$

Donde  $k$  es el número de onda y  $H$  se define como:

$$H = \frac{2\eta}{\text{sen}(kx - \omega t)} \quad (2.5)$$

Basándose en la teoría de la onda de agua poco profunda, Shimisu y Hayama (1986) supone el potencial como:

$$\phi(x, z, t) = \phi(x, t) \cdot \cosh(k(h+z)) \quad (2.6)$$

### Condiciones de contorno:

Las condiciones de contorno se describen como:

$$u = 0, \text{ en las paredes externas } (x = \pm a).$$

$$w = 0, \text{ en la base del tanque } (z = -h).$$

Condiciones de contorno de superficie libre:

Condición con frontera cinemática:

$$w = \frac{\partial \eta}{\partial t} + u \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x}, \text{ en la superficie libre } (z = \eta).$$

Donde  $\eta(x, t)$  es la elevación de la superficie libre.

Condición con frontera dinámica:

$$p = p_0 = \text{cte}, \text{ en la superficie libre } (z = \eta).$$

Donde  $\phi(x, t)$  en la ecuación (2.6), puede ser determinada por las condiciones de contorno.

Entonces, usando dicha ecuación (2.6),  $\partial u$  y sus diferenciales se expresan en términos de  $\partial \eta$ . Despreciando el espesor de la capa límite que integra la ecuación de continuidad (2.1) con respecto a  $z$ , además considerando las condiciones de contorno, la ecuación de continuidad se puede expresar aproximadamente como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + h\sigma \frac{\partial(\phi u(\eta))}{\partial x} = 0 \quad (2.7)$$

Donde:

$$\sigma = \frac{\tanh(kh)}{kh}$$

$$\phi = \frac{\tanh(k(h+\eta))}{\tanh(kh)}.$$

#### **Ecuación de movimiento en forma integral:**

La velocidad  $w$  y sus diferenciales, pueden expresarse en términos de la velocidad horizontal  $u$ , y estas ecuaciones están integradas con respecto a  $z$  desde la parte inferior hasta la superficie libre.

$$\frac{\partial u(\eta)}{\partial t} + (1 - T_H^2) \cdot u(\eta) \cdot \frac{\partial u(\eta)}{\partial x} + C_{fi}^2 \cdot g \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} + gh\sigma\phi \cdot \frac{\partial^2 \eta}{\partial x^2} \cdot \frac{\partial \eta}{\partial x} = -C_{da}\lambda u(\eta) - \ddot{x}_s \quad (2.8)$$

Donde:

$$T_H = \tanh(k(h + \eta)).$$

Siendo  $u(\eta) = u(x, \eta, t)$  la velocidad horizontal de una partícula líquida  $u$  en la superficie, y  $u(\eta)$  son las variables independientes de las ecuaciones básicas.

#### **Amortiguamiento del chapoteo del líquido:**

En la ecuación (2.8),  $\lambda$  es un coeficiente de amortiguamiento. Sin embargo, la formulación de este coeficiente de amortiguamiento para los efectos de un sistema con paredes lateral y superficie libre, es:

$$\lambda = \frac{1}{(h + \eta)} \frac{8}{3\pi} \sqrt{\omega l^3} \left( 1 + \left( \frac{2h}{b} \right) + S \right) \quad (2.9)$$

Donde:  $S$  es el factor de contaminación de la superficie, siendo  $S = 1$  correspondiente a una

superficie totalmente contaminada,  $\omega_l$  es la frecuencia fundamental del chapoteo lineal del líquido,  $\nu$  es la viscosidad cinemática del líquido, y  $b$  es el ancho del tanque.

Los coeficientes  $C_{fr}$  y  $C_{da}$  se incorporan a la ecuación anterior para modificar la onda de agua y el amortiguamiento respectivamente, cuando la onda es inestable  $\eta > h$  y rompe.

$C_{fr}$  se encuentra empíricamente con un valor constante de 1.05.

Luego:

$$C_{da} = 0.57 \sqrt{\frac{h^2 \cdot \omega_l}{2a} \cdot x_{s \text{ máx}}} \quad (2.10)$$

Donde:  $x_{s \text{ máx}}$  es el máximo desplazamiento experimentado por la estructura en la ubicación del ALS, pero sin el ALS acoplado a la estructura.

### **Frecuencia fundamental del chapoteo del líquido:**

La frecuencia fundamental del movimiento del líquido del ALS ( $\omega_l$ ), se puede estimar usando la siguiente ecuación:

$$\omega_l = \frac{1}{2\pi} \sqrt{\frac{\pi g}{2a} \cdot \tanh\left(\frac{\pi h}{2a}\right)} \quad (2.11)$$

Donde  $g$  es la aceleración de la gravedad,  $h$  es el nivel de agua en reposo, y  $L$  es la longitud del tanque en dirección del movimiento del líquido ( $2a$ ).

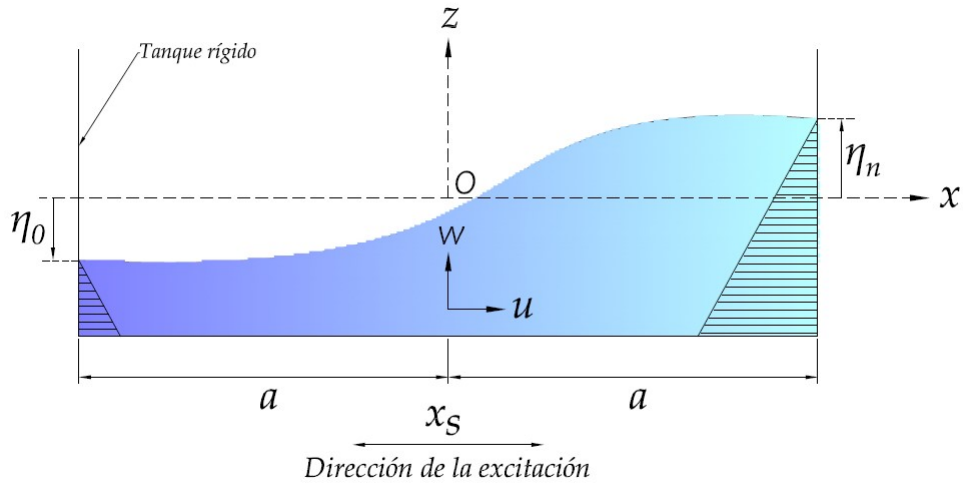
Las ecuaciones (2.7) y (2.8) se discretizan en el espacio mediante el método de diferencias finitas y se resuelven simultáneamente usando el método de Runge-Kutta-Gill para encontrar los valores de  $u$  y  $\eta$ .

### **Fuerza cortante de la base del ALS a causa del movimiento del líquido:**

La fuerza inducida en la pared, debido al movimiento del líquido se puede encontrar mediante:

$$F = \frac{\rho g b}{2} \left[ (\eta_n + h)^2 - (\eta_0 + h)^2 \right] \quad (2.12)$$

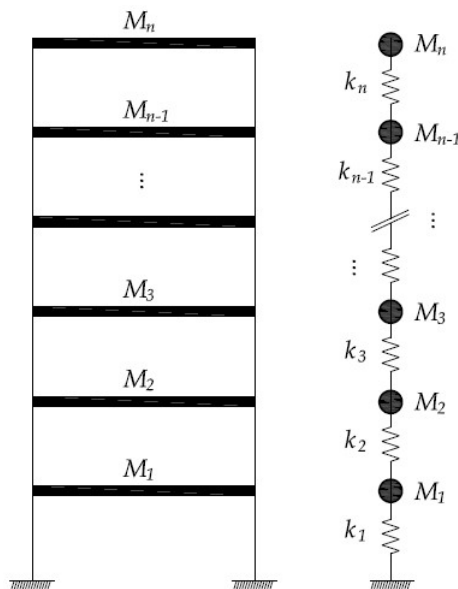
Donde  $\eta_n$  es la elevación de la superficie libre en la pared izquierda del tanque, y  $\eta_0$  en la pared derecha del tanque.



**Figura 2** Esquema de la fuerza cortante de la base del ALS, debido al movimiento del líquido.

**Modelo general de la estructura:**

Una edificación de concreto armado plano se puede idealizar como un edificio de corte, que se modela como un sistema dimensional de múltiples grados de libertad con un grado de libertad en cada nodo. Esta idealización asume que la rigidez axial de la viga al nivel del piso es muy alta, por lo que no habrá rotación al nivel del piso entre las juntas de las columnas y vigas.



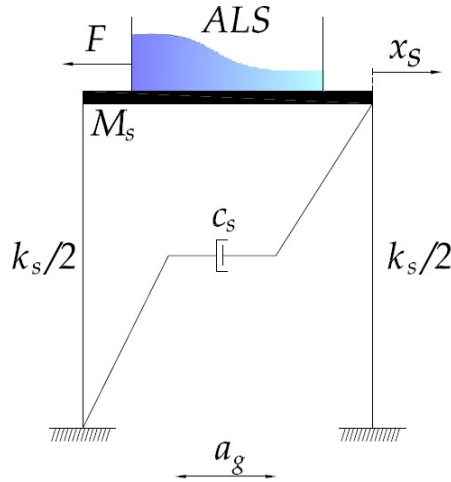
**Figura 3** Modelo de una agrupación de masas en una estructura de \$n\$ pisos.

La ecuación dinámica de la estructura es:

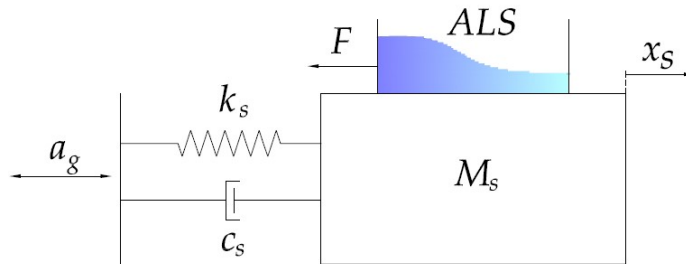
$$m\ddot{x}_s + c\dot{x}_s + kx_s = -a_g m \tag{2.13}$$

Donde  $m$  es la matriz de masas,  $c$  es la matriz de amortiguamiento y  $k$  es la matriz de rigideces ya conocidas para una estructura y/o edificación.

**Modelo de interacción ALS-ESTRUCTURA:**



**Figura 4** Sistema de grados de libertad de una estructura con el ALS, caso 01.



**Figura 5** Sistema de grados de libertad de una estructura con el ALS, caso 02.

La ecuación de movimiento del sistema de interacción de estructura - ALS sujeto a la aceleración del suelo  $a_g$  es:

$$m_s \ddot{x}_s + c_s \dot{x}_s + k_s x_s = -a_g m_s + F \quad (2.14)$$

O:

$$\ddot{x}_s + 2\omega_s \zeta \dot{x}_s + \omega_s^2 x_s = -a_g + \frac{F}{m_s} \quad (2.15)$$

Donde  $m_s$  es la masa de la estructura,  $c_s$  es el coeficiente de amortiguamiento de la estructura,  $k_s$  es la rigidez de la estructura,  $a_g$  es la aceleración del suelo,  $\omega_s$  es la frecuencia natural de la estructura,  $F$  es la fuerza cortante de la base del ALS y  $x_s$  es el desplazamiento estructural

relativo al movimiento del suelo, es decir, el desplazamiento del ALS.

Finalmente, las ecuaciones (2.7), (2.8) y (2.15) deben resolverse de manera simultánea para poder encontrar la respuesta de una edificación con ALS.

Al conocer la aceleración estructural en cada paso de tiempo, se resuelven las ecuaciones (2.7) y (2.8) utilizando el método de Runge-Kutta-Gill y la fuerza de corte en la base del ALS se calcula en base a  $\eta$ . Utilizando el valor de  $F$ , la respuesta del sistema de grados de libertad se calcula utilizando el método Newmark Beta en la ecuación (2.14).

## 2.3 Marco conceptual

### 2.3.1 Sistemas de Protección Sísmica

Un concepto fundamental que se debe manejar, es que existen dos sistemas principales de protección sísmica, se trata de desarrollar diseños inicialmente que cumplan lineamientos tan simples como básicos. En el momento del diseño de una estructura, es menester considerar la ductilidad y resistencia de ella, se debe proveer a la estructura un diseño óptimo para que esta pueda adquirir deformaciones elásticas sin tener que llegar a roturas y así poder absorber energías sísmicas sin tener que poseer sistemas externos. Así como también, se le debe proveer a la estructura un diseño de sus elementos estructurales con la resistencia necesaria para que pueda soportar cargas sísmicas.

Partiendo de esos aspectos básicos que son la ductilidad y resistencia de una edificación, muchas veces no bastan para su buen desempeño, cuando se trata de eventos sísmicos totalmente impredecibles y con grandes magnitudes, es por ello que desde tiempos pasados, ante la presencia cada vez más frecuente de estos eventos sísmicos, se han desarrollado múltiples tecnologías y diseños de sistemas de protección sísmica, que pueden ser de los más simples, así como como sistemas totalmente automatizados, basándose todos en el único fin de minimizar los desplazamientos planos y torsionales, y así evitar colapso de edificaciones, lo que conllevaría a grandes pérdidas económicas.

**Chang (2015)** clasifica los sistemas de control en tres tipos:

1. **Sistemas Convencionales:** Que se basan en el concepto de la ductilidad de las

estructuras, la ventaja de la respuesta dúctil es que sólo algunos elementos especificados se les permite tener una deformación inelástica y el rendimiento, mientras que otros miembros siguen siendo variables. Los miembros dúctiles pueden conseguir rendimiento en tensión o pandeo inelástico entre llaves, o la flexión de articulación en las vigas o en la base de las columnas.

2. **Sistemas de aislamiento sísmico:** Estos sistemas de aislamiento sísmico utilizan aisladores que se instalan entre los puntos de apoyo clave de la estructura y la cimentación. Los aisladores están diseñados para tener una rigidez lateral muy inferior respecto a la de la estructura. Como tal, se disipa más energía sísmica y transfiere menos energía a la estructura. En general, los sistemas de aislamiento sísmico se dividen principalmente en tres tipos: sistemas con rodamiento de caucho laminado, sistemas con rodamiento de plomo-goma y sistemas con cisternas de péndulo de fricción.
3. **Sistemas Suplementarios de amortiguación:** Dispositivos de amortiguación suplementaria se introducen en la estructura para disipar parte de la energía introducida durante la vibración y mitigar el daño a los componentes estructurales y no estructurales. De ese modo, se pueden clasificar en tres categorías como: sistemas activos, sistemas semi-activos y sistemas pasivos. Encontrándose aquí, en sistemas pasivos, los Amortiguadores de Líquido Sintonizado (ALS).

Por otro lado, según la ISO 3010 “International Standard Basis for design of structures - Seismic action on structures”, se plantea un tipo de clasificación de sistemas de control de forma directa: sistemas activos, sistemas pasivos y sistemas semi-activos. Como se muestra en la figura siguiente 6.

1. **Sistemas Activos e Híbridos:** Este tipo de sistemas son los más complejos, ya que incluyen en su sistema sensores de movimiento para controlar señales, dispositivos para procesar datos y actuadores dinámicos. Estos sistemas controlan el movimiento sísmico en tiempo real, donde al detectar algún movimiento sísmico, mediante sensores ubicados en diferentes puntos de la edificación, se activan inmediatamente procesando la información y definen una magnitud determinada de fuerzas para que actúen como contrarrestor de los efectos sísmicos y estabilizar la estructura.



Sistema de Control	Tipo	Tipo	Dispositivo	
Control pasivo	Aislamiento sísmico	Mecanismos deslizantes o de rodillos	Apoyo de rodillos	
			Apoyo de placa deslizante, tipo péndulo, basculante	
			Capa deslizante	
			Otros	
		Elemento flexible	Elastómero de multicapas	
			Dispositivo flexible	
	Disipación de energía	De tipo hysterético	Acero	
			Plomo	
			Otros	
		De tipo friccionante		
		De tipo fluido	Hidráulico	
			Víscoso	
		Otros		
	De tipo viscoelástico			
Efecto de masa adicional	De masa y resorte			
	De tipo pendular			
	Vibración de líquido			
	Otros			
Otro				
Control semiactivo	Control de amortiguamiento	Sistema de amortiguamiento variable	De tipo hidráulico	
			Otro	
	Control de rigidez	Sistemas de rigidez variable	Riostra	
			Otro	
Otro				
Control activo e híbrido	Efecto de masa	Amortiguamiento activo de masa		
		Amortiguamiento híbrido de masa		
	Control de fuerza	Tendón activo		
		Otro		
	Otro			

**Figura 6** Clasificación de los Sistemas de control de Respuesta sísmica.

Fuente: Oviedo; J.A.; Duque M.P.

En comparación con los sistemas pasivos, los sistemas activos presentan numerosas ventajas:

- ☞ Mayor efectividad en el control de la respuesta estructural.
- ☞ Efectividad menos sensible a las condiciones del suelo y a las características del terremoto.
- ☞ Aplicaciones ante sollicitaciones diversas: un sistema activo puede ser usado tanto para control estructural ante vientos fuertes como terremotos.
- ☞ Selección de los objetivos de control; lo cual permite enfatizar, por ejemplo, el confort humano sobre otros aspectos del movimiento estructural en momentos no críticos, e incrementar la seguridad estructural ante una acción dinámica severa.

Pero también presentan serios inconvenientes:

- ☞ Elevado costo en mantenimiento.
- ☞ Dependencias respecto a fuentes de alimentación externas.
- ☞ La respuesta dinámica de edificios con muchos grados de libertad y un posible comportamiento no lineal resulta imprevisible, y su control a partir de un número limitado de sensores y actuadores plantea un problema dinámico complejo.

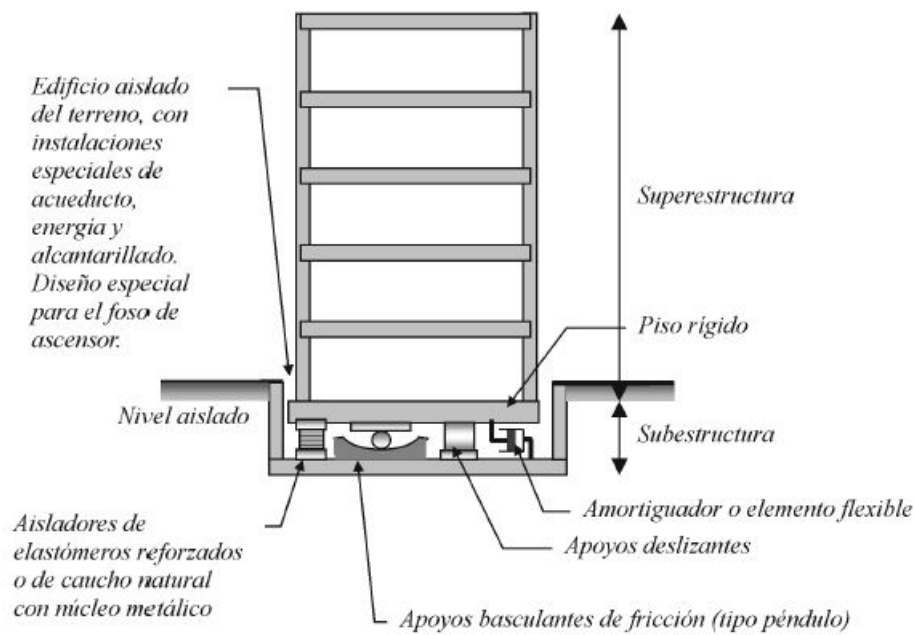
2. **Sistemas Semi-Activos:** Los sistemas semi-activos de protección sísmica, al igual que los activos, cuentan con un mecanismo de monitoreo en tiempo real de la respuesta estructural. Sin embargo, a diferencia de los sistemas activos no aplican fuerzas de control directamente sobre la estructura. Los sistemas semi-activos actúan modificando, en tiempo real, las propiedades mecánicas de los dispositivos de disipación de energía. Ejemplos de estos sistemas son los amortiguadores de masa semi-activos y los dispositivos de fricción controlable.

3. **Sistemas Pasivos:** Los sistemas de control pasivo, se clasifican comúnmente en sistemas de aislamiento de base y sistemas de disipación de energía.

- (a) **Aisladores Sísmicos:** El diseño de estructuras con aislación sísmica se fundamenta en el principio de separar la superestructura (componentes del edificio ubicados por sobre la interfaz de aislación) de los movimientos del suelo o de la subestructura, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, generalmente ubicados entre la estructura y su fundación o a nivel de la subestructura (figura 7). Sin embargo, existen casos donde se han colocado aisladores en pisos superiores.

La incorporación de aisladores sísmicos permite reducir la rigidez del sistema estructural logrando que el período de vibración de la estructura aislada sea aproximadamente, tres veces mayor al período de la estructura sin sistema de aislación.

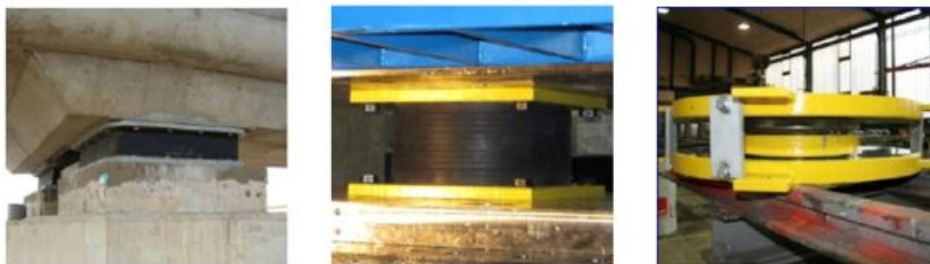
El aislamiento sísmico es utilizado para la protección sísmica de diversos tipos de estructuras, tanto nuevas como estructuras existentes que requieren de refuerzo o rehabilitación. A diferencia de las técnicas convencionales de reforzamiento de estructuras, el aislamiento sísmico busca reducir los esfuerzos a niveles que puedan ser resistidos por la estructura existente. Debido a esto último, la aislación sísmica de base es especialmente útil para la protección y refuerzo de edificios históricos y patrimoniales.



**Figura 7** Técnicas de aislamiento sísmico en la base.

Fuente: Oviedo; J.A.; Duque M.P.

Los aisladores sísmicos consiguen desacoplar la estructura del terreno, colocándose estratégicamente en partes específicas de la estructura, los cuales, en un evento sísmico, proveen a la estructura la suficiente flexibilidad para diferenciar la mayor cantidad posible el periodo natural de la estructura con el periodo natural del sismo, evitando que se produzca resonancia, lo cual podría provocar daños severos o el colapso de la estructura. Algunos tipos de aisladores se presentan en la figura 8.



**Figura 8** Ejemplos. Izquierda: Aislador con núcleo de plomo. Medio: Aislador sin núcleo de Plomo. Derecha: Aislador con deslizador de superficie curva.

Fuente: Internet.

#### Beneficios:

Los dispositivos de aislación sísmica actúan como filtro del movimiento sísmico,

evitando que gran parte de la energía sísmica se traspase a la estructura aislada, reduciendo los esfuerzos y, por lo tanto, el daño producido a elementos estructurales, no estructurales y contenidos de los edificios.

Limitaciones de uso:

Algunos tipos de aisladores, como el caso de los aisladores deslizantes, requieren ser revisados luego de sismos excepcionalmente severos. Debido al desplazamiento relativo entre la estructura aislada y el suelo u otras estructuras no aisladas, todas las especialidades involucradas en un proyecto, y que se puedan ver afectadas por el desplazamiento de la estructura aislada, deben realizar diseños especiales de sus sistemas a fin de acomodar los desplazamientos esperados para el sistema de aislación.

Características:

-Desempeño bajo todas las cargas de servicio, verticales y horizontales. Deberá ser tan efectiva como la estructura convencional.

-Provee la flexibilidad horizontal suficiente para alcanzar el periodo natural de la estructura aislada.

-Capacidad de la estructura de retornar a su estado original sin desplazamientos residuales. Provee un adecuado nivel de disipación de energía, de modo de controlar los desplazamientos que de otra forma pudieran dañar otros elementos estructurales.

- (b) ***Disipadores de energía:*** Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura, ubicados en puntos estratégicos de las estructuras, permiten reducir la respuesta estructural. Al igual que los sistemas de aislación sísmica de base, los dispositivos de disipación de energía, han sido ampliamente utilizados a nivel mundial en el diseño de estructuras nuevas y en el refuerzo de estructuras existentes. Algunos ejemplos se muestran en la figura 9.

Beneficios:

Los dispositivos de disipación de energía aumentan el nivel de amortiguamiento de las estructuras, reduciendo los esfuerzos y deformaciones en ellas y sus contenidos. Los esfuerzos, aceleraciones y deformaciones inducidos por un sismo en una estructura con sistemas de disipación de energía, pueden ser entre un 15% a 40% menores que los correspondientes a una estructura sin disipadores,



**Figura 9** Ejemplos. Izquierda: Disipador RESTONSA. Medio: Disipador RESTON STU. Derecha: Disipador RESTON PSD.

Fuente: Internet.

logrando reducir el daño producido a elementos estructurales y no estructurales.

#### Limitaciones de uso:

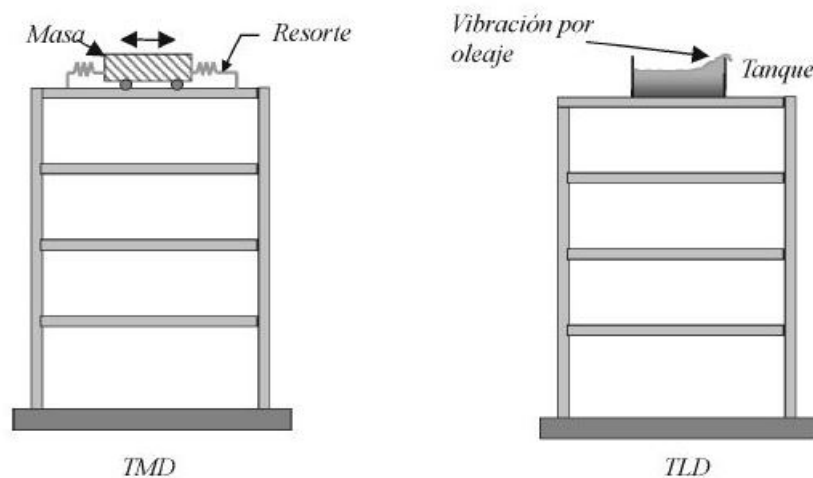
Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente luego de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, que, si bien reducen las demandas en la estructura, pueden incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras.

Otro tipo de clasificación similar, lo hace **Chang (2015)** quien define a los sistemas pasivos, que a diferencia de los sistemas activos y semi-activos, los sistemas pasivos no necesitan alimentación externa, sensores o actuadores. Las propiedades de los sistemas pasivos son fijos y no se modifican durante la vibración de la estructura. Los sistemas pasivos se consideran como una solución eficaz, robusta y económica, y que ya se ha implementado en una variedad de estructuras civiles. **Yongjian** menciona que los sistemas pasivos se pueden dividir en tres categorías:

1. **Activados por el desplazamiento:** Los amortiguadores metálicos, amortiguadores de fricción, amortiguadores de auto-centrado y amortiguadores viscoelásticos pertenecen al grupo de dispositivos de desplazamiento activado. Absorben energía sísmica a través del desplazamiento relativo entre sus puntos de contacto que están conectados a la estructura. Por ejemplo, los amortiguadores metálicos absorben la energía sísmica por su comportamiento de histéresis cuando se deforman en el rango post-elástico, los amortiguadores de fricción disipan la energía por la fricción causada por el movimiento

de deslizamiento de dos superficies de sólidos en contacto.

2. **Activados por la velocidad:** Los amortiguadores viscosos y viscoelásticos pertenecen al grupo de dispositivos de velocidad activado. Ellos disipan la energía a través de la velocidad relativa entre sus puntos de conexión. El comportamiento de los amortiguadores es dependiente de la velocidad y frecuencia del movimiento, y están fuera de fase con las fuerzas internas máximas generadas por la deformación pico de la estructura, fuerzas de diseño más bajas podrían ser necesarias para los elementos estructurales cuando se emplean este tipo de amortiguadores.
3. **Activados por el movimiento:** El Amortiguador de Masa Sintonizada (AMS) y Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) pertenecen al grupo de los dispositivos activados por movimiento. Estos amortiguadores tienen su propio período que requiere afinación para el período estructural fundamental. Por lo general se colocan en la parte superior de la estructura. Ver figura 10.



**Figura 10** Esquema de AMS y ALS.  
Fuente: Oviedo; J.A.; Duque M.P.

### 2.3.2 Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS)

El reciente interés creciente en amortiguadores de líquidos para su aplicación a estructuras de tierra se atribuye a varias ventajas potenciales, incluyendo un bajo costo, fácil instalación especialmente en estructuras existentes que a menudo tienen restricciones de espacio severas, adaptabilidad al uso temporal, nivel de disparo casi cero, sin restricción a la excitación

unidireccional y pocos requerimientos de mantenimiento. Este nuevo tipo de amortiguador mecánico pasivo, llamado TLD, el cual se basa en el movimiento del líquido poco profundo dentro de un tanque rígido, para cambiar las características dinámicas de una estructura y disipar la energía de las vibraciones. El uso de estos sistemas es atribuible a las crecientes ventajas potenciales, como son el bajo costo, fácil instalación, especialmente en estructuras existentes que a menudo tienen limitaciones de espacio, no poseen restricciones a la excitación unidireccional, y tiene pocos requerimientos de mantenimiento. (Sun, 1991) menciona que el movimiento del líquido en un tanque cerrado ha sido estudiado por muchas investigaciones para aplicar a los problemas de puertos en el campo de la ingeniería costera. Los problemas de movimiento del líquido también fueron investigados en el campo espacial, el movimiento del líquido de los tanques de combustible en vehículos espaciales y de lanzamiento han sido ampliamente estudiados. También se han realizado investigaciones sobre los problemas de los tanques de almacenamiento en caso de terremoto. Comparando cada uno de los problemas del movimiento del líquido mencionados, se tienen los siguientes aspectos especiales: El líquido en el TLD, es poco profunda para alcanzar un alto amortiguamiento y una baja frecuencia natural, para sintonizarla con una estructura. Y esto conduce a que el desplazamiento del líquido tenga no linealidades muy fuertes, lo que hace que, una teoría lineal no sea satisfactoria para tratar este problema. El amortiguamiento del desplazamiento del líquido es un parámetro significativo que afecta la efectividad del TLD y debe ser cuidadosamente tratado. Las ondas de rotura pueden presentarse en el movimiento del líquido en el TLD bajo desplazamientos de gran amplitud, se tienen que desarrollar un modelo que pueda explicar estas ondas de rotura. En general, Chang, 2015 concluye que los sistemas de TLD, consisten en tanques rectangulares parcialmente llenos de agua que están instalados en el techo de las estructuras. El movimiento del líquido del TLD absorbe y disipa la energía debido a la fricción de la capa límite o bordes y rompimiento de las olas. Basándose en la relación de la profundidad del agua a la longitud del tanque ( $h/L$ ), el TLD se puede dividir en dos categorías, amortiguadores de aguas poco profundas ( $h/L < 0,15$ ) y amortiguadores de aguas profundas ( $h/L > 0,15$ ).

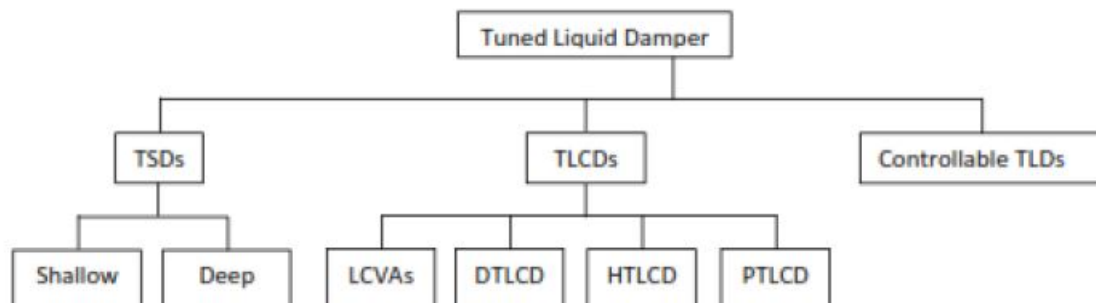
Para, Chang, 2015 un parámetro importante del dominio de nivel superior es la frecuencia del desplazamiento del agua. Al sintonizar la frecuencia de desplazamiento del agua a la frecuencia natural de la estructura, una cantidad significativa de desplazamiento del agua y roturas de olas puede ser activado. De este modo una cantidad considerable de la energía de vibración se puede disipar a la frecuencia resonante. Malekghasemi, 2011 sugirió que

el TLD puede seguir siendo eficaz siempre que la relación entre la frecuencia natural de la estructura y la frecuencia natural del movimiento del agua del TLD está en el intervalo de 1 a 1,2. Además, la relación de masa es también un parámetro importante de TLD. Banerji et al., 2000 indicaron que el control de la vibración estructura es más eficaz si la relación de masa está en el intervalo de 1% a 4%, así como también han demostrado a través de estudios numéricos que, si los parámetros de diseño de un TLD se establecen apropiadamente, que TLD puede ser muy eficaz en el control de la respuesta al terremoto de estructuras. El modelo numérico para el TLD utilizado en la investigación de Banerji et al., 2000 se basa en una teoría de aguas poco profundas sugerido por Sun, 1991.

Sun, 1991 afirma que el modelado del TLD ha sido estudiado por diferentes investigaciones. modelos de TLD Lineal y no lineal se propusieron. Sin embargo, a causa de las fuertes no linealidades del desplazamiento del líquido poco profundo en el TLD, estos modelos no pudieron dar resultados satisfactorios. Las simulaciones numéricas por BEM pueden describir con exactitud el deslizamiento líquido no lineal, sin embargo, el tiempo computacional es imperativo.

### 2.3.3 Tipos de ALS's

Se propusieron varios tipos de ALS's durante las últimas dos décadas, de los cuales el Amortiguador de Columna de Líquido Sintonizado (figura 12) es el que suprime el movimiento inducido por el viento mediante la disipación de la energía, a través del movimiento de la masa de líquido en un tubo como contenedores equipados con orificios, es una de las más conocidas. Se muestra en la figura 11 un esquema de las familias de los ALS's, detallando los nombres de cada uno de ellos.



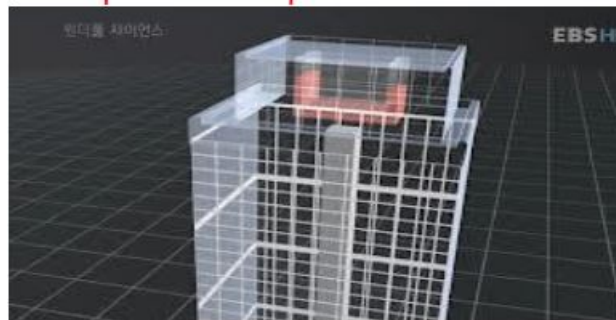
**Figura 11** Esquema de Clasificación de las familias de los ALS.

Fuente: Nanda, 2010.

Donde:



- ☞ TSD: Tuned Sloshing Damper (Amortiguador De Desplazamiento Del Líquido Sintonizado).
- ☞ TLCD: Tuned Liquid Columns Damper (Amortiguador De Columna De Liquido Sintonizado).
- ☞ LCVA: Liquid Columns Vibration Absorbers (Amortiguador De Vibraciones De Columnas De Liquido).
- ☞ DTLCD: Double Tuned Liquid Columns Damper (Doble Amortiguador De Columna De Liquido Sintonizado).
- ☞ HTLCD: Hybrid Tuned Liquid Column Damper (Amortiguador Híbrido De Columna De Liquido Sintonizado).
- ☞ PTLCD: Pressurized Tuned Liquid Columns Damper (Amortiguador Presurizado De Columna De Liquido Sintonizado).
- ☞ ER: Electro Rheological (Electro Reológico).
- ☞ MR: Magneto Rheological (Magneto Reológico).



**Figura 12** Amortiguador De Columna De Liquido Sintonizado (TLCD).  
Fuente: Internet.

Se presenta a continuación un comparativo de los tres tipos de ALS's, indicando la fuente de fuerza, posición y ventajas.

Tipo	Fuente de fuerza	Posición	Ventaja
T.S.D.	Fuerza de deslizamiento de agua.	En la parte superior del edificio.	Adecuado para las excitaciones de pequeña escala.
T.L.C.D.	Variación de la masa mientras el movimiento del líquido.	En la parte superior o cerca de la parte superior.	Más ventajoso y se puede instalar en cualquier lugar.
C.T.L.D.	Estructura y masa líquida	N / A	Eficiencia, pero costoso.

**Tabla 1** Comparación de tipos de TLD's.  
Fuente: Elborolossy, 2015.

### 2.3.4 Aplicaciones del ALS

Como bien se mencionó, estos amortiguadores se usaron en las torres de los aeropuertos de Haneda y Arita en Japón, para suprimir vibraciones inducidas por el viento. Los resultados de estas aplicaciones, muestran la reducción del 55% de la respuesta de la aceleración.

Wakahara et al., 1992 presentó una aplicación real del TLD a una estructura de gran altura, el Shin Yokohama Prince (SYP) hotel en Yokohama, Japón. Ellos desarrollaron un nuevo método de simulación para dar cuenta de la no linealidad de dominio de nivel superior, que puede predecir con eficacia los efectos de TLD en un edificio de gran altura. Además, se llevaron a cabo la prueba experimental para verificar el óptimo diseño del TLD.

Otro caso de aplicación de TLD está en el Aeropuerto Internacional de Tokio Torre (Tiat). Tamura, 1995 precisó que hay 1400 tanques llenos de agua y partículas de polietileno flotantes con el fin de mejorar la disipación de energía. El contenedor tiene el diámetro de 0,6 m y la elevación de 0,125. La relación de masa de la masa total de los dominios de primer nivel y la primera masa modal de la torre es de alrededor de 3,5%. Y la frecuencia de chapoteo del dominio de nivel superior es ligeramente inferior a la frecuencia natural de la torre. Los resultados mostraron que el dominio de nivel superior puede reducir el 60% de la respuesta de la aceleración RMS de la torre sin TLD.

Novo et al., 2013 empleado método de elementos finitos para investigar el comportamiento de un TLD aislados sometidos a una fuerza sinusoidal con diferentes amplitudes. También utilizaron análisis dinámico lineal para evaluar la eficacia del LTD para los modernos edificios de arquitectura en los países del sur de Europa. Ellos mostraron que TLD es eficiente y puede

aumentar significativamente la disipación de energía y la amortiguación equivalente de la estructura.

Hossein, 2015 ha citado a varios investigadores, quienes estudiaron la eficacia de los amortiguadores sintonizados de columna de líquido (TLCD) en la represión de los movimientos sísmicos obtenidos a partir de los registros en años anteriores. Ellos encontraron que la eficacia del diseño del TLCD era dependiente de las características del suelo. Cuando el periodo predominante del suelo está cerca del período fundamental de la estructura, el rendimiento TLCD fue significativamente mejor que cuando este no era el caso. Sin embargo, encontraron que mientras que el TLCD diseñado tuvo éxito en la supresión de desplazamientos de la estructura hasta 50%, en algunos casos, se encontró que dicha supresión era despreciable. Por lo tanto, los parámetros de excitación sísmica deben ser considerados en el diseño de TLCD para una estructura.

## **Capítulo III**

### **Método de la Investigación**

---

Para poder llevar a cabo una adecuada investigación, debemos tener claro conocimiento sobre el enfoque, alcance y diseño de la misma.

#### **3.1 Enfoque**

Esta investigación consiste en medir las características físicas y de diseño del Amortiguador de Liquido Sintonizado, así como también medir los resultados encontrados de las derivas de piso, por ello esta investigación posee un enfoque cuantitativo.

#### **3.2 Alcances**

En esta investigación se abarcará sobre el modelamiento del Amortiguador de Liquido Sintonizado incorporado a la edificación D1, donde a través del diseño de su geometría y de su ubicación, se determinarán valores como la masa, periodo, factor de amortiguamiento, razón de amortiguamiento y frecuencia del ALS, con los que junto a valores propios de la edificación D1, se analizará estructuralmente para obtener resultados de la deriva de piso, las cuales se presentaran en dos circunstancias diferentes, con y sin ALS.

#### **3.3 Diseño de investigación**

El nivel de esta investigación es Aplicativa, debido a que se pretende intervenir y/o investigar variables independientes del ALS como su geometría, ubicación y parámetros diseño que, mediante el proceso de acoplamiento, simulación y análisis, darán a conocer la variable dependiente, que es la deriva de piso, la cual su magnitud demostrará el objetivo general de esta investigación, que es la mejora del desempeño estructural de una edificación con ALS.

El diseño para este nivel de investigación se ha considerado como Cuasi-Experimental, debido

a que los resultados esperados se obtienen a partir de una simulación del modelo utilizado con herramientas computacionales.

## **3.4 Población y muestra**

### **3.4.1 Población**

La población corresponde a los 25 módulos que componen al Hospital Regional de Ayacucho Miguel Ángel Mariscal Llerena.

### **3.4.2 Muestra del estudio**

Se considera una muestra no probabilística a juicio personal, el módulo D1 de Emergencias del Hospital referido, se ha elegido como caso de estudio, debido a su importancia de funcionalidad ante sismos severos.

## **3.5 Hipótesis**

### **3.5.1 Hipótesis general**

- a) Si simulamos la incorporación del Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) en la Edificación D1 del Hospital Regional de Ayacucho Miguel Ángel Mariscal Llerena, se minimiza la deriva de piso, 2020.

### **3.5.2 Hipótesis específicas**

- a) Si determinamos las características físicas del ALS, entonces se minimiza la deriva de piso de la Edificación D1.
- b) Si determinamos los parámetros de diseño del ALS sintonizados a los de la estructura, entonces se minimiza la deriva de piso de la Edificación D1.

## **3.6 Operacionalización de variables**

Según el nivel de esta investigación, Aplicativo, nuestras variables deben ser independientes y dependientes. Las variables independientes son las que van a ser evaluadas para poder determinar su influencia en las variables dependientes.

El sistema de control ALS es la variable independiente X, ya que según los valores que tomen sus indicadores, mediante el proceso de acoplamiento, simulación y análisis, será la que condicionará los resultados de los indicadores de la Variable Dependiente Y, que viene a ser la Deriva de Piso, que finalmente debe ser medido.

### 3.6.1 Variables independientes (X)

La variable independiente para esta investigación es el Amortiguador de Liquido Sintonizado (ALS). Se tienen a su vez, sub variables independientes:

X1: Las características físicas del tanque rígido (ALS).

X2: Los parámetros de diseño del ALS sintonizados a los de la edificación.

### 3.6.2 Variables dependientes (Y)

La variable dependiente para esta investigación es la deriva de piso. Se tienen a su vez, sub variables dependientes:

Y1: El desplazamiento de piso en el eje X.

Y2: El desplazamiento de piso en el eje Y.

Se muestra a continuación una tabla resumen de la operacionalización de las variables para esta investigación, siendo la Tabla 2 para las variables independientes y la Tabla 3 para las variables dependientes.

<b>Variable Dependiente: la Deriva de piso.</b>		
<b>Sub Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Actividad</b>
Desplazamiento de piso en el eje X.	-	A partir de las variables independientes se determinará el desplazamiento en el eje x.
Desplazamiento de piso en el eje Y.	-	A partir de las variables independientes se determinará el desplazamiento en el eje y.

**Tabla 3** Variable dependiente y sus subvariables.

Fuente: Elaboración propia.

<b>Variable Independiente: el ALS.</b>		
<b>Sub Variables</b>	<b>Indicador</b>	<b>Actividad</b>
Características físicas del ALS.	Geometría del TR.	Diseñar la altura, largo y ancho del TR.
	Ubicación del TR.	Determinar la ubicación del TR.
	Altura del líquido contenido.	Determinar la altura del líquido en descanso.
	Masa del ALS.	Calcular la masa del ALS (líquido más el tanque rígido).
Parámetros de diseño del ALS, sintonizados a la estructura.	Frecuencia del ALS.	Determinar la frecuencia del movimiento del líquido.
	Periodo del ALS.	Determinar el periodo del movimiento del líquido.
	Factor de amortiguamiento.	Determinar el factor de amortiguamiento del movimiento del líquido.
	Razón de amortiguamiento.	Determinar la razón de amortiguamiento del movimiento del líquido.

**Tabla 2** *Variable independiente y sus subvariables.*  
Fuente: Elaboración propia.

## 3.7 Técnicas e instrumentos

Antes de ello, se sostiene que la fuente de información para la presente investigación de tesis, es de tipo primaria, debido a que se ha obtenido al información de la edificación de manera directa del equipo técnico que ha trabajado durante la construcción del mencionado hospital, el cual va a ser la muestra donde se aplicará el ALS para su análisis, y también de tipo secundaria, debido a que se ha obtenido más información a partir de libros, tesis, artículos, investigaciones, publicaciones, etc.

### 3.7.1 Técnicas

La recolección de datos para esta investigación se ha obtenido mediante la técnica de Análisis documental a través de fuentes secundarias como el expediente técnico y planos As-Build de la edificación caso de estudio, normativas, libros, tesis, boletines, revistas, folletos, artículos,

entre otros.

### **3.7.2 Instrumentos**

Según la técnica de recolección de datos de Análisis Documental, se utiliza la herramienta de Guía de Análisis Documental, que comprende fichas de registros, programas de análisis, etc.

## **3.8 Técnicas estadísticas para el procesamiento de la información**

El desarrollo de esta investigación se enfoca en la evaluación de las variables independientes y su influencia para determinar las variables dependientes, este tipo de procesamiento de datos es de tipo Deductivo.

## **3.9 Desarrollo del trabajo de tesis**

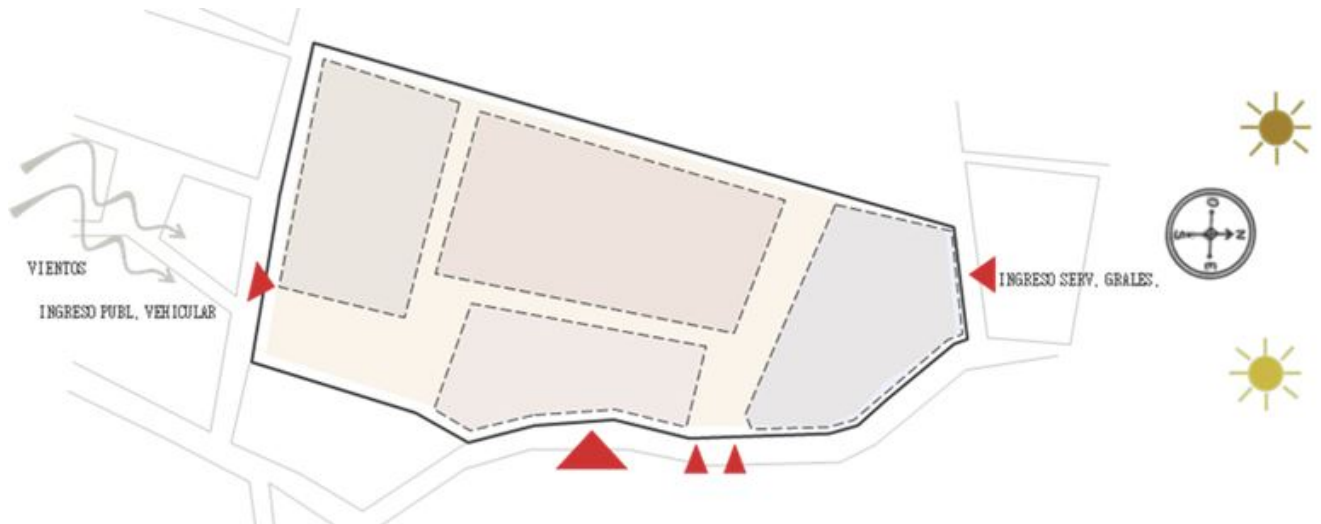
Se describe en este punto a la edificación materia de aplicación de esta investigación, el Bloque D1 de Emergencias del Hospital Miguel Ángel Mariscal Llerena, así como todas las consideraciones que se hayan tenido durante su ejecución (sin ALS) y las consideraciones que se deberán tener para realizar la simulación de la estructura con ALS.

### **3.9.1 Análisis del Bloque D1 sin ALS**

#### **3.9.1.1 Descripción del Proyecto**

El Proyecto en general contempló en general la construcción de distintas edificaciones (bloques) que forman parte del Hospital Regional Miguel Ángel Mariscal Llerena, este Hospital se encuentra ubicado en la zona de Canaán Bajo en el nuevo Distrito de Andrés Avelino Cáceres Dorregaray, Provincia Huamanga y Departamento Ayacucho, abarca un área total de 53,000.00m<sup>2</sup> con un área construida de hasta 39,099.53m<sup>2</sup>, está constituido por múltiples Unidades Funcionales distribuidas en 25 bloques o módulos debidamente ordenados en toda el área de proyecto.





**Figura 13** Área y ubicación del terreno del proyecto.  
Fuente: Expediente Técnico del Proyecto.

Las juntas consideradas para aquellos bloques que se encuentran continuos es de hasta 7.5cm dependiendo de sus alturas, que varía desde 01 hasta 05 pisos. Cada bloque posee una forma rectangular con alturas de entrepiso de hasta 4.40m. El sistema estructural considerado es el de muros estructurales de concreto armado de 30cm de espesor en ambos sentidos, además se han incluido en su diseño pórticos de concreto armado.

Una de las edificaciones que incluye este Hospital, y a su vez uno de los más importantes por el nivel de servicio que ofrece, es el bloque D1 de Emergencias, que se muestra en las figuras 14, 15 y 16, este Bloque D1 se considera como el más crítico y adecuado para este estudio, pues su funcionalidad debe ser permanente ante un movimiento sísmico. Estas deben ofrecer además de la continuidad de sus servicios, seguridad y confianza en sus diseños estructurales.

### 3.9.1.2 Descripción del Bloque D1

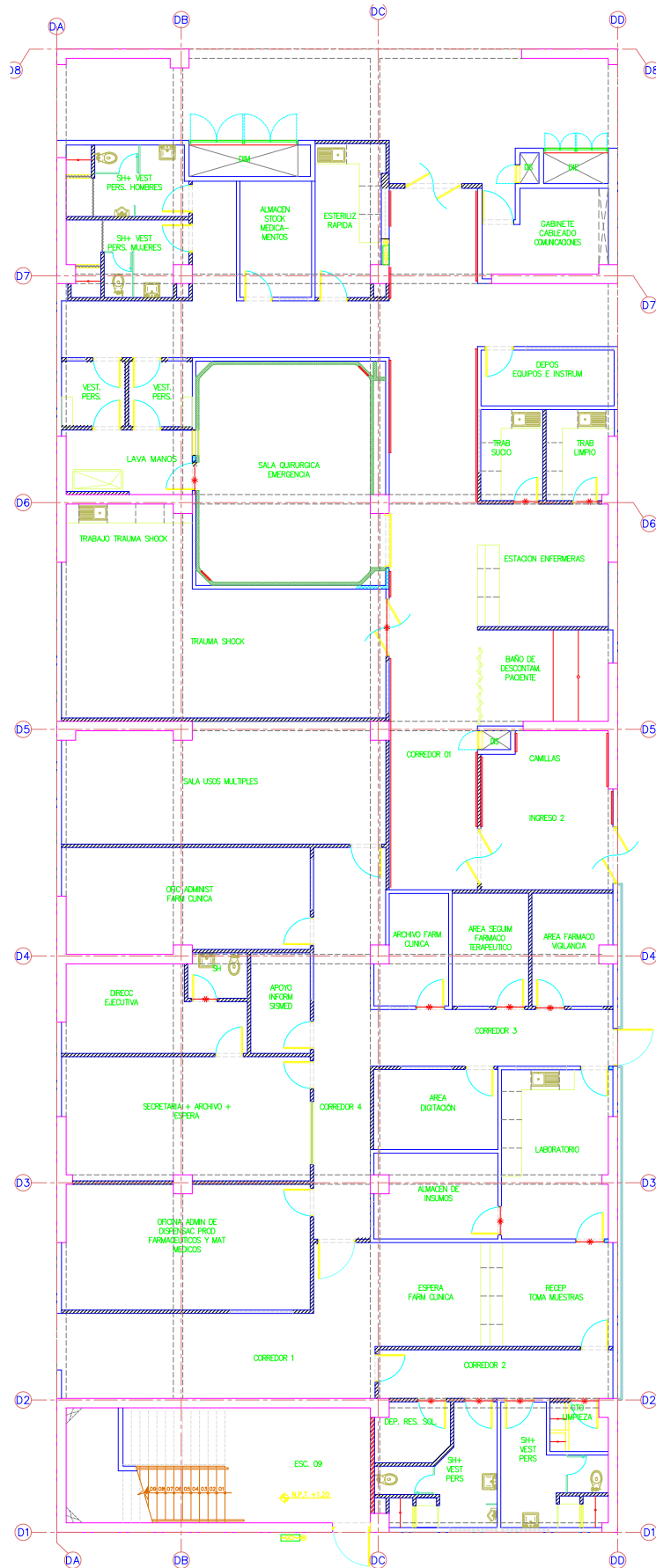
El bloque D1 de Emergencias, es una edificación de 05 pisos y 01 sótano, posee una configuración en planta distinta para cada nivel, ocupando un área de 828.38 m<sup>2</sup> en sus 05 niveles y 375.53 m<sup>2</sup> en su sótano. Tiene una altura de entrepiso de 4.25m (4.40m para efectos de análisis) y el sistema estructural está basado en elementos como columnas de 60x60cm, vigas desde 30cm hasta 90cm de peralte y muros estructurales con espesores de 30cm.



**Figura 14** Distribución de bloques o módulos del proyecto.  
Fuente: Expediente Técnico del Proyecto.



**Figura 15** Vista en elevación del Bloque D1.  
Fuente: Expediente Técnico del Proyecto.



**Figura 16** Vista en planta del Bloque D1 (1er piso).  
Fuente: Expediente Técnico del Proyecto.

### 3.9.1.3 Bloque D1 según Expediente Técnico

Se indicará en este apartado, todas las consideraciones que se hayan tenido al momento de diseñar el Bloque D1, como se mencionó, este diseño se elaboró bajo la normativa E-030 del año 2013.

#### A) Consideraciones de diseño

##### 1) *Materiales:*

Se consideraron los siguientes materiales:

☞ Acero de Refuerzo: Se usaron barras de acero corrugado y/o barras de acero liso de grado 60. Las propiedades de estas barras son:

-Límite de Fluencia:  $y = 4,200.00\text{kg/cm}^2$ .

-Módulo de Elasticidad:  $E_S = 2'000,000.00\text{kg/cm}^2$ .

☞ Concreto armado: Sus propiedades varían de acuerdo al tipo de concreto y acero:

-Resistencia especificada a la compresión:  $f'c = 245\text{kg/cm}^2$ .

-Módulo de Poisson:  $\nu = 0.15$ .

-Módulo de Elasticidad:  $E_c = 15,000.00\sqrt{f'c} = 235,000.00\text{kg/cm}^2$ .

##### 2) *Albañilería:*

Las unidades de albañilería usadas son las de Tipo IV. El tipo de albañilería empleada son los Muros no portantes, diseñados y construidos en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio. Este tipo de albañilería se usa en parapetos y tabiques.

##### 3) *Estudio de suelos:*

Según la clasificación de Biewnaski, la roca presenta una calidad media (Clase II), de ligera dureza. Por tanto, la capacidad portante admisible se consideró no mayor a  $Q_{ad} = 8.00\text{kg/cm}^2$ .

##### 4) *Cargas de diseño:*

Según la Norma E-020 se emplearon las siguientes combinaciones de carga:

$$1.4M + 1.7V$$

$$1.25(M + V) + S$$

$$1.25(M + V) - S$$

$$0.9M + S$$

$$0.9M - S$$

Donde M es la carga muerta, V es la carga viva y S es la carga sísmica. Del mismo modo, se emplearon factores de reducción en los siguientes casos:

Solicitud	Factor $\phi$ de reducción
Flexión	0.90
Tracción y Tracción + Flexión	0.90
Cortante	0.85
Torsión	0.85
Cortante y Torsión	0.85
<u>Compresión y Flexo compresión:</u>	
Elementos con espirales	0.75
Elementos con estribos	0.70

**Tabla 4** Cuadro de factores de reducción de resistencia.  
Fuente: RNE: E-030 2013.

5) *Normativa empleada:*

Las cargas de gravedad y de sismo empleadas, cumplieron con lo señalado en la entonces Normativa E-030 de Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E.) vigente al año 2013 (año en que fue elaborado dicho estudio), mismo que fue aprobado mediante Decreto Supremo del año 2006.

-E-020 de Cargas.

-E-030 de Diseño Sismorresistente (año 2006).

-E-060 de Concreto Armado.

-E-050 de Suelos y Cimentaciones.

-E-070 Albañilería.

-Código ACI-318.

**B) Consideraciones sísmicas:**

Las consideraciones adoptadas con el que se desarrolló el análisis dinámico de la edificación del Bloque D1, son las siguientes:

1) *Zonificación (Z):*

De acuerdo a la respectiva Normativa con que fue diseñada, el proyecto se ubicó en la Zona 2, lo que le corresponde un factor de zona  $Z = 0.3$ .

2) *Parámetro del Suelo (S):*

El perfil de suelo es de tipo rígido, por tal el factor de amplificación del suelo considerado fue  $S=1.00$  y el parámetro asociado con este tipo de suelo es  $T_p=0.4s$ , adicionalmente en algunos sectores se tiene un perfil de suelo flexible con  $T_p=0.90s$  y  $S=1.40$ .

3) *Factor de Amplificación Sísmica (C):*

Se define al factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente expresión:

$$C = 2.5 \frac{T_p}{T} \Leftrightarrow C \leq 2.5$$

4) *Categoría de la edificación (U):*

La edificación es de Categoría A, tipo Esencial, por tal  $U = 1.5$ .

5) *Sistema estructural (R):*

Dada la configuración regular y el sistema estructural predominante para cada dirección, se usó el factor de reducción de fuerza sísmica  $R=6$  (Muros de concreto armado).

6) *Regularidad de la edificación:*

Según los criterios indicados en la normativa E-030 usada, se denomina a esta estructura como regular.

No se hace mención en esta tesis sobre el diseño y análisis de las cimentaciones, pues dicha información se mantiene al margen de los resultados a encontrar en este estudio.

**C) Análisis Sísmico realizado:**

Teniendo en cuenta las consideraciones señaladas anteriormente, según el Expediente Técnico, inicialmente se realizó un análisis estático, mediante el cual se determinó la fuerza cortante basal y las fuerzas sísmicas en cada nivel de entrepiso. A partir de ello, se realizó un análisis dinámico, donde finalmente se determinaron los máximos desplazamientos relativos y demás controles para realizar el diseño de la estructura.

Los resultados que nos interesan de este ítem, son las derivas de piso, cuyos resultados se extraen de la memoria de cálculo del estudio realizado para este proyecto, se mostrarán en el siguiente capítulo, a fin de comparar con otros resultados.

#### 3.9.1.4 Bloque D1 según Normativa vigente

Según la Norma Técnica E-030 de Diseño Sismorresistente (última actualización según Resolución Ministerial N° 043-2019-VIVIENDA), hay algunos parámetros y características que deben reconsiderarse y con ello volver a realizar un análisis sísmico del Bloque D1, se detalla a continuación:

##### A) Consideraciones sísmicas:

Se reconsideran los siguientes elementos:

###### 1) Zonificación ( $Z$ ):

Según la Norma Técnica E-030 del RNE vigente, el territorio peruano está dividido en cuatro zonas sísmicas, a diferencia de la normativa anterior (con la que fue diseñada el Bloque D1) que solo consideraban 03 zonas. Cada zona está representada por un factor  $Z$  que es la aceleración máxima horizontal del suelo en donde se ubica la edificación. El Bloque D1 se encuentra ubicado en la Zona denominada 3, a la que le corresponde un factor  $Z = 0.35$ .

###### 2) Categoría de la edificación y factor de Uso ( $U$ ):

El Bloque D1 es una edificación de tipo Esencial, debido a que corresponde a un establecimiento de salud de tercer nivel (según normativa del Ministerio de Salud), por tal es de Categoría A1. Para esta categoría que se encuentra en la Zona 3, el factor de uso  $U$  está condicionado con el uso obligatorio de un sistema de Aislamiento Sísmico (o de Disipación de energía, siempre que esté acorde a la Norma Técnica E-030o o acorde a documentos del ASCE/SEI). El factor de uso

para el análisis de esta bloque D1 se considerará  $U = 1.50$ .

3) *Sistema Estructural:*

Si la edificación es de categoría A1 y se encuentra en Zona 3, se puede emplear cualquier tipo de sistema estructural pero necesariamente sumado a un sistema de aislamiento sísmico (o disipación de energía). Sin embargo, se continuará con el mismo sistema estructural considerado en el expediente técnico, que son estructuras con muros estructurales de concreto armado.

4) *Perfil del Suelo:*

El perfil de suelo se mantiene con el que indica el Expediente Técnico, es de tipo rígido, por tal es de tipo  $S_1$ .

5) *Factor de amplificación del Suelo (S):*

Si el perfil de suelo es de tipo  $S_1$ , y la edificación está en la Zona 3, le corresponde un factor  $S = 1.00$ .

6) *Periodos  $T_P$  y  $T_L$ :*

Para un perfil de suelo tipo  $S_1$ , se tienen los siguientes periodos:

$$T_P = 0.4s, T_L = 2.5s$$

7) *Factor de Amplificación Sísmica (C):*

Primero calculamos el valor del periodo fundamental de vibración  $T$ :

$$T = \frac{h_n}{C_T}$$

Donde  $h_n$  es la altura total de la edificación, siendo su altura de entrepiso  $h = 4.40m$  y cantidad de pisos 5. Y  $C_T$  es un parámetro que se define según el sistema estructural, para un sistema estructural con muros estructurales de concreto armado  $C_T = 60$ . Entonces:

$$T = \frac{5 \cdot 4.12}{60}$$

$$T = 0.367s$$



Según las condiciones de la normativa, para  $T < T_p$ ,  $C = 2.5$ . Y siendo  $T = 0.367 < T_p = 0.4$ , entonces el Factor de Amplificación Sísmica es:

$$C = 2.5$$

8) *Coefficiente Básico de Reducción ( $R_0$ ):*

Para un sistema con muros estructurales de concreto armado, el coeficiente es  $R_0 = 6$ .

9) *Regularidad estructural ( $I_a$  y  $I_p$ ):*

Según la memoria de cálculo del Expediente Técnico, indican que la edificación no posee irregularidades por lo que le correspondió un valor de  $I_a = I_p = 1$ , sin embargo, la Norma Técnica E-030 vigente contempla algunos cambios respecto de las verificaciones de irregularidad estructural, por tanto, se realizará una nueva verificación más adelante con datos obtenidos a partir del análisis estático.

10) *Coefficiente de Reducción ( $R$ ):*

Se determina con la siguiente fórmula:

$$R_x = R_{0x} * I_{ax} * I_{px}$$

$$R_x = 6 * 1.00 * 0.60$$

$$R_x = 3.60$$

$$R_y = R_{0y} * I_{ay} * I_{py}$$

$$R_y = 6 * 1.00 * 1.00$$

$$R_y = 6.00$$

**B) Combinaciones de carga:**

Para esto se emplea la normativa RNE E-060 vigente, misma que se empleó para el diseño actual de la edificación. Sin embargo, se indica más a detalle las combinaciones de carga:

-COMBINACIÓN 1:  $1.4D + 1.7L$

-COMBINACIÓN 2:  $1.25(D + L) + S_x$

-COMBINACIÓN 3:  $1.25(D + L) - S_x$

-COMBINACIÓN 4:  $1.25(D + L) + S_y$

-COMBINACIÓN 5:  $1.25(D + L) - S_y$

-COMBINACIÓN 6:  $0.9D + S_y$

-COMBINACIÓN 7:  $0.9D - S_y$

-COMBINACIÓN 8:  $0.9D + S_x$

-COMBINACIÓN 9:  $0.9D - S_x$

Donde en todos los casos, las cargas que corresponden a la azotea, deben incluirse como carga viva.

### C) Análisis Sísmico del Bloque D1

Se pretende realizar el modelamiento y análisis estructural del Bloque D1, con datos obtenidos a partir de la verificación de la Norma Técnica E-030 actual, esto para poder hacer un comparativo del comportamiento de la edificación con parámetros de diseño sismorresistente actuales y anteriores (diseño con el que fue ejecutado).

#### 1) Análisis Estático:

También llamado Análisis Sísmico de Fuerzas Estáticas Equivalentes, donde las fuerzas sísmicas actúan en el centro de masas de cada nivel de la edificación. El objetivo principal de este análisis es la evaluación en un estado de estrés de la estructura sometida a fuerzas constantes en el tiempo y que son estáticas. Se realiza este procedimiento mediante la utilización del software Etabs v2020, cuyo interfaz y programación permiten desarrollar cálculos con resultados automatizados. Tomando en cuenta los parámetros respecto de la zonificación sísmica, el tipo de suelo donde se ubica la edificación y factores como el de uso de la edificación, de amplificación sísmica, de reducción y características propias del Bloque D1 como su peso, se obtiene la fuerza cortante basal de la estructura, para ambas direcciones ortogonales, según la siguiente relación:

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$

Donde la relación entre el factor de amplificación sísmica y factor de reducción ( $C/R$ ) no debe ser menor a 0.11.

El cálculo del cortante basal permite determinar la fuerza lateral total como consecuencia de las fuerzas sísmicas, que se induce a un sistema estructural de la edificación, distribuyéndolo posteriormente a lo largo de los diferentes

niveles de la misma, esto a través de un cálculo en función a la fuerza cortante basal y el período fundamental de vibración de la estructura (T).

Del mismo modo, se obtiene los valores de los desplazamientos de piso y derivas de piso, lo que servirá para realizar las verificaciones de irregularidad de la estructura, como se detalla a continuación:

### **Irregularidad en altura:**

*\* Irregularidad de Rigidez (piso blando):*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si la rigidez en un entrepiso  $K_i$  es menor al 70% del entrepiso adyacente superior, o sino  $K_i$  es menor al 80% del promedio de los 3 entrepisos adyacentes superiores. Veamos los resultados en las tablas 5 y 6.

Dirección	Piso	$K_i$	$A = 0.7K_{i+1}$	$K_i < A$ , ¿cumple?
X	1	841469.66	328640.04	No
	2	469485.77	232828.02	No
	3	332611.46	159548.29	No
	4	227926.14	77003.63	No
	5	110005.19	0.00	-
Y	1	1590235.03	604109.40	No
	2	863013.43	419294.98	No
	3	598992.83	290192.91	No
	4	414561.30	142939.46	No
	5	204199.24	0.00	-

**Tabla 5** Verificación de la 1era condición de irregularidad de rigidez - piso blando.

Dirección	Piso	$K_i$	$B = 0.8 \left( \frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right)$	$K_i < B$ , ¿cumple?
X	1	841469.66	274672.90	No
	2	469485.77	178811.41	No
	3	332611.46	0.00	-
	4	227926.14	0.00	-
	5	110005.19	0.00	-
Y	1	1590235.03	500418.01	No
	2	863013.43	324734.23	No
	3	598992.83	0.00	-
	4	414561.30	0.00	-
	5	204199.24	0.00	-

**Tabla 6** Verificación de 2da condición de irregularidad de rigidez - piso blando.

Se verifica que no cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\* Irregularidad de resistencia o piso débil:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si la fuerza cortante en un entrepiso ( $V_i$ ) es inferior al 80% del entrepiso inmediato superior ( $K_{i+1}$ ). Veamos los resultados en la tabla 7.

Dirección	Piso	$V_i$ (tonf)	$A = 0.8V_{i+1}$	$V_i < A$ , ¿cumple?
X	1	562.94	401.13	No
	2	501.41	327.29	No
	3	409.11	228.84	No
	4	286.05	106.84	No
	5	133.55	0.00	-
Y	1	562.94	401.13	No
	2	501.41	327.29	No
	3	409.11	228.84	No
	4	286.05	106.84	No
	5	133.55	0.00	-

**Tabla 7** Verificación de irregularidad de resistencia o piso débil.

Se verifica que no cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\* Irregularidad extrema de Rigidez:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si la rigidez en un entrepiso ( $K_i$ ) es menor al 60% del entrepiso adyacente superior, o sino  $K_i$  es menor al 70% del promedio de los 3 entrepisos adyacentes superiores. Veamos los resultados en las tablas 8 y 9.

Dirección	Piso	$K_i$	$A = 0.6K_{i+1}$	$K_i < A$ , ¿cumple?
X	1	841469.66	328640.04	No
	2	469485.77	232828.02	No
	3	332611.46	159548.29	No
	4	227926.14	77003.63	No
	5	110005.19	0.00	-
Y	1	1590235.03	604109.40	No
	2	863013.43	419294.98	No
	3	598992.83	290192.91	No
	4	414561.30	142939.46	No
	5	204199.24	0.00	-

**Tabla 8** Verificación de 1era condición de irregularidad extrema de rigidez.

Dirección	Piso	$K_i$	$B = 0.7 \left( \frac{K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3}}{3} \right)$	$K_i < B$ , ¿cumple?
X	1	841469.66	240338.79	No
	2	469485.77	156459.98	No
	3	332611.46	0.00	-
	4	227926.14	0.00	-
	5	110005.19	0.00	-
Y	1	1590235.03	437865.76	No
	2	863013.43	284142.45	No
	3	598992.83	0.00	-
	4	414561.30	0.00	-
	5	204199.24	0.00	-

**Tabla 9** Verificación de 2da condición de irregularidad extrema de rigidez.

Se verifica que no cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

\* Irregularidad extrema de Resistencia:

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si la fuerza cortante en un entrepiso ( $V_i$ ) es inferior al 65% del entrepiso inmediato superior

( $K_{i+1}$ ). Veamos los resultados en la tabla 10.

Dirección	Piso	$V_i(\text{tonf})$	$A = 0.65V_{i+1}$	$V_i < A$ , ¿cumple?
X	1	562.94	325.92	No
	2	501.41	265.92	No
	3	409.11	185.93	No
	4	286.05	86.81	No
	5	133.55	0.00	-
Y	1	562.94	325.92	No
	2	501.41	265.92	No
	3	409.11	185.93	No
	4	286.05	86.81	No
	5	133.55	0.00	-

**Tabla 10** Verificación de irregularidad extrema de Resistencia.

Se verifica que no cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

\* Irregularidad de masa o peso:

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si el peso de un piso, es mayor que 1.5 veces el peso de un piso adyacente. Veamos los resultados en la tabla 11.

Dirección	Piso	$M_i (\text{tonf-s}^2/\text{m})$	$A = 1.5M_{i+1}$	$M_i > A$ , ¿cumple?
X/Y	1	112.09	168.13	No
	2	112.09	168.13	No
	3	112.09	166.68	No
	4	111.12	121.63	No
	5	81.09	0.00	-

**Tabla 11** Verificación de irregularidad de masa o peso.

Se verifica que no cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y

$$I_{ay} = 1.00.$$

*\* Irregularidad geométrica vertical:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si la dimensión en planta de la estructura resistente a cargas laterales es mayor que 1,3 veces la correspondiente dimensión en un piso adyacente. Veamos los resultados en la tabla 12.

Dirección	Piso	Centro de Masa (m)
X	1	8.59
	2	8.59
	3	8.59
	4	8.59
	5	8.59
Y	1	23.17
	2	23.17
	3	23.17
	4	23.17
	5	23.17

**Tabla 12** Verificación de irregularidad geométrica vertical.

Se verifica que las coordenadas relativas del centro de masas en cada piso, son parecidas, por lo no que cumple la condición de irregularidad en ninguna de las direcciones, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\* Irregularidad de discontinuidad en los sistemas resistentes:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular cuando en cualquier elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante se tiene un desalineamiento vertical, tanto por un cambio de orientación, como por un desplazamiento del eje de magnitud mayor que 25% de la correspondiente dimensión del elemento. Sin embargo, se verifica que todos los elementos resistentes (columnas y vigas) no presentan discontinuidades, por lo que le



corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\* Irregularidad de discontinuidad extrema en los sistemas resistentes:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supere el 25% de la fuerza cortante total. Sin embargo, como se mencionó, se verifica que todos los elementos resistentes (columnas y vigas) no presentan discontinuidades, por lo que le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

Finalmente:

$$I_{ax} = 1.00$$

$$I_{ay} = 1.00$$

**Irregularidad en planta:**

*\*Irregularidad torsional:*

Para la verificación de este tipo de irregularidad, primero se debe cumplir que el máximo desplazamiento relativo en un extremo del entrepiso (Deriva) sea mayor que el 50% del desplazamiento permisible (para edificaciones de concreto armado  $\Delta_{permisible} = 0.007$ ). Veamos la Tabla 13.

Dirección	Piso	$\Delta_{max}$	$B = 50\% \Delta_{perm}$	$\Delta_{max} > B$ , ¿cumple?
X	1	0.00393	0.0035	Si
	2	0.00863	0.0035	Si
	3	0.01405	0.0035	Si
	4	0.01957	0.0035	Si
	5	0.02491	0.0035	Si
Y	1	0.00156	0.0035	No
	2	0.00412	0.0035	Si
	3	0.00712	0.0035	Si
	4	0.01016	0.0035	Si
	5	0.01303	0.0035	Si

**Tabla 13** Condición para la verificación de la irregularidad torsional.

Cumple la condicionante anterior en algunos de los casos, entonces se verificará

esta irregularidad donde la Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si el máximo desplazamiento relativo (Deriva) en un punto extremo de un entrepiso, es 1.3 veces mayor al promedio de los desplazamientos relativos de los puntos extremos restantes. Veamos los resultados en la Tabla 14.

Dirección	Piso	$\Delta_{max}$	$A = 1.3\Delta_{prom}$	$\Delta_{max} > A$ , ¿cumple?
X	1	0.0039	0.0028	Si
	2	0.0086	0.0063	Si
	3	0.0140	0.0103	Si
	4	0.0196	0.0145	Si
	5	0.0249	0.0185	Si
Y	1	0.0016	0.0019	No
	2	0.0041	0.0049	No
	3	0.0071	0.0085	No
	4	0.0102	0.0121	No
	5	0.0130	0.0155	No

**Tabla 14** Verificación de irregularidad torsional.

Se verifica que, si cumple la condición de irregularidad en el Eje X, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 0.75$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\*Irregularidad torsional extrema:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular si el máximo desplazamiento relativo (Deriva) en un extremo del entrepiso, es 1.5 veces mayor al promedio de los desplazamientos relativos de los extremos restantes. Veamos el resultado en la Tabla 15.

Dirección	Piso	$\Delta_{max}$	$A = 1.5\Delta_{prom}$	$\Delta_{max} > A$ , ¿cumple?
X	1	0.0039	0.0032	Si
	2	0.0086	0.0073	Si
	3	0.0140	0.0119	Si
	4	0.0196	0.0167	Si
	5	0.0249	0.0213	Si
Y	1	0.0016	0.0021	No
	2	0.0041	0.0057	No
	3	0.0071	0.0098	No
	4	0.0102	0.0140	No
	5	0.0130	0.0179	No

**Tabla 15** Verificación de irregularidad torsional extrema.

Se verifica que, si cumple la condición de irregularidad en el Eje X, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 0.60$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\*Irregularidad de esquinas entrantes:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular cuando tiene esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la correspondiente dimensión total en planta. Sin embargo, se observa que la edificación no tiene esquinas entrantes, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\*Irregularidad de discontinuidad del diafragma:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez incluyendo aberturas mayores al 50% del área bruta del diafragma. Sin embargo, se observa que el quinto nivel presenta una discontinuidad en el diafragma, pero que no supera el 50% del área bruta, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

*\*Irregularidad de sistemas no paralelos:*

La Norma Técnica E-030 menciona que, la estructura es irregular cuando los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos entre si, en nuestro caso todos los elementos son paralelos, por tanto, le corresponde los factores de Irregularidad  $I_{ax} = 1.00$  y  $I_{ay} = 1.00$ .

Finalmente:

$$I_{px} = 0.60$$

$$I_{py} = 1.00$$

Cabe resaltar que, para una edificación esencial de categoría A1 y perteneciente a la Zona 3, según la Norma Técnica E-030, en su análisis no está permitido irregularidades.

## 2) *Análisis Dinámico:*

Existen 02 métodos dinámicos para analizar una estructura según la Norma Técnica E-030, el análisis dinámico modal espectral y el análisis dinámico Tiempo-Historia, que se clasifica este último como un método complementario.

Se desarrollará el análisis dinámico del Bloque D1 con el método Modal Espectral, donde se analizarán las propiedades dinámicas de la edificación, es decir su vibración y como es que cada modo afecta en su comportamiento, para esto es necesario conocer como dato inicial los modos de vibración que se aplicarán y las respectivas frecuencias naturales de todo el sistema estructural de la edificación. Los modos de vibración son la manera característica de cómo es que el sistema estructural va a vibrar, cada modo de vibración posee un factor de porcentaje de participación de masa, los que se encuentran directamente relacionados.

Un sistema estructural puede ser analizado con múltiples modos de vibración, sin embargo, la normativa indica trabajar con un mínimo de tres modos según los grados de libertad. En cada piso de nuestra edificación se consideran 03 grados de libertad (dos ortogonales y uno rotacional), por lo que en nuestro caso se trabajará con 03 modos de vibración por piso, en total 15 modos de vibración.

Se muestra en la Tabla 16 los modos de vibración con su respectiva relación de masa participante, según las direcciones de análisis adoptadas.

Mode	Period (sec)	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
1	0.62	0.057	0.190	0.166	0.0568	0.19	0.166
2	0.475	0.318	0.041	0.018	0.375	0.2307	0.1841
3	0.224	0.001	0.144	0.5139	0.3761	0.3749	0.698
4	0.141	0.041	0.203	0.044	0.4175	0.5775	0.742
5	0.121	0.245	0.047	0.0051	0.6624	0.625	0.7471
6	0.062	0.038	0.071	0.0342	0.7003	0.6956	0.7814
7	0.058	0.119	0.007	0.0368	0.819	0.7024	0.8182
8	0.055	0.004	0.117	0.1086	0.8227	0.8197	<b>0.9268</b>
9	0.041	0.153	0.002	0.0002	<b>0.9751</b>	0.8215	0.927
10	0.038	0.001	0.056	0.0186	0.9762	0.8779	0.9456
11	0.033	0.020	0.005	0.0008	0.9959	0.8828	0.9464
12	0.029	0.001	0.000	0.034	0.9969	0.8829	0.9804
13	0.028	0.000	0.050	0.0083	0.9969	<b>0.933</b>	0.9887
14	0.027	0.000	0.005	0.0005	0.997	0.938	0.9892
15	0.025	0.000	0.003	0.0035	0.9974	0.9405	0.9928

**Tabla 16** Modos de vibración y su participación de masa modal.

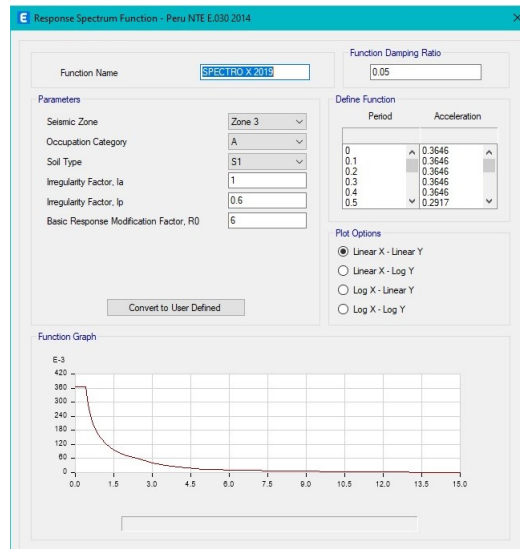
Se observa que cumple en cada dirección de análisis, la participación de masa de los modos vibración predominantes, sumándolos superan el 90

Teniendo en cuenta estos modos de vibración, en las direcciones ortogonales se utilizarán espectros inelásticos de pseudoaceleraciones, definidos por la relación:

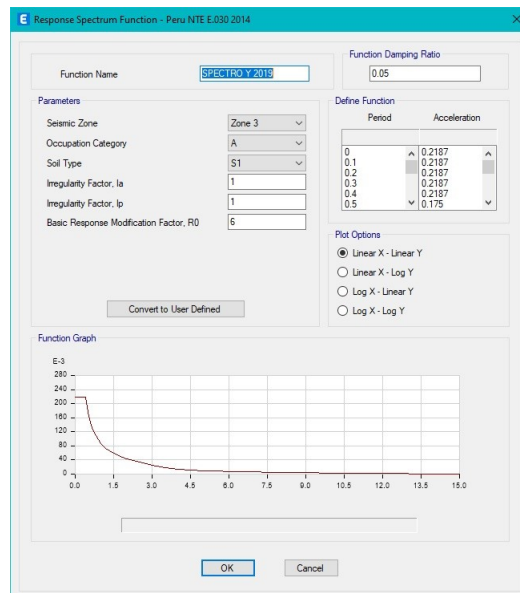
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Donde, mediante criterios de combinación, se obtendrán respuestas máximas elásticas, tanto para las fuerzas internas en los elementos componentes de la estructura, como para los parámetros globales del edificio como fuerza cortante en la base, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

El espectro de aceleraciones para el análisis modal, se ha generado con los datos:



**Figura 17** Asignación de datos para Espectro de aceleraciones en Eje X.



**Figura 18** Asignación de datos para Espectro de aceleraciones en Eje Y.

Posterior a ello, se obtienen los resultados de los desplazamientos máximos de piso (Derivas) y la fuerza cortante, que debe ser menor que el 80% de la fuerza cortante calculada en el análisis estático, de ser una estructura regular, o al 90% si se trata de una estructura irregular. Cabe señalar que, de no cumplir este requerimiento mínimo de la fuerza cortante, se puede incrementar esta misma escalando proporcionalmente los demás resultados a excepción de los desplazamientos, esto quiere que los resultados de los desplazamientos serán definitivos, por ello que, para cumplir los objetivos de esta tesis, solo se presentará el control de desplazamientos al margen de los resultados de la cortante.

Dirección	Piso	Deriva ( $\Delta_e$ )	Deriva ( $\Delta_i$ )	$\Delta_i < 0.007$ , ¿Cumple?
X	1	0.001040	0.003182	Si
	2	0.001688	0.005165	Si
	3	0.001982	0.006065	Si
	4	0.002060	0.006304	Si
	5	0.002015	0.006166	Si
Y	1	0.000389	0.001751	Si
	2	0.000621	0.002795	Si
	3	0.000732	0.003294	Si
	4	0.000740	0.003330	Si
	5	0.000695	0.003128	Si

**Tabla 17** Verificación de las Derivas de piso mínimas.

Indicar que las Derivas de piso  $\Delta_e$  son las que se obtienen a partir de desplazamientos máximos elásticos en cada entrepiso, y como se observa en la Tabla 17, realizando el análisis sísmico del Bloque D1 con la Norma Técnica E-030 vigente, las derivas de piso inelásticas cumplen con la condición de no exceder al límite de distorsión de entrepiso de 0.007 para este tipo de sistema estructural.

### 3.9.2 Análisis del Bloque D1 con ALS

La Norma Técnica E-030 señala que se permite la utilización de sistemas de disipación sísmica, en la medida que sean aplicables según el documento de investigación "Minimum Design Loads for Building and Other Structures - ASCE/SEI 7", de ese modo, el sistema de control de disipación de energía que se aplicará al Bloque D1 es el Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS).

Se modelará la interacción del ALS con el Bloque D1 a partir del modelo ya realizado en la sección "Análisis del Bloque D1 sin ALS, Bloque D1 según Normativa vigente", se asignarán las propiedades del ALS en la estructura según el modelo señalado en el marco teórico.

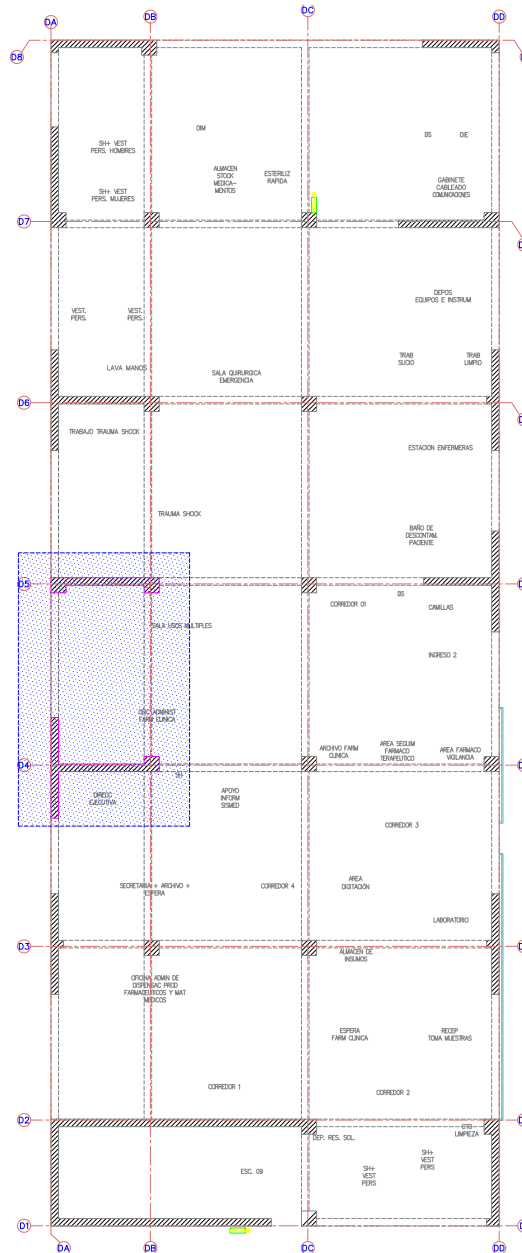
Tomando en cuenta las bases teóricas, se procede a determinar los distintos parámetros necesarios para el diseño y posterior análisis del ALS.

### 3.9.2.1 Diseño del ALS

#### A) Determinación de características físicas del ALS

##### 1) Ubicación del ALS:

El Amortiguador de Líquido Sintonizado (ALS) está conformado por un tanque rígido rectangular contenido de líquido de densidad conocida (agua), según experimentaciones y casos existentes de este sistema, indicados en el marco teórico, se ubicará este ALS en la azotea del Bloque D1, como continuación de dos placas estructurales según diseño, esto se puede observar en la Figura 19.

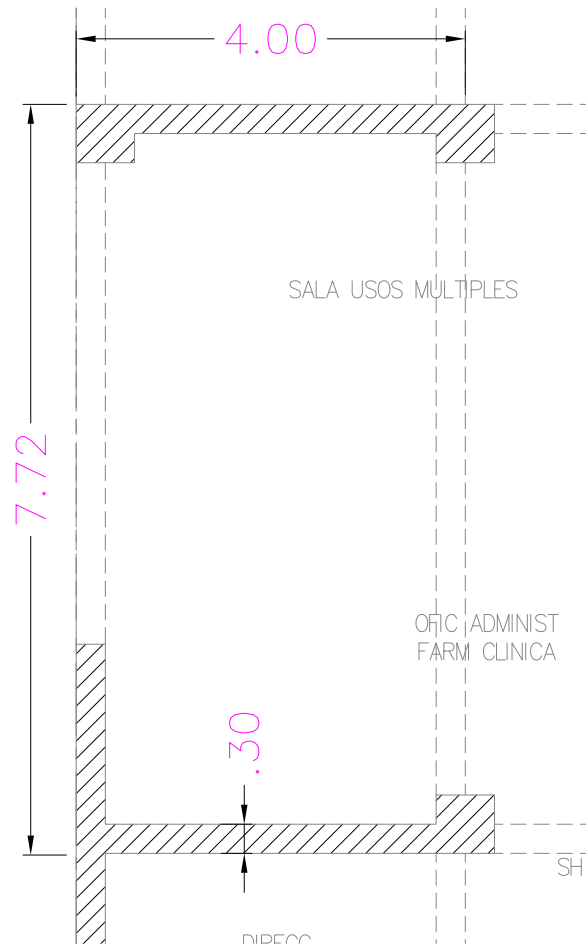


**Figura 19** Ubicación del ALS sobre la continuación de dos muros estructurales.  
Fuente: Expediente Técnico y elaboración propia.



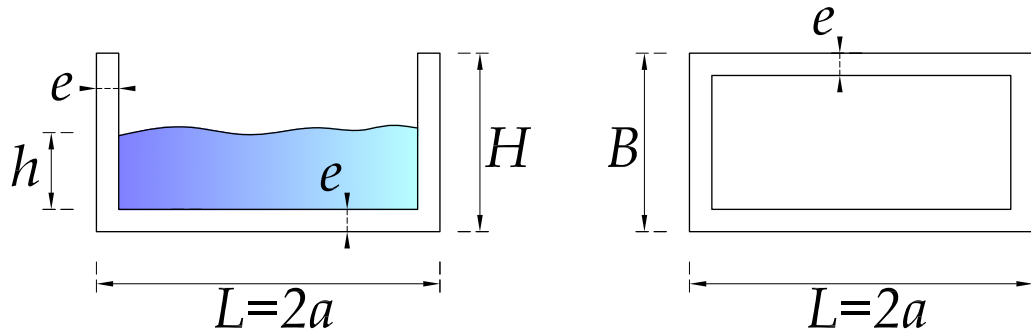
2) *Geometría del ALS:*

Al ubicar el ALS entre la continuación de dos muros estructurales según la Figura 19, las dimensiones del tanque rígido que contendrá el líquido (agua) se adaptarán a las dimensiones de separación de estos muros estructurales, como muestra la figura 20.



**Figura 20** Dimensiones que debe adoptar el ALS.

A partir de ello, el tanque rígido tendrá la siguiente forma:



**Figura 21** Geometría del ALS (Izquierda: vista en corte. Derecha: vista en planta).

Donde:

$L$ , es el largo exterior del tanque rígido.

$B$ , es el ancho exterior del tanque rígido.

$e$ , es el espesor de los muros estructurales y de la losa base del tanque rígido.

$H$ , es la altura exterior del tanque rígido.

$h$ , es la altura interior del nivel del agua en el tanque rígido.

A partir de las figuras 20 y 21, ya se tienen los siguientes datos:

$$L = 2a = 7.72m$$

$$a = 3.86m \quad (3.1)$$

$$B = 4m \quad (3.2)$$

$$e = 0.3m \quad (3.3)$$

Respecto de los valores de  $H$  y  $h$ , tomaremos en cuenta lo que menciona Sun, 1991 en el modelo matemático de las bases teóricas, que luego de evaluar resultados de investigaciones, recomienda que toda la estructura del ALS (tanque rígido de concreto armado más el líquido contenido) posea un peso entre el 1% y 4% del peso de toda la estructura de la edificación, en ese sentido:

$$P_{ALS} = 1\%P_{BLOQUE-D1}$$

Tanto del modelamiento estructural original del Bloque D1 (archivo del software Etabs del Expediente Técnico) como de la memoria de cálculo (también del Expediente Técnico), se puede saber el peso de la estructura, que es:

$$P_{BLOQUED1} = 5182.46Tonf \quad (3.4)$$

Por tal, el ALS tiene un peso:

$$P_{ALS} = 51.82Tonf \quad (3.5)$$

Otra recomendación de Sun, 1991 en su modelo, es que la altura del líquido en reposo  $h$  se considere como la mitad de la altura interna del tanque que lo contiene, es decir  $H - e$ , por tal:

$$h = \frac{H-e}{2}$$

$$h = \frac{H - 0.3}{2} \quad (3.6)$$

Teniendo en cuenta datos conocidos como el peso específico del concreto  $\gamma_{Concreto} - (tonf/m^3)$ , peso específico del agua  $\gamma_{Lquido} - (tonf/m^3)$  y dimensiones  $L$ ,  $a$ ,  $B$  y  $e$ , se calcularán las ecuaciones del peso del tanque rígido  $P_{TR} - (tonf)$  y del líquido (agua)  $P_{Lquido} - (tonf)$  del ALS, los mismos que estarán en función de sus alturas  $H$  y  $h$ , y que al sumarse dan como resultado  $P_{ALS}$ :

$$P_{TR} = 15.98H + 17.38 \quad (3.7)$$

$$P_{Lquido} = 24.14h \quad (3.8)$$

$$P_{Lquido} + P_{TR} = P_{ALS} \quad (3.9)$$

Desarrollando simultáneamente las ecuaciones 3.5, 3.6, 3.7, 3.8 y 3.9, se obtienen los siguientes resultados:

$$h = 0.53m \quad (3.10)$$

$$H = 1.36m \quad (3.11)$$

$$P_{TR} = 39.07tonf \quad (3.12)$$

$$P_{Lquido} = 12.75tonf \quad (3.13)$$

- 3) *Líquido del ALS*: La altura del líquido calculada es  $h = 0.53m$ , a partir de esto, como se muestra en la figura 2, se calcularán las alturas de ondas en las paredes del tanque rígido, siendo la relación que tienen estas con  $h$  otra recomendación del autor del modelo matemático Sun, 1991:

$$\eta_{-a} = \frac{h}{3} = 0.18m \quad (3.14)$$

$$\eta_{+a} = 2h = 1.06m \quad (3.15)$$

- 4) *Masa Activa del ALS*:

La masa activa del líquido es el volumen que se mantiene con una altura constante mientras las ondas se mueven de un lado a otro, normalmente se considera como la altura más baja de onda  $\eta_{-a}$ :

$$m_{ALSactiva} = 2a\eta_{-a}B\gamma_{Lquido} = 53.19ton \quad (3.16)$$

## B) Determinación de parámetros de diseño del ALS

- 1) *Frecuencia del ALS*:

Usando la ecuación ya dada 2.11 , se tiene el valor de la frecuencia:

$$\omega_{ALS} = 0.147s^{-1} \quad (3.17)$$

2) *Factor de Amortiguamiento del ALS:*

Está dada por la siguiente ecuación:

$$\zeta_{ALS} = \sqrt{\frac{\nu}{a^{3/2} \sqrt{g}}}$$

Donde, la viscosidad dinámica del líquido (agua) es  $\nu = 0.997 * 10^{-6} \text{ton/ms}$ , por tal:

$$\zeta_{ALS} = 0.0002053 \quad (3.18)$$

3) *Rigidez del ALS:*

Está dada por la siguiente ecuación:

$$k_{TLD} = m_{ALSactiva} \omega_{ALS}^2$$

$$k_{ALS} = 1.1445 \text{tonf/s}^2 \quad (3.19)$$

4) *Razón de Amortiguamiento del ALS:*

Está dada por la siguiente ecuación:

$$c_{TLD} = 2\zeta \sqrt{k_{TLD} m_{liquido}}$$

Donde la masa del líquido está dada por el producto del volumen del líquido y la densidad del mismo  $m_{liquido} = (L-2e)(B-2e)(h)(\rho_{agua}) = 1.30 \text{ton}$ , reemplazando en la ecuación anterior, se tiene:

$$c_{TLD} = 0.00016 \text{ton} - \text{s/m} \quad (3.20)$$

5) *Fuerza externa del ALS:*

Finalmente, el valor de la Fuerza F, que es la fuerza lateral en la base del ALS, es una fuerza dinámica que depende de la aceleración del suelo, y está dada por:

$$F_x = -\frac{1}{2} \rho b a_z [(h + \eta_a)^2 - (h + \eta_{-a})^2]$$

$$F_x = -4.03 a_z \text{ton} - \text{m/s}^2 \quad (3.21)$$

### 3.9.2.2 Modelado del Bloque D1 con ALS

Se describe en este punto a la edificación materia de aplicación de esta investigación, el Bloque D1 de Emergencias del Hospital Miguel Ángel Mariscal Llerena, así como todas las consideraciones que se hayan tenido durante su ejecución (sin ALS) y las consideraciones que se deberán tener para realizar la simulación de la estructura con ALS.

#### A) Asignación de propiedades en software

En el software que se utilizará para la simulación se va a asignar las propiedades Link del ALS, donde U2 es en la dirección X y U3 es en la dirección Y.

Definiendo un tipo de resorte (spring) para los nudos de soporte del ALS y la edificación, actuando solo en dirección x e y.

**Link Property Data**

**General**

Link Property Name: ALS

Link Type: Damper - Friction Spring

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: Modify/Show...  
None specified

**Total Mass and Weight**

Mass: 5.28 tonf-s<sup>2</sup>/m

Weight: 51.82 tonf

Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s<sup>2</sup>

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s<sup>2</sup>

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m<sup>2</sup>

**Directional Properties**

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All    Clear All

**Stiffness Options**

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: [ ]

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: [ ]

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK    Cancel

**Figura 22** Creación de la nueva propiedad Link.  
Fuente: Elaboración propia.

Identification	
Property Name	ALS
Direction	U2
Type	Damper - Friction Spring
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	0.117 tonf/m
Effective Damping	1.6E-04 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

**Figura 23** Asignación de propiedad Link U2.  
Fuente: Elaboración propia.

Identification	
Property Name	ALS
Direction	U3
Type	Damper - Friction Spring
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	0.117 tonf/m
Effective Damping	1.6E-04 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0 m

**Figura 24** Asignación de propiedad Link U3.  
Fuente: Elaboración propia.

Definiendo un tipo de resorte (spring) para los nudos de soporte el ALS y la edificación, actuando solo en dirección x e y.



**E Point Spring Property Data** ✕

**General Data**

Property Name:

Display Color:

Property Notes:

**Spring Stiffness Options**

User Specified/Link Properties  Based on Soil Profile and Footing Dimensions

**Simple Spring Stiffness in Global Directions**

Translation X:  tonf/m

Translation Y:  tonf/m

Translation Z:  tonf/m

Rotation about X-Axis:  tonf-m/rad

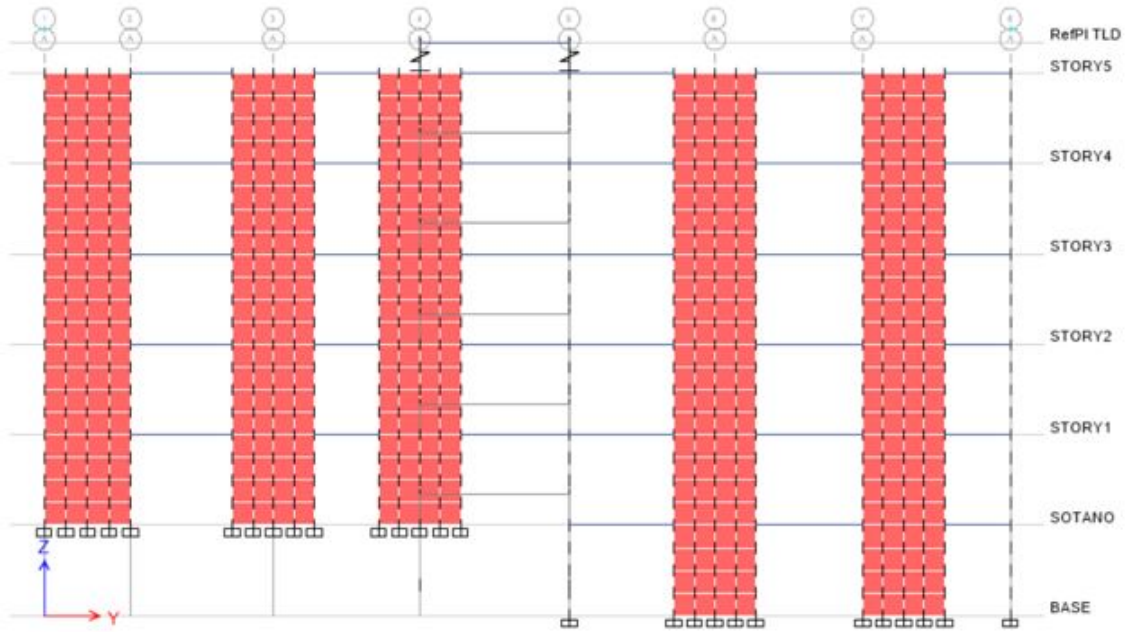
Rotation about Y-Axis:  tonf-m/rad

Rotation about Z-Axis:  tonf-m/rad

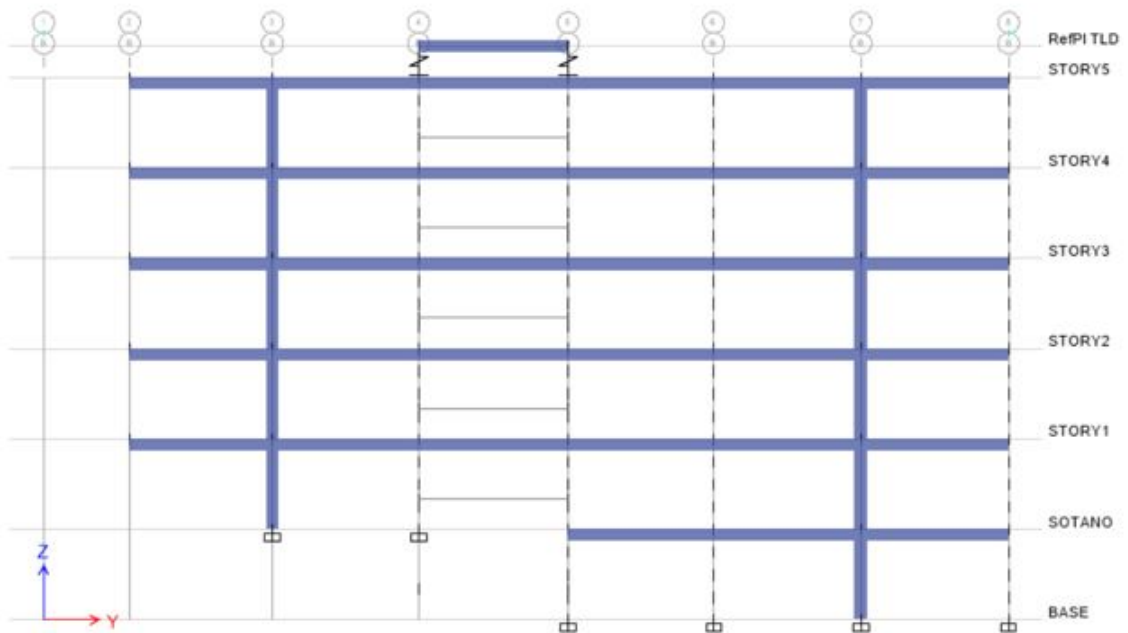
**Single Joint Links at Point**

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle
ALS <input type="button" value="v"/>	+X	0
ALS	+Y	0

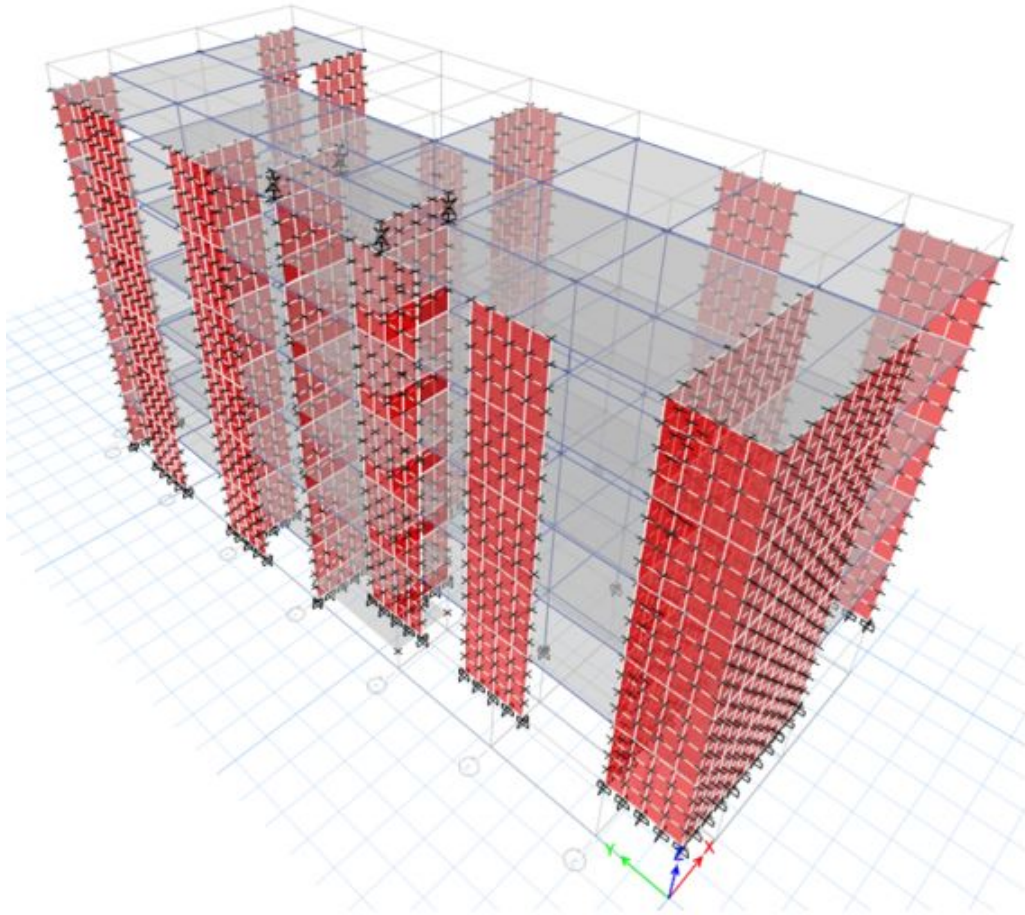
**Figura 25** Definición de punto con propiedad Spring.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 26** Vista de Bloque D1 con asignación Link y Spring.  
Fuente: Elaboración propia.

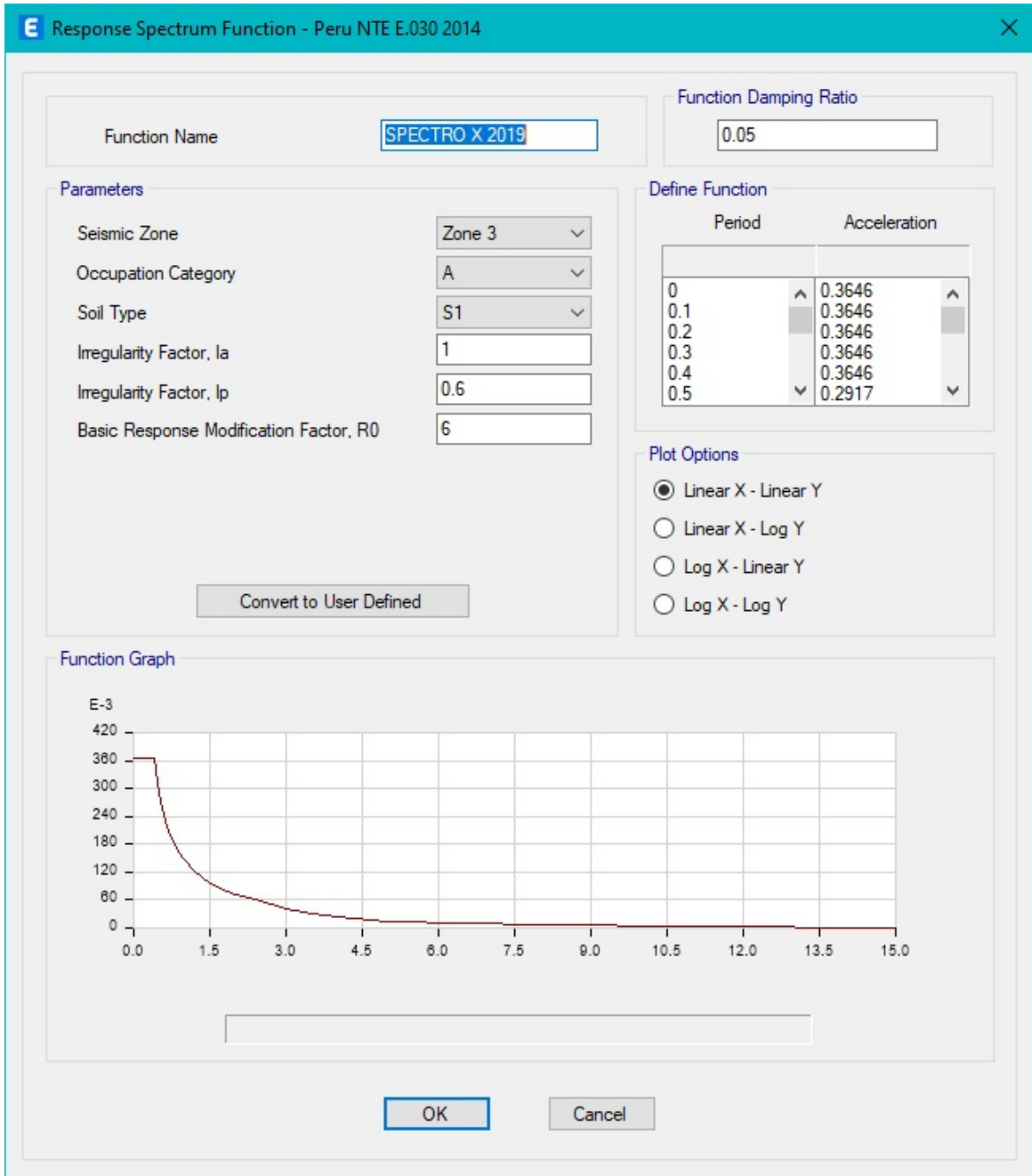


**Figura 27** Vista de Bloque D1 con asignación Link y Spring.  
Fuente: Elaboración propia.

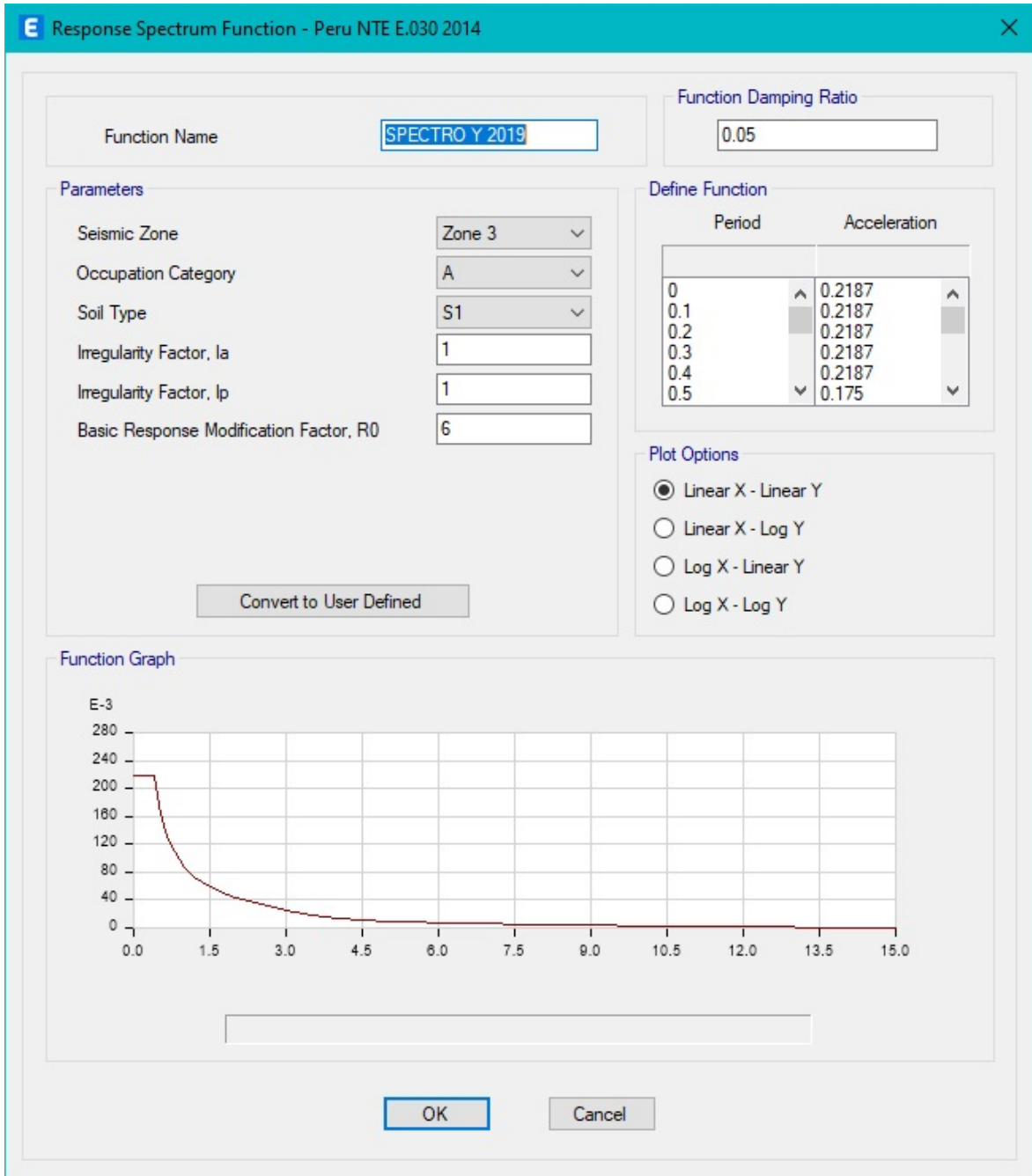


**Figura 28** Vista 3D de Bloque D1 con asignación Link y Spring.  
Fuente: Elaboración propia.

**B) Espectro de aceleraciones del Bloque D1 con ALS**



**Figura 29** Respuesta de espectros en eje X. Etabs.  
Fuente: Elaboración propia.



**Figura 30** Respuesta de espectros en eje Y. Etabs.  
Fuente: Elaboración propia.

**C) Derivas de piso del Bloque D1 con ALS**

<b>Dirección</b>	<b>Piso</b>	<b>DERIVA <math>\Delta_{elastico}</math></b>	<b><math>\Delta_{inelastico}</math></b>	<b><math>\Delta_{ine} \leq 0.007</math>, ¿Cumple?</b>
X	1	0.000867	0.002653	Si
	2	0.001425	0.004359	Si
	3	0.001678	0.005134	Si
	4	0.001743	0.005335	Si
	5	0.001697	0.005194	Si
Y	1	0.000327	0.001473	Si
	2	0.000524	0.002360	Si
	3	0.000621	0.002792	Si
	4	0.000631	0.002838	Si
	5	0.000598	0.002689	Si

**Tabla 18** Control de derivas de piso para el Bloque D1 con ALS.

Como se puede observar, las derivas de piso calculadas cumplen con la condición de no exceder al límite de distorsión de entrepiso que es 0.007.

# Capítulo IV

## Resultados

---

### 4.1 Contrastación de hipótesis

Al simular la incorporación del Amortiguador de Líquido sintonizado ALS, en el quinto nivel de la edificación Bloque D1, se han registrado que las derivas de piso han disminuido con respecto a los valores de derivas de piso de la misma edificación sin contemplar el ALS. Esto indica que el ALS es un sistema de disipación sísmica que controla el comportamiento estructural de una edificación, minimizando los desplazamientos de piso y consecuentemente minimizando los riesgos de problemas a nivel estructural en un edificio.

### 4.2 Análisis e interpretación

Después de realizar los cálculos del Análisis del BLOQUE D1, del Hospital mencionado, tenemos los resultados de los desplazamientos de la estructura sola, y de la estructura con el ALS. Se muestran entonces los resultados tanto en el eje X como en el eje Y.

#### 4.2.1 Comparativa de Resultados con y sin ALS

##### 4.2.1.1 Dirección X

	SIN TLD	CON TLD	PORCENTAJE DE REDUCCION
STORY 5	0.0061659	0.0051942	15.76%
STORY 4	0.0063036	0.0053347	15.37%
STORY 3	0.0060649	0.0051344	15.34%
STORY 2	0.0051653	0.0043593	15.60%
STORY 1	0.0031824	0.002653	16.63%

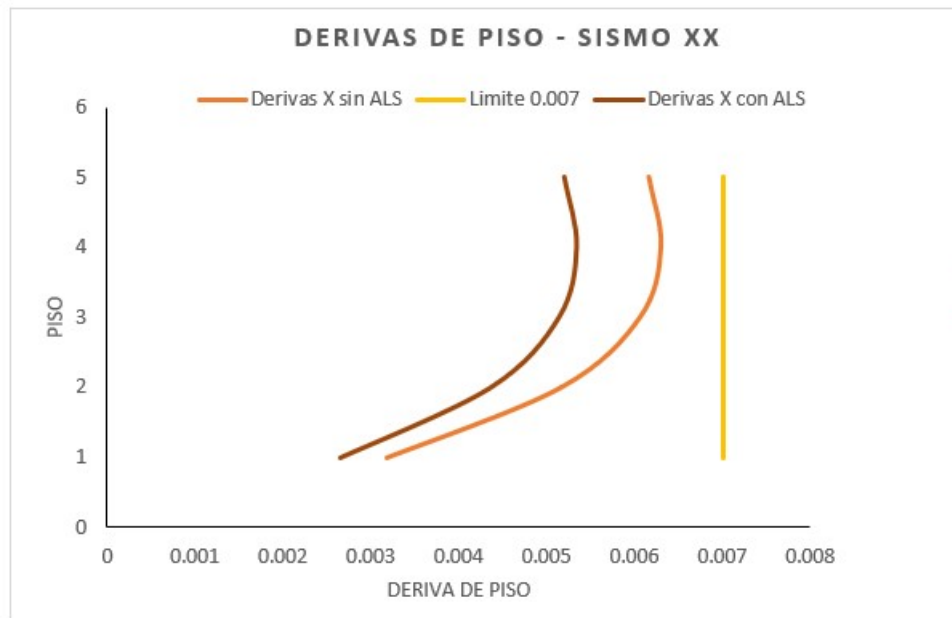
**Tabla 19** Derivas inelásticas del Bloque D1 con y sin ALS, en el eje X.

### 4.2.1.2 Dirección Y

	SIN TLD	CON TLD	PORCENTAJE DE REDUCCION
STORY 5	0.0036	0.002689	25.31%
STORY 4	0.003654	0.0028382	22.33%
STORY 3	0.0034875	0.0027923	19.94%
STORY 2	0.002889	0.00236	18.31%
STORY 1	0.0017595	0.0014726	16.30%

**Tabla 20** Derivas inelásticas del Bloque D1 con y sin ALS. En el eje Y.

### 4.2.1.3 Curva de Reducción X



**Figura 31** Derivas de piso - sismo XX.



### 4.2.2 Curva de Reducción Y



Figura 32 Derivas de piso - sismo YY.

# Conclusiones

## Conclusiones

1. En los resultados se puede notar claramente la reducción de derivas cuando se incorpora el ALS, poseen un porcentaje de reducción de hasta 25.31% en el eje Y y hasta 16.63% en el eje X.
2. Podemos concluir que la incorporación del ALS, garantiza la efectividad de soporte de una estructura, hacia fuerzas externas, como las sísmicas.
3. La determinación de los parámetros de diseño del ALS, sus características físicas como parámetros sísmicos, son importantes en esta investigación, pues todo el análisis depende de ellos.
4. Los resultados de esta investigación, que son la minimización de derivas de piso de una edificación con ALS, respecto de la misma sin ALS, aplican para un ALS de forma de tanque rígido rectangular apoyado en el último nivel de la edificación.
5. La aplicación de este sistema de disipación sísmica, puede tener un costo bajo de construcción, pues implica construir un tanque rígido rectangular con muros estructurales, esto en el último nivel de la edificación, además de que posee un costo bajo de mantenimiento del líquido. Esto a comparación de otro tipo de sistemas de aislación o disipación sísmica. La aplicación de este sistema de ALS también es conveniente para edificaciones que ya se encuentran construidas, pues implica continuar la construcción en el último nivel, además de ser una salida según la nueva norma.
6. También se concluye que las derivas de piso de la edificación sin ALS, contemplando nuevos parámetros por la actualización de la Norma Técnica, poseen valores al límite de la distorsión de entrepiso.

## Recomendaciones

1. Se recomienda leer sobre el análisis y diseño de otros tipos de sistemas de disipación sísmica, pues estos se basan en idealizar un mismo modelo de un resorte con un valor

de una fuerza externa que representa al amortiguador y convertir esto en una propiedad de modo que se pueda asignar en el software a usar.

2. Se recomienda realizar simulaciones o investigaciones experimentales con edificaciones de distintos niveles de piso, y así verificar la efectividad de manera grupal.

## **Trabajos futuros**

1. Existen otros tipos de ALS que pueden contenerse en tanques con geometrías diferentes, pueden ser tubulares, cilíndricas, entre otros. Esto conlleva a hacer una investigación respecto del movimiento del agua en otro tipo de contenedores. Además, también hay sistemas de ALS que son acoplados a las edificaciones de manera grupal con tanques rígidos pequeños.
2. La teoría aplicada en esta investigación, es la del autor Sun Limin, teoría que se basa en el chapoteo del líquido dentro de un tanque rectangular. También hay otras teorías y/o modelos matemáticos de otros autores que se pueden estudiar y verificar los resultados.

## Referencias bibliográficas

- Banerji, P., Samanta, A. & Chavan, S. (2000). *Earthquake Vibration Control Of Structures Using Tuned Liquid Dampers: Experimental Studies*. Department of Civil Engineering, Indian Institute of Technology Bombay, Mumbai, India. (Cit. on p. 24).
- Chang, Y. (2015). *Analytical and Experimental Investigations of Modified Tuned Liquid Dampers (MTLDs)*. Thesis of Master of Applied Science, Department of Civil Engineering University of Toronto. (Cit. on p. 23).
- Elborolossy, A. E. (2015). *Tuned liquid dampers*. Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Tanta University, Egypt. (Cit. on p. 26).
- Hossein, M. (2015). *Parametric Study of Slender and Dynamically Sensitive Buildings with Tuned Liquid Dampers Subject to Seismic Events*. Thesis of Doctor of Philosophy at George Mason University. Fairfax, VA. (Cit. on p. 27).
- Malekghasemi. (2011). *Experimental and Analytical Investigations of Rectangular Tuned Liquid Dampers (TLDs)*. (Cit. on p. 23).
- Nanda, B. (2010). *Application Of Tuned Liquid Damper For Controlling Structural Vibration*. Thesis of master of technology in structural engineering. Rourkela. (Cit. on p. 24).
- Novo, T., Varum, H., Teixeira-Dias, F., Rodrigues, H., Silva, M. F., Costa, a. C. & Guerreiro, L. (2013). *Tuned liquid dampers simulation for earthquake response control of buildings*. Bulletin of Earthquake Engineering, 12(2), 1007–1024. <http://doi.org/10.1007/s10518-013-9528-2>. (Cit. on p. 26).
- Sun, L. (1991). *Semi Analytical Modelling of Tuned Liquid Damper with emphasis on damping of liquid sloshing*. Thesis of Doctor of Engineering degree. (Cit. on pp. 23, 24, 58–60).
- Tamura, Y. (1995). *Effectiveness of tuned Liquid dampers under wind excitations in Engineering Structures*. (Cit. on p. 26).
- Wakahara, T., Ohyama, T. & Fujii, K. (1992). *Suppression of wind-induced vibration of a tall building using tuned liquid damper*. Journal of Wind Engineering; Industrial Aerodynamics. (Cit. on p. 26).



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

**“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”**

## **ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS**

### **ACTA N° 030-2022-FIMGC**

En la ciudad de Ayacucho, en cumplimiento a la **Resolución Decanal N° 098-2022-FIMGC-D**, siendo los veintitrés días del mes de mayo del 2022, a horas 9:00 a.m.; se reunieron los jurados del acto de sustentación, en el Auditorium virtual google meet del Campus Universitario de la Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga.

Siendo el Jurado de la sustentación de tesis compuesto por el presidente el **Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**, Jurado el **Ing. Luis Alfredo VARGAS MORENO**, Jurado el **M.Sc. Ing. Abner CURI VEGA**, Jurado Asesor el **MSc. Ing. Rubén Américo YACHAPA CONDEÑA** y secretario del proceso el **Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**, con el objetivo de recepcionar la sustentación de la tesis denominada **“SIMULACIÓN DE UN AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO SINTONIZADO (ALS) INCORPORADO A UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL EN AYACUCHO, PARA SU DESEMPEÑO ESTRUCTURAL MEJORADO, 2020”**, sustentado por la Señorita **Linda Estrella QUISPE MENESES**, Bachiller en **Ciencias de la Ingeniería Civil**.

El Jurado luego de haber recepcionado la sustentación de la tesis y realizado las preguntas, el sustentante al haber dado respuesta a las preguntas, y el Jurado haber deliberado; califica con la nota aprobatoria de **16 (Dieciséis)**.

En fe de lo cual, se firma la presente acta, por los miembros integrantes del proceso de sustentación.



Firmado digitalmente  
por **Dr. Ing. Efraín Elías  
Porras Flores**  
Fecha: 2022.05.28  
07:58:06 -09'00'

**Dr. Ing. Efraín Elías PORRAS FLORES**  
Presidente

**MSc. Ing. Abner CURI VEGA**  
Jurado



**VARGAS MORENO LUIS  
ALFREDO**  
luis.vargas@unsch.edu.pe  
Fecha: 24/05/2022 13:26  
Firmado con www.tocapu.pe

**Ing. Luis Alfredo VARGAS MORENO**  
Jurado

**MSc. Ing. Rubén Américo YACHAPA CONDEÑA**  
Jurado Asesor

Firmado  
digitalmente por  
**LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN**

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Secretario del Proceso

c.c.:  
Bach. Linda Estrella QUISPE MENESES  
Jurados (4)  
Archivo

FACULTAD DE INGENIERÍA  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL  
Av. Independencia S/N  
Ciudad Universitaria  
Central Tel 066 312510  
Anexo 151



**UNSCH**

FACULTAD DE  
**INGENIERÍA**  
DE MINAS, GEOLOGÍA Y CIVIL

“Año del Fortalecimiento de la Soberanía Nacional”

## **CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN**

### **CONSTANCIA N° 028-2022-FIMGC**

El que suscribe; responsable verificador de originalidad de trabajos de tesis de pregrado en segunda instancia para las **Escuelas Profesionales** de la **Facultad de Ingeniería de Minas, Geología y Civil**; en cumplimiento a la Resolución de Consejo Universitario N° 039-2021-UNSCH-CU, Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación de la UNSCH y Resolución Decanal N° 158-2021-FIMGC-UNSCH-D, deja constancia que Sr./Srta.

**Apellidos y Nombres** : Quispe Meneses, Linda Estrella  
**Escuela Profesional** : INGENIERÍA CIVIL  
**Título de la Tesis** : “SIMULACIÓN DE UN AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO SINTONIZADO (ALS) INCORPORADO A UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL EN AYACUCHO, PARA SU DESEMPEÑO ESTRUCTURAL MEJORADO, 2020”.  
**Evaluación de la Originalidad** : **14 %** Índice de Similitud  
**Identificador de la entrega** : 1838480185

Por tanto, según los Artículos 12, 13 y 17 del Reglamento de Originalidad de Trabajos de Investigación, es **PROCEDENTE** otorgar la **Constancia de Originalidad** para los fines que crea conveniente.

Ayacucho, 17 de mayo del 2022

Firmado  
digitalmente por  
LEZAMA CUELLAR  
CHRISTIAN

**Mg. Ing. Christian LEZAMA CUELLAR**  
Verificador de Originalidad de Trabajos de Tesis de Pregrado  
de la FIMGC

Con depósito para Sustentación y Tramite de Titulo

# "SIMULACIÓN DE UN AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO SINTONIZADO (ALS) INCORPORADO A UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL EN AYACUCHO, PARA SU DESEMPEÑO ESTRUCTURAL MEJORADO, 2020"

---

**Fecha de entrega:** 17-may-2022 11:36a.m. (UTC-0500)  
por Linda Estrella Quispe Meneses

**Identificador de la entrega:** 1838480185

**Nombre del archivo:** Tesis\_Linda\_Estrella\_Quispe\_Meneses\_ok.pdf (2.66M)

**Total de palabras:** 18480

**Total de caracteres:** 97030

# "SIMULACIÓN DE UN AMORTIGUADOR DE LÍQUIDO SINTONIZADO (ALS) INCORPORADO A UNA EDIFICACIÓN ESENCIAL EN AYACUCHO, PARA SU DESEMPEÑO ESTRUCTURAL MEJORADO, 2020"

## INFORME DE ORIGINALIDAD

14%

INDICE DE SIMILITUD

14%

FUENTES DE INTERNET

1%

PUBLICACIONES

9%

TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

## FUENTES PRIMARIAS

1 Submitted to Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga 3%  
Trabajo del estudiante

2 repositorio.unsch.edu.pe 3%  
Fuente de Internet

3 repositorio.undac.edu.pe 1%  
Fuente de Internet

4 hdl.handle.net 1%  
Fuente de Internet

5 tesis.ucsm.edu.pe 1%  
Fuente de Internet

6 Submitted to Universidad Cesar Vallejo 1%  
Trabajo del estudiante

7 aprenderly.com <1%  
Fuente de Internet

repositorio.unfv.edu.pe



8	Fuente de Internet	<1 %
9	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
10	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
11	vsip.info Fuente de Internet	<1 %
12	www.regionayacucho.gob.pe Fuente de Internet	<1 %
13	1library.co Fuente de Internet	<1 %
14	Submitted to Universidad Nacional del Centro del Peru Trabajo del estudiante	<1 %
15	archive.org Fuente de Internet	<1 %
16	repositorio.upt.edu.pe Fuente de Internet	<1 %
17	es.wikipedia.org Fuente de Internet	<1 %
18	Submitted to Pontificia Universidad Catolica del Peru Trabajo del estudiante	<1 %

---

Excluir citas Activo

Excluir coincidencias < 30 words

Excluir bibliografía Activo