

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



**ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS APORTICADOS  
Y EL AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO  
PARA EL PABELLÓN B DE UN ESTABLECIMIENTO DE SALUD**

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

**PRESENTADO POR:**

**Bach. BALDEÓN ALFARO, ERICK HUMBERTO.**

**Bach. TTICA MACHACA, ROMÁN ENGELBERT.**

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

**LIMA – PERÚ**

**2020**

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis a mis padres Humberto y Lucía por su apoyo incondicional, comprensión y por confiar en mí, a mis hermanos y familia en general por siempre ser un ejemplo para mí y por brindarme su apoyo durante todo este proceso.

Erick Humberto Baldeón Alfaro

Dedico esta tesis a mis padres Andrés y Tiburcia, por su apoyo incondicional, comprensión y por confiar en mí, a mis hermanos y familia en general por siempre ser el motivo para lograr mis metas y por brindarme su apoyo durante todo este proceso.

Román Engelbert Ttica Machaca

## **AGRADECIMIENTO**

Nuestro agradecimiento a Dios por ser nuestro guía constante.

Nuestro agradecimiento al ingeniero Francisco Garate y la ingeniera Dayma por su constante asesoramiento, compromiso y sus consejos para el desarrollo de la presente tesis.

Nuestro agradecimiento a nuestra alma mater la Universidad Ricardo Palma por brindarnos la oportunidad de desarrollarnos profesionalmente.

Erick Humberto Baldeón Alfaro.

Román Engelbert Ttíca Machaca.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN.....	xiv
ABSTRACT.....	xv
INTRODUCCIÓN .....	1
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.....	2
1.1    Formulación y delimitación del problema general y específico. ....	2
1.1.1    Problema general. ....	3
1.1.2    Problemas específicos. ....	3
1.2    Objetivos.....	4
1.2.1    Objetivo general.....	4
1.2.2    Objetivo Específico.....	4
1.3    Delimitación de la investigación: temporal, espacial y temática. ....	4
1.3.1    Delimitación Espacial. ....	4
1.3.2    Delimitación Temporal. ....	5
1.3.3    Delimitación Temática. ....	5
1.4    Justificación e importancia.....	6
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	7
2.1    Antecedentes del estudio de investigación.....	7
2.1.1    Investigaciones Nacionales. ....	9
2.1.2    Investigaciones Internacionales.....	11
2.2    Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.....	12
2.2.1    Estructuración y diseño.....	12
2.2.2    Análisis económico de una edificación.....	13
2.3    Estructura teórica y científica que sustenta el estudio. ....	14

2.3.1	Sistema de protección sísmica.....	14
2.3.2	Sistemas Pasivos.....	15
2.3.3	Sistema de aislamiento Sísmico.....	16
2.3.4	Normas Técnicas para el análisis y diseño.....	17
2.3.5	Aisladores Sísmicos.....	19
2.3.6	Aisladores Elastoméricos.....	21
2.3.7	Aisladores de Péndulo Friccional.....	24
2.3.8	Consideraciones generales para el diseño.....	27
2.3.9	Selección del procedimiento de Análisis para estructuras aisladas.....	29
2.4	Definición de términos básicos.....	31
2.5	Hipótesis.....	33
2.5.1	Hipótesis general.....	33
2.5.2	Hipótesis específicas.....	33
2.6	Variables.....	33
2.6.1	Definición conceptual de las variables.....	33
2.6.2	Operacionalización de las variables.....	34
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN.....		35
3.1	Tipo, Método y Nivel.....	35
3.1.1	Tipo.....	35
3.1.2	Método.....	35
3.1.3	Nivel.....	35
3.2	Diseño de investigación.....	35
3.3	Población, Diseño Muestral y Muestra.....	36
3.3.1	Población.....	36
3.3.2	Diseño Muestral.....	36

3.3.3	Muestra.....	36
3.4	Técnicas e instrumentos de recolección de datos.....	36
3.4.1	Tipos de técnicas e instrumentos.....	36
3.4.2	Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.....	37
3.4.3	Procedimientos para la recolección de datos.....	37
3.5	Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.....	37
<b>CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PABELLÓN B CON LOS SISTEMAS EN ESTUDIO .....</b>		<b>39</b>
4.1	Descripción de la Edificación.....	39
4.1.1	Especificaciones – Materiales Empleados.....	39
4.1.2	Estados de Carga.....	41
4.1.3	Diseño en Concreto Armado.....	42
4.1.4	Pre-dimensionamiento.....	43
4.1.5	Pre-dimensionamiento de Vigas Peraltadas.....	43
4.1.6	Pre-dimensionamiento de Losas.....	44
4.1.7	Pre-dimensionamiento de columnas.....	46
4.2	Análisis Sísmico.....	47
4.2.1	Modelo Estructural.....	47
4.2.2	Estimación del Peso(P).....	49
4.2.3	Modos de Vibración.....	50
4.2.4	Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes.....	53
4.2.5	Factores de Irregularidad ( $I_a$ , $I_p$ ).....	54
4.3	Análisis Sísmico del Sistema Aporticado.....	58
4.3.1	Modelo Estructural.....	58
4.3.2	Estimación de Peso(P).....	59

4.3.3	Modos de Vibración.....	60
4.3.4	Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes .....	63
4.3.5	Análisis Dinámico Modal Espectral. ....	63
4.3.6	Factores de Irregularidad (Ia, Ip).....	65
4.3.7	Requisitos del Sistema Aporticado Según NTE.030 Diseño Sismorresistente.....	67
4.4	Análisis Sísmico con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo. ....	69
4.4.1	Características del Sistema Aislado.....	71
4.4.2	Combinación de cargas .....	72
4.4.3	Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes .....	72
4.4.4	Análisis Dinámico Modal Espectral .....	75
4.4.5	Análisis Tiempo – Historia .....	79
CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS. ....		86
5.1	Comparación técnica. ....	86
5.1.1	Modos de Vibración.....	86
5.1.2	Derivas de Entrepiso. ....	86
5.1.3	Fuerza Cortante.....	87
5.1.4	Aceleración de Entrepiso. ....	88
5.2	Comparación Económica. ....	88
5.2.1	Costo del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo .....	88
5.2.2	Transporte e instalación de Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo. ....	92
5.2.3	Costo de la implementación del Sistema con Aisladores LRB .....	92
5.2.4	Costo y beneficio de la implementación del sistema aislamiento .....	93
5.3	Contrastación de Hipótesis.....	94
5.3.1	Hipótesis General:.....	94

5.3.2	Hipótesis Específica 1:.....	94
5.3.3	Hipótesis Específica 2:.....	95
5.3.4	Hipótesis Específica 3:.....	95
5.3.5	Hipótesis Específica 4:.....	95
	CONCLUSIONES .....	96
	RECOMENDACIONES. ....	97
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	98
	ANEXOS 101	
	ANEXO 1: Cronograma de Actividades. ....	101
	ANEXO 2: Presupuesto.....	102
	ANEXO 3: Matriz de Consistencia. ....	103
	ANEXO 4: Matriz de Operacionalización.....	104
	ANEXO 5: Tabla de daños en personas y viviendas (INDECI 2019) .....	105
	ANEXO 6: Zonificación Primer Nivel. ....	106
	ANEXO 7: Zonificación de Segundo Nivel. ....	107
	ANEXO 8: Zonificación del Tercer Nivel.....	108
	ANEXO 9: Zonificación Cuarto Nivel. ....	109
	ANEXO 10: Zonificación del Quinto Nivel .....	110
	ANEXO 11: Diseño del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo .....	111

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b>	Hospitales Nivel 2 y 3 Requeridos para Cierre de Brecha Hospitalaria.....	3
<b>Tabla 2</b>	Sobrecargas Sometidas a la Estructura.....	42
<b>Tabla 3</b>	Combinaciones de Carga .....	42
<b>Tabla 4</b>	Factores de Reducción.....	43
<b>Tabla 5</b>	Pre-dimensionamiento de Viga. ....	44
<b>Tabla 6</b>	Verificación de Peralte de Deflexiones. ....	44
<b>Tabla 7</b>	Pre-dimensionamiento de Columnas.....	46
<b>Tabla 8</b>	Distribución de Peso Sísmico por Nivel. ....	50
<b>Tabla 9</b>	Modos de Vibración y Masa Participante.....	50
<b>Tabla 10</b>	Calculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 01(Eje XX). .....	51
<b>Tabla 11</b>	Cálculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 02(Eje YY). .....	52
<b>Tabla 12</b>	Comparación de Periodos Fundamentales de Vibración. ....	52
<b>Tabla 13</b>	Parámetros Sísmicos del Predimensionamiento.....	53
<b>Tabla 14</b>	Fuerza Sísmica Distribuida por Piso Eje X. ....	54
<b>Tabla 15</b>	Fuerza Sísmica Distribuida por piso Eje Y.....	54
<b>Tabla 16</b>	Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje X. ....	55
<b>Tabla 17</b>	Evaluación de Irregularidades de Rigidez en el Eje Y. ....	55
<b>Tabla 18</b>	Irregularidad de Resistencia.....	55
<b>Tabla 19</b>	Evaluación de Irregularidad por Masa.....	56
<b>Tabla 20</b>	Evaluación de Irregularidad por Geometría Vertical. ....	56
<b>Tabla 21</b>	Evaluación de Irregularidad Torsional Eje X. ....	57
<b>Tabla 22</b>	Evaluación de Irregularidad Torsional Eje Y. ....	57
<b>Tabla 23</b>	Evaluación de Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma. ....	57
<b>Tabla 24</b>	Factor de Irregularidad del Pabellón B.....	58
<b>Tabla 25</b>	Elementos Estructurales del Sistema Aporticado.....	59
<b>Tabla 26</b>	Distribución de Peso Sísmico por Nivel para el Sistema Aporticado. ....	60
<b>Tabla 27</b>	Modos de Vibración y Masa Participante.....	60

<b>Tabla 28</b> Cálculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 01(Eje XX).	61
.....	61
<b>Tabla 29</b> Calculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 02(Eje YY).	61
.....	61
<b>Tabla 30</b> Comparación de Periodos Fundamentales de Vibración. ....	62
<b>Tabla 31</b> Parámetros Sísmicos Modelo Sistema Aporticado. ....	62
<b>Tabla 32</b> Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje X. ....	65
<b>Tabla 33</b> Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje Y. ....	65
<b>Tabla 34</b> Irregularidad de Resistencia. ....	66
<b>Tabla 35</b> Evaluación de Irregularidad de Masa. ....	66
<b>Tabla 36</b> Evaluación de Irregularidad Torsional Eje X. ....	66
<b>Tabla 37</b> Evaluación de Irregularidad Torsional Eje Y. ....	67
<b>Tabla 38</b> Factores de Irregularidad del Pabellón B. ....	67
<b>Tabla 39</b> Evaluación de Fuerza Cortante Mínima en el Primer Entrepiso. ....	68
<b>Tabla 40</b> Evaluación del Sistema Estructural Aporticado. ....	68
<b>Tabla 41</b> Evaluación de la Distorsión Eje X. ....	69
<b>Tabla 42</b> Evaluación de la Distorsión Eje Y. ....	69
<b>Tabla 43</b> Parámetros de Diseño del Aislador ....	73
<b>Tabla 44</b> Modos de Vibración de Base Aislada ....	78
<b>Tabla 45</b> Fuerza Cortantes Análisis Modal Espectral. ....	78
<b>Tabla 46</b> Desplazamiento Traslacional y Total Máximo. ....	79
<b>Tabla 47</b> Derivas de Entrepiso del Análisis Dinámico Modal Espectral. ....	79
<b>Tabla 48</b> Registros Sísmicos para Análisis Tiempo-Historia. ....	79
<b>Tabla 49</b> Desplazamiento Traslacional y Total Máximo Tiempo - Historia. ....	83
<b>Tabla 50</b> Derivas de Entrepiso del Análisis Tiempo – Historia ....	83
<b>Tabla 51</b> Fuerzas Cortantes en Tiempo – Historia ....	83
<b>Tabla 52</b> Propiedades Lineales del Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo... ..	84
<b>Tabla 53</b> Propiedades No Lineales del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo	84
.....	84
<b>Tabla 54</b> Modos de Vibración. ....	86
<b>Tabla 55</b> Derivas de entrepiso de ambos sistemas. ....	86

<b>Tabla 56</b> Fuerza Cortante de Sistema Aporticado y Aislamiento en Base. ....	87
<b>Tabla 57</b> Edificación Muestra 01.....	89
<b>Tabla 58</b> Precio de Aislador Elastomérico Muestra 01.....	89
<b>Tabla 59</b> Edificación Muestra 02.....	90
<b>Tabla 60</b> Precio de Aislador Elastomérico Muestra 02.....	90
<b>Tabla 61</b> Edificación Muestra 03.....	91
<b>Tabla 62</b> Precio de Aislador Elastomérico Muestra 03.....	91
<b>Tabla 63</b> Precio Promedio de las Muestras Analizadas. ....	91
<b>Tabla 64</b> Precio Estimado del Sistema con Aisladores LRB. ....	92
<b>Tabla 65</b> Precio de Transporte e Instalación de Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo .....	92
<b>Tabla 66</b> Precio de Suministro e Instalación de los Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo .....	93
<b>Tabla 67</b> Presupuesto de Obra del Pabellón e Implementación del Sistema con Aisladores LRB.....	93
<b>Tabla 68</b> Inversión en la Construcción de un Hospital Típico. ....	93

## ÍNDICE DE FIGURA

<b>Figura 1</b> Delimitación del Terreno del Establecimiento de Salud.....	5
<b>Figura 2</b> Inversiones Típicas en la Construcción de Edificios. ....	14
<b>Figura 3</b> Clasificación de los Sistemas Modernos de Protección Sísmica.....	15
<b>Figura 4</b> Esquema de Mecanismo de Operación de Sistemas Pasivos. ....	16
<b>Figura 5</b> Partes del Sistema de Aislación.....	16
<b>Figura 6</b> Distribución de Aisladores Sísmicos. ....	17
<b>Figura 7</b> Edificio con Base Aislada y Base Fija. ....	20
<b>Figura 8</b> Funciones del Aislamiento Sísmico.....	20
<b>Figura 9</b> Aisladores Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento (LDR).....	22
<b>Figura 10</b> Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento. ....	23
<b>Figura 11</b> Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo.....	24
<b>Figura 12</b> Partes del Aislador Péndulo Simple de Fricción. ....	25
<b>Figura 13</b> Corte y Elevación de Péndulo de Fricción Doble.....	26
<b>Figura 14</b> Corte y Elevación de Péndulo Triple Fricción. ....	27
<b>Figura 15</b> Representación de Estructura con Aislación en la Base .....	28
<b>Figura 16</b> Definición de Propiedades de Concreto. ....	40
<b>Figura 17</b> Definición de propiedades de Acero.....	41
<b>Figura 18</b> Losas Macizas del Pabellón B. ....	45
<b>Figura 19</b> Modelo Estructural del Pre-dimensionamiento. ....	47
<b>Figura 20</b> Mapa de Zonificación Sísmica. ....	48
<b>Figura 21</b> Modelo Estructural Sistema Aporticado. ....	59
<b>Figura 22</b> Espectro de Pseudo Aceleraciones Horizontal. ....	64
<b>Figura 23</b> Espectro de Pseudo Aceleraciones Vertical .....	64
<b>Figura 24</b> Sistema con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo .....	70
<b>Figura 25</b> Elevación de Pabellón B con Sistema de Aisladores.....	71
<b>Figura 26</b> Distribución de Aisladores Sísmicos en Pabellón B.....	72
<b>Figura 27</b> Definición para el Análisis Modal Espectral.....	76
<b>Figura 28</b> Espectro de Pseudo Aceleraciones para el Sismo Máximo Considero...	77
<b>Figura 29</b> Casos de Análisis Establecidos por la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico .....	80

<b>Figura 30</b> Escalamiento del Sismo de Junín 2017 .....	81
<b>Figura 31</b> Aceleración Original y Ajustada Tiempo – Historia, Junín 2017 Sentido Este - Oeste .....	82
<b>Figura 32</b> Aceleración Original y Ajustada Tiempo – Historia, Junín 2017 Sentido Norte -Sur .....	82
<b>Figura 33</b> Energía en la Edificación Debido al Sismo de Junín 2017 Sentido NS..	85
<b>Figura 34</b> Energía en la Edificación Debido al Sismo de Junín 2017 Sentido EO.	85
<b>Figura 35</b> Deriva de Entrepisos. ....	87
<b>Figura 36</b> Aceleración de Entrepiso entre El Sistema Aporticado y Sistema Aislado LRB .....	88

## RESUMEN

El presente estudio se expuso los beneficios técnicos y económicos del sistema de aislamiento sísmico con el aislador elastomérico de núcleo de plomo en la ciudad de Chupaca, con resultados destacables mostrando los beneficios que respaldan su uso en el Pabellón B de un establecimiento de salud.

Para el análisis técnico de la edificación se usó normativas nacionales e internacionales de ser necesario. Esto contempla para un sistema aporticado en base fija y un sistema aislado con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, comparando así los modos de vibración y desplazamientos máximos de la superestructura, donde se logró obtener un periodo 3 veces el valor del periodo en base fija que es de 0.907s, reduciendo así la fuerza cortante de la superestructura en un 18%, la energía absorbida por el sistema de aislamiento sísmico que equivale a un 97% de la demanda sísmica y la reducción de los desplazamientos hasta en un 76%, esto se debe gracias a la interfaz de aislamiento entre la superestructura y la subestructura.

Para el análisis económico se estima el suministro e instalación de dicho aislador elastomérico con nucleó de plomo, evaluando que se eleva el presupuesto de obra en un 9.18%, sin embargo, se evalúa también el riesgo del costo en la inversión de la edificación para su funcionalidad continua.

Por lo tanto, se logró demostrar mediante la comparación técnica y económica que el sistema aislado resulta ser más favorable presentando así la viabilidad del proyecto y beneficios a futuros eventos sísmicos.

Para finalizar, la presente investigación servirá de aporte en futuros diseños o estudios con el sistema aislado, siendo así una alternativa principal para reducir daños en las estructuras y sus contenidos.

**Palabras clave:** Aporticado, Aislador elastomérico, Núcleo de plomo, Sistema aislado, interfaz de aislamiento, costo y beneficio.

## ABSTRACT

This study exposed the technical and economic benefits of the seismic isolation system with the lead-core elastomeric isolator in the city of Chupaca, with remarkable results showing the benefits that support its use in Pavilion B of a health facility.

For the technical analysis of the building, national and international regulations were used if necessary. This contemplates for a system provided on a fixed base and an isolated system with elastomeric insulators with lead core, thus comparing the modes of vibration and maximum displacements of the superstructure, where it was possible to obtain a period 3 times the value of the period on a fixed base that is 0.907s, thus reducing the shear force of the superstructure by 18%, the energy absorbed by the seismic isolation system which is equivalent to 97% of the seismic demand and the reduction of displacements up to 76%, this is due to the isolation interface between the superstructure and the substructure.

For the economic analysis, the supply and installation of said elastomeric insulator with lead core is estimated, evaluating that the work budget increases by 9.18%, however, the cost risk in the investment of the building for its continuous functionality.

Therefore, it was possible to demonstrate through technical and economic comparison that the isolated system turns out to be more favorable, thus presenting the viability of the project and benefits to future seismic events.

To conclude, this research will serve as a contribution in future designs or studies with the isolated system, thus being a main alternative to reduce damage to structures and their contents.

**Keywords:** Cast, Elastomeric Insulator, Lead Core, Insulated System, Insulation Interface, Cost and Benefit.

## INTRODUCCIÓN

La actividad sísmica a lo largo de la zona oeste del continente sudamericano son eventos naturales que generan grandes daños a las edificaciones, que a su vez causan pérdidas humanas y económicas, dependiendo tanto de la magnitud, ubicación, epicentro, tiempo de duración del evento, condiciones geológicas locales, vulnerabilidad de las edificaciones y otros factores.

El Perú es uno de los países suramericanos con gran actividad sísmica, sobre todo en su zona costera que limita con el océano pacífico, todo esto debido a su ubicación geográfica que está situado entre las placas de Nazca y la placa Sudamericana, de acuerdo a estos antecedentes sobre la actividad sísmica en Perú, la población deben tomar conciencia a que especialistas recurren al momento de diseñar y ejecutar los proyectos, todo diseño debe contemplar la funcionalidad antes, durante y después de un evento sísmico, brindando seguridad y salvaguardo pérdidas humanas y económicas.

En la actualidad, la ingeniería ha ido evolucionando para un mejor funcionamiento de la infraestructura con la creación de sistemas y mecanismos tecnológicos como son los dispositivos de protección sísmica entre ellos los aisladores sísmicos y disipadores, entre otras alternativas, lo cual son de gran aporte a las obras civiles debido a que ayudan a salvaguardar la estructura ante un evento sísmico reduciendo las derivas y aceleraciones de entrepiso en la superestructura, y sobretodo evitando pérdidas humanas y económicas. La presente tesis consta de cinco capítulos, el capítulo I consta del planteamiento del problema y contiene problema general y específico, objetivo general y específico, delimitación del problema y la justificación e importancia de la investigación; el capítulo II consta del marco Teórico, donde se describe los antecedentes y las bases teóricas de la investigación, definición de términos básicos; el sistema de Hipótesis y contiene hipótesis principal y secundaria, definición de variables; el capítulo III consta de Metodología de la investigación, el cual incluye tipo, nivel, diseño, población y muestra de la investigación, técnicas e instrumentos para recolección de datos y análisis de la información; el capítulo IV consta del Análisis y Cálculo Estructural del Pabellón B con los Sistemas en Estudio que son el sistema aperturado y el sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y para finalizar el capítulo V que consta de los Análisis de los Resultados, en las comparaciones técnicas y económicas para los sistemas en estudio.

## **CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA.**

### **1.1 Formulación y delimitación del problema general y específico.**

El Perú a nivel mundial es un país altamente sísmico, perteneciente al denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, en este contexto se encuentra en la zona occidental de América del Sur, en la cual existe un proceso de convección de manto entre la placa de Nazca y la Sudamericana, estas convergen y desarrollan el proceso de subducción, ocurriendo una geodinámica activa en el País de importante actividad sísmica, volcánica y efectos asociados.

Por lo cual, según el último simulacro de sismo seguido de un tsunami del 05 de noviembre del 2019, con magnitud del sismo de 8.5(Mw), realizado por el Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), que tiene como referencia de epicentro en el km52 al Oeste-SO de Ancón, Lima – Lima, proyecta los siguientes resultados a nivel nacional: cerca de 84000 fallecidos, 786331 de heridos, 691863 viviendas y locales públicos colapsados, revisar Anexo 5(“Tabla de daños en personas y viviendas”). De presentarse el evento se necesitará una alta demanda de hospitales de atención.

El departamento de Junín arrastra un silencio sísmico desde el año 1969, esto significa una acumulación importante de energía sobre la zona de Junín, la cual puede ser liberada en cualquier instante provocando un sismo de magnitud considerable.

Debido a estos datos estadísticos y geológicos, se manifiesta la importancia de salvaguardar las edificaciones como son los hospitales y otros organismos públicos o privados, asegurando la funcionalidad de la estructura durante y después de los eventos sísmicos, esto se logra mediante la aplicación correcta de sistemas de protección sísmica.

De acuerdo con el diagnóstico de brechas de infraestructura o acceso a servicios en el sector salud elaborado por el Ministerio de Salud (MINSA) indica que el Perú requiere la construcción de 170 establecimientos de salud del segundo y tercer nivel promedio anualmente, durante 4 años, para reducir la brecha en infraestructura hospitalaria de ese nivel. Ver Tabla 1, esto sumado a la última actualización de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2018) en la cual obliga el uso de aisladores sísmicos en edificaciones esenciales como son los establecimientos de salud de segundo y tercer nivel según lo normado por el Ministerio de Salud (MINSA), en zonas sísmicas 3 y 4, y opcional en las zonas sísmicas 1 y 2(p,17).

**Tabla 1**

Hospitales Nivel 2 y 3 Requeridos para Cierre de Brecha Hospitalaria.

Variable	Año 0 (2020)	Año 1 (2021)	Año 2 (2022)	Año 3 (2023)
Porcentaje de Hospitales requeridos.	56.21%	55.02%	54.17%	53.65%
Hospitales requeridos.	172	170	169	169
Cantidad óptima de Hospitales.	303	303	303	303

Nota: Hospitales promedios requeridos= 170, La tabla muestra el requerimiento de Hospitales necesarios de segundo y tercer nivel en los próximos 3 años para cerrar la brecha existente de infraestructura hospitalaria, Fuente "Diagnostico Brechas Infraestructura Sector Salud. (MINSA)"

Debido a ello surge la necesidad de proteger los establecimientos de salud mencionados anteriormente en zonas sísmicas 3 y 4, con un sistema protección de aisladores sísmicos; que en la presente investigación se desarrolla con los aisladores elastoméricos de núcleo de plomo; en el cual se va a responder las siguientes preguntas: ¿Cuál es la importancia de usar aisladores en las bases de las edificaciones?, ¿Qué procedimiento se usara para el diseño de los aisladores elastoméricos de núcleo de plomo? ¿Si el aislador elastomérico de núcleo de plomo tiene mejor comportamiento que una estructura con el sistema aporticado? y, ¿Cuál es el costo económico de dichos aisladores para su implementación y cuál es su incidencia en el presupuesto?

#### 1.1.1 Problema general.

¿Cómo serán los resultados del análisis comparativo entre los sistemas aporticados y el aislador elastomérico con núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?

#### 1.1.2 Problemas específicos.

- a) ¿Cuál es la respuesta sísmica de un sistema aporticado y un sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo para el Pabellón B del Establecimiento de Salud, bajo las mismas condiciones?
- b) ¿Qué sistema es más óptimo como alternativa en costo y beneficio, para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?
- c) ¿Qué procedimiento se aplicará para el diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo, para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?

- d) ¿Cómo se realizará el modelo numérico del Pabellón B de un Establecimiento de Salud, con el sistema aporticado y el sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo?

## 1.2 Objetivos.

### 1.2.1 Objetivo general.

Realizar el análisis comparativo entre los sistemas aporticados y el aislador elastomérico con núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

### 1.2.2 Objetivo Específico.

- a) Determinar la respuesta sísmica de un sistema aporticado y un sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud, bajo las mismas condiciones.
- b) Identificar qué sistema es más óptimo como alternativa en costo y beneficio del Pabellón B de un Establecimiento de Salud.
- c) Describir el diseño del aislador elastomérico núcleo de plomo, bajo el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- d) Realizar el modelo numérico con el programa ETABS V.2016.2.1, del Pabellón B de un Establecimiento de Salud con el sistema aporticado y el sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo.

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

### 1.3.1 Delimitación Espacial.

- Coordenadas: 12°03'39.3"S 75°17'31.1"W.
- Dirección: Jr. Rufino Echenique N°560 – 690.
- Distrito: Chupaca.
- Provincia: Chupaca.
- Departamento: Junín.

## Figura 1

Delimitación del Terreno del Establecimiento de Salud.



Nota: El terreno se encuentra a 0.50Km de la Plaza Principal de Chupaca, Fuente Google Earth.

### 1.3.2 Delimitación Temporal.

La delimitación temporal se efectuará como base de estudio el periodo que comprende entre los meses de julio a diciembre del año 2020.

### 1.3.3 Delimitación Temática.

La delimitación temática se representará del análisis comparativo técnico y económico, de un sistema aporticado y un sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, del Pabellón B de un establecimiento de salud ubicado Jr. Rufino Echenique N° 590 – 690, en el distrito y provincia de Chupaca del departamento de Junín.

El estudio está realizado bajo una edificación con un sistema de vigas y columnas de concreto armado, que será de uso hospitalario con una categorización de segundo nivel según el Ministerio de Salud y desde el enfoque técnico pertenece a una edificación tipo A1 según la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, y contempla el sistema estructural aporticado en concreto armado.

El presente estudio se regirá a normativas locales e internacionales de ser necesarios, como también a información nacional e internacional para obtener una mejor respuesta al estudio.

Para el sistema aporticado se usará las Normas Técnicas E.030(Diseño Sismorresistente), E.020 (Cargas), E.050(Suelos y Cimentaciones), E0.60 (Concreto Armado), y para el sistema de aislamiento sísmico se sumará a lo mencionado la Normas Técnica E.031(Aislamiento Sísmico).

#### 1.4 Justificación e importancia.

Desde lo técnico se justifica la realización del estudio debido a que el Pabellón B pertenece a un establecimiento de salud nivel 02 y se encuentra en zona sísmica 3 por ende requiere la implementación del sistema con aislamiento en base, con ello se obtendrá los resultados de la implementación de dicho sistema como es la menor demanda sísmica a la superestructura, menores distorsiones y aceleraciones de entrepiso,

Desde lo económico se analizará la incidencia de la implementación del sistema en el presupuesto y se evaluará el costo de la implementación de ello.

Desde lo social el Pabellón B se ubica en una zona geográfica con un silencio sísmico considerable desde el mediados del siglo pasado, por tal motivo surge la necesidad de salvaguardar la estructura, lo no estructural y el contenido ante una actividad sísmica sumado a ello la funcionalidad continua antes, durante y después del evento sísmico en el Pabellón B ya que se está estudiando un Establecimiento de Salud de nivel 2.

Por lo descrito se justifica lo necesario para el estudio; en implementar el sistema de aislamiento en la base en el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

El estudio presente es viable ya que cuenta con el expediente del proyecto, además de tener acceso a programas para la elaboración de la comparación del estudio.

## CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.

### 2.1 Antecedentes del estudio de investigación.

Los aisladores sísmicos en conjunto se presentan como sistema de protección sísmica ante los efectos de un eventual terremoto, aislando la superestructura de la subestructura, pero esta tecnología tiene su desarrollo a lo largo de la historia.

Pirámide de Caral en el año 3000-1500 A.C., los antiguos constructores especialmente de la costa peruana donde existe actividad sísmica para poder salvaguardar sus construcciones y evitar pérdidas humanas y materiales, usaron una técnica sismo-resistente que consta de bolsas con fibra vegetal y drizas, rellenas con bloques de piedras, llamada Shicras que eran usadas como una base de cimentación para las construcciones de dicha pirámide y construcción, actualmente el Ministerio de Vivienda espera incluir esta técnica como una opción en la norma de construcción de adobe.

Partenón en el año 440 A.C., en la cual las columnas podían desplazarse verticalmente para permitir una rotación en su base y poder disipar energía mediante la fricción y deformación inelástica de un elemento de plomo que se incorporó como protección de los elementos de madera. (Aguiar R., Almazán J., Dechent P., & Suárez V., 2008).

Ornetash, es un pilar que fue construido en el año 4 D.C. El pilar está labrado en seco mide en 32 metros de altura, cuya base es de mármol esta sobre tres capas de piedras ortostato.

El coliseo Romano, cuyas obras empezaron entre el 70 D.C. y el 72 D.C. y se completó en el 80 D.C., tiene una capa conformado por arcilla, piedras medianas y de piedras pequeñas.

En la época moderna se implementó por primera vez un sistema de aislamiento en edificaciones, en la Escuela Heinrich Pestalozzi, en Skopje, actual Macedonia, en 1969, mediante un método suizo denominado “Aislamiento total de la base en tres direcciones” utilizando vigas de caucho natural sin reforzar. El edificio cuenta con 54 aisladores de goma natural, de 70x70 cm, 20 cm de alto.

Los aisladores sísmicos fueron desarrollados como tecnología e innovación ante los eventos sísmicos en Nueva Zelanda por el Doctor Bill Robinson inventor del aislador sísmico elastomérico con núcleo de plomo (LRB) en el año 1974.

El 1981 en Nueva Zelanda se construyó el primer edificio diseñado con el sistema de aisladores elastoméricos de núcleo de plomo (LRB).

En Estados Unidos en 1986 tiene la SEAOC (Structural Engineers Association of California) presento “Tentative Seismic Isolation Design Requirement”, en el cual el tema principal era el diseño de sistemas de aislación sísmica con métodos estáticos.

En 1995 el FEMA (Federal Emergency Management Agency) establece los requerimientos para el uso del sistema de aislación sísmica y disipación de energía en el diseño de las estructuras.

En el caso de Latinoamérica, Chile es uno de los países con mayor desarrollo en la normativa e ingeniería sísmica, con su normativa NCh2745 del año 2003 incluye los dispositivos de protección sísmica tomando datos del FEMA274(1997) y posteriormente iba actualizando su normativa según la toma de datos y sucesos que lograron obtener de los acontecimientos sísmicos sucedían.

En el ámbito nacional a partir del año 2019 el Reglamento Nacional de Edificaciones ha implementado la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, donde se establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como los ensayos necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos. (p.3)

Sin embargo, en el Perú su aplicación se viene dando desde el 2011, apoyándose en normativas internacionales como son la ASCE 7-10 y su última versión ASCE 7-16.

La implementación de los aisladores sísmicos como sistema de protección sísmica en centros hospitalarios se dio desde el 2014.

En el Hospital Regional de Moquegua en el año 2014. En el cual se contempló 216 dispositivos entre Elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores.

El Hospital de Yurimaguas Santa German en Amazonas en el año 2014. En el cual existen 7 bloques aislados, que contemplan 171 dispositivos entre Elastoméricos y deslizadores.

En Cerro de Pasco en el Hospital Regional Daniel Alcides Carrión en el año 2015. En el cual existen 9 bloques aislados, que contempla 186 dispositivos entre Elastoméricos y deslizadores.

En San Martín en el Hospital de Bella Vista en el año 2016. En el cual se contempla 216 dispositivos entre Elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores.

En Lima el Hospital de la Policía Nacional del Perú en el año 2017. En el cual se contempla 213 dispositivos entre elastoméricos y deslizadores.

En el Perú la primera experiencia en diseño y aplicación de los aisladores sísmicos se dio en el año 2011 en la biblioteca de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), que contempla 20 dispositivos entre elastoméricos de núcleo de plomo y deslizadores.

La Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas (UPC) en el año 2012 en su Biblioteca Campus Villa en Chorrillos, el cual contempló 26 dispositivos elastoméricos y 15 deslizadores.

La Universidad de Ingeniería y Tecnología (UTEC) en el año 2013 en el cual se contempló 145 dispositivos entre elastoméricos con núcleo de plomo y deslizadores.

#### 2.1.1 Investigaciones Nacionales.

Para la presente investigación se tomará como referencias en investigación lo siguiente:

Villagómez, D. (2015) *Lineamientos para el Análisis y Diseño de Edificaciones Sísmicamente Aisladas en el Perú*. (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

La investigación citada tiene como objetivo contribuir al desarrollo de una normativa que regule el diseño de edificios con aisladores en el Perú, pues no se contaba con una normativa aprobada por parte de nuestro país; por tal razón se elaboró un documento que, de lineamientos para el análisis y diseño de los sistemas de aislamiento, tomando las reglas de tres normas internacionales como son ASCE7, FEMA 356 y NCh2745. Desarrollando un ejemplo práctico con dichos lineamientos. (p. 7)

Janampa, B.B (2018) *Diseño del Sistema de Aislamiento Sísmico de un Edificio Hospitalario Usando dispositivos HDR*. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

En la investigación se propone un procedimiento general de diseño de un edificio hospitalario representativo en base a requerimientos de diseño propuesto por código internacionales. El proyecto comienza con el pre-dimensionamiento del sistema de aislamiento empleando un modelo de un

grado de libertad, luego se aplicó un proceso iterativo de análisis lineal espectral para el diseño preliminar donde se modificó las propiedades de la estructura y del sistema de aislamiento hasta que se cumpla el diseño propuesto. Para el diseño definitivo de la estructura se siguió otro proceso iterativo usando el análisis tiempo historia no lineal, considerando las variabilidades de los dispositivos. Finalmente se realiza el diseño de un elemento no estructural bajo espectros que muestran el efecto armónico que reciben los elementos no estructurales en su base. (p.7)

Zanelli, C.T, Paredes, P.M(2018) *Diseño Estructural de un Pabellón de Hospital con Aisladores Sísmicos*. (Tesis de Titulación). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

La investigación tiene como objetivo elaborar el diseño estructural de un pabellón de hospital de cuatro pisos con aisladores sísmicos, el cual tiene tres objetivos específicos: diseñar las propiedades de los dispositivos en el sistema de aislamiento, evaluar la respuesta del edificio ante un sismo extremo y desarrollar el diseño en concreto armado de los elementos estructurales; en segundo lugar se inició el diseño del edificio de base aislada, y en tercer lugar se pre diseñaron las propiedades de los dispositivos del sistema de aislamiento con un análisis lineal espectral. El diseño definitivo de las propiedades de los dispositivos se realizó a través de un análisis dinámico no lineal tiempo historia y por último se desarrolló el diseño en concreto armado de los elementos estructurales. Teniendo como resultado que el edificio tendría daño leve en los elementos estructurales y no estructurales luego del sismo extremo. (p.2)

Y. Cáceres, C. Aquino (2017) *Aislamiento sísmico de un Edificio de un Hospital de 04 pisos en la Región Arequipa* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de San Agustín].

En la Investigación se logra desarrollar un análisis y diseño Sismorresistente de una estructura hospitalaria de planta irregular que tiene cuatro pisos, dicha estructura se encuentra ubicada en el distrito la Joya, ubicado en el Departamento de Arequipa. Finalmente, Cango llegó a la conclusión que efectivamente los aisladores de tripe péndulo de fricción logran reducir la demanda sísmica de la edificación, con lo cual se da la posibilidad de diseño estructuras elásticas que no requieren incursionar en el rango inelástico,

protegiendo de esta manera la integridad de la estructura y de sus ocupantes, también se aplicó un análisis dinámico modal espectral según la norma UBC97. Finalmente, en la investigación se logra un análisis comparativo entre estructuras de base fija con estructuras de base aislada en cual se puede llegar a la conclusión que la estructura con un sistema aislado tiene una mayor ventaja en el comportamiento estructural ante un evento sísmico. (p.3)

#### 2.1.2 Investigaciones Internacionales.

Genatios, C., Lafuente, M. (2016) *Introducción al uso de aisladores y disipadores en Estructuras*. CAF – Banco de Desarrollo de América Latina. En la siguiente Investigación nos muestra como principal objetivo la exigencia de garantizar la funcionalidad de las estructuras después de terremotos severos con el uso de dispositivos de control como lo son los Aisladores Sísmicos y disipadores de Energía, los cuales son efectivos para estructuras nuevas y como de rehabilitación y reparación de estructuras existentes, es por este motivo y por el gran potencial que han demostrado ser una alternativa confiable y efectiva a considerar en diferentes proyectos de edificaciones ya que reducen los daños y pueden lograr a salvaguardar las pérdidas humanas y económicas.

Por ello incluyen aspectos como la clasificación de los principales sistemas y dispositivos de control de respuestas dinámicas existentes, funcionamiento, procedimiento de diseño y las consideraciones económicas asociadas al uso de los sistemas de control de respuesta a utilizar. (p.7)

Cango, A. (2018) *Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT* [Tesis de Titulación, Universidad de Cuenca].

En la siguiente Investigación, nos presenta a manera de guía los procedimientos de análisis y diseño de un sistema de aislación para una edificación de 6 pisos usando aisladores de triple péndulo de fricción bajo el enfoque de la normativa americana ASCE7-16. En el cual se basó su diseño usando un procedimiento de análisis paramétrico que tiene como objetivo relacionar las propiedades de los aisladores con sus respectivos parámetros de respuesta, lo cual realizó usando el Software OpenSees. Por otro lado, también realizó un análisis sísmico aplicando el método estático y dinámico no lineal, lo cual para este análisis utilizó el Software ETABS.

Finalmente, Cango llegó a la conclusión que efectivamente los aisladores de triple péndulo de fricción logran reducir la demanda sísmica de la edificación, con lo cual se da la posibilidad de diseño estructuras elásticas que no requieren incursionar en el rango inelástico, protegiendo de esta manera la integridad de la estructura y de sus ocupantes. (p.7)

Pérez Z., Vásquez O. (2016) *Diseño de aisladores sísmicos de base para edificio de oficina de 10 niveles con sistema estructural de pórticos rígidos de concreto reforzado*. [Tesis de Titulación, Universidad Centroamericana].

La investigación se enfoca en el diseño de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y péndulo friccionante, para un edificio de oficinas, ubicado en la ciudad de Managua, en el cual se logró un análisis comparativo de dicha estructura de base fija entre dos tipos de aisladores sísmicos en el cual se evaluó las propiedades dinámicas, periodo, aceleración, distorsión y cortante basal.

Finalmente, en la investigación se logró concluir que los aisladores sísmicos tienen mayor ventaja ante una estructura convencional en los distintos parámetros de comparación tanto estructural como beneficio económico.

## 2.2 Bases teóricas vinculadas a la variable o variables de estudio.

### 2.2.1 Estructuración y diseño.

Blanco A. (1994) menciona que:

Mientras más compleja es la estructura, más difícil resulta predecir su comportamiento sísmico. Por esta razón, es aconsejable que la estructuración sea lo más simple y limpia posible, de manera que la idealización necesaria para su análisis sísmico se acerque lo más posible a la estructura real. Debe además tratarse de evitarse que los elementos estructurales distorsionen la distribución de fuerzas considerada, pues se generan fuerzas en elementos que no fueron diseñadas para esas condiciones. (p. 5)

Bozzo L. (1996) menciona que:

El incremento del periodo fundamental de un edificio lejos del periodo predominante de un sismo no garantiza plenamente la protección de la estructura debido a una posible resonancia con otras frecuencias naturales más altas. Además, diversos terrenos no muestran un periodo predominante claramente definido y varios picos espectrales pueden inducir

amplificaciones dinámicas. Por estos motivos se necesitan elastómeros con alto amortiguamiento los cuales disipen energía. (p.8)

#### 2.2.2 Análisis económico de una edificación.

FEMA E-74 menciona que:

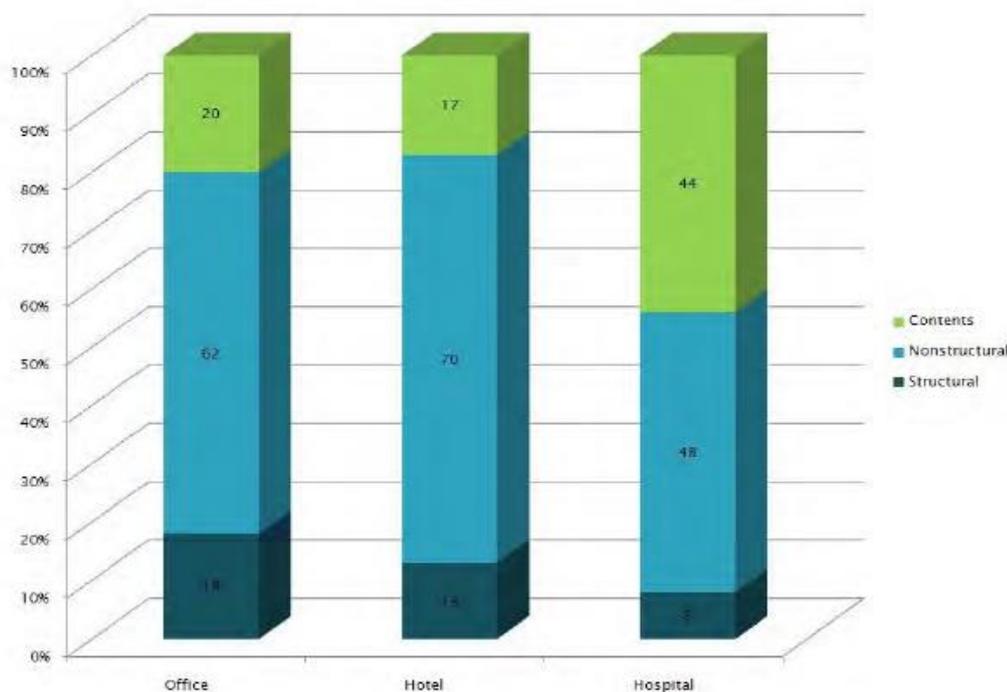
Durante el terremoto de Northridge de 1994, el daño no estructural provocó el cierre temporal, la evacuación o el traslado de pacientes en diez instalaciones hospitalarias esenciales. Estos hospitales generalmente sufrieron poco o ningún daño estructural, pero quedaron temporalmente inoperantes, principalmente debido a los daños causados por el agua. En la mayoría de estas instalaciones, las fugas de agua ocurrieron cuando se rompieron los rociadores contra incendios, el agua fría u otras tuberías. En algunos casos, el personal no estuvo disponible o no pudo cerrar el agua y el agua estuvo fluyendo durante muchas horas. En una instalación, se informó de agua de hasta 2 pies de profundidad, en algunos lugares del edificio como resultado de daños en el tanque de suministro de agua doméstico en el techo. En otra instalación, el generador de emergencia se desactivó cuando su línea de agua de enfriamiento se rompió donde cruzaba una junta de separación. Otros daños en estas instalaciones incluyeron vidrios rotos, artefactos de iluminación colgantes, daños en el contrapeso del ascensor y falta de energía de emergencia debido a fallas en los sistemas de distribución o control. (p.20)

FEMA E-74 menciona que:

En general, los componentes estructurales de un edificio hospitalario representan aproximadamente el 5-15% del costo de construcción original, mientras que los componentes no estructurales (mecánicos, eléctricos, de plomería y arquitectónicos) representan el 85-95% restante del costo, ver Figura 2. Los contenidos que pertenecen a los ocupantes del edificio, tales como tabiques móviles, mobiliario y equipos de oficina o médicos, representan un valor adicional significativo en riesgo. Cuando se comparan estos costos, queda claro que la mayor inversión de capital en la mayoría de los edificios hospitalarios está en los sistemas y contenidos no estructurales. (p. 5)

**Figura 2**

Inversiones Típicas en la Construcción de Edificios.



Nota: La figura nos muestra un gráfico en barras de diferentes tipos de edificaciones y sus Inversiones típicas en la construcción, FEMA E-74(2012).

Duarte T., Jiménez R. y Ruiz M. (2007) afirman que:

El análisis económico tiene como objetivo, determinar los beneficios y costos desde el punto de vista del país, la población y su impacto en la economía. La evaluación económica, se encamina en determinar el precio económico de los factores de producción, eliminando las distorsiones existentes en el mercado y la subvaloración o sobrevaloración de los bienes en los mercados tanto nacionales e internacionales. (p. 334)

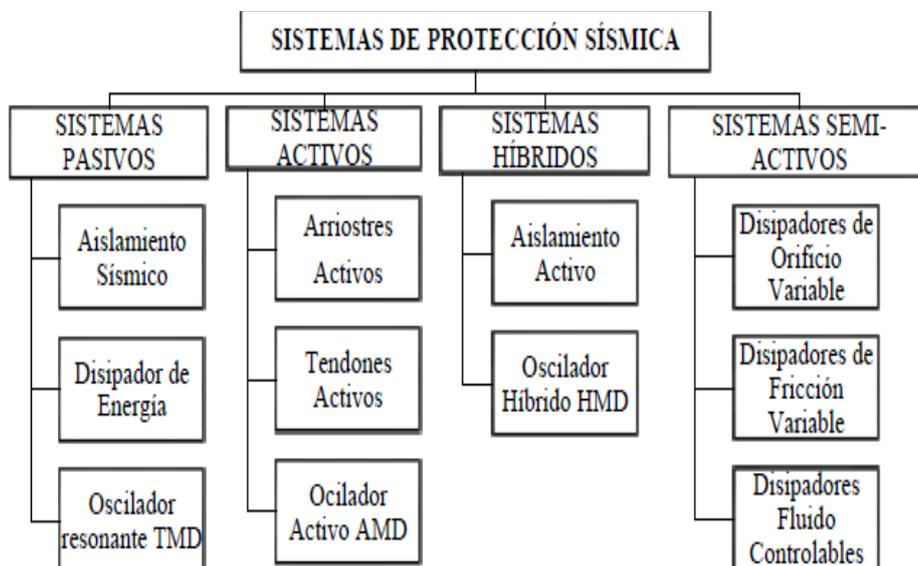
### 2.3 Estructura teórica y científica que sustenta el estudio.

#### 2.3.1 Sistema de protección sísmica.

Los sistemas de protección sísmica son un conjunto de dispositivos de protección sísmica que se clasifican en 4 categorías: sistemas pasivos, activos, híbridos y semiactivos, ver Figura 3, su función es reducir el daño estructural y del contenido que tenga dicha estructura en su interior.

**Figura 3**

Clasificación de los Sistemas Modernos de Protección Sísmica.



Nota: La siguiente figura nos muestra los diferentes tipos y clasificaciones de sistemas existentes de protección sísmica, Fuente Taboada (2012).

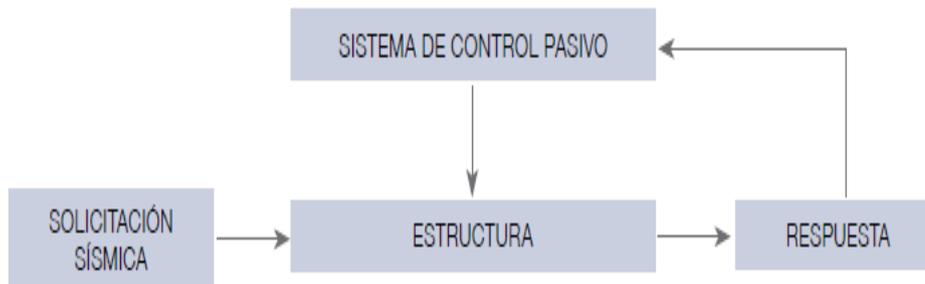
El presente estudio se desarrollará bajo la categoría del sistema pasivo.

### 2.3.2 Sistemas Pasivos.

Los sistemas pasivos son el conjunto de dispositivos de protección sísmica que son de alta demanda en la actualidad, en dicha categoría se encuentran los sistemas de aislación sísmica, los disipadores sísmicos y el oscilador resonante TMD. Los sistemas pasivos reducen la respuesta a la demanda sísmica, ver Figura 4, con un sistema mecánico especialmente diseñado para disipar energía por medio de calor.

**Figura 4**

Esquema de Mecanismo de Operación de Sistemas Pasivos.



Nota: La figura nos muestra el esquema de operación mediante el cual trabaja el sistema pasivo, Fuente: Cámara Chilena de la Construcción (2010).

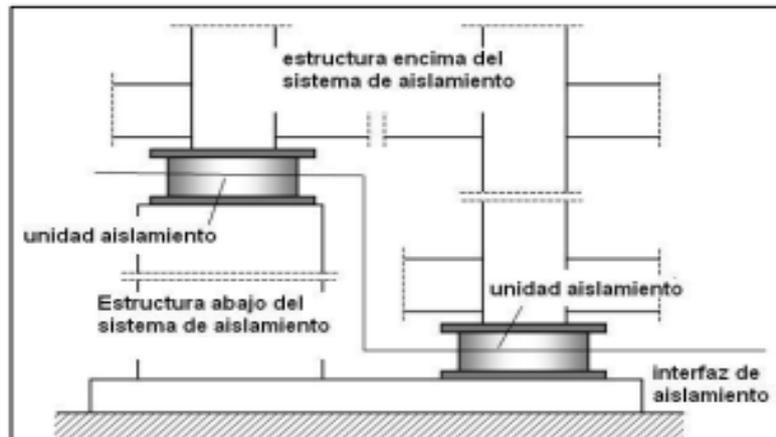
El presente estudio se desarrollará bajo la categoría del sistema de aislamiento sísmico.

### 2.3.3 Sistema de aislamiento Sísmico.

El sistema de aislamiento sísmico que son de los más usados actualmente en el Perú, en el cual se verá la ubicación respecto del sistema de aislamiento, ver figura 5, en la actualidad son 2 tipos de unidades de aislamiento: los elastómeros y los friccionante.

**Figura 5**

Partes del Sistema de Aislación.

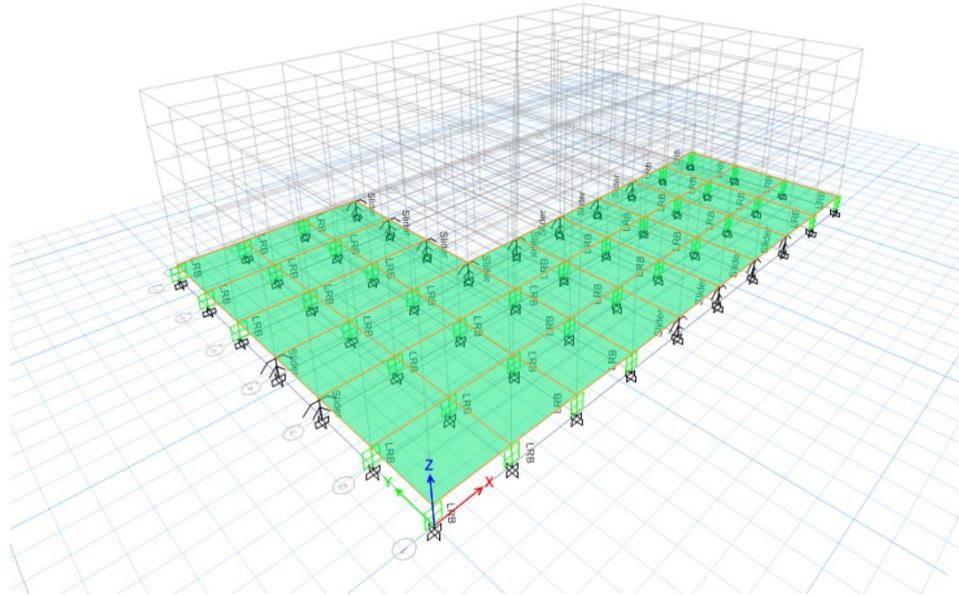


Nota: La figura nos muestra la ubicación del sistema de aislación con respecto a la estructura, FEMA 451 (2003).

El sistema aislado de una edificación implica la distribución de unidades de aisladores sísmicos en la conexión entre la subestructura y la superestructura, de acuerdo a un diseño tal como nos muestra la Figura 6, lo cual aísla la superestructura del suelo proporcionando una mayor resistencia ante un evento sísmico.

**Figura 6**

Distribución de Aisladores Sísmicos.



Nota: En la siguiente figura se muestra la ubicación y distribución del sistema de aislación en la estructura del proyecto de investigación, elaborado en el Programa ETABS V.2016.2.1.

### 2.3.4 Normas Técnicas para el análisis y diseño.

#### 2.3.4.1 Norma Técnica E.020 Cargas.

Las edificaciones y todas sus partes deberán ser capaces de resistir las cargas que se les imponga como consecuencia de su uso previsto. Estas actuarán en las combinaciones prescritas y no deben causar esfuerzos ni deformaciones que excedan los señalados para cada material estructural en su norma de diseño específica.

En ningún caso las cargas empleadas en el diseño serán menores que los valores mínimos establecidos en esta Norma.

Las cargas mínimas establecidas en esta Norma están dadas en condiciones de servicio.

Esta Norma se complementa con la NTE E.030 Diseño Sismorresistente y con las Normas propias de diseño de los diversos materiales estructurales.

(Norma Técnica E.020 Cargas, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.1).

#### 2.3.4.2 Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

Esta norma establece las condiciones mínimas para el Diseño Sismorresistente de las edificaciones. Se aplica al diseño de todas las edificaciones nuevas, al reforzamiento de las existentes y a la reparación de las estructuras que resultaren dañadas por la acción de los sismos.

La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

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

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
  - La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
  - Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N°5, se debería tener consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.
- (Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, p.4).

#### 2.3.4.3 Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

La presente Norma Técnica establece los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones con cualquier tipo de sistema de aislamiento sísmico, así como las disposiciones aplicables de los ensayos

necesarios para validar el comportamiento de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico.

La finalidad de la norma es mejorar el desempeño sísmico de las edificaciones, proteger su estructura, contenido y buscar su operatividad continua.

Su aplicación de la Norma Técnica es de cumplimiento obligatorio en todo el territorio nacional, para las edificaciones con sistemas de aislamiento sísmico incluyendo aquellas indicadas en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones, es aplicable en todo aquello que no contradiga las disposiciones de la presente norma técnica. (Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2019, p.2)

#### 2.3.4.4 Norma Técnica E.050 Suelos y cimentaciones.

El objetivo de esta Norma es establecer los requisitos para la ejecución de Estudios de Mecánica de Suelos (EMS), con fines de cimentación, de edificaciones y otras obras indicadas en esta Norma. Los EMS se ejecutarán con la finalidad de asegurar la estabilidad y permanencia de las obras y para promover la utilización racional de los recursos. (Norma Técnica E.050 Suelos y cimentaciones, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.1)

#### 2.3.4.5 Norma Técnica E.060 Diseño en concreto armado.

Esta Norma fija los requisitos y exigencias mínimas para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión de estructuras de concreto armado, pre esforzado y simple. (Norma Técnica E.060 Diseño en concreto armado, Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009, p.1)

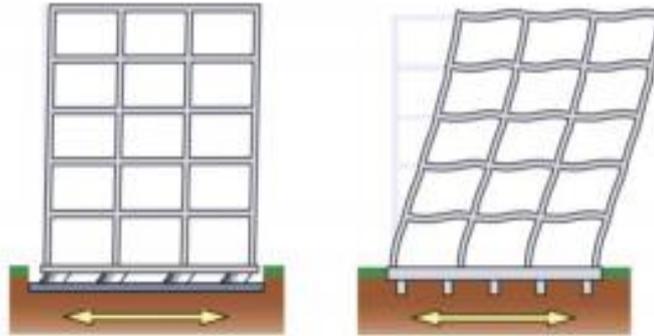
#### 2.3.5 Aisladores Sísmicos.

Este sistema de aislación sísmica tiene como objetivo que la superestructura se comporte como un bloque rígido, ver Figura 7. Lo cual se logra cambiando el periodo natural de dicha edificación en periodo largo. Esto implica que, al tener un mayor periodo, habrá una menor demanda de las derivas y aceleraciones entre los distintos pisos; que en gran mayoría son

las que ocasionan mayor daño estructural, no estructural y en el contenido de la estructura de las edificaciones.

**Figura 7**

Edificio con Base Aislada y Base Fija.

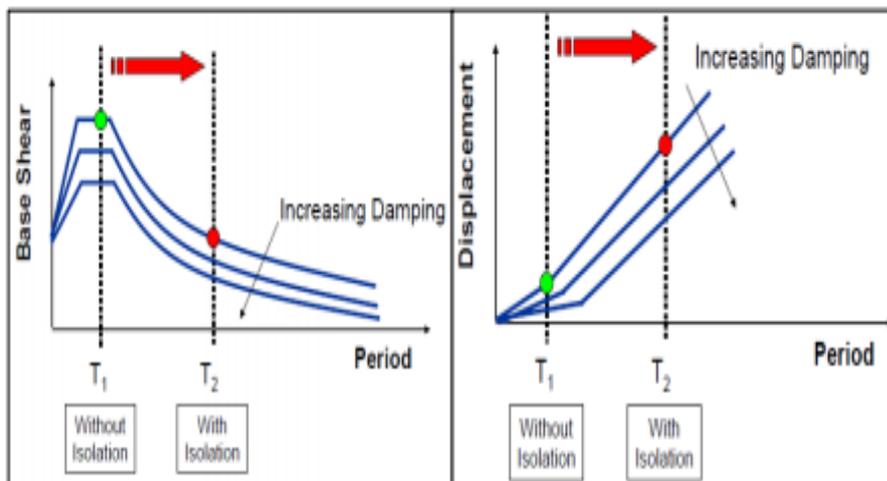


Nota: La figura nos muestra la comparación entre una estructura sin aislación sísmica y con aislación, Fuente: FEMA 451 (2003).

Básicamente los aisladores tienen la capacidad de trasladar el periodo natural de las edificaciones, ver Figura 8, también tiene la capacidad de aumentar el amortiguamiento en las edificaciones. Dicho incremento de periodo origina un incremento en el desplazamiento, pero con la disminución de derivas de entrepisos de la edificación. Es decir, dicho incremento de amortiguamiento origina una menor amplitud espectral sísmica y, por este motivo, consigue una menor fuerza entrante de sismo y desplazamiento.

**Figura 8**

Funciones del Aislamiento Sísmico.



Nota: En la figura nos muestra el traslado del periodo natural de una estructura con el uso de un sistema de aislación, FEMA 541(2003).

El sistema de aislación en base tiene como finalidad separar la superestructura del suelo de la edificación, de tal manera que al momento de una actividad sísmica mediante el uso de aisladores sísmicos este permite reducir la rigidez de la estructura, aumentando el periodo natural lo cual salvaguarda la estructura.

Los aisladores más usados en la actualidad son: Los aisladores elastoméricos de caucho de bajo amortiguamiento (LRD), los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB), aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) y los aisladores de péndulo de fricción simple, aisladores de péndulo de fricción doble y aisladores de péndulo de fricción triple; en el cual se detallarán en los siguiente.

#### 2.3.6 Aisladores Elastoméricos.

Los aisladores elastoméricos están conformados por distintas capas de goma y placas de acero unidas entre sí por vulcanización. Estos aisladores cuentan con una rigidez vertical que es controlada por las placas de acero que producen ciclos de histéresis estrechos debido a la poca capacidad de disipar energía durante un evento sísmico. Mientras que la rigidez horizontal es controlada por el espesor de las placas de acero que les brinda una mayor flexibilidad horizontalmente, lo cual es de gran beneficio para la estructura ya que disminuye la velocidad ante un sismo e incrementa el periodo en dicha estructura.

El uso de aisladores elastoméricos en una edificación genera una estructura más flexible originando que las aceleraciones entrepisos se reduzcan significativamente, sin embargo, el diseño de los aisladores elastoméricos tendrá que ser el adecuado para que pueda llegar a controlar el desplazamiento lateral que se da en la estructura.

Es por este motivo que se busca la completa armonía al momento de diseñar y usar los aisladores elastoméricos en las estructuras que aporten la flexibilidad y amortiguamiento necesario para poder salvaguardar la estructura ante un evento sísmico.

##### 2.3.6.1 Aisladores Elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDR).

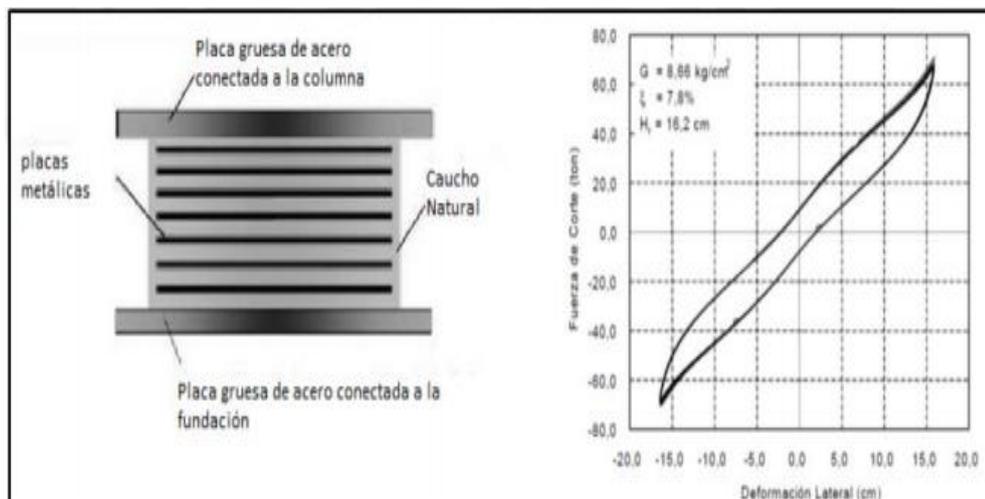
Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDR presentan bajo amortiguamiento

(2-5% como máximo) ver Figura 9, por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar. (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.24).

Para la fabricación de los aisladores de bajo amortiguamiento (LRD) consiste en intercalar las placas de acero y las planchas de elastómero (caucho vulcanizado) lo cual le da al aislador la propiedad elástica. Este proceso de colocación entre plancha de acero y caucho debe tener la capacidad para resistir las cargas de gravedad de tal manera que las planchas de acero se colocan en los extremos (superior e inferior) mientras que el caucho tiene como finalidad resistir las cargas laterales se colocan en los extremos (superior e inferior) mientras que el caucho tiene como finalidad resistir las cargas laterales.

**Figura 9**

Aisladores Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento (LDR).



Nota: La figura nos muestra el material del cual está compuesto el aislador elastomérico y un gráfico de fuerza de corte versus deformación lateral en cual se aprecia la máxima deformación que puede llegar ante un evento sísmico, FEMA 451 ,2003.

### 2.3.6.2 Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR).

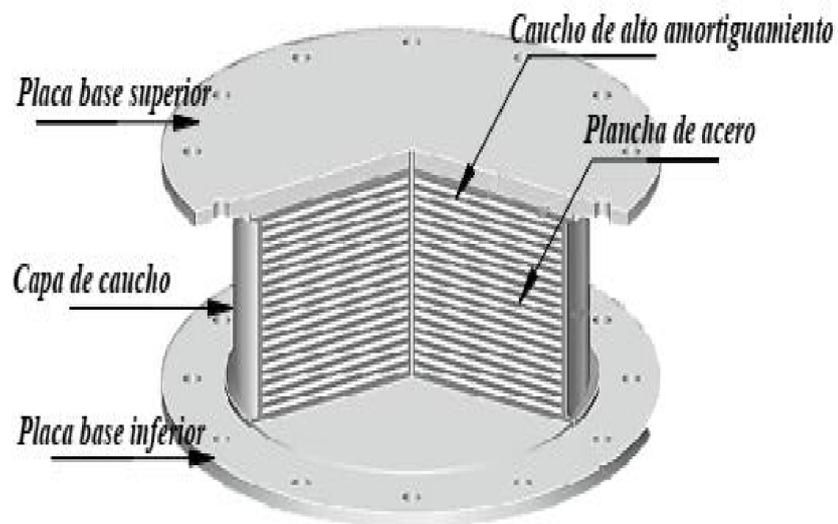
Los HDR son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%, ver Figura 10. Los aisladores tipo HDR presentan mayor

sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDR y LRB. A su vez, los aisladores HDR presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación. (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.25).

Para este tipo de aisladores sísmicos es necesario el agregar aditivos al caucho que modifiquen las propiedades mecánicas como la elongación a ruptura.

**Figura 10**

Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento.



Nota: La figura nos muestra las partes y materiales que componen el aislador elastomérico de alto amortiguamiento, Fuente: Bridgestone (2018)

### 2.3.6.3 Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB).

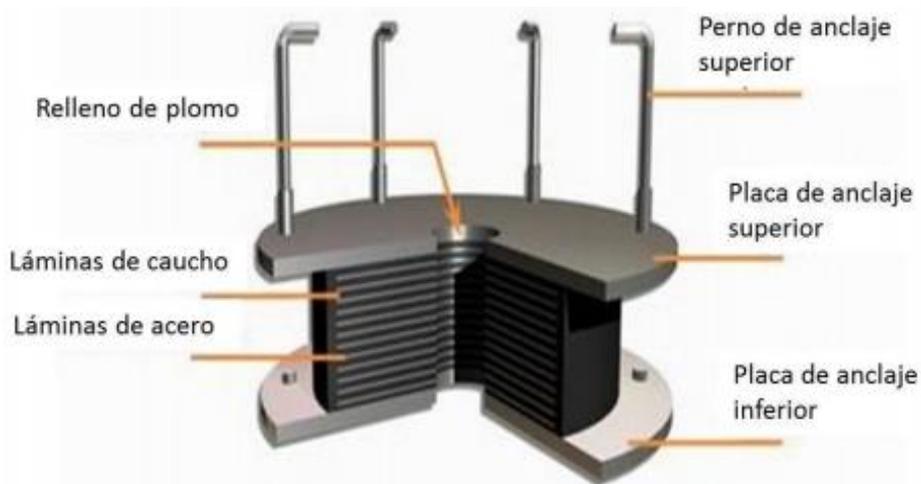
Los aisladores con núcleo de plomo (LRB) se elaboran con caucho vulcanizado de bajo amortiguamiento intercalado con láminas de acero y en el centro se deja un agujero en el cual se introduce el plomo bajo presión y se conforman en una unidad, también este tipo de aisladores por su conformación y fabricación son muy similares a los LRB, que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30% ver Figura 11.

Al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas, y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo se recristaliza. De esta forma el sistema queda listo para un nuevo evento sísmico. (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.25).

El núcleo de plomo se coloca para producir numerosos ciclos histéreticos estables ya que fluye con una tensión de 10 MPa y se recristaliza a temperatura ambiente, lo cual le da una mayor resistencia a la fatiga.

**Figura 11**

Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo.



Nota: La figura nos muestra las partes y el material de la composición de un aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB), Fuente: Dynamic Isolation Systems,2007.

### 2.3.7 Aisladores de Péndulo Friccional.

Los aisladores deslizantes o también llamados deslizadores friccionales utilizan una superficie de deslizamiento, típicamente de acero inoxidable, sobre la que desliza una placa de acero revestida de Politetra Fluoro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema de aislación sísmica permite disipar energía por medio de las fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo. El coeficiente de fricción del aislador depende de variables tales como la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de

movimiento, el estado de las superficies de contacto (limpieza, rugosidad, etc.) y el envejecimiento. Los aisladores deslizantes planos generalmente deben ser acompañados por mecanismos o sistemas restitutivos (típicamente aisladores elastoméricos con o sin núcleo de plomo) que regresen la estructura a su posición original luego de un sismo. Adicionalmente, estos sistemas requieren de mayor mantención y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al de diseño. (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.27)

#### 2.3.7.1 Péndulo de Fricción Simple (PFS).

Su principal característica ante un sismo es el desplazamiento pendular que se da de acuerdo con su coeficiente de fricción y el peso de la carga de servicio que puede soportar el aislador.

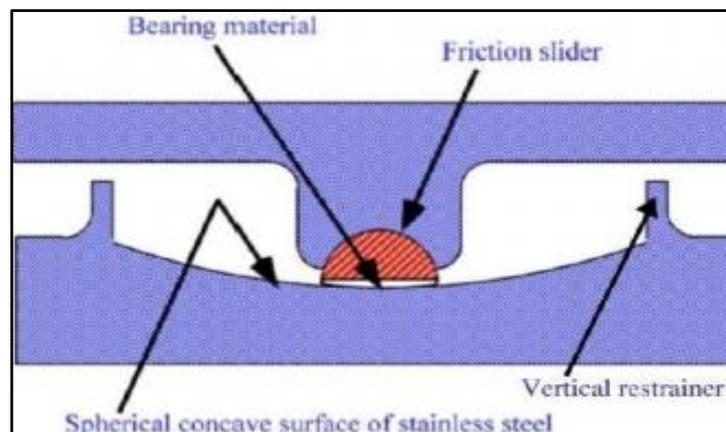
Un aislador de péndulo de fricción está compuesto por una superficie cóncava lo cual permite el desplazamiento en dicha superficie, el material del deslizador suele ser de politetrafluoroetileno (PTFE), y la superficie cóncava es de acero inoxidable ver figura 12.

La forma cóncava del aislador permite producir una fuerza restauradora que sirve para volver a centrar en su punto inicial el cual disipará energía por fricción.

La fuerza tangencial de este sistema de aislación por la forma cóncava la impulsa a centrar ante un evento sísmico.

**Figura 12**

Partes del Aislador Péndulo Simple de Fricción.



Nota: La figura nos muestra las partes que componen a aislador de péndulo de fricción simple, Okumuru y Fujita, 2007.

### 2.3.7.2 Doble Péndulo de Fricción (DPF).

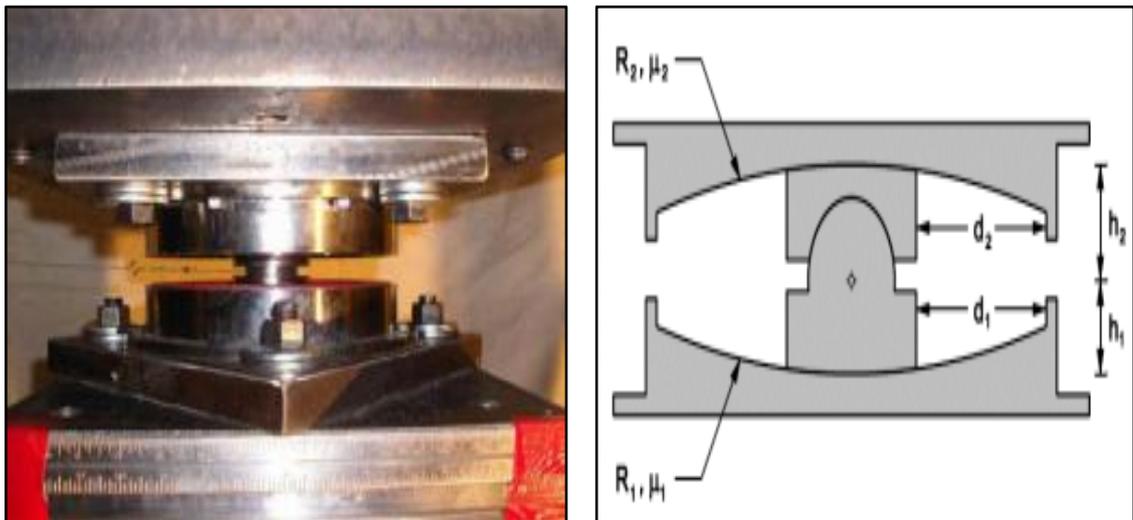
Los aisladores de DPF son mayormente de comportamiento mecánico de igual manera que los aisladores de péndulo de fricción simple.

La única diferencia de los aisladores de péndulo doble son sus características de doble superficie, ver Figura 13, que se ubican en la parte superior e inferior, los materiales son muy semejantes a los usados por el aislador de péndulo simple.

La gran mayoría de aisladores friccionante tienen 2 características en su superficie ya que pueden ser lubricadas o secas, donde los aisladores friccionales con superficie seca tienen mayor coeficiente de fricción que los de superficie lubricada.

**Figura 13**

Corte y Elevación de Péndulo de Fricción Doble.



Nota: De las siguientes figuras nos muestra el modelo del aislador péndulo de fricción doble y su instalación en una estructura. FEMA 451(2003).

### 2.3.7.3 Triple Péndulo de Fricción (TPF).

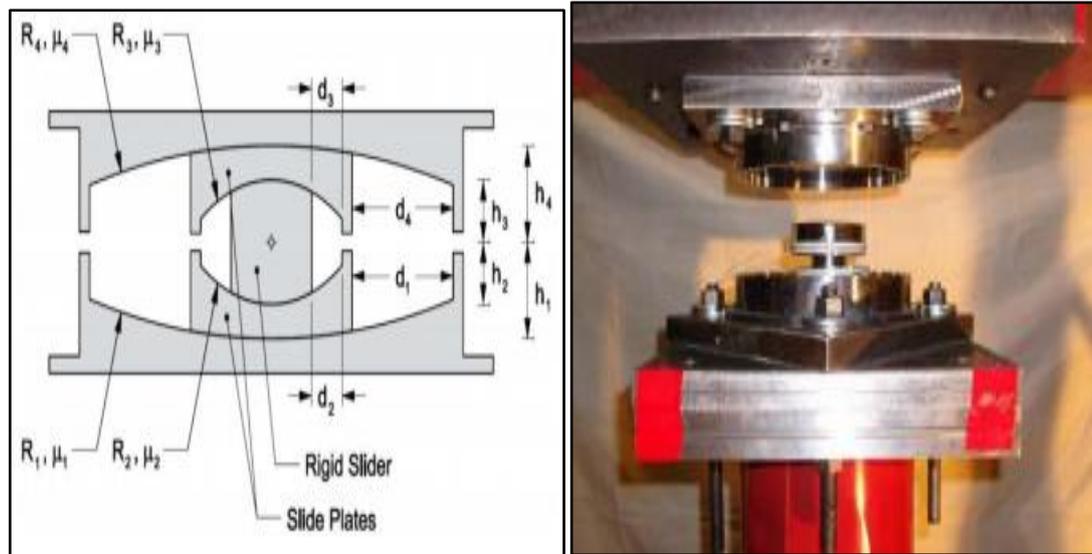
Este aislador tiene una característica muy distinta a los anteriores aisladores friccionales ya que cuenta con cuatro superficies de contactos, lo cual brinda una mayor capacidad de alcanzar grandes periodos y desplazamientos ver Figura 14.

Diferentes estudios han demostrado que el movimiento del aislador de triple péndulo de fricción (TPF) se divide en 5 fases, el cual en cada fase es el resultado del deslizamiento en diferentes superficies cóncavas, otra

característica muy significativa es que las superficies interiores son iguales por ese motivo que se reduce a tres superficies, aunque tienen distintos coeficientes de fricción de estas características viene su nombre de triple péndulo.

**Figura 14**

Corte y Elevación de Péndulo Triple Fricción.



Nota: De la figura se muestra las partes que conforman el aislador de péndulo de fricción triple y la instalación en la estructura, Fuente: FEMA 451, (2003)

Para el presente estudio se usará los Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo.

### 2.3.8 Consideraciones generales para el diseño.

Korswagen P., Arias J., & Huaranga P. (2012):

El diseño de aisladores y uso de los mismos dentro de las edificaciones consiste en una interfaz flexible entre el suelo y la superestructura de tal manera que reduzca las solicitudes sísmicas a las que son sometidas, de tal manera dicho diseño debe tener como finalidad salvaguardar y reducir daños estructurales que lo harán permanecer totalmente operativa durante y después de un evento sísmico.

Por otro lado, el uso de aisladores elastoméricos, logran aprovechar al máximo la flexibilidad del material que es caucho vulcanizado para conseguir una baja rigidez lateral y las planchas de acero buscan una rigidez vertical, que brinda una mayor resistencia a la estructura.

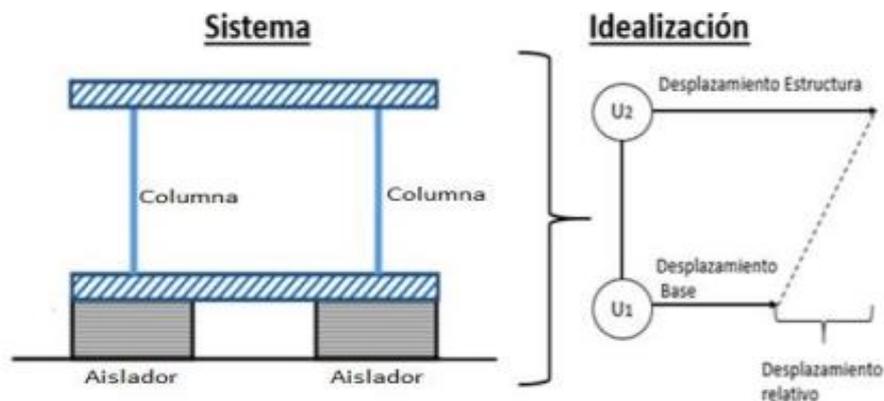
La ubicación de los aisladores sísmicos debe estar colocada en puntos específicos donde se pueda tener una buena inspección y mantenimiento de estos. La incorporación de los aisladores sísmicos se debe considerar desde la etapa inicial del proyecto para disminuir el impacto de su incorporación (p.22)

### 2.3.8.1 Sistema de aislamiento.

En un actividad sísmica se mantiene en equilibrio la energía , es decir que la energía que es generado por el evento sísmico es constante pero la energía que recibe la estructura se transforma en movimiento (energía cinética); otra parte de la energía se divide en energía de deformación recuperable(energía elástica); y finalmente el resto de la energía se disipa por medio del amortiguamiento de la estructura a través de la energía histerética o inelástica, que es la más severa en la solicitud sísmica, ver figura 15, con el uso de sistemas de aislación sísmica se logra reducir y brindar seguridad a la estructura ante un acontecimiento sísmico.

**Figura 15**

Representación de Estructura con Aislación en la Base



Nota: En la figura nos muestra la estructura idealizada para un sistema de aislación en la base, Marsico,2008.

### 2.3.8.2 Consideraciones en el análisis con aisladores sísmicos.

Actualmente existen varias consideraciones que se deben tener en cuenta para un correcto análisis y diseño de un proyecto con uso de un sistema de aislación sísmica.

Korswagen P Arias J., & Huaranga (2012) nos mencionan que:

A) A nivel del sistema de aislamiento.

- La mejor opción de flexibilizar una estructura es con la colocación de diafragmas rígidos en el nivel de la interfaz del sistema de aislación debido a la existencia de desplazamientos diferenciales en ambos sentidos al nivel del aislador.
- La colocación de los aisladores tiene una capacidad máxima de carga, por este motivo se encontrará distribuido uniformemente con la finalidad de evitar sobrecarga en alguno de los aisladores.
- Los aisladores evitarán efectos de torsión en nivel de la base de aislación, por ello se controla una mayor acción de los aisladores en dirección perpendicular a la del análisis, ya que tiene como finalidad la reducción del movimiento en ambos sentidos.
- Los aisladores poseen una resistencia a tracción en un rango de 10-15% de la compresión, el cual este rango deberá mantenerse en las propiedades propias del aislador en caso este rango logra variar se debe evaluar ya que pueden dañarse.
- Se debe tomar en cuenta las deformaciones verticales, ya que pueden generar diferentes deformaciones entre los elementos de la superestructura.

B) A nivel de la Estructura.

- Los desplazamientos en la interfaz de aislación pueden generar una excentricidad de la carga que resulta en momentos adicionales que deben ser tomados para el análisis de la estructura.
- El diseño del sistema de aislación deberá tener en cuenta juntas de separación que puede llegar alrededor de 50 cm.
- El uso de aisladores sísmicos es una nueva opción en los últimos años de modo que la ubicación de los aisladores deberá ser la adecuada para el cambio en caso este sistema llegase a fallar.
- Se deberá conocer el comportamiento del suelo para el correcto diseño y elección a usar de aisladores. (p.23-24).

2.3.9 Selección del procedimiento de Análisis para estructuras aisladas.

En la selección del procedimiento de análisis nos regiremos según la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico que indica lo siguiente (p.11):

### 2.3.9.1 Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes.

El procedimiento de fuerzas estáticas equivalentes se puede utilizar para el diseño de una estructura sísmicamente aislada, siempre que se cumplan las siguientes condiciones, considerando los límites superior e inferior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, predominando la de mayor exigencia:

- a) La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre suelos del tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.
- b) El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional,  $T_m$ , será menor o igual a 5,0 s.
- c) La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 m de altura. Esta altura debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.
- d) El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento traslacional,  $\beta_m$ , debe ser menor o igual a 30% del amortiguamiento crítico.
- e) El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional,  $T_m$ , debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura por encima del sistema de aislamiento sísmico, considerada con base fija.
- f) La estructura por encima del nivel de aislamiento sísmico no debe tener ninguna de las irregularidades listadas en el numeral 8.1 del artículo 8 de la Norma Técnica E.031.
- g) El sistema de aislamiento sísmico debe satisfacer los siguientes criterios:
  - i) La rigidez efectiva del sistema de aislamiento sísmico correspondiente al desplazamiento traslacional debe ser mayor que 1/3 de la rigidez efectiva, a un 20 % del desplazamiento máximo.
  - ii) El sistema de aislamiento sísmico debe ser capaz de producir una fuerza de restitución lateral, tal como está especificado en el numeral 9.4 del artículo 9 de la Norma Técnica E.031.

iii) El desplazamiento máximo del sistema de aislamiento sísmico debe ser como mínimo el desplazamiento total máximo,  $D_{TM}$ .

#### 2.3.9.2 Análisis Dinámico Modal Espectral.

Se puede utilizar para el diseño de una estructura sísmicamente aislada siempre que se cumplan los criterios a, b, c, d y f del análisis estático o de fuerzas equivalentes

#### 2.3.9.3 Análisis Tiempo – Historia.

El análisis tiempo – historia es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada sísmicamente y debe ser necesariamente desarrollado para el diseño de todas las estructuras sísmicamente aisladas que no cumplan los criterios del numeral 18.1 del artículo 18 de la Norma Técnica E.031.

En todos los casos los resultados usados para el diseño de los elementos de la estructura no serán menores que los obtenidos por el análisis dinámico modal espectral.

#### 2.3.9.4 Límites de deriva.

- Para el análisis estático y el análisis modal espectral la máxima deriva de entrepiso de la superestructura para el sismo máximo considerado (SMC) multiplicado por  $R_a$  no debe exceder a 0.0035.
- La máxima deriva de entrepiso de la superestructura calculado por el análisis tiempo-historia, considerando las características de fuerza-deformación no lineales de la interfaz de aislamiento, no debe exceder 0,005.

### 2.4 Definición de términos básicos.

Para una mayor comprensión del sistema de aislamiento sísmico, se definirá algunos conceptos referenciales:

- **Unidad de Aislamiento:** Es el elemento estructural flexible en la dirección horizontal y de consistencia rígida en la dirección vertical que permite un incremento de deformaciones bajo cargas horizontales (Sismo, viento)
- **Sismo resistencia:** Es la adecuada configuración estructural para una edificaciones u obras de gran envergadura, con las

componentes y dimensiones adecuadas y materiales con una resistencia necesaria para soportar la acción de la fuerza sísmica.

- Interfaz de Aislamiento: Es el límite existente entre la superestructura y la subestructura que se mueve rígidamente en el suelo.
- Sismología: Es la ciencia y estudio de los acontecimientos sísmicos, causas, efectos y posibles fenómenos asociados.
- Sismicidad: Es la frecuencia de ocurrencia de sismos en una región dada por unidad de área.
- Elastoméricos: Conjunto de materiales conformados por polímeros que se encuentran unidos mediante enlaces químicos adquiriendo una estructura reticulada.
- Sistema de aislamiento: Grupo de elementos estructurales que incorpora a todos los elementos de aislamiento. Disipadores de energía y los sistemas estructurales de restricción de desplazamiento (Vigas de aislamiento y podios)
- Sistema Aporticado: Está conformado por vigas y columnas de concreto armado las cuales están conectadas entre sí por medio de nudos rígidos que permiten la transferencia de los momentos flectores y cargas axiales hacia las columnas.
- Superestructura: La estructura que se encuentra ubicada por encima del sistema de aislamiento.
- Subestructura: Estructura ubicada debajo del sistema de aislación.
- Disipación de Energía: Acción por la cual la energía de los eventos sísmicos no llega a la superestructura.
- Colapsó: Estructura de la edificación inoperativa.
- LDR (Low Rubber Dumping): Aisladores de Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento.
- LRB (Lead Rubber Bearing): Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo.
- PFS (Frictional Pendulum Simple): Aisladores de Péndulo Simple de Fricción.
- DFP (Frictional Pendulum Double): Aisladores de Doble Péndulo de Fricción.

- TFP (Frictional Pendulum Triple): Aisladores de Triple Péndulo de Fricción.

## 2.5 Hipótesis

### 2.5.1 Hipótesis general.

- El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene mejor respuesta durante un evento sísmico hacia la superestructura debido a que reduce la respuesta de la superestructura en derivas, aceleraciones, energía absorbida por los aisladores; en lo económico tendrá un aumento por la implementación del sistema aislado sin embargo tiene un costo beneficio que resulta rentable a largo plazo.

### 2.5.2 Hipótesis específicas.

- El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene menores derivas y aceleraciones de entrepiso en su desempeño como dispositivo de protección sísmica frente a un sistema aporticado.
- El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene un costo adicional como mínimo del 8% y máximo del 15% del costo total de obra frente a un sistema aporticado en base fija para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.
- El diseño del aislador elastomérico de núcleo de plomo se realiza bajo la Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico.
- El modelo numérico se realiza con el programa ETABS V.2016.2.1, donde se contempla el comportamiento del aislador ante solicitaciones sísmicas del Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

## 2.6 Variables.

Las variables que se tomarán en el desarrollo del proyecto son:

### 2.6.1 Definición conceptual de las variables.

#### 2.6.1.1 Variables Independientes.

- a) Sistema de Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo: Se aplicará dentro de los análisis estático, dinámico modal espectral y tiempo historia.

#### 2.6.1.2 Variables Dependientes:

- a) Comparación técnica: Al realizar el estudio con dos sistemas el aporticado y del aislador elastomérico de

núcleo de plomo, se requiere realizar variaciones en parámetros del análisis y diseño.

- b) Comparación económica: Al realizar el estudio dos sistemas el aporticado y del aislador elastomérico de núcleo de plomo, se realizará un análisis presupuestal, viendo también el costo beneficio.

#### 2.6.2 Operacionalización de las variables.

La operacionalización de las variables del siguiente trabajo de investigación se puede apreciar en mayor detalle en el Anexo 4 “Matriz de Operacionalidad”

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

### **3.1 Tipo, Método y Nivel.**

#### **3.1.1 Tipo.**

Según Borja, M (2016) la investigación se clasifica en tres tipos de acuerdo con la orientación de la investigación: Investigación básica, investigación aplicada e investigación tecnológica. La metodología para demostrar la hipótesis: Investigación no experimental e investigación experimental.

El presente estudio es del tipo aplicada no experimental, en el cual las dos variables que son los sistemas aporticados y aisladores de elastómeros de núcleo que se relacionan mediante el análisis técnico y económico aplicado a una misma muestra.

#### **3.1.2 Método.**

Según Borja, M (2016) la investigación se clasifica en dos tipos según los datos obtenidos para la investigación: Investigación cuantitativa e investigación cualitativa, también clasifica a la investigación descriptiva como un tipo de investigación no experimental.

El presente estudio tiene un enfoque cuantitativo y un alcance descriptivo ya que se recopilaron datos de estudios similares internacionales y nacionales para su posterior análisis técnico y económico de los sistemas a analizar.

#### **3.1.3 Nivel.**

- Descriptiva: Debido a que se realizó el análisis de las estructuras de manera independiente sistema aporticado y el sistema con aisladores elastomérico de núcleo de plomo en el programa (ETABS V.2016.2.1)
- Explicativo: Porque se estudió las causas y efectos que ocasiona la aplicación de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el Pabellón B en el departamento de Junín distrito de Chupaca.

### **3.2 Diseño de investigación.**

Diseño no experimental, ya que no se manipuló la variable independiente de forma que se logró analizar las hipótesis planteadas, y se estudió las inferencias de estas sobre las variables dependientes, y es una investigación transversal debido al análisis entre ambos sistemas.

### 3.3 Población, Diseño Muestral y Muestra.

#### 3.3.1 Población.

Según Borja, M (2016) se denomina población o universo al conjunto de elementos que serán parte de la investigación.

La Población comprende a todas las investigaciones y proyectos realizados en edificaciones hospitalarias y/o construidas con la implementación de los aisladores sísmicos.

#### 3.3.2 Diseño Muestral.

Según Borja, M (2016) la elección de una muestra probabilística y no probabilística está definida por los objetivos de la investigación.

El diseño Muestral para la siguiente investigación es el Muestreo no probabilístico por conveniencia debido a la obtención de datos como es el expediente técnico y datos de proyectos similares para el estudio técnico y económico.

#### 3.3.3 Muestra.

La Muestra se consideró el Pabellón B de un establecimiento de salud implementando los aisladores elastoméricos en el distrito y provincia de Chupaca – Junín por tal motivo según el tipo de suelo y de acuerdo con la normativa vigente se deberá analizar el aislador elastomérico más óptimo para el establecimiento de salud.

### 3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos.

#### 3.4.1 Tipos de técnicas e instrumentos.

Documental: porque se buscó información relacionada con el tema de investigación, como son libros especializados, artículos, papers de investigación, tesis de investigación tanto nacionales como internacionales, así como también normativas de análisis y diseño con sistemas de aislamiento con las que cuentan en vigencia en otros países, la norma de aislamiento sísmicos con la que contamos y todo tipo de artículos relacionados con el tema de investigación

Técnica: Se usó el programa con análisis por métodos finitos ETABS V.2016.2.1 para elaborar el modelo con el sistema aporticado y el sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

#### 3.4.2 Criterios de validez y confiabilidad de los instrumentos.

Para la investigación se tendrá como validez y confiabilidad la aplicación correcta de los conocimientos adquiridos por los tesisistas en el análisis estructural, la aplicación correcta de las normativas nacionales como son la E.020 Cargas, E.030 Diseño Sismorresistente y la E.031 Aislamiento sísmico; y el uso correcto del programa ETABS V.2016.2.1 en los modelos numéricos. Las veracidades de los resultados se comprueban aplicando las normativas nacionales, donde el resultado está dentro de los parámetros esperados o cercano a ellos.

#### 3.4.3 Procedimientos para la recolección de datos.

De los resultados obtenidos recopilados se hará una selección de información que tenga un mayor interés para el desarrollo de la investigación.

Para el cálculo de los parámetros que interviene en el análisis y diseño de los sistemas aporticados y los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo mediante el uso de normativas nacionales como lo son las norma peruana E0.30 “Sismorresistente”, E.031 “Aislación Sísmica” y la E0.60 “Concreto Armado”, E.020 “Cargas” entre otras, se usará el software Microsoft Excel para el pre-dimensionamiento y cálculos de los sistemas aporticados y de aislación sísmica; y para el modelado de la edificación usaremos el programa ETABS V.2016.2.1.

Para las correcciones y ajustes de los registros sísmicos en el análisis tiempo – historia se usarán los programas SeimoSignal 2018 y SeimoMatch 2018 respectivamente.

Para el análisis presupuestal del sistema aporticado y de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo se usará el software Microsoft Excel.

#### 3.5 Técnicas para el procesamiento y análisis de la información.

Para el presente estudio se cuenta con el proyecto Mejoramiento y Ampliación del Centro de Salud Pedro Sánchez Meza de la ciudad de Chupaca provincia de Junín en el cual se tomará para el estudio el Pabellón B de dicho proyecto.

El Pabellón B consiste en una edificación de concreto armado de 5 niveles, en el cual será evaluado con el sistema aporticado y el sistema aislador elastomérico de núcleo de plomo.

El procedimiento de análisis se desarrolló primero con una estructuración y predimensionamiento del pabellón B, en el cual sirvió para realizar un modelo del

edificio con el sistema aporticado en base fija. Posteriormente se escogió el aislador elastomérico de núcleo de plomo, se logró distribuir y se realizó un modelo del edificio con base aislada, se llegó a definir el periodo y el amortiguamiento objetivo para obtener un pre diseño del aislador, se realizó verificaciones por irregularidades, y luego se procedió a realizar el Análisis Tiempo Historia, se realizó la verificación al análisis, con la obtención de la rigidez y amortiguamiento objetivo.

Luego del procesamiento de información técnica se realizó un análisis presupuestal bajo la estimación de costos de la especialidad de estructuras en el cual se obtuvo indicadores de medición de la factibilidad económica en los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en comparación con el sistema aporticado.

Finalmente se obtuvo datos cuantitativos que se presentaron en gráficos y/o esquemas estadísticos que muestran dicha comparación entre los dos sistemas.

## **CAPÍTULO IV: ANÁLISIS ESTRUCTURAL DEL PABELLÓN B CON LOS SISTEMAS EN ESTUDIO**

### 4.1 Descripción de la Edificación.

El presente estudio está dirigido al Pabellón B del Proyecto Mejoramiento y Ampliación de los servicios de salud del Establecimiento de Salud Pedro Sánchez Meza, que se encuentra en Jr. Rufino Echenique N°560 – 690, en el distrito y provincia de Chupaca, departamento de Junín.

La configuración estructural del Pabellón B está constituida por pórticos de concreto armado con columnas y vigas tanto en el sentido de los ejes X-X como Y-Y, los elementos estructurales se ubican en planta de tal manera de cumplir con los requisitos de diseño sismo resistente considerando losas macizas, la edificación es de 5 plantas que son de forma rectangular, desde la primera a la tercera planta se tiene un área por planta de  $67.50 \times 19.60 \text{m}^2$ , la cuarta y quinta planta son de  $59.50 \times 19.60 \text{m}^2$  cada una; la primera planta tiene una altura de 5.35m y las siguientes de 4.35m.

Para efectos de este estudio se va a comparar el sistema aporticado con base fija con el sistema de aislamiento sísmico por ende clasificaremos como un tipo A2 el sistema aporticado y luego un tipo A1 el sistema de aislamiento sísmico respectivamente

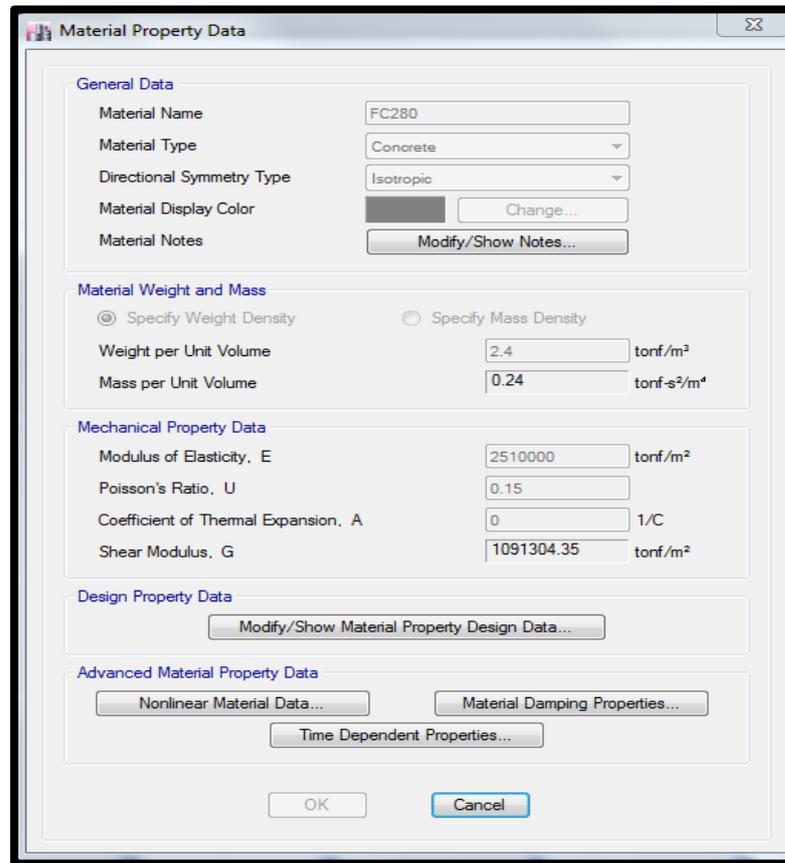
#### 4.1.1 Especificaciones – Materiales Empleados.

Características del concreto (ver Figura 16):

- |  |                              |
|--|------------------------------|
| a) Resistencia a la compresión ( $f'_c$ ):       | 280 kg/cm <sup>2</sup>       |
| b) Módulo de Elasticidad del Concreto ( $E_C$ ): | 2`509`980 kg/cm <sup>2</sup> |
| c) Peso Específico de concreto ( $\gamma_c$ ):   | 2400 kg/m <sup>3</sup>       |

**Figura 16**

Definición de Propiedades de Concreto.



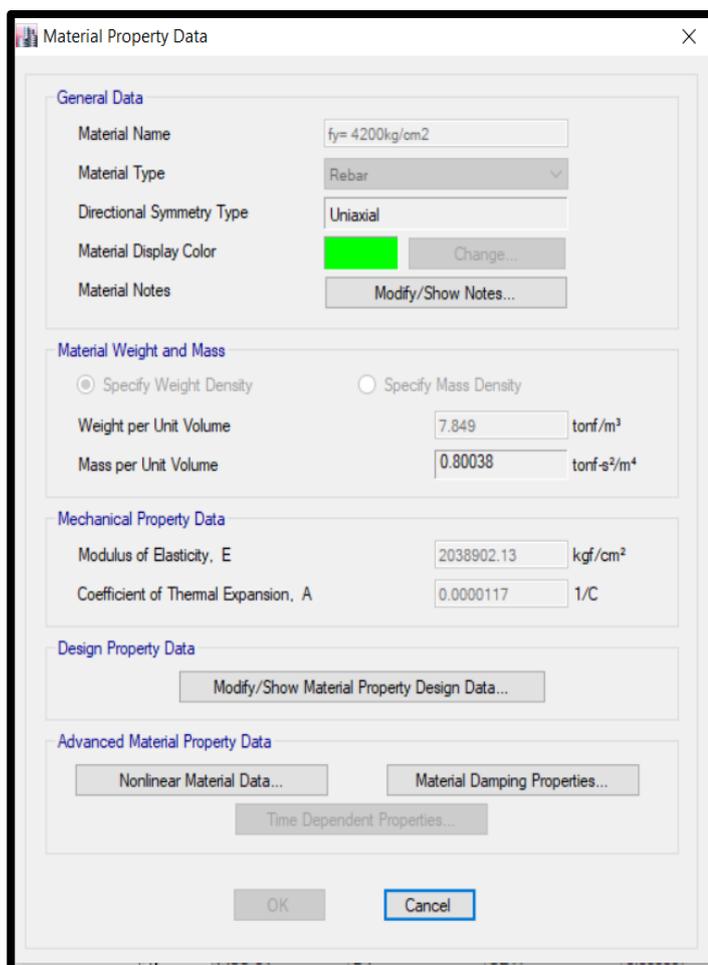
Nota: La figura nos muestra las definiciones de propiedades del concreto utilizado en el programa ETABS V.2016.2.1.

Características acero corrugado (ver figura 17):

- d) Resistencia a la fluencia ( $f_y$ ): 4,200 kg/cm<sup>2</sup>
- e) Módulo de Elasticidad de Acero G<sup>o</sup>60: 2038902.13 kg/cm<sup>2</sup>
- f) Peso Específico del acero ( $\gamma_a$ ): 7800 kg/m<sup>3</sup>

**Figura 17**

Definición de propiedades de Acero.



Nota: La figura nos muestra las propiedades del acero utilizado para el diseño en el modelamiento en ETABS V.2016.2.1.

#### 4.1.2 Estados de Carga

La Norma Técnica E.020 Cargas, recomienda valores mínimos para las cargas que se deben considerar en el diseño de una estructura, dependiendo del uso al cual está diseñada la misma. Las cargas para considerar son las denominadas: muertas, vivas y sismo, ver Tabla 2.

Consideramos como carga muerto al peso de los materiales, tabiques y otros elementos soportados por la estructura, incluyendo su peso propio que se suponen serán permanentes. Como carga viva, al peso de los ocupantes, materiales equipo, muebles y otros elementos móviles. Finalmente, las cargas de sismo (CS) son aquellas que se generan debido a la acción sísmica sobre la estructura.

**Tabla 2**

Sobrecargas Sometidas a la Estructura

<b>Sobrecargas</b>		
Baños	300	kg/m <sup>2</sup>
Sala de Operaciones	300	kg/m <sup>2</sup>
Laboratorios	300	kg/m <sup>2</sup>
Zonas de Servicio	300	kg/m <sup>2</sup>
Cuartos	200	kg/m <sup>2</sup>
Corredores y Escaleras	400	kg/m <sup>2</sup>
Zona de Archivos	500	kg/m <sup>2</sup>
Oficinas	250	kg/m <sup>2</sup>
Lugares de asamblea	300	kg/m <sup>2</sup>

Nota: La siguiente tabla nos muestra los tipos de cargas a utilizar según cada ambiente, Fuente: Norma Técnica E.020.

#### 4.1.3 Diseño en Concreto Armado.

Para determinar la resistencia nominal requerida, se emplearon las siguientes combinaciones de cargas, ver Tabla 3, que se describen de acuerdo con la Norma Técnica E.060.

**Tabla 3**

Combinaciones de Carga

<b>Combinaciones para el Diseño Estructural</b>
1.4 CM + 1.7 CV
1.25(CM+CV) ± CS
0.90 CM ± CS

Nota: La siguiente Tabla nos muestra las diferentes combinaciones de carga a utilizar, Fuente: Norma Técnica E.060 Concreto Armado

Además, En la Tabla 4 el Reglamento establece factores de reducción de resistencia en los siguientes casos:

**Tabla 4**

Factores de Reducción

Solicitud	Factor $\phi$ de Reducción
Flexión	0.90
Tracción o, Tracción y Flexión	0.90
Cortante	0.85
Torsión	0.85
Compresión y Flexo compresión (estribos)	0.70

Nota: La siguiente tabla nos muestra los factores de reducción, Fuente: Norma Técnica E-060 Concreto.

Resumiendo, para el diseño de los elementos estructurales se debe cumplir que:

$$\text{Resistencia de diseño} \geq \text{Resistencia Requerida (U)} \quad (1)$$

$$\text{Resistencia de diseño} = \phi \text{ Resistencia Nominal} \quad (2)$$

#### 4.1.4 Pre-dimensionamiento.

Este pre-dimensionamiento consistió en dar una dimensión tentativa o definitiva, de acuerdo con ciertos criterios y recomendaciones establecidos basándose en la práctica de muchos ingenieros y a lo estipulado en la Norma Técnica E.060 Concreto Armado y entre los Requisitos Arquitectónicos y de Ocupación. Luego del análisis de estos elementos se verá si las dimensiones asumidas son convenientes o tendrán que cambiarse para luego pasar al diseño de ellos.

#### 4.1.5 Pre-dimensionamiento de Vigas Peraltadas.

Para pre dimensionar estas vigas, por lo general, se considera como regla práctica usar un peralte del orden del décimo o doceavo de la mayor luz libre entre apoyos. Para el ancho o base de la viga se debe considerar una longitud mayor que 0.3 del peralte, sin que llegue a ser menor de 25 cm. Se recomienda no tener un ancho mayor a 0.5 del peralte, debido a que el ancho es menos importante que el peralte para proporcionar inercia a la viga.

$$h \geq L_n/10 \quad \text{o} \quad h \geq L_n/12 \quad (3)$$

h: Peralte de viga(m.)

$L_n$ : Mayor luz libre entre apoyos (m).

Ver Tabla 5, cálculo del Predimensionamiento de las vigas peraltadas.

**Tabla 5**

Pre-dimensionamiento de Viga.

Block	Nombre de la viga	Dimensión	Ln(m)	L/12	L/10	Elegido h(m)	< 0.45*h (m)
BLOCK B	B/1-V01	(35x85)	7.85	0.65	0.79	0.85	0.35

Nota: La tabla nos muestra el pre-dimensionamiento de viga a utilizar en el diseño, Fuente: Norma Técnica E-060 Concreto Armado.

Por otro lado, el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) en la Norma Técnica E.060 en su acápite 10.4.1.3, ver Tabla 6, dice que la condición para no verificar deflexiones en una viga es que el peralte debe ser mayor o igual que el dieciseisavo de la luz libre.

**Tabla 6**

Verificación de Peralte de Deflexiones.

Block	Nombre de viga	Dimensión	Ln(m)	Ln/16	Peralte efectivo(m)	Pe > L/16
BLOCK B	B/1-V01	(35x85)	7.85	0.5	0.79	OK

Nota: Verificación de peralte efectivo utilizado para diseño, Fuente: Norma Técnica E-060 Concreto Armado.

#### 4.1.6 Pre-dimensionamiento de Losas.

Para pre dimensionar el espesor (h) de las losas aligeradas armadas en un sentido se siguió la Norma Técnica E.060 de Concreto Armado, donde se menciona que, para prescindir de la verificación de deflexiones, cuando actúan sobrecargas menores a 300kg/m<sup>2</sup>, se puede utilizar la relación:

$$h \geq l_n/21 \quad (4)$$

Para el caso de losas macizas armadas 2 sentidos y apoyadas sobre sus cuatro lados, se decide utilizar la siguiente relación:

$$h \geq 2P/180 \quad (5)$$

Si  $\alpha_m$  está comprendido entre 0.2 y 2, el espesor de la losa estará dado por la siguiente expresión:

$$h = \frac{l_n \left( 0.8 + \frac{f_y}{14000} \right)}{36 + 5\beta(\alpha_m - 0.2)} \quad (6)$$

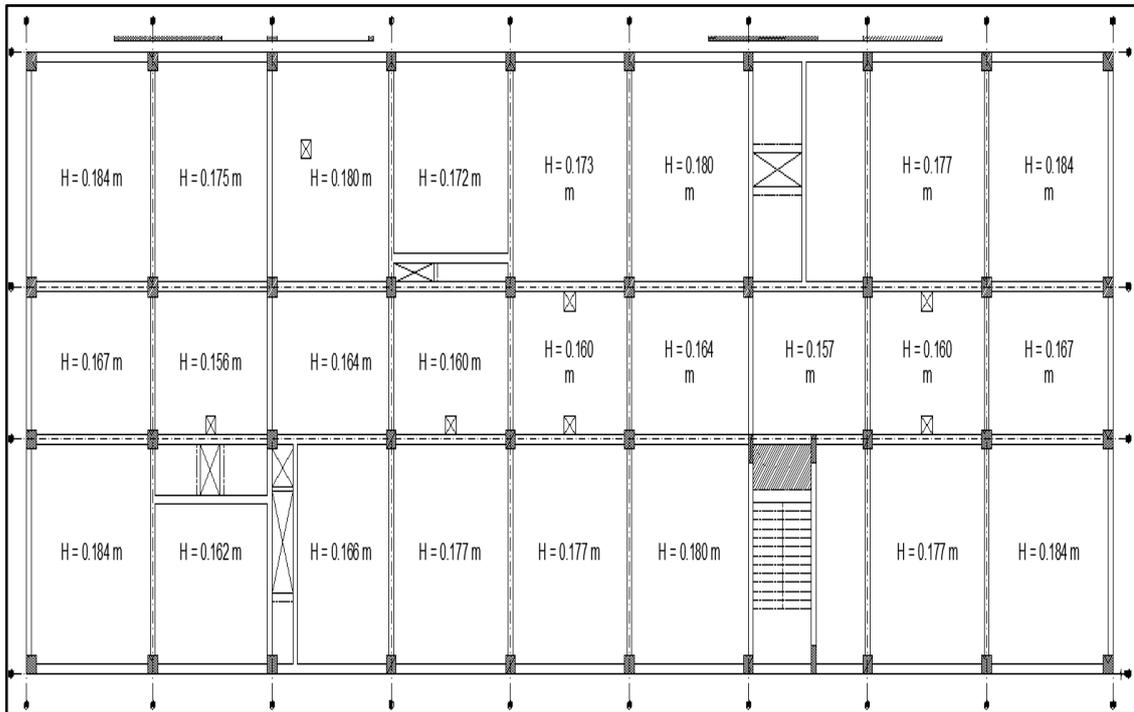
Y no será menor que 12.5 cm. Si  $\alpha_m$  es mayor que 2, el espesor mínimo será:

$$h = \frac{l_n \left( 0.8 + \frac{f_y}{14000} \right)}{36 + 9\beta} \quad (7)$$

Ver figura 18 se utilizará losas macizas de  $h=0.20\text{m}$  para los ejes AB-23 y IL-23 y para el resto de los paños  $h=0.18\text{m}$ .

**Figura 18**

Losas Macizas del Pabellón B.



Nota: La figura nos muestra la distribución de losa maciza en el predimensionamiento, Fuente: Expediente Técnico.

#### 4.1.7 Pre-dimensionamiento de columnas.

Para estructuras con una densidad de placas adecuada, las columnas se dimensionan estimando la carga axial que van a soportar, para columnas rectangulares los efectos de esbeltez son más críticos en la dirección de menor espesor, por lo que se recomienda utilizar columnas con espesores mínimos de 25 cm.

Para edificios que tengan muros de corte en las dos direcciones, tal que la rigidez lateral y la resistencia van a ser principalmente controlados por los muros, las columnas se pueden dimensionar suponiendo un área igual a:

$$\text{Área de la columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0.45 f'c} \quad (8)$$

Para el mismo tipo de edificios, el pre-dimensionamiento de las columnas con menos carga axial, como es el caso de las exteriores y esquineras se podrá hacer con un área igual a:

$$\text{Área de la columna} = \frac{P(\text{servicio})}{0.35 f'c} \quad (9)$$

Teniendo en cuenta estos criterios, en la Tabla 7 se presenta el siguiente cuadro para el pre-dimensionamiento de columnas:

**Tabla 7**

Pre-dimensionamiento de Columnas.

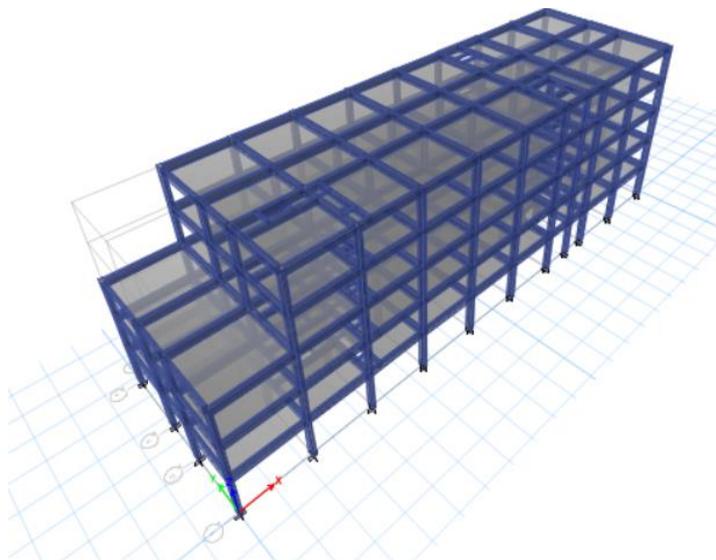
Block	Ubicación	PD	PL	1.25(PD+PL)	Área columna(cm <sup>2</sup> )	Secc. Tentativa(cm <sup>2</sup> )	Secc. Colocada (cm <sup>2</sup> )
B	B2-BC	234	90	405	3214.28	56x56	60x60

Nota: Tabla de Pre-dimensionamiento utilizado para Análisis, Fuente: elaboración Propia.

En la figura 19 se presenta el modelamiento de la estructura en base al predimensionamiento

## Figura 19

Modelo Estructural del Pre-dimensionamiento.



Nota: La figura nos muestra el modelo estructural, en base al predimensionamiento, elaborado en el programa ETABS V.2016.2.1.

### 4.2 Análisis Sísmico.

#### 4.2.1 Modelo Estructural.

La carga sísmica total se ha calculado tomando el 100% de la Carga Muerta y el 50% de la carga viva (para centros de reunión), tal como lo señala la norma NTE-030 de diseño Sismo resistente.

El análisis sísmico se desarrolló de acuerdo a las indicaciones de la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente NTE-030.

Se empleó un modelo espacial con diafragmas rígidos en cada sistema de piso. Como coordenadas dinámicas se consideraron 3 traslaciones y 3 giros. De estos 6 grados de libertad, los desplazamientos horizontales y el giro en la vertical se establecieron dependientes del diafragma. Se consideraron la deformación por fuerza axial, cortante, flexión y torsión.

La Norma Técnica E.030 señala que al realizar el análisis sísmico empleando el método de superposición espectral se debe considerar como criterio de superposición el ponderado entre la suma de absolutos y la media cuadrática según se indica en la siguiente ecuación:

$$r = 0.25\sum|r_i| + 0.75\sqrt{\sum r_i^2} \quad (10)$$

Tal como lo indica la propuesta de la Norma E.030 para el presente año, y de acuerdo con la ubicación de la estructura y las consideraciones de suelo proporcionadas, los parámetros para definir el espectro de diseño fueron:

**Zonificación:** La zonificación propuesta se basa en la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con la distancia epicentral, así como en información geotécnica.

El territorio nacional se encuentra dividido en cuatro zonas, a cada zona se le asigna un factor Z. Este factor se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años. En la Figura 20 se encuentra la zona donde está ubicada la edificación según la Norma Técnica E.030 es la zona 03 y su factor de zona es de 0.35. (Ver Figura 20).

**Figura 20**

Mapa de Zonificación Sísmica.



Nota: La figura nos muestra el mapa de zonificación sísmica del Perú el cual se divide en 4 tipos según cada departamento, Fuente: Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”.

**Estudios de Sitio:** Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones

sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

**Condiciones Geotectónicas:** Para los efectos de esta norma los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte.

Para efectos de la aplicación de la Norma Técnica E.030 de diseño sismo resistente se considera que el perfil de suelo es del tipo flexible (S2), el parámetro  $T_p$  asociado con este tipo de suelo es de 0.60 s, y el parámetro  $T_L$  asociado con este tipo de suelo es de 2.00 s y el factor de amplificación del suelo asociado se considera  $S=1.15$ .

**Factor de amplificación sísmica:** De acuerdo con las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por la siguiente expresión:

$$C = 2.5; T < T_p \quad (11)$$

$$C = 2.5(T_p / T); T_p < T < T_L \quad (12)$$

$$C = 2.5(T_p \times T_L / T^2); T_L < T \quad (13)$$

**Categoría de las edificaciones:** Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con la categoría de uso de la edificación, se está considerando para el presente análisis  $U=1.5$ .

**Sistemas estructurales:** Los sistemas estructurales se clasificaron según los materiales usados en este caso concreto armado y el sistema de estructuración sismo resistente predominante en cada dirección, en este caso es aperticado.

#### 4.2.2 Estimación del Peso(P)

El peso de la edificación se calcula adicionando la carga muerta más un 50% de la carga viva, ver Tabla 8, de acuerdo con el artículo 23 de la Norma Técnica E.030.

**Tabla 8**

Distribución de Peso Sísmico por Nivel.

Descripción	Altura(m)	Peso Sísmico(tonf)
PISO 05	22.75	1171.39
PISO 04	18.40	1271.13
PISO 03	14.05	1450.00
PISO 02	9.70	1443.01
PISO 01	5.35	1478.43
Total		6813.96

Nota: La tabla nos muestra la distribución de peso en cada piso, Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.3 Modos de Vibración.

Los modos de vibración, ver Tabla 9, podrán determinarse por el procedimiento de análisis que se considera las características de rigidez y distribución de masas.

**Tabla 9**

Modos de Vibración y Masa Participante.

Modo	Periodo(s)	% Masa participante X-X	% Masa acumulada X-X	% Masa participante Y-Y	% Masa acumulada Y-Y
1	0.9020	0.16%	0.16%	81.78%	81.78%
2	0.8760	89.49%	89.65%	0.23%	82.01%
3	0.7820	0.11%	89.76%	7.28%	89.29%
4	0.2990	0.03%	89.79%	7.28%	96.57%
5	0.2930	7.67%	97.46%	0.05%	96.62%
6	0.2740	0.04%	97.50%	0.98%	97.60%
7	0.1680	1.90%	99.40%	0.15%	97.75%
8	0.1650	0.09%	99.49%	1.85%	99.60%
9	0.1140	0.48%	99.97%	0.06%	99.66%
10	0.0010	0.03%	100.00%	0.09%	99.75%
11	0.0002	0.00%	100.00%	0.01%	99.76%
12	0.0001	0.00%	100.00%	0.09%	99.85%

Nota: La tabla nos muestra los nodos de vibración obtenidos en el análisis, Fuente: Elaboración Propia.

**Periodo Fundamental de Vibración.** En Tablas 10 y 11 se usará la ecuación 14, para efectos de comprobación del periodo fundamental de vibración.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n P_i \cdot d_i^2}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot d_i)}} \quad (14)$$

Donde:

- $f_i$  es la fuerza lateral en el nivel  $i$  correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis
- $d_i$  es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel  $i$  en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas  $f_i$ . Los desplazamientos se calculan suponiendo comportamiento lineal elástico de la estructura y, para el caso de estructuras de concreto armado y de albañilería, considerando las secciones sin fisurar.

**Tabla 10**

Calculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 01(Eje XX).

Piso	Elevación(m)	$f_i$ Modo 01(tonf)	$D_i$ (m)	$M_i$ (tonf-s <sup>2</sup> /m)	$P_i$ (tonf)	$P_i \cdot d_i^2$	$f_i \cdot d_i$
PISO 05	22.75	-9.27	0.0017	112.36	1102.24	0.003	0.0153
PISO 04	18.4	-9.83	0.0015	129.62	1271.57	0.0029	0.0149
PISO 03	14.05	-9.36	-0.0013	147.09	1442.98	0.0023	0.0119
PISO 02	9.7	-6.96	-0.0009	147.15	1443.5	0.0013	0.0066
PISO 01	5.35	-4.02	-0.0005	148.95	1461.22	0.0004	0.0022
Total						0.01	0.0509

Nota: La siguiente tabla nos muestra los principales modos de vibración del diseño, Fuente: Elaboración propia.

Calculando el periodo:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{0.010}{(9.81 \times 0.0509)}}$$

$$T = 0.889s$$

**Tabla 11**

Cálculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 02(Eje YY).

Piso	Elevación(m)	f <sub>i</sub> Modo 02(tonf)	D <sub>i</sub> (m)	M <sub>i</sub> (tonf-s <sup>2</sup> /m)	P <sub>i</sub> (tonf)	P <sub>i</sub> .d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> .d <sub>i</sub>
PISO 05	22.75	9.5	0.0016	112.36	1102.24	0.0029	0.0155
PISO 04	18.4	10.14	0.0015	129.62	1271.57	0.0029	0.0153
PISO 03	14.05	9.74	0.0013	147.09	1442.98	0.0024	0.0125
PISO 02	9.7	7.3	0.001	147.15	1443.5	0.0013	0.007
PISO 01	5.35	4.27	0.0006	148.95	1461.22	0.0004	0.0024
Total						0.01	0.0527

Nota: Calculo de periodo de vibración para Modo 02 en el eje YY, Fuente: Elaboración Propia.

Calculando el periodo:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{0.010}{(9.81 \times 0.0527)}}$$

$$T = 0.874s$$

En la Tabla 12 se establece la comparación de los periodos fundamentales de vibración entre el programa ETABS V.2016.2.1 y la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

**Tabla 12**

Comparación de Periodos Fundamentales de Vibración.

EJE	T (ETABS V.2016.2.1)	T (NT E.030)
XX	0.876s	0.874s
YY	0.902s	0.889s

Nota: La comparación de los periodos se observa una aproximación del 98% por lo tanto se usará el periodo del programa ETABS V.2016.2.1.

Los periodos fundamentales de vibración serán:

$$T_x=0.876s; T_y=0.902s$$

Calculamos el valor del Factor de amplificación sísmica (C):

$$C_x=1.71; C_y=1.66$$

Exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura(k):

$$k_x=1.19; k_y=1.20.$$

En la Tabla 15 se define los parámetros sísmicos preliminares para proceder a realizar el análisis sísmico de la edificación.

**Tabla 13**

Parámetros Sísmicos del Predimensionamiento.

Parámetros	Notación	Valor
Factor de zona Sísmica (Zona 3)	Z	0.35
	S	1.15
Perfil de Suelo (Tipo S2)	Tp	0.60
	TL	2.00
Periodo de Vibración(s)	Tx	0.876
	Ty	0.902
Factor de amplificación sísmica	Cx	1.71
	Cy	1.66
Peso sísmico (tonf)	P	6813.96
Factor de Categoría (Categoría A)	U	1.50
Factor de Reducción (Bloque Base Fija)	R <sub>x</sub>	8.00
	R <sub>y</sub>	8.00
Factor de irregularidad (I)	I <sub>a</sub>	1.00
	I <sub>p</sub>	1.00

Nota: La tabla nos muestra los parámetros utilizados para el diseño. Fuente: Elaboración propia.

#### 4.2.4 Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes

Se representa mediante sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación, dicho análisis servirá para identificar los factores de irregularidad iniciales.

**Fuerza Cortante en la Base.** Se determinará la cortante basal según la ecuación 15.

$$V = \frac{Z * U * C * S}{R} * P \quad (15)$$

Se obtiene los siguientes resultados:

Eje X-X:

$$V_{x-x} = \frac{0.35 \times 1.5 \times 1.71 \times 1.15}{8} \times 6813.96$$

$$V_{x-x} = 880.55 \text{ tonf}$$

Eje Y-Y:

$$V_{y-y} = \frac{0.35 \times 1.5 \times 1.66 \times 1.15}{8} \times 6813.96$$

$$V_{y-y} = 855.17 \text{ tonf}$$

En la Tabla 14 y 15 se realiza el cálculo de la distribución por entre piso de la fuerza sísmica según la Norma Técnica E.030.

**Tabla 14**

Fuerza Sísmica Distribuida por Piso Eje X.

Piso	Hi(m)	Hi <sup>k</sup> (m)	Pi(tonf)	Pi*Hi <sup>k</sup>	Fi(tonf)
5	22.75	40.93	1171.39	47950.93	273.88
4	18.40	31.81	1271.13	40438.45	230.97
3	14.05	23.09	1450.00	33481.70	191.23
2	9.70	14.87	1443.01	21456.21	122.55
1	5.35	7.33	1478.43	10841.39	61.92
Total					880.55

Nota: La tabla nos muestra la fuerza sísmica obtenida en cada piso en el eje X, Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 15**

Fuerza Sísmica Distribuida por piso Eje Y.

Piso	Hi(m)	Hi <sup>k</sup> (m)	Pi(tonf)	Pi*Hi <sup>k</sup>	Fi(tonf)
5	22.75	42.63	1171.39	49938.76	267.30
4	18.40	33.04	1271.13	41998.83	224.80
3	14.05	23.90	1450.00	34651.92	185.47
2	9.70	15.31	1443.01	22099.42	118.29
1	5.35	7.49	1478.43	11080.35	59.31
Total					855.17

Nota: La tabla nos muestra la fuerza sísmica obtenida en cada piso en el eje Y, Fuente: Elaboración Propia.

#### 4.2.5 Factores de Irregularidad ( $I_a$ , $I_p$ )

Se obtuvo los factores de irregularidad de acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

Se evaluará desde las Tabla 16 a la Tabla 20 la Irregularidad por altura.

##### A. Irregularidad por rigidez

Se evalúo la irregularidad por rigidez en el Pabellón B.

**Tabla 16**

Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje X.

Piso	$K_i$ (tonf/m)	$0.7K_{i+1}$	$0.8(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})/3$	Condición
PISO 05	79242.3	-	-	Regular
PISO 04	84694.9	55469.63	-	Regular
PISO 03	91423.5	59286.40	-	Regular
PISO 02	90066.7	63996.42	68096.17	Regular
PISO 01	73253.0	63046.65	70982.66	Regular

Nota: La tabla nos indica que no existe irregularidad por rigidez en ninguno de los entrepisos en el eje X,

Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 17**

Evaluación de Irregularidades de Rigidez en el Eje Y.

Piso	$K_i$ (tonf/m)	$0.7K_{i+1}$	$0.8(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})/3$	Condición
PISO 05	71705.98	-	-	Regular
PISO 04	65113.76	50194.18	-	Regular
PISO 03	87043.48	45579.63	-	Regular
PISO 02	86736.23	60930.44	59696.86	Regular
PISO 01	72582.21	60715.36	63704.93	Regular

Nota: La tabla nos indica que no existe irregularidad por rigidez en ninguno de los entrepisos en el eje X,

Fuente: Elaboración Propia.

**B. Irregularidad de Resistencia**

Se evalúo la irregularidad por resistencia de los elementos estructurales en el Pabellón B

**Tabla 18**

Irregularidad de Resistencia.

Piso	$A_i$ resistente ( $m^2$ )	$0.80 A_{i+1}$ resistente ( $m^2$ )	Condición
PISO 05	13.68	-	Regular
PISO 04	13.68	10.94	Regular
PISO 03	15.12	10.94	Regular
PISO 02	15.12	12.09	Regular
PISO 01	15.12	12.09	Regular

Nota: La siguiente tabla nos muestra que no existe la condición irregularidad de resistencia, Fuente:

Elaboración propia.

### C. Irregularidad de Masa o Peso

Se evaluó la irregularidad por masa en el Pabellón B.

**Tabla 19**

Evaluación de Irregularidad por Masa.

<b>Piso</b>	<b>Pi (tonf)</b>	<b>1.5P<sub>i+1</sub>(tonf)</b>	<b>1.5P<sub>i-1</sub>(tonf)</b>	<b>Condición</b>
PISO 05	1171.39	-	1906.70	Regular
PISO 04	1271.13	1757.09	2175.00	Regular
PISO 03	1450.00	1906.70	2164.52	Regular
PISO 02	1443.01	2175.00	2217.65	Regular
PISO 01	1478.43	2164.52	-	Regular

Nota: La tabla muestra la condición aceptable para el cálculo de irregularidad de masa por piso, Fuente: Elaboración Propia.

### D. Irregularidad Geometría Vertical

Se evaluó la irregularidad por Geometría Vertical en el Pabellón B.

**Tabla 20**

Evaluación de Irregularidad por Geometría Vertical.

<b>Piso</b>	<b>L<sub>xi</sub>(m)</b>	<b>1.3L<sub>xi+1</sub>(m)</b>	<b>1.3L<sub>xi-1</sub>(m)</b>	<b>Condición</b>
PISO 05	59.58	-	77.45	Regular
PISO 04	59.58	77.45	87.76	Regular
PISO 03	67.51	77.45	87.76	Regular
PISO 02	67.51	87.76	87.76	Regular
PISO 01	67.51	87.76	-	Regular

Nota: La tabla nos muestra las irregularidades por geometría vertical por piso, Fuente: Elaboración Propia.

Se evaluará desde las Tabla 21 a la Tabla 23 la Irregularidad por planta.

#### A. Irregularidad Torsional y Torsional Extrema

Se evaluó la irregularidad Torsional y Torsional Extrema en el Pabellón B.

**Tabla 21**

Evaluación de Irregularidad Torsional Eje X.

Piso	$D_{xi}$ (cm)	$D_{xi}$ prom(cm)	$1.3D_{xi}$ prom(cm)	$1.5D_{xi}$ prom(cm)	Cond. Torsional	Cond. Torsional Extrema
5	0.337	0.328	0.426	0.491	Regular	Regular
4	0.597	0.580	0.754	0.871	Regular	Regular
3	0.765	0.747	0.971	1.121	Regular	Regular
2	0.917	0.895	1.164	1.343	Regular	Regular
1	1.211	1.185	1.540	1.777	Regular	Regular

Nota: La tabla nos muestra los valores con resultados regulares en la evolución de irregularidad torsional en el Eje X, Fuente: Elaboración Propia.

**Tabla 22**

Evaluación de Irregularidad Torsional Eje Y.

Piso	$D_{yi}$ (cm)	$D_{yi}$ prom(cm)	$1.3D_{yi}$ prom(cm)	$1.5D_{yi}$ prom(cm)	Cond. Torsional	Cond. Torsional Extrema
5	0.337	0.328	0.426	0.491	Regular	Regular
4	0.597	0.580	0.754	0.871	Regular	Regular
3	0.765	0.747	0.971	1.121	Irregular	Regular
2	0.917	0.895	1.164	1.343	Irregular	Regular
1	1.211	1.185	1.540	1.777	Irregular	Regular

Nota: La tabla nos muestra los valores con resultados regulares en la evolución de irregularidad torsional en el Eje Y, Fuente: Elaboración Propia.

## B. Irregularidad Discontinuidad de Diafragma

Se evaluó la irregularidad por Discontinuidad de Diafragma en el Pabellón B.

**Tabla 23**

Evaluación de Irregularidad por Discontinuidad de Diafragma.

Diafragma	Área(m <sup>2</sup> )	Área discontinua (m <sup>2</sup> )	0.5 Área(m <sup>2</sup> )	Condición
D1	1323.20	0.00	661.60	-
D2	1323.20	0.00	661.60	-
D3	1323.20	156.00	661.60	Regular
D4	1167.20	0.00	583.88	-
D5	1167.77	-	-	-

Nota: La tabla muestra la condición regular en la evaluación de discontinuidad de diafragma, Fuente: Elaboración Propia.

Ver Tabla 24 que de acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, respecto a las evaluaciones de irregularidad en altura y planta en el Pabellón B se consideró los siguientes factores:

**Tabla 24**

Factor de Irregularidad del Pabellón B.

<b>Irregularidades</b>	<b>Factor</b>
Irregularidad en altura (Ia)	1.00
Irregularidad en planta (Ip)	0.75

Nota: Factor de irregularidad obtenido para el diseño, Fuente: Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”.

#### 4.3 Análisis Sísmico del Sistema Aporticado

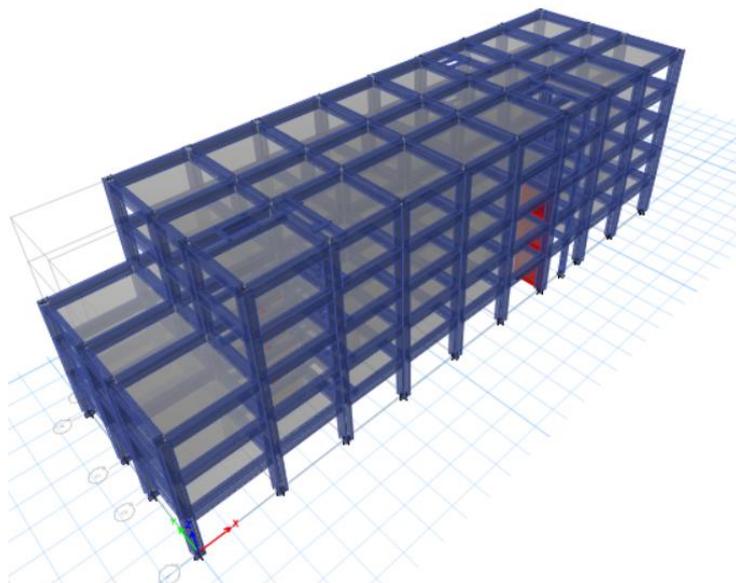
Se realizó el análisis sísmico al modelo con la implementación de la categoría A2 de acuerdo con la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente. Se usó el Análisis Dinámico Modal Espectral, con el objetivo de dar la suficiente aproximación al comportamiento real de la estructura sujeta a una demanda sísmica, sin embargo, se hizo conveniente realizar el Análisis Estático para limitar las cortantes obtenidas en un Análisis Dinámico, de acuerdo con el artículo 26.4 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

##### 4.3.1 Modelo Estructural

Para el análisis sísmico del sistema aporticado en base fija se consideró al Pabellón B con la categoría A2, ver Figura 21, y de acuerdo con el artículo 18 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente indica que las edificaciones con ubicación en zona 4, 3 y 2 no se permiten irregularidades, por lo tanto, se modificó las dimensiones de los elementos estructurales pre dimensionados para cumplir con la Norma.

**Figura 21**

Modelo Estructural Sistema Aporticado.



Nota: Modelo estructural con sistema aporticado, Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 25 se observa el aumento de las secciones en los elementos pre dimensionados y se agregó muros de cortes en los sentidos del eje X e Y.

**Tabla 25**

Elementos Estructurales del Sistema Aporticado.

Elemento	b(m)	h(m)	L(m)	Ubicación
Columna 01	0.80	1.00	-	Todos los niveles
Viga 01	0.60	1.00	-	Sentido X
Viga 02	0.60	1.00	-	Sentido Y
MC 01	-	0.25	2.45	Sentido X
MC 02	-	0.25	3.75	Sentido Y
Losa maciza 01	-	0.20	-	-
Losa maciza 02	-	0.18	-	-

Nota: Tabla de ubicación de vigas, columnas y losa maciza, Fuente: Elaboración propia

#### 4.3.2 Estimación de Peso(P).

En la Tabla 26 se calcula el peso sísmico de acuerdo con el artículo 23 de la Norma Técnica E.030.

**Tabla 26**

Distribución de Peso Sísmico por Nivel para el Sistema Aporticado.

Descripción	Altura(m)	Peso Sísmico(tonf)
PISO 05	22.75	1579.96
PISO 04	18.40	1679.70
PISO 03	14.05	1918.87
PISO 02	9.70	1911.88
PISO 01	5.35	1993.26
Total		9083.66

Nota: La tabla nos muestra la distribución de peso por piso, Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.3 Modos de Vibración.

Los modos de vibración se observan en la Tabla 27, se determinaron por el procedimiento de análisis que se considera las características de rigidez y distribución de masas.

**Tabla 27**

Modos de Vibración y Masa Participante.

Modo	Periodo(s)	% Masa participante X-X	% Masa acumulada X-X	% Masa participante Y-Y	% Masa acumulada Y-Y
1	0.5320	87.44%	87.44%	0.01%	0.01%
2	0.4860	0.03%	87.47%	79.22%	79.23%
3	0.4490	0.08%	87.55%	6.03%	85.26%
4	0.1780	8.86%	96.41%	0.00%	85.26%
5	0.1640	0.01%	96.42%	7.32%	92.58%
6	0.1480	0.00%	96.42%	3.20%	95.78%
7	0.1000	2.70%	99.12%	0.01%	95.79%
8	0.0850	0.01%	99.13%	3.46%	99.25%
9	0.0630	0.81%	99.94%	0.02%	99.27%
10	0.0005	0.01%	99.95%	0.14%	99.41%
11	0.0002	0.00%	99.96%	0.12%	99.53%
12	0.0001	0.00%	99.96%	0.03%	99.56%

Nota: La tabla nos muestra los modos de vibración obtenidos al analizar el diseño estructural

**Periodo Fundamental de Vibración.** En la tabla 28 y 29, para efectos de comprobación del periodo fundamental de vibración se usó la ecuación 14.

**Tabla 28**

Cálculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 01(Eje XX).

Piso	Elevación(m)	f <sub>i</sub> Modo 01(tonf)	D <sub>i</sub> (m)	M <sub>i</sub> (tonf-s <sup>2</sup> /m)	P <sub>i</sub> (tonf)	P <sub>i</sub> .d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> .d <sub>i</sub>
05	22.75	29.96	0.0015	145.59	1428.23	0.0030	0.0436
04	18.40	32.18	0.0013	171.28	1680.27	0.0030	0.0428
03	14.05	29.88	0.0011	193.76	1900.79	0.0023	0.0328
02	9.70	21.91	0.0008	194.96	1912.53	0.0012	0.0174
01	5.35	12.04	0.0004	199.30	1955.13	0.0004	0.0051
Total						0.0099	0.01418

Nota: La tabla nos muestra el cálculo obtenido de periodos fundamentales obtenidos en cada piso, Fuente: Elaboración propia.

Calculando el periodo:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{0.0099}{(9.81 \times 0.01418)}}$$

$$T = 0.529s$$

**Tabla 29**

Calculo del Periodo Fundamental de Vibración para el Modo 02(Eje YY).

Piso	Elevación(m)	f <sub>i</sub> Modo 02(tonf)	D <sub>i</sub> (m)	M <sub>i</sub> (tonf-s <sup>2</sup> /m)	P <sub>i</sub> (tonf)	P <sub>i</sub> .d <sub>i</sub> <sup>2</sup>	f <sub>i</sub> .d <sub>i</sub>
05	22.75	-36.59	-0.0015	145.59	1428.23	0.0030	0.0531
04	18.40	-38.49	-0.0013	171.28	1680.27	0.0028	0.0497
03	14.05	-33.05	-0.0010	193.76	1900.79	0.0020	0.0341
02	9.70	-23.07	-0.0007	194.96	1912.53	0.0010	0.0165
01	5.35	-11.87	-0.0004	199.30	1955.13	0.0003	0.0043
Total						0.0091	0.1576

Nota: La tabla nos muestra el periodo fundamental de vibración obtenidos en el eje YY, Fuente: Elaboración propia.

Calculando el periodo:

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{0.0091}{(9.81 \times 0.1576)}}$$

$$T = 0.481s$$

Se estableció la comparación de los periodos fundamentales de vibración en la Tabla 30 entre el programa ETABS V.2016.2.1 y la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

**Tabla 30**

Comparación de Periodos Fundamentales de Vibración.

EJE	T (ETABS V.2016.2.1)	T (NT E.030)
XX	0.532s	0.529s
YY	0.486s	0.481s

Nota: La comparación de los periodos se observa una aproximación del 98% por lo tanto se usará el periodo del programa ETABS V.2016.2.1.

Los periodos fundamentales de vibración serán:

$$T_x=0.532s; T_y=0.486s$$

Calculamos el valor del Factor de amplificación sísmica (C):

$$C_x=2.50; C_y=2.50$$

Exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración de la estructura(k):

$$k_x=1.016; k_y=1.00.$$

Por lo tanto, en la Tabla 33 se define los parámetros sísmicos preliminares, se procede a realizar el análisis sísmico de la edificación.

**Tabla 31**

Parámetros Sísmicos Modelo Sistema Aporticado.

Parámetro	Notación	Valor
Factor de zona Sísmica (Zona 3)	Z	0.35
	S	1.15
Perfil de Suelo (Tipo S2)	Tp	0.60
	TL	2.00
Periodo de Vibración(s)	Tx	0.532
	Ty	0.486
Factor de amplificación sísmica	Cx	2.50
	Cy	2.50
Peso sísmico (tonf)	P	9083.67
Factor de Categoría (Categoría A)	U	1.50
Factor de Reducción (Bloque Base Fija)	Rx	8.00
	Ry	8.00
Factor de irregularidad (I)	Ia	1.00
	Ip	1.00

Nota: Tabla de parámetros usados para el diseño y modelamiento de la estructura, Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.4 Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes

Se representa mediante sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de la edificación, dicho análisis sirvió para limitar la fuerza cortante mínima de Análisis Dinámico Modal Espectral.

**Fuerza Cortante en la Base.** Se determinará la cortante basal según la ecuación 15.

Se obtiene los siguientes resultados:

Eje X-X:

$$V_{x-x} = \frac{0.35 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.15}{8} \times 9083.67$$

$$V_{x-x} = 1713.83 \text{ tonf}$$

Eje Y-Y:

$$V_{y-y} = \frac{0.35 \times 1.5 \times 2.5 \times 1.15}{8} \times 9083.67$$

$$V_{y-y} = 1713.83 \text{ tonf}$$

#### 4.3.5 Análisis Dinámico Modal Espectral.

Para cualquier tipo de estructura puede ser diseñada usando los resultados dinámicos por combinación modal espectral. La Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente señala que al realizar el análisis sísmico empleando el método de superposición espectral se debe considerar como criterio de superposición el ponderado entre la suma de absolutos y la media cuadrática según se indica en la siguiente ecuación:

$$r = 0.25 \sum |r_i| + 0.75 \sqrt{\sum r_i^2} \quad (16)$$

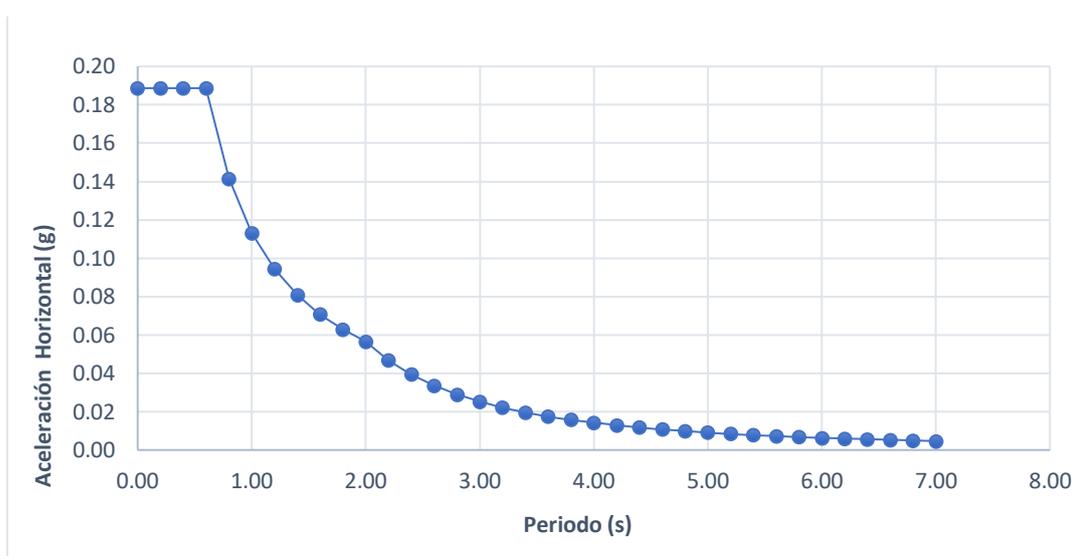
Para cada una de las direcciones horizontal y vertical se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por

$$S_a = \frac{Z * U * C * S}{R} * g \quad (17)$$

Donde los términos de “ $S_a$ ” y “ $g$ ” corresponden a la aceleración espectral y gravedad. Con los parámetros sísmicos obtenidos se procede a realizar el espectro de diseño Figura 22 y 23 de diseño horizontal y vertical respectivamente.

**Figura 22**

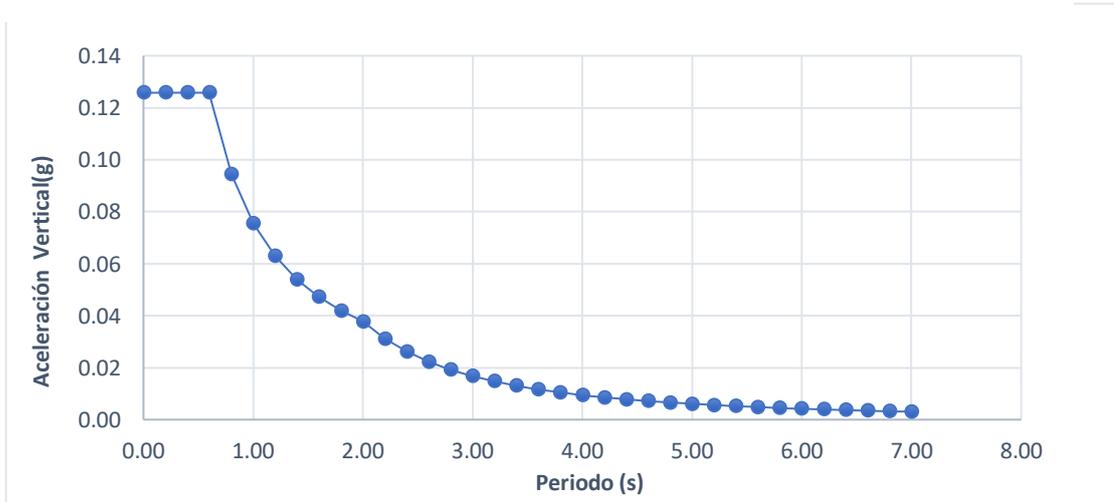
Espectro de Pseudo Aceleraciones Horizontal.



Nota: La figura nos muestra el grafico de Pseudo aceleraciones horizontales, Fuente: Elaboración propia.

**Figura 23**

Espectro de Pseudo Aceleraciones Vertical



Nota: La figura nos muestra el grafico de Pseudo aceleraciones vertical, Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.6 Factores de Irregularidad (Ia, Ip)

Se obtuvo los factores de irregularidad de acuerdo a la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente.

Se evaluará desde las Tabla 32 a la Tabla 35 la Irregularidad por altura.

##### A. Irregularidad por rigidez

Se evaluó la irregularidad por rigidez en el Pabellón B.

**Tabla 32**

Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje X.

Piso	$K_i$ (tonf/m)	$0.7K_{i+1}$	$0.8(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})/3$	Condición
PISO 05	240657.04	-	-	Regular
PISO 04	267775.79	168459.93	-	Regular
PISO 03	298777.41	187443.05	-	Regular
PISO 02	304860.25	209144.19	215256.06	Regular
PISO 01	290405.34	213402.17	232376.92	Regular

Nota: La tabla nos muestra la condición de regular en cada entre piso por irregularidad en rigidez del eje X, Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 33**

Evaluación de Irregularidad de Rigidez en el Eje Y.

Piso	$K_i$ (tonf/m)	$0.7K_{i+1}$	$0.8(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})/3$	Condición
PISO 05	234366.53	-	-	Regular
PISO 04	283349.95	164056.57	-	Regular
PISO 03	340148.09	198344.97	-	Regular
PISO 02	369381.43	238103.66	228763.89	Regular
PISO 01	400702.74	258567.00	264767.86	Regular

Nota: La tabla nos muestra la condición de regular en cada entre piso por irregularidad en rigidez del eje X, Fuente: Elaboración propia.

##### B. Irregularidad de Resistencia

Se evaluó la irregularidad por resistencia de los elementos estructurales en el Pabellón B.

**Tabla 34**

Irregularidad de Resistencia.

Piso	$A_i$ resistente ( $m^2$ )	$0.80 A_{i+1}$ resistente ( $m^2$ )	Condición
PISO 05	30.4	-	Regular
PISO 04	30.4	24.32	Regular
PISO 03	34.86	24.32	Regular
PISO 02	34.86	27.89	Regular
PISO 01	34.86	27.89	Regular

Nota: La tabla nos muestra la irregularidad obtenida por piso, Fuente: Elaboración propia.

**C. Irregularidad de Masa o Peso**

Se evalúo la irregularidad por masa en el Pabellón B.

**Tabla 35**

Evaluación de Irregularidad de Masa.

Piso	$P_i$ (tonf)	$1.5P_{i+1}$ (tonf)	$1.5P_{i-1}$ (tonf)	Condición
PISO 05	1579.96	-	2519.54	Regular
PISO 04	1679.70	2369.94	2878.31	Regular
PISO 03	1918.87	2519.54	2867.82	Regular
PISO 02	1911.88	2878.31	2989.89	Regular
PISO 01	1993.26	2867.82	-	Regular

Nota: La tabla nos muestra la irregularidad por masa de cada piso, Fuente: Elaboración propia.

Se evaluará en la Tabla 36 y 37 la Irregularidad por planta.

**A. Irregularidad Torsional y Torsional Extrema**

Se evalúo la irregularidad Torsional y Torsional Extrema en el Pabellón B.

**Tabla 36**

Evaluación de Irregularidad Torsional Eje X.

Piso	$D_{xi}$ (cm)	$D_{xi}$ prom(cm)	$1.3D_{xi}$ prom(cm)	$1.5D_{xi}$ prom(cm)	Cond. Torsional	Cond. Torsional Extrema
PISO 05	0.155	0.153	0.199	0.229	Regular	Regular
PISO 04	0.280	0.277	0.360	0.415	Regular	Regular
PISO 03	0.369	0.364	0.474	0.546	Regular	Regular
PISO 02	0.447	0.441	0.573	0.661	Regular	Regular
PISO 01	0.521	0.514	0.668	0.770	Regular	Regular

Nota: La tabla nos muestra la condición regular por las irregularidades torsionales en el eje X para cada piso, Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 37**

Evaluación de Irregularidad Torsional Eje Y.

Piso	$D_{yi}$ (cm)	$D_{yi}$ prom(cm)	$1.3D_{yi}$ prom(cm)	$1.5D_{yi}$ prom(cm)	Cond. Torsional	Cond. Torsional Extrema
PISO 05	0.206	0.191	0.249	0.287	Regular	Regular
PISO 04	0.345	0.312	0.406	0.468	Regular	Regular
PISO 03	0.448	0.388	0.505	0.582	Regular	Regular
PISO 02	0.490	0.443	0.576	0.665	Regular	Regular
PISO 01	0.486	0.460	0.598	0.690	Regular	Regular

Nota: La tabla nos muestra las irregularidades torsionales en el eje Y para cada piso, Fuente: Elaboración propia.

#### 4.3.7 Requisitos del Sistema Aporticado Según NTE.030 Diseño Sismorresistente

**Factores de Irregularidad.** De acuerdo a la Tabla 38 factores de irregularidad y con el artículo 18 en la Tabla N°10 Categoría de la Edificación e Irregularidad de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, todas las edificaciones con la categoría A2, en zonas sísmicas 4,3 y 2, no se permiten irregularidades por lo tanto se cumplió con ello.

**Tabla 38**

Factores de Irregularidad del Pabellón B.

Irregularidades	Factor
Irregularidad en altura (Ia)	1.00
Irregularidad en planta (Ip)	1.00

Nota: Tabla de irregularidades, Fuente: Norma E.030 “Diseño Sismorresistente”.

**Fuerza Cortante Mínima.** De acuerdo con la Tabla 39 y lo que indica el artículo 26.4 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente la fuerza cortante en el primer entrepiso del edificio no puede ser menor que el 80% del valor calculado en el Análisis Estático para una estructura Regular, por lo tanto, se cumplió con ello.

**Tabla 39**

Evaluación de Fuerza Cortante Mínima en el Primer Entrepiso.

Fuerza Cortante	A. Dinámico (tonf)	A. Estático(tonf)	A. Dinámico/A. Estático
V <sub>x</sub>	1474.31	1713.83	86.02%
V <sub>y</sub>	1403.40	1713.83	81.89%

Nota: La tabla nos muestra la comparación en porcentaje de los análisis estático y dinámico, Fuente: Elaboración propia.

**Sistema Estructural.** De acuerdo con la Tabla 40 y lo que indica el artículo 13.1.1 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente la clasificación como Sistema Aporticado en concreto armado debe cumplir que por lo menos el 80% de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos. En caso se tengan muros estructurales, estos se diseñan para resistir una fracción de la acción sísmica total de acuerdo con su rigidez. Por lo tanto, se cumplió con ello en ambos ejes y el sistema estructural es Aporticado.

**Tabla 40**

Evaluación del Sistema Estructural Aporticado.

Elemento Resistentes	V <sub>x</sub> (tonf)	Cortante Actuante (%)	V <sub>y</sub> (tonf)	Cortante Actuante (%)
Columnas	1281.90	86.95%	1128.77	80.43%
Muros de Corte	192.41	13.05%	274.63	19.57%
Total	1474.31	100%	1403.40	100%

Nota: La tabla nos muestra la fuerza cortante actuante, Fuente: Elaboración propia.

**Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles.** De acuerdo a la Tabla 41 y 42, y lo indicado en el artículo 29 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, no debe exceder 0.007 en concreto armado. Por lo tanto, se cumplió con ello en ambos ejes.

**Tabla 41**

Evaluación de la Distorsión Eje X.

Piso	Sismo	Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica (0.75R)	Distorsión Inelástica <0.007
PISO 05	SDX	0.0005	0.0029	Cumple
PISO 04	SDX	0.0008	0.0048	Cumple
PISO 03	SDX	0.0010	0.0062	Cumple
PISO 02	SDX	0.0011	0.0068	Cumple
PISO 01	SDX	0.0009	0.0055	Cumple

Nota: La tabla nos muestra valores aceptables de distorsión en X para cada entre piso, Fuente: Elaboración propia.

**Tabla 42**

Evaluación de la Distorsión Eje Y.

Piso	Sismo	Distorsión Elástica	Distorsión Inelástica (0.75R)	Distorsión Inelástica <0.007
PISO 05	SDY	0.0004	0.0022	Cumple
PISO 04	SDY	0.0007	0.0039	Cumple
PISO 03	SDY	0.0009	0.0051	Cumple
PISO 02	SDY	0.0010	0.0062	Cumple
PISO 01	SDY	0.0010	0.0059	Cumple

Nota: La tabla nos muestra valores aceptables de distorsión en Y para cada entre piso, Fuente: Elaboración propia.

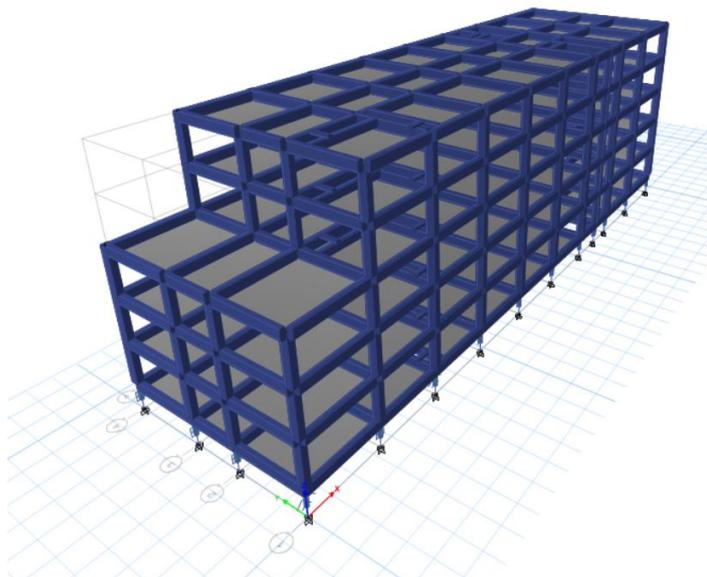
#### 4.4 Análisis Sísmico con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo.

La estructura aislada, se comporta como un cuerpo rígido, el cual se encuentra ubicado sobre los aisladores y concentran su carga total sobre ellos, reduciendo así la vibración ante un evento sísmico.

La estructura aislada presentada parte de las características del predimensionamiento realizado en el ítem 4.2, ver Figura 24, el cual implicaba el sistema aporticado, teniendo como diferencia la ubicación de 39 aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y 3 deslizadores de fricción en su base aislada los cuales recibirán la carga que transmite la superestructura.

**Figura 24**

Sistema con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo



Nota: Modelo estructural con sistema de aisladores elastoméricos núcleo de plomo Fuente: ETABS V.2016.2.1

Se categorizo a la edificación como un tipo A1 de acuerdo al artículo 14 de la tabla N°6 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente y de acuerdo al artículo 8.2 de a la Tabla N°1, de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico, se interpreta que no se permiten irregularidades extremas, sin embargo, las irregularidades no extremas si se permiten en zona sísmicas 03 para un sistema con aislamiento, por lo tanto se considera el modelo estructural con sus irregularidades (ver Tabla 24)del predimensionamiento.

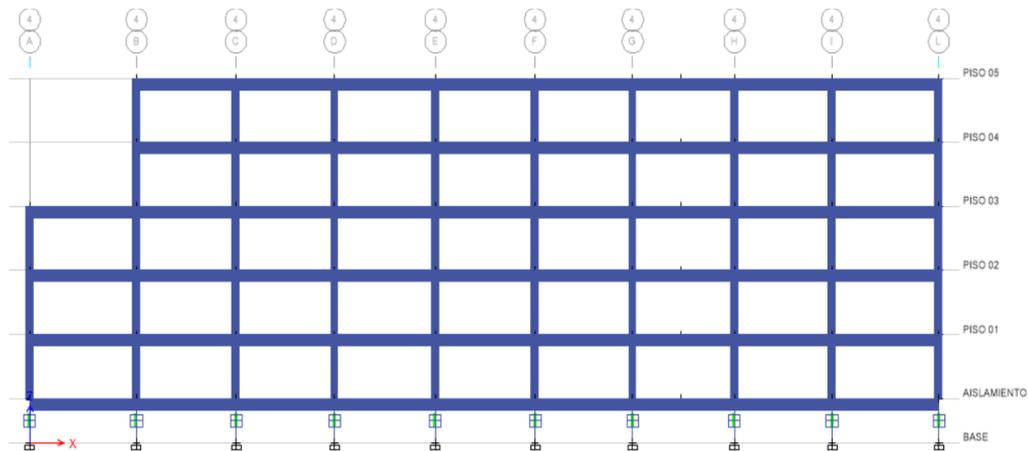
El procedimiento de análisis se realizó partiendo el pre diseño del aislador con el Análisis de Fuerzas Estáticas Equivalentes, para luego pasar al Procedimiento de Análisis Dinámico, y finalmente realizar el Análisis Tiempo – Historia se realizó con fines del diseño estructural de los elementos,  $R=1$  para la subestructura y  $R_a=1$  para la superestructura.

#### 4.4.1 Características del Sistema Aislado

El Pabellón B consta de un solo nivel de aislamiento, ver Figura 25, que se encuentra a en el Nivel -2.75m, en el cual se ubicaron aisladores elastoméricos de núcleo de plomo y deslizadores de fricción.

**Figura 25**

Elevación de Pabellón B con Sistema de Aisladores



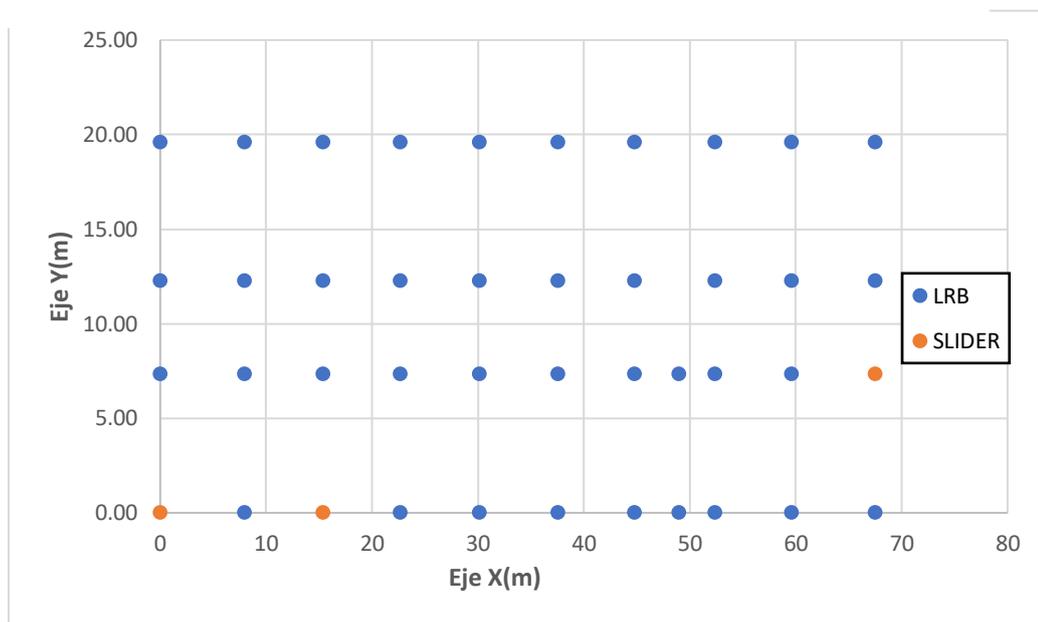
Nota: El sistema de aislamiento sísmico tiene un interfaz de 2.75m de altura el mínimo es de 1.50m

Se decidió usar el sistema de protección sísmica con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo debido a sus aportes técnicos, practicidad en su instalación y su comercialización en el mercado con los proveedores.

Se distribuyó en la planta de aislamiento 39 aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y 3 deslizadores de fricción, ver Figura 26. Se incluye en esta distribución los deslizadores de fricción con el objetivo de aportar en la reducción de la excentricidad entre el centro de rigidez y el centro de masas.

**Figura 26**

Distribución de Aisladores Sísmicos en Pabellón B



Nota: En la distribución se está considerando reducir el efecto de la excentricidad natural

#### 4.4.2 Combinación de cargas

Las combinaciones de carga se realizaron de acuerdo con el artículo 12.2 de Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

a) Carga vertical promedio ( $P_{prom}$ ):

$$P_{prom} = 1.00CM + 0.50CV$$

b) Carga vertical máxima ( $P_{max}$ ):

$$P_{max} = 1.25(CM+CV) + 1.00(CSH+CSV) + 0.20CN$$

c) Carga vertical mínima ( $P_{min}$ )

$$P_{min} = 0.90CM - 1.00(CSH+CSV)$$

Donde:

CM: Carga muerta.

CV: Carga viva.

CSH: Carga sísmica horizontal.

CSV: Carga sísmica vertical =  $0.50(1.5ZS) CM$ .

CN: Carga de nieve.

#### 4.4.3 Análisis Estático o Fuerzas Estáticas Equivalentes

Se recomienda realizar un análisis de fuerzas equivalentes (conocido como análisis estático) para toda estructura aislada, obteniéndose de esta forma un

enfoque preliminar que establece un nivel mínimo de fuerzas y desplazamientos antes de utilizar el análisis dinámico. Este análisis está basado en el desplazamiento de un sistema de un grado de libertad con una rigidez efectiva del nivel de aislamiento (Korswagen, 2012).

Para poder realizar el análisis se requiere definir ciertos parámetros objetivos, ver Tabla 43, que parten de un análisis de modelo en base fija.

**Tabla 43**

Parámetros de Diseño del Aislador

Parámetros para el análisis			
Periodo de edificación de base fija	T:	0.902	s
Masa y Peso de la Superestructura	M <sub>s</sub> :	685.17	tonf-s <sup>2</sup> /m
	P <sub>s</sub> :	6721.52	tonf
Masa y Peso del nivel de base	M <sub>b</sub> :	148.95	tonf-s <sup>2</sup> /m
	P <sub>b</sub> :	1461.20	tonf
Masa y Peso total	M <sub>t</sub> :	834.12	tonf-s <sup>2</sup> /m
	P <sub>t</sub> :	8182.72	tonf
Número de aisladores	N:	42.00	und

Nota: Parámetros iniciales obtenidos del análisis del predimensionamiento

Definición de parámetros en el Análisis de Estático:

- 1) Se estableció un periodo objetivo de aislamiento  $T_M$  (donde  $T_M > 3T$ ) y el amortiguamiento objetivo del sistema de aislamiento  $\beta_M$ ;  $T_M = 2.706s$  y  $\beta_M = 20\%$  (se obtiene un factor de amortiguamiento de  $B_M = 1.52$ )
- 2) Se calculó la rigidez efectiva del sistema de aislamiento  $K_M$ .

$$K_M = \frac{4x\pi^2xM_t}{T_M^2} \quad (18)$$

$$K_M = \frac{4x\pi^2x834.12}{2.706^2}$$

$$K_M = 4497.10 \text{ tonf/m}$$

- 3) Calculó de rigidez por cada aislador  $K_{\text{eff}}$ .

$$K_{\text{eff}} = \frac{K_M}{N} \quad (19)$$

$$K_{\text{eff}} = 107.07 \text{ tonf/m}$$

4) Cálculo del desplazamiento traslacional  $D_M$ .

$$D_M = \frac{S a_M \times T_M^2}{4 \times \pi^2 \times B_M} \quad (20)$$

$$D_M = \frac{2.423 \times 2.706^2}{4 \times \pi^2 \times 1.52}, D_M = 29.69 \text{ cm}$$

5) Cálculo del desplazamiento traslacional y rotacional  $D_{TM}$ .

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T} \right) \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad (21)$$

$$D_{TM} = D_M \left[ 1 + \left( \frac{y}{P_T} \right) \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$$

En el eje x:

$$D_M = 29.69 \text{ cm}; b = 19.6 \text{ m}, d = 67.51 \text{ m}; P_T = 3.83; e_x = 3.43 \text{ m}$$

$$D_{TM} = 30.27 \text{ cm}$$

$$D_{TM} < 1.15 D_{TM}; \text{ por lo tanto, } D_{TMx} = 34.14 \text{ cm}$$

En el eje y:

$$D_M = 29.69 \text{ cm}; b = 19.6 \text{ m}, d = 67.51 \text{ m}; P_T = 3.83; e_y = 0.98 \text{ m}$$

$$D_{TM} = 29.74 \text{ cm}$$

$$D_{TM} < 1.15 D_{TM}; \text{ por lo tanto, } D_{TMy} = 34.14 \text{ cm}$$

6) Cálculo de la cortante del sistema de aislamiento  $V_b$ .

$$V_b = K_M D_M \quad (22)$$

$$V_b = 4497.10 \times 0.2974 = 1337.44 \text{ tonf}$$

7) Cálculo de la cortante de la superestructura sin reducir  $V_{st}$ .

$$V_{st} = V_b x \left( \frac{P_s}{P_t} \right)^{(1-2.5\beta M)} \quad (23)$$

$$V_{st} = 1337.44 x \left( \frac{6721.52}{8182.72} \right)^{(1-2.5x0.20)}$$
$$V_{st} = 1212.16 \text{ tonf}$$

La fuerza cortante  $V_{st}$  será reducida por el coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas  $R_a=1.00$ , por lo tanto,  $V_s=1212.16 \text{ tonf}$ , este valor cumple con los límites del artículo 21.3 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico.

#### 4.4.4 Análisis Dinámico Modal Espectral

El sismo máximo considerado (SMC) se usó para calcular las fuerzas laterales, los desplazamientos de la superestructura, el desplazamiento total del sistema de aislamiento sísmico, las fuerzas en las unidades de aislamiento, las fuerzas en sus conexiones y las fuerzas en el sistema de vigas que se ubican sobre y por debajo del sistema de aislamiento sísmico para resistir el efecto P-Delta.

El análisis modal espectral de cada dirección se efectuó empleando el espectro al 100% en la dirección de análisis más el 30 % en la dirección perpendicular, ver Figura 27.

Sin embargo, también independientemente se utilizó el 100% en cada dirección de análisis, para efectos de toma de datos de corroboración.

**Figura 27**

Definición para el Análisis Modal Espectral

**Load Case Data**

**General**

Load Case Name: EHx ( $\beta > 5\%$ ) [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Masa sismica)

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	1.5ZCSg(>5%)_01	1
Acceleration	U2	1.5ZCSg(>5%)_01	0.3

[Add] [Delete]  Advanced

**Other Parameters**

Modal Load Case: Modal RITZ

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: [ ]

Rigid Frequency, f2: [ ]

Periodic + Rigid Type: [ ]

Earthquake Duration, td: [ ]

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: [ ]

Modal Damping: Constant at 0.05; Overrides [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

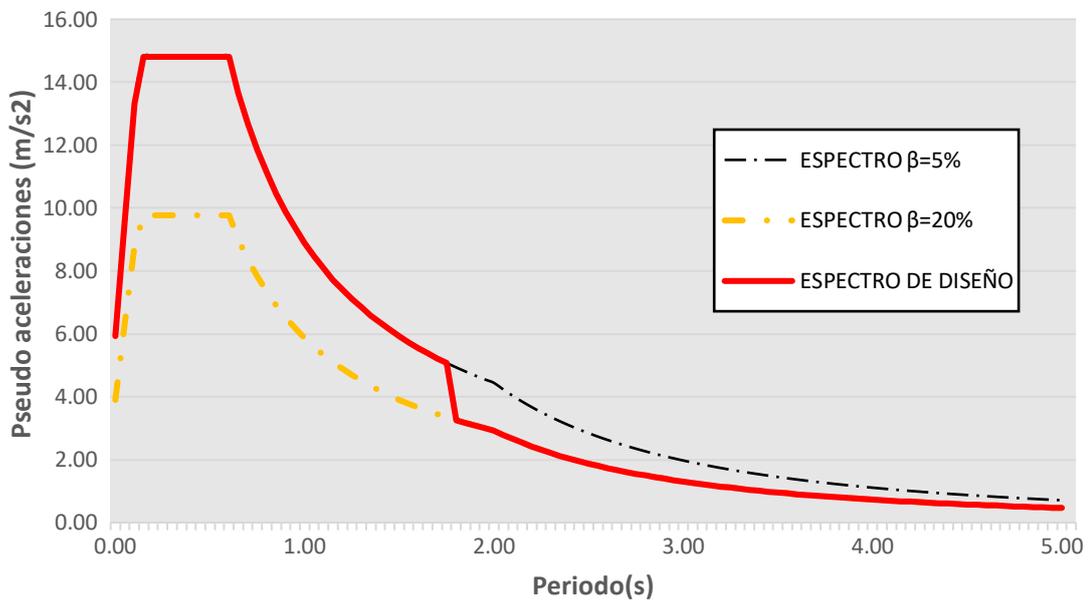
Nota: Se define los factores de escalamiento para el análisis modal espectral, elaboración por propia.

El espectro de diseño de pseudo aceleraciones con el sismo de máxima consideración (SMC) se dividió en dos zona, una para la subestructura( $T > 1.80s$ ) y otro para la superestructura( $T < 1.80s$ ), con el objetivo de interpretar mejor el espectro de diseño de pseudo aceleraciones y los cálculos con el programa ETABS V.2016.2.1 (Ver Figura 28), ya que en los tres primeros modos se induce a la participación directa del aislador elastomérico con el núcleo de plomo con un periodo  $T_M$ ; y los modos restantes a la participación del periodo de la superestructura.

Para llevar a cabo el comportamiento descrito en el programa ETABS V.2016.2.1 se va considerar la definición del coeficiente de amortiguamiento con el valor de cero en el aislador elastomérico de núcleo de plomo ya que se consideró la reducción del espectro de diseño de pseudo aceleraciones por el factor de amortiguamiento ( $B_M$ ) sobre el espectro de diseño de pseudo aceleraciones en ( $T > 1.80s$ ), otro valor a definir en el programa es que en los tres primeros modos se va considerar amortiguamiento iguala cero para el análisis modal espectral.

**Figura 28**

Espectro de Pseudo Aceleraciones para el Sismo Máximo Considerado



Nota: Reducción del espectro de pseudo-aceleraciones por efecto del amortiguamiento.

**Modos de Vibración.** En la Tabla 44 y de acuerdo con el artículo 26 de la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente se considera el análisis modal en cada dirección siempre y cuando la suma de las masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total.

**Tabla 44**

Modos de Vibración de Base Aislada

Modo	Periodo(s)	% Masa acumulada X-X	% Masa acumulada Y-Y	% Masa acumulada Z-Z
1	2.991	0.04%	82.88%	0.00%
2	2.877	99.85%	82.93%	0.00%
3	2.483	99.86%	99.85%	0.00%
4	0.363	99.99%	99.85%	0.00%
5	0.174	99.99%	99.99%	1.29%
6	0.149	99.99%	99.99%	90.09%
7	0.086	99.99%	99.99%	92.05%

Nota: La tabla nos muestra que en el sexto modo de vibración se llega al 90% de la participación de la masa para el eje Z.

**Fuerzas Cortantes Vb y Vs.** En la Tabla 45 se muestra las fuerzas cortantes Vb y Vs que son menores que las mínimas del artículo 26.1 y 26.2 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico respectivamente, por lo tanto, se tuvo que escalar las fuerzas de acuerdo al artículo 26.3 de la misma norma en mención.

**Tabla 45**

Fuerza Cortantes Análisis Modal Espectral

Sentido	Cortante Sistema de Aislamiento			Cortante sobre la Superestructura		
	V <sub>b</sub> (tonf)	V <sub>bmin</sub> (tonf)	Factor de Escala	V <sub>s</sub> (tonf)	V <sub>s min</sub> (tonf)	Factor de Escala
Eje X	1162.54	1335.37	1.15	993.51	1210.28	1.22
Eje Y	928.89	1335.37	1.44	897.5	1210.28	1.35

Nota: En la tabla se muestra el factor de escalamiento de las fuerzas cortantes en aislamiento y sobre la superestructura que son menores que las mínimas requeridas por norma, elaboración propia.

**Desplazamientos y derivas.** La respuesta máxima, Tabla 46 y 47 se estimará mediante la combinación cuadrática completa de los valores calculados para cada modo de vibración. Los desplazamientos y las derivas se calcularon multiplicando por  $R_a = 1$  los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico.

**Tabla 46**

Desplazamiento Traslacional y Total Máximo.

<b>Desplazamiento</b>	<b>Eje X (cm)</b>	<b>Eje Y (cm)</b>
DM	27.74	22.80
DMT	30.15	41.03

Nota: El desplazamiento total máximo se está dando en unos de los vértices de la planta de aislamiento

**Tabla 47**

Derivas de Entrepiso del Análisis Dinámico Modal Espectral.

<b>Piso</b>	<b>Deriva Y</b>	<b>Deriva X</b>
Piso 05	0.0007	0.0005
Piso 04	0.0013	0.0010
Piso 03	0.0019	0.0015
Piso 02	0.0025	0.0020
Piso 01	0.0028	0.0023
Aislamiento	0.1440	0.1012

Nota: En la tabla se muestra la deriva máxima de entrepiso producto de análisis modal espectral, siendo estas menores que 0.0035 que indica la norma.

#### 4.4.5 Análisis Tiempo – Historia

Para realizar el análisis tiempo – historia del Pabellón B de la edificación aislada, se consideraron siete registros sísmicos, ver Tabla 48, cada uno con dos componentes horizontales de aceleración. Estos registros fueron elegidos según magnitud de sismo, aceleración máxima, periodo de suelo.

**Tabla 48**

Registros Sísmicos para Análisis Tiempo-Historia.

<b>Número</b>	<b>Fecha</b>	<b>País</b>	<b>Epicentro</b>	<b>Magnitud</b>
1	07 de junio del 2012	Perú	Arequipa	6.2Mw
2	13 de agosto del 2017	Perú	Junín	6.1 MI
3	17 de octubre de 1966	Perú	Lima	8.1 Mw
4	02 de abril del 2014	Chile	Iquique	7.4 Mw
5	15 de agosto del 2007	Perú	Ica	7.9Mw
6	13 de junio del 2005	Chile	Tarapacá	7.2MI
7	23 de mayo del 2019	Perú	Moquegua	8.4Mw

Nota: La tabla muestra los 7 registros sísmicos usados en el análisis tiempo – historia.

Los sismos utilizados para el tiempo historia poseen condiciones similares de magnitud y suelo.

De manera adicional se realizará el análisis del edificio aislado para el caso nominal; el caso upper bound, en el que se incrementa el valor de las propiedades características de los aisladores; y el caso lower bound, en el que se reduce el valor de las propiedades características de los aisladores.

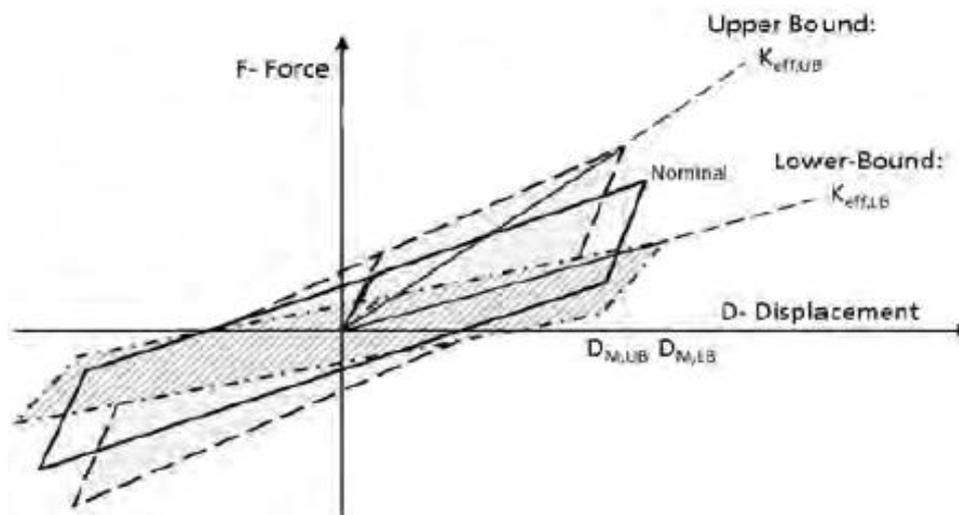
El caso nominal es aquel que se toma como referencia para los otros dos casos presentados anteriormente. Las propiedades de los aisladores se especifican según los resultados obtenidos en el caso nominal.

El caso upper bound conlleva a que los aisladores tengan una mayor rigidez; con esto el desplazamiento del nivel de aislamiento se reducirá con respecto al caso nominal, y la superestructura soportará un incremento de las fuerzas sísmicas. Este caso será el peor para la superestructura.

El caso lower bound contempla un incremento en la flexibilidad lateral de los aisladores; y, por tanto, será el caso más crítico para los aisladores, ya que los desplazamientos del nivel de aislamiento serán los máximos posibles. ver Figura 29 donde se resume los tres casos presentados anteriormente.

**Figura 29**

Casos de Análisis Establecidos por la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico



Nota: De acuerdo a la figura se establecerá dos factores de modificación máximo y mínimo.

De acuerdo con la Tabla N°2 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico se clasificará el aislador como un tipo de clase 1, aislador de caucho con núcleo de plomo, por lo tanto, los valores a usar serán los siguientes:

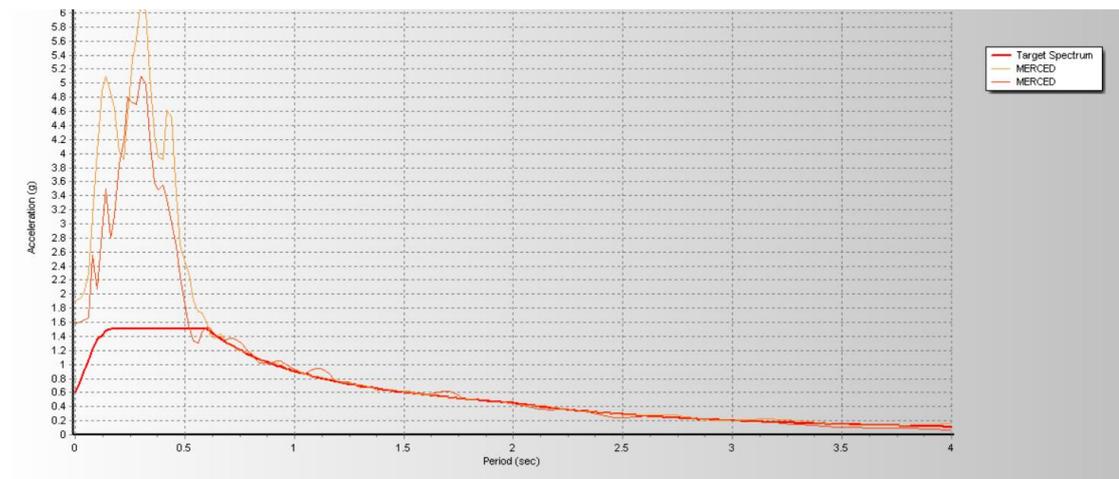
$$\gamma_{max} = 1.30; \gamma_{min} = 0.80$$

Se realizó la corrección de los registros sísmicos con el software SeismoSignal 2016 y el escalamiento de los siete pares de registros sísmicos en el software SeismoMatch 2018, ver Figura 30, y Figura 31 y 32 respectivamente, donde se debe ingresar un espectro de pseudo aceleración donde se coloca el coeficiente de reducción  $R=1$ , para el escalamiento se deberá ingresar valores mínimos y máximos para el valor de los periodos obtenidos a partir de los análisis Upper Bound y Lower Bound,

Se ajusta el registro sísmico en las direcciones NS y EW para el análisis tiempo – historia con el sismo de Junín del 2017 que es el más representativo por ser tener las condiciones locales.

**Figura 30**

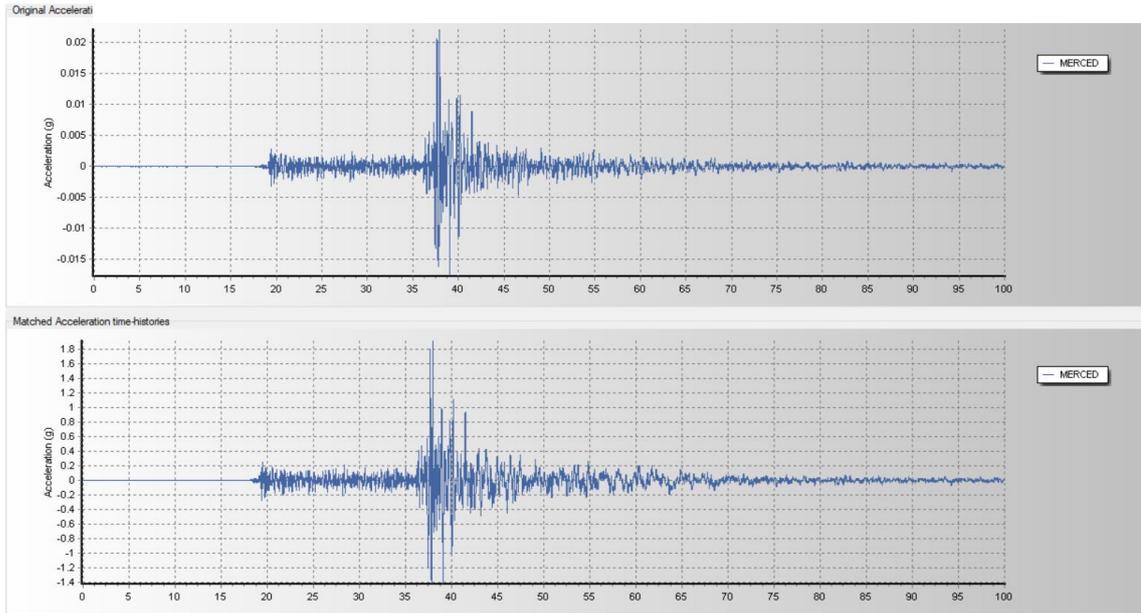
Escalamiento del Sismo de Junín 2017



Nota: En la figura se muestra el escalamiento del sismo de Junín 2017, con el espectro de pseudo aceleraciones con  $R=1$ , se comprueba que el escalamiento es correcto de acuerdo con el espectro definido. Elaborado con el software Seismo Match 2018.

**Figura 31**

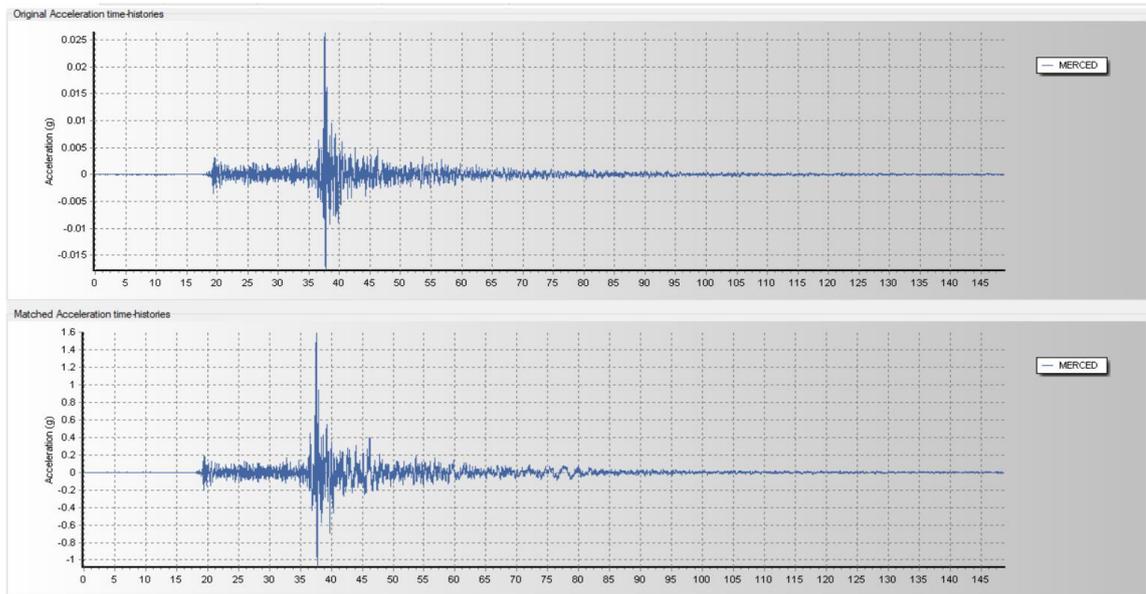
Aceleración Original y Ajustada Tiempo – Historia, Junín 2017 Sentido Este - Oeste



Nota: En la figura se muestra que en la parte superior se encuentra la aceleración original y en la inferior la aceleración ajustada de sismo de Junín 2017, sentido Este Oeste, obtenido del SeismoMatch 2018.

**Figura 32**

Aceleración Original y Ajustada Tiempo – Historia, Junín 2017 Sentido Norte -Sur



Nota: En la figura se muestra que en la parte superior se encuentra la aceleración original y en la inferior la aceleración ajustada de sismo de Junín 2017, sentido Norte Sur, obtenido del SeismoMatch 2018.

**Desplazamientos y derivas.** En la Tabla 49 y Tabla 50 se observa la respuesta máxima donde se estimará mediante la combinación cuadrática completa de los

valores calculados para cada modo de vibración. Los desplazamientos y las derivas se calcularon multiplicando por  $R_a = 1$  los resultados obtenidos del análisis tiempo - historia.

**Tabla 49**

Desplazamiento Traslacional y Total Máximo Tiempo - Historia

Desplazamiento	Eje X (cm)	Eje Y (cm)
DM	21.91	20.23
DMT	25.99	21.96

Nota: El desplazamiento total máximo se está dando en unos de los vértices de la planta de aislamiento

**Tabla 50**

Derivas de Entrepiso del Análisis Tiempo – Historia

Piso	Deriva Y	Deriva X
Piso 05	0.0008	0.0007
Piso 04	0.0013	0.0014
Piso 03	0.0020	0.0021
Piso 02	0.0026	0.0028
Piso 01	0.0029	0.0033
Aislamiento	0.0940	0.0801

Nota: En la tabla se muestra la deriva máxima de entrepiso producto de análisis tiempo - historia, siendo estas menores que 0.005 que indica la norma.

**Fuerzas Cortantes Vb y Vs.** Debido a que las fuerzas cortantes Vb y Vs son menores que las mínimas ver Tabla 51, y de acuerdo con el artículo 26.1 y 26.2 de la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico respectivamente, por lo tanto, se tuvo que escalar las fuerzas de acuerdo con el artículo 26.3 de la misma norma en mención.

**Tabla 51**

Fuerzas Cortantes en Tiempo – Historia

Sentido	Cortante Sistema de Aislamiento			Cortante sobre la Superestructura		
	V <sub>b</sub> (tonf)	V <sub>bmin</sub> (tonf)	Factor de Escala	V <sub>s</sub> (tonf)	V <sub>s min</sub> (tonf)	Factor de Escala
Eje X	1256.42	1335.37	1.011	1133.26	1210.28	1.068
Eje Y	1179.53	1335.37	1.132	1046.66	1210.28	1.156

Nota: En la tabla se muestra el factor de escalamiento para las fuerzas cortantes en aislamiento y las fuerzas cortantes sobre la superestructura que son menores que las mínimas requeridas por norma, por lo tanto, se escala y se diseñara con las fuerzas escaladas. elaboración propia

**Propiedades lineales y no lineales de diseño.** De la comparación entre la fuerza cortante en la base y el desplazamiento traslacional obtenido del tiempo – historia no lineal, se calculan las propiedades lineales del sistema de aislamiento ver Tabla 52 y posteriormente la del aislador elastomérico con núcleo de plomo Ver Anexo 11.

**Tabla 52**

Propiedades Lineales del Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo

<b>Propiedad Lineal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
$K_{eff}$	127.77	tonf/m
$C_{eff}$	11.09	tonf.s/m

Nota: En la presente tabla se muestra las propiedades lineales de acuerdo con el análisis tiempo – historia

En la Tabla 53 se obtiene a partir de la obtención de las propiedades lineales por el análisis tiempo – historia, con ello se calcula las propiedades no lineales.

**Tabla 53**

Propiedades No Lineales del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

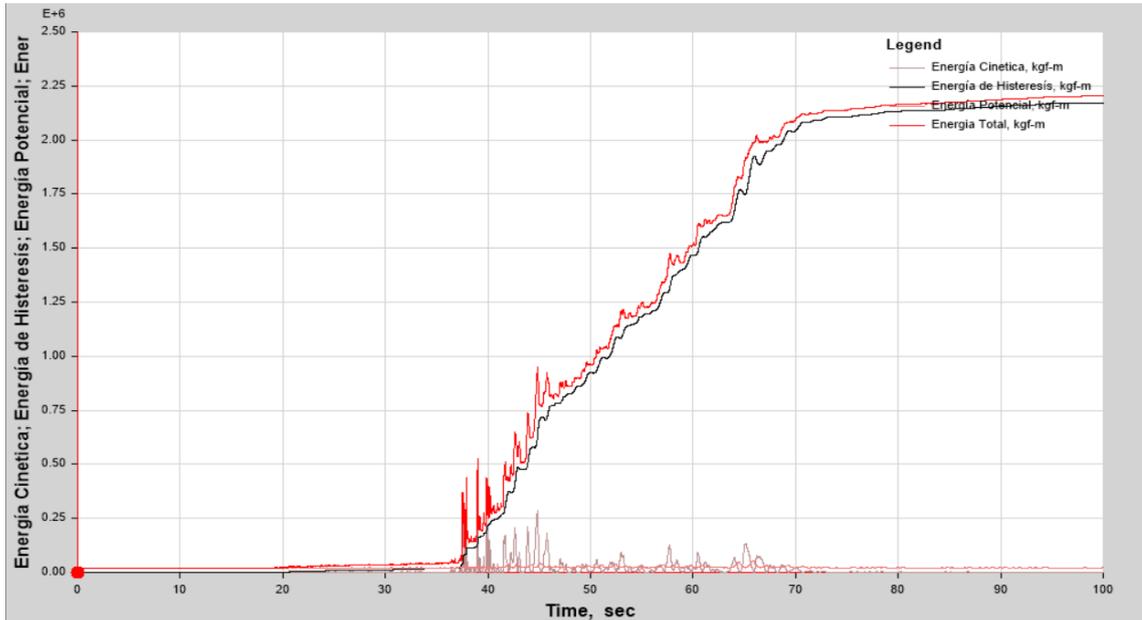
<b>Propiedad no lineal</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Unidad</b>
$P_{max}$	443.34	tonf
$D_M$	38	cm
$D_{TM}$	43.7	cm
$D_y$	8	mm
$Q_d$	7.85	tonf
$K_1$	1071	tonf/m
$K_2$	107.1	tonf/m
$F_y$	8.73	tonf
$\beta$	20.15	%

Nota: En la presente tabla se muestra las propiedades no lineales de acuerdo con el análisis tiempo – historia

**Energía Absorbida por la Subestructura y Superestructura.** En la Figura 33 y Figura 34, se muestra la participación de tres tipos de energía, la energía cinética por el movimiento de la edificación, la energía potencial elástica es por las deformaciones de la edificación y la energía histerética es por la histéresis que realiza el sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

**Figura 34**

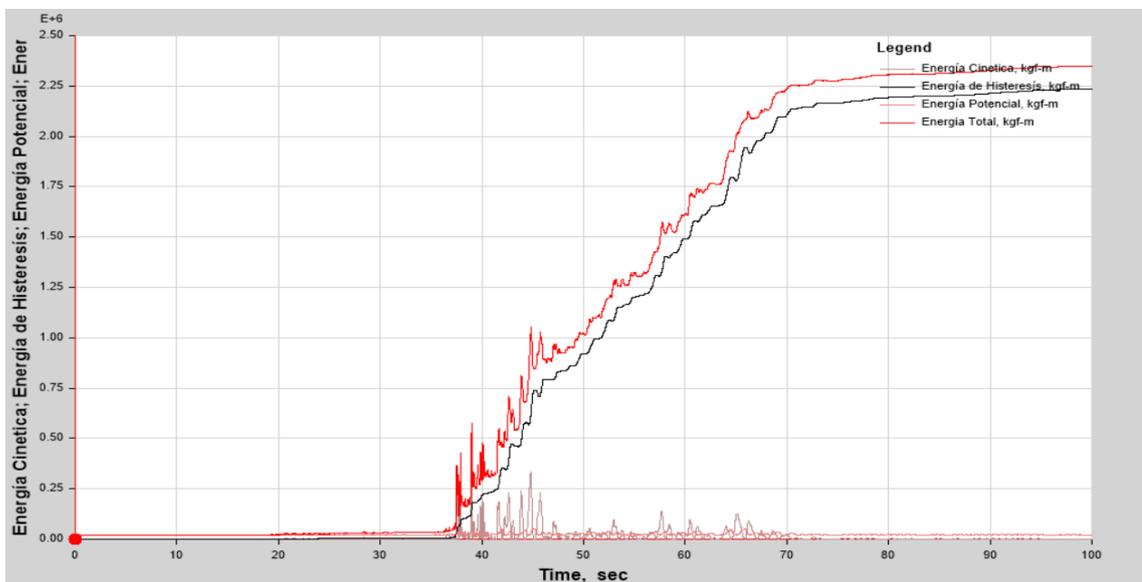
Energía en la Edificación Debido al Sismo de Junín 2017 Sentido EO.



Nota: La energía cinética y potencial corresponden a la superestructura que está cerca de un 3% de la energía total; y la energía por la histéresis corresponden a la histéresis que realiza el sistema de aisladores en la subestructura es cerca de un 97% de la energía total. Elaborado en el Programa ETABS V.2016.2.1.

**Figura 33**

Energía en la Edificación Debido al Sismo de Junín 2017 Sentido NS.



Nota: La energía cinética y potencial corresponden a la superestructura que está cerca de un 3% de la energía total; y la energía por la histéresis corresponden a la histéresis que realiza el sistema de aisladores en la subestructura es cerca de un 97% de la energía total. Elaborado en el Programa ETABS V.2016.2.1.

## CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS.

### 5.1 Comparación técnica.

#### 5.1.1 Modos de Vibración.

En la Tabla 54 el sistema de aislador elastomérico con núcleo de plomo, logra obtener periodos de vibración 3 veces más en comparación con el sistema aporticado.

**Tabla 54**

Modos de Vibración.

Modo	Periodo(s) Pabellón B	
	Aporticado	Aislado
1	0.907	2.711
2	0.933	2.611
3	0.809	2.241

Nota: La tabla nos muestra los periodos de la estructura para ambos sistemas, Fuente: Elaboración propia.

#### 5.1.2 Derivas de Entrepiso.

Las derivas obtenidas para ambos sistemas se observa en la Tabla 55 y Figura 35, donde las derivas de entrepiso están dentro de los límites para ambos casos, sin embargo esto se debe a que la estructura de sistema aporticado, es una estructura sobredimensionada y se encuentra dentro del rango que establece la norma E.030 Diseño Sismorresistente, debido a que su deriva de entrepiso a 0.007 y el sistema de base aislada se encuentra en el mismo rango cumpliendo según el rango establecido por la norma E.031 Aislamiento sísmico, ya que es menor su deriva de entrepiso a 0.0035 que establece la norma.

**Tabla 55**

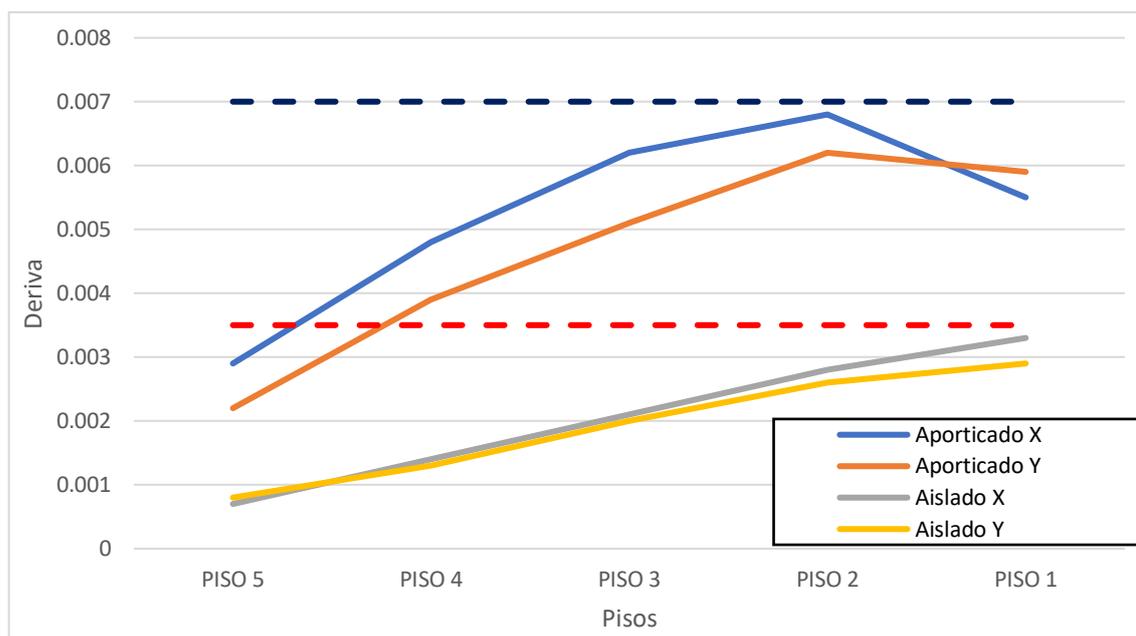
Derivas de entrepiso de ambos sistemas.

Nivel	Aporticado		Aislado	
	X	Y	X	Y
PISO 5	0.0029	0.0022	0.0007	0.0008
PISO 4	0.0048	0.0039	0.0014	0.0013
PISO 3	0.0062	0.0051	0.0021	0.0020
PISO 2	0.0068	0.0062	0.0028	0.0026
PISO 1	0.0055	0.0059	0.0033	0.0029

Nota: La tabla nos muestra la comparación de derivas de entrepiso, la cual se ve reducida considerablemente en cada entrepiso, elaboración propia.

**Figura 35**

Deriva de Entrepisos.



Nota: El siguiente grafico nos muestra las derivas de entrepisos del sistema aporticado y del sistema con aislamiento sísmico, ambas cumplen con los límites establecidos con la normativa para ambos casos. Elaboración propia.

### 5.1.3 Fuerza Cortante.

La Tabla 56 muestra los resultados de las fuerzas cortantes de la superestructura del sistema aporticado y del sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

**Tabla 56**

Fuerza Cortante de Sistema Aporticado y Aislamiento en Base.

Fuerza Cortante	Eje X		Eje Y	
	Cantidad	Unidad	Cantidad	Unidad
Aporticado	1474.31	tonf	1403.40	tonf
Aisladores en base	1210.28	tonf	1210.28	tonf

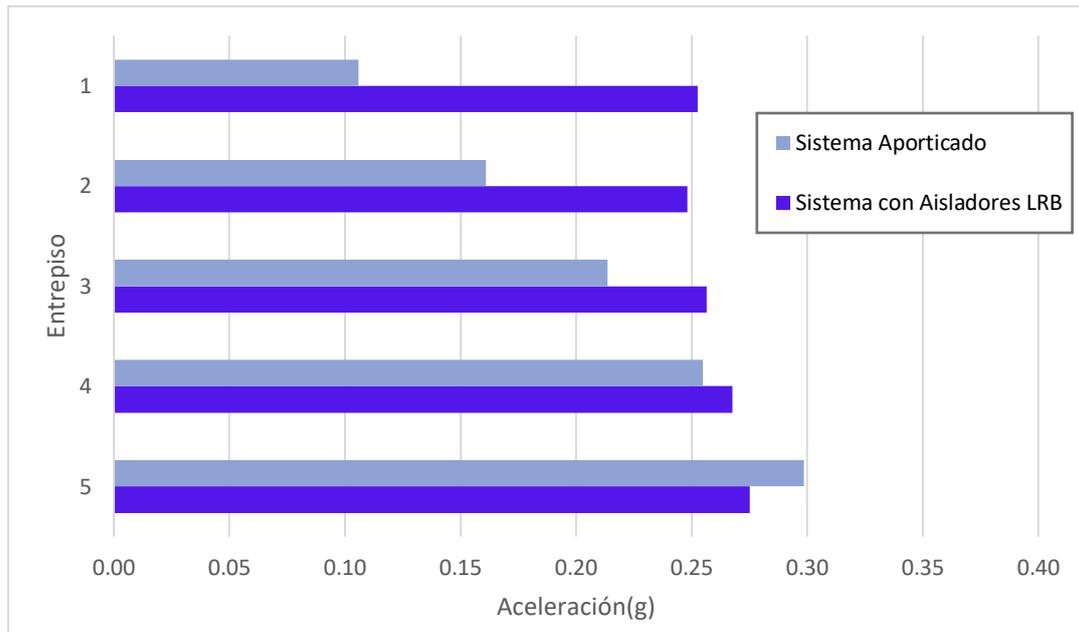
Nota: En la tabla se muestra las fuerzas cortantes para la súper estructura del sistema aporticado y de aislamiento en base, se observa que la fuerza cortante en el aporticado es 1.21 veces más en el eje X. y 1.15 veces más en el eje Y.

#### 5.1.4 Aceleración de Entrepiso.

La Figura 36 muestra los resultados de las aceleraciones de entrepiso entre el sistema aporticado y del sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

**Figura 36**

Aceleración de Entrepiso entre El Sistema Aporticado y Sistema Aislado LRB



Nota: El gráfico se muestra que las aceleraciones máximas de entrepiso del sistema aporticado y aislado son 0.30g y 0.28g respectivamente.

#### 5.2 Comparación Económica.

##### 5.2.1 Costo del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

Nuestro País al estar ubicado geográficamente en una zona de alta sismicidad nace la necesidad de salvaguardar las estructuras esenciales y no esenciales debido a que dichas estructuras permitan su funcionalidad durante y después de un evento sísmico.

##### 5.2.1.1 Estimación de Costos.

Para realizar la comparación económica se tomó en cuenta informes y tesis en base a temas similares para obtener el precio en el mercado de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en comparación con el sistema aporticado se ha realizado la comparación de 3 muestras representativas

### Muestra 01.

La Tabla 57, se tomarán los datos necesarios para la estimación de precio de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo

**Tabla 57**

Edificación Muestra 01.

Edificio A	Sismo	%Daño	VAN de daños	VAN de inversión
Sin Aisladores	Diseño	22	\$1,394,928.00	\$ -
Sin Aisladores	Ocasional	7	\$443,841.00	\$ -
Con Aisladores LRB	Diseño	3.2	\$202,899.00	\$234,292.00
Con Aisladores LRB	Ocasional	1.5	\$95,109.00	\$234,292.00

Nota: Aplicación y costo en soles de sistema de aislamiento sísmico en edificaciones, Guayaquil 2013

De acuerdo con la Tabla 58 se obtiene los siguientes precios según la cantidad de aisladores usados en la edificación de la muestra 01

**Tabla 58**

Precio de Aislador Elastomérico Muestra 01.

Precio de Aislador Muestra 01	
Nº Aisladores	57.00
costo total:	\$ 234,292.00
Costo unitario:	\$ 4,110.39
Costo unitario en soles	S/ 13,482.07

Nota: Precio unitario de aisladores (LRB) utilizados en la muestra 01, Elaboración propia.

### Muestra 02.

De la siguiente Tabla 59 se tomarán los datos necesarios para la estimación de precio de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

**Tabla 59**

Edificación Muestra 02.

<b>Descripción</b>	<b>Precio S/</b>
Movimiento de tierras	56,655.69
Concreto Simple	34,854.03
Zapatas	57,619.56
Columnas	21,472.40
Placas	51,376.71
Viga de Cimentación	25,848.68
Vigas	36,256.47
Losa aligerada	128,095.93
Cajas de Ascensores	6,029.77
Aisladores LRB	928,000.00
<b>Total, S/.</b>	<b>1,346,209.24</b>

Nota: Comparación técnica y económica entre un sistema dual y un sistema con aislador elastomérico con núcleo de plomo (LRB), Dania Flores; Mayra Ravelo (2019).

De la Tabla 60 se obtiene los siguientes precios según la cantidad de aisladores usados en la edificación de la muestra 02

**Tabla 60**

Precio de Aislador Elastomérico Muestra 02.

<b>Precio de Aislador Muestra 02</b>		
Nº de Aisladores		28.00
Costo Total	\$	140,000.00
Costo Unitario	\$	5,000.00
Costo en Soles año 2018	S/	16,400.00

Nota: Costo total de aisladores utilizados para la edificación, Fuente: Elaboración propia.

**Muestra 03**

De la siguiente Tabla 61 se tomarán los datos necesarios para la estimación de precio de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

**Tabla 61**

Edificación Muestra 03

<b>Descripción</b>	<b>Precio Convencional</b>	<b>Precio Sistema Aislado</b>
Cimentaciones	\$ 160,543.00	\$ 120407.25
Columnas y Muros	\$ 410,983.05	\$ 410983.05
Losas y Vigas	\$ 56,092.00	\$ 55,979.82
Escaleras	\$ 14,707.50	\$ 12501.375
Aisladores LRB	\$ -	\$ 257,778.70

Nota: Análisis y Diseño de un edificio con aisladores sísmicos y modelamiento en software Etabs, Mullo Clara (2017).

De la siguiente Tabla 62 se puede obtener el precio de aislador por unidad:

**Tabla 62**

Precio de Aislador Elastomérico Muestra 03.

<b>Precio de Aislador Muestra 03</b>		
N° Aisladores		62.00
costo total:	S/	928,000.00
costo unitario	S/	14,967.74

Nota: El siguiente cuadro nos da un resumen de precio unitario por aislador (LRB) utilizado en la muestra 03, Elaboración propia.

De acuerdo con la Tabla 63 se presenta el precio estimado promedio del aislador

**Tabla 63**

Precio Promedio de las Muestras Analizadas.

<b>Muestra</b>	<b>Precio</b>
aislador 1	S/ 13,482.07
aislador 2	S/ 14,967.74
aislador 3	S/ 16,400.00
Precio Promedio	S/ 14,949.94

Nota: La tabla nos muestra el precio promedio de las 3 muestras analizadas, Fuente: Elaboración propia.

Por lo tanto, tenemos que el precio del aislador elastomérico con núcleo de plomo tiene un precio aproximado de S/ 14,949.94 soles por unidad, lo cual aumentaría significativamente en el costo de una estructura, en la Tabla 64 se muestra el caso del Pabellón B del establecimiento de salud Pedro Sánchez Meza.

**Tabla 64**

Precio Estimado del Sistema con Aisladores LRB.

<b>Precio con el Sistema de Aisladores Sísmicos (LRB)</b>		
Nº de Aisladores		42
Precio Total	S/	627,897.34

Nota: Precio total de los aisladores incluye los elastoméricos con núcleo de plomo más los 03 deslizadores para efectos de costo del Pabellón B del establecimiento de salud, Fuente: Elaboración propia.

### 5.2.2 Transporte e instalación de Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo.

De acuerdo a Pino I. (2018) en su “Tesis Factibilidad Técnica y Económica de utilizar aislamiento sísmico en hospitales peruanos existentes “indica que el precio del transporte e instalación de un aislador más protección contra el fuego está en S/95,400.56 soles. (p.122).

En la Tabla 65 se presenta el costo total por transporte e instalación en el Pabellón B del establecimiento de salud Pedro Sánchez Meza.

**Tabla 65**

Precio de Transporte e Instalación de Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo

<b>Precio de Estimado de Transporte e Instalación de Aisladores Sísmicos (LRB)</b>		
Nº de Aisladores		42
Precio Total	S/	4,006,823.52

Nota: Se está considerando el mismo precio entre el aislador elastomérico núcleo de plomo y el deslizador de fricción para efectos del desarrollo de lo económico, elaboración propia.

### 5.2.3 Costo de la implementación del Sistema con Aisladores LRB

En la Tabla 66 se observa el costo económico en la implementación del sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo en el Pabellón B del Establecimiento de Salud.

**Tabla 66**

Precio de Suministro e Instalación de los Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo

<b>Costo de la implementación del Sistema con Aisladores LRB</b>		
N° de Aisladores		42
Precio Total	S/	4,634,720.86

Nota: La tabla muestra el costo económico por la implementación del sistema de aislamiento en la base, elaboración propia.

Se evalúa el porcentaje de incidencia en el presupuesto, ver Tabla 67 la implementación del sistema con aislamiento sísmico.

**Tabla 67**

Presupuesto de Obra del Pabellón e Implementación del Sistema con Aisladores LRB

<b>ítem</b>	<b>Descripción</b>	<b>Costo(Soles)</b>
A	Presupuesto de Obra del Pabellón B	S/ 50,514,574.54
B	Implementación del sistema con aisladores de base	S/ 4,634,720.86

Nota: En la tabla se muestra el costo por el ítem A y B, el porcentaje de incidencia B sobre A, es 9.18%, elaboración propia.

#### 5.2.4 Costo y beneficio de la implementación del sistema aislamiento

Se evalúa el Pabellón B de acuerdo al FEMA E-74, donde indica que la inversión en la construcción de un hospital, en las siguientes descripciones de estructuras, lo no estructural y el contenido se encuentran en porcentajes promedios de 8%,48% y 44% respectivamente, por lo tanto, en la Tabla 68 se muestra la incidencia en la inversión.

**Tabla 68**

Inversión en la Construcción de un Hospital Típico.

<b>Descripción de Inversión</b>	<b>% de Inversión</b>	<b>Monto</b>
No Estructural	48%	S/ 43,298,206.75
Estructural	8%	S/ 7,216,367.79
Contenido	44%	S/ 39,690,022.86

Nota: En la tabla se muestra el costo de inversión, se aprecia que la parte estructural tiene una incidencia del 8% promedio, sin embargo, de fallar o colapsar afectaría la inversión de lo no estructural y el contenido.

### 5.3 Contrastación de Hipótesis

Para el presente trabajo de investigación de tesis se planteó una hipótesis general y específicas las cuales se presenta a continuación:

#### 5.3.1 Hipótesis General:

- El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene mejor respuesta durante un evento sísmico hacia la superestructura debido a que reduce la respuesta de la superestructura en derivas, aceleraciones, energía absorbida por los aisladores; en lo económico tendrá un aumento por la implementación del sistema aislado sin embargo tiene un costo beneficio que resulta rentable a largo plazo.

Si se cumple la hipótesis, el uso de un sistema con aisladores elastomérico con núcleo de plomo tiene mayor respuesta en su desempeño debido a que el sistema aislado se lleva gran demanda del SMC por lo cual reduce derivas y aceleraciones en los entresijos, la energía absorbida por la superestructura supera el 90%, en lo económico aumento el costo total de obra en un 9.18% que a largo plazo será recompensado por los beneficios que demuestra salvaguardando la estructura, lo no estructural y el contenido.

#### 5.3.2 Hipótesis Específica 1:

- El sistema de Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene menores derivas y aceleraciones de entresijo en su desempeño como dispositivo de protección sísmica que un sistema aporricado.

Si se cumple la hipótesis, el sistema de aislación sísmica con núcleo de plomo tiene una menor deriva durante un evento sísmico debido a que se aumenta el periodo con lo cual disminuye el desplazamiento de entresijos de la superestructura, lo cual da una menor deriva, frente a un sistema aporricado en el cual se tiene que rigidizar para evitar mayores desplazamientos en algunos casos. Además, el sistema de aislación sísmica tiene una aceleración máxima de 0.28g en un entresijo de la superestructura, y según el Phd. Víctor Zayas en su ensayo sobre la funcionalidad continua indica que para un hospital es recomendable tener aceleraciones entresijos menores de los 0.40g, con el objetivo de mantener

lo no estructural y el contenido operativo antes, durante y después de un evento sísmico. El sistema aporticado sin embargo llega aceleraciones de 0.45g por lo cual supera y es más alto que la aceleración del sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo después de rigidizar el edificio se llegó a una aceleración máxima de 0.30g.

#### 5.3.3 Hipótesis Específica 2:

- El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene un costo adicional como mínimo del 8% y máximo del 15% del costo total de obra frente a un sistema aporticado en base fija para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

Si se cumple la hipótesis, de acuerdo a la estimación de costo realizado el costo para la implementación de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo está en un 9.18% del costo total de obra.

#### 5.3.4 Hipótesis Específica 3:

- El diseño del aislador elastomérico de núcleo de plomo se realiza bajo la Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico.

Si se cumple la hipótesis, Se debe tener en cuenta que el Pre-dimensionamiento es uno de los factores más importantes del aislador elastomérico con núcleo de plomo, para ello se recurrió a la Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico para la selección de análisis del aislador, a ello nos regimos a los requisitos para la evaluación del mismo.

#### 5.3.5 Hipótesis Específica 4:

- El modelo numérico se realiza con el programa ETABS V.2016.2.1, donde se contempla el comportamiento del aislador ante sollicitaciones sísmicas del Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

Si se cumple la hipótesis, El uso del programa ETABS V.2016.2.1 nos da una mayor confiabilidad para analizar y obtener los datos de la estructura con aislador elastomérico con núcleo de plomo durante un evento sísmico y como es el comportamiento de este durante el periodo tiempo – historia.

## CONCLUSIONES

1. La respuesta sísmica del sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo resulta mejor que la de un sistema aporticado con base fija, ello se manifiesta en la respuesta de las derivas de entrepiso que se reduce a la mitad en algunos entrepisos, en las aceleraciones de entrepisos ambas se encuentran por debajo del 0.4g recomendable para un establecimiento de salud, sin embargo, la diferencia más notable se observa en la energía absorbida por el sistema aislado que equivale a un 97% de la demanda sísmica. Todo ello se dio bajo las mismas condiciones.
2. El sistema aislado con núcleo de plomo eleva en un 9.18% el costo total de la obra, sin embargo, resulta rentable a largo plazo, porque de llevar se acabó un sismo moderado, el sistema aporticado y el sistema aislado responderían en una gran probabilidad de la mejor manera en lo estructural sin embargo en lo no estructural y el contenido se presentaría un riesgo en la inversión realizada, como se demuestra en el estudio esto equivale a un 92% entre la suma de lo no estructural y el contenido, además de ello la funcionalidad continua del Pabellón B es muy importante antes, durante y después de un sismo. Por lo descrito resulta más óptimo en costo y beneficio el uso del sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.
3. El análisis y diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo se realizó bajo las normativas del reglamento nacional como son la NTE.030 Diseño Sismorresistente se utilizó para categorizar la edificación y la NTE.031 Aislamiento Sísmico se usó para la selección de procedimiento de análisis y las verificaciones del aislador elastomérico.
4. El modelo numérico del Pabellón B fue desarrollado bajo el programa ETABS V.2016.2.1, tanto para el sistema aporticado y el sistema con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, debido a que es un programa de análisis y diseño que usa el método de elementos finitos.
5. El Pabellón B requiere de la implementación de 39 aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y 3 deslizadores de fricción.
6. El sistema aporticado en base fija resulta confiable bajo los parámetros establecidos en la NTE.030; sin embargo, dicha filosofía acepta un mínimo en los daños de la propiedad por lo cual dificultaría su continuidad, ante un evento sísmico. Algo que no se debe permitir en un establecimiento de salud.

## **RECOMENDACIONES.**

1. Se recomienda un análisis del uso de aisladores en estructuras esenciales y no esenciales para un desempeño óptimo durante un evento sísmico ya que existen diferentes tipos de aisladores en el cual uno puede tener una mayor confiabilidad que otro dependiendo del uso y/o zona que se usaran dichos sistemas de aislación.
2. Se recomienda usar otros dispositivos junto con los aisladores sísmicos para reducir los daños que puede ocasionar un evento sísmico para salvaguardar la vida y las pérdidas económicas que podrían generarse.
3. Se recomienda el uso de aisladores sísmicos, a pesar del aumento que presente frente a un sistema en base fija por que brinda una mayor confiabilidad en el comportamiento sísmico generando una inversión a largo plazo.
4. Se recomienda el uso de sistema de aislación sísmica de manera obligatoria en zonas 3 y 4 para edificaciones importantes y comunes como son los coliseos y viviendas que funcionarían como refugio para las personas después de un evento sísmico considerable.
5. Se recomienda dictar cursos de especialización o cursos electivos en la universidad Ricardo Palma, sobre el análisis de la Norma E.031 y su aplicación mediante software ETABS y/u otro software de análisis estructural para sistemas de aislación.
6. Se debería implementar a nivel nacional al menos para los establecimientos de salud de nivel 2 y 3, el diseño por Resiliencia Sísmica, a nivel internacional países con alta sismicidad como los Estados Unidos y Japón ya usan el diseño basado en resiliencia en sus Hospitales.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers (2016) *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*.
- Aguiar, R., Almazán, J. L., Dechent, P., y Suárez, V. (2008) *Aisladores de Bas Elastoméricos y FPS*. Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE.
- Cango, A. (2018) *Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT* [Tesis de Titulación, Universidad de Cuenca]. Repositorio Institucional. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/30283>
- Chopra, A (2014) *Dinámica de Estructuras*. México, México: Pearson.
- Constantinou, M. C., Kalpakidis, I., Filiatrault, A. y Ecker, R. A. (2011) *LRFD – Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators*. University at Buffalo.
- FEMA (2012) *NEHRP Recommended Seismic Provisions for New Buildings and Other Structures*
- FEMA E-74(2012) *NEHRP Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide*.
- Fenz, D. M., Constantinou, M. C. (2008) *Mechanical Behavior of Multi-Spherical Sliding Bearings*. University at Buffalo./ *Development, Implementation and Verification of Dynamic Analysis Models for Multi – Spherical Sliding Bearings*. University at Buffalo.
- Genatios, C., Lafuente, M. (2016) *Introducción al uso de aisladores y disipadores en Estructuras*. CAF – Banco de Desarrollo de América Latina.
- Ita, P. y Pino M. (2018) " *Factibilidad técnica y económica de utilizar aislamiento sísmico en hospitales peruanos existentes* " [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/12089>
- Janampa, B. B. (2018) *Diseño del sistema de aislamiento sísmico de un edificio hospitalario usando dispositivos HDR* [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP. <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/13234>

- Kelly, T (2001) *Base Isolation os Structures*. Holmes Consulting Group/ *Mechanics of Rubber Bearings for Seismic and Vibration Isolation*. John Wiley & Sons.
- Marcelo, R. (2019) *Análisis Sísmico de Hospitales Considerando el Criterio de Funcionalidad Continúa Empleando Aisladores de Base Friccional de Triple Péndulo en Zonas Sísmicas 3 y 4 del Perú* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional de San Cristóbal de Huamanga]. Repositorio Institucional UNSCH.  
<http://repositorio.unsch.edu.pe/handle/UNSCH/3570>
- Mendez, C. (2013) *Beneficios y Ventajas de los Sistemas de Protección Sísmica*.
- Mestanza, J. A. (2015) *Análisis de una edificación mediante un sistema propuesto de aislamiento sísmico del tipo Péndulo Friccional* [Tesis de Titulación, Universidad Ricardo Palma]. Repositorio Institucional URP.  
<http://repositorio.urp.edu.pe/handle/URP/2372>
- Meza, R. y Sanchez, E. (2010) *Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la República de Nicaragua*. Managua, Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2009) *Norma Técnica E.020 Cargas*. Sencico. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Sencico. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2019) *Norma Técnica E.031 Aislamiento Sísmico*. Sencico. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018) *Norma Técnica E.050 Suelos y cimentaciones*. Sencico. Lima, Perú.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2009) *Norma Técnica E.060 Concreto Armado*. Sencico. Lima, Perú.
- Naeim, F., Kelly, J. (1999) *Design of Seismic Isolated Structures, From theory to Practice*. New York, EEUU: John Wiley & Sons.
- Oviedo, J., Duque, M. (2006) *Sistemas de control de la respuesta sísmica de edificaciones*. Revista EIA
- Pique, J., Scaletti, H. (1991) *Análisis Sísmico de Edificios*. Lima, Perú: Capítulo de Ingeniería Civil, Consejo departamental de Lima.

- Ruiz, P. W. (2017) *Análisis y Diseño de Edificios con Aisladores Sísmicos de Péndulo Friccional Doble y Triple* [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9330>
- Solórzano, E. T. (2019) *Influencia de las Condiciones del Suelo en el Comportamiento Estructural de un Hospital con Aislamiento Sísmico de Base* [Tesis de Maestría, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/14915>
- Trujillo, E. J. (2017) *Diseño integral de estructuras con sistema de aislación sísmica aplicado a un edificio de concreto armado* [Tesis de Titulación, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.  
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/UNCP/4108>
- Zanelli, C. T. y Paredes, P. M. (2019) *Diseño estructural de un pabellón de hospital con aisladores sísmicos* [Tesis de Titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú]. Repositorio Institucional PUCP.  
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/15267>
- Zayas, V., Mahin, S. y Constantinou, M. (2017) *Seismic Isolation Standard for Continued Functionality*. University of California, Berkeley.

## ANEXOS

### ANEXO 1: Cronograma de Actividades.

TITES 2020																												
DESCRIPCION	JUNIO				JULIO				AGOSTO				SETIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE				DICIEMBRE			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
REVISION DE BIBLIOGRAFIA	■	■	■																									
ELABORACION DE PLAN DE TESIS		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■																	
CAPITULO I: PLANTEAMIENTO DE PROBLEMA										■	■																	
CAPITULO II: MARCO TEORICO											■	■	■	■														
CAPITULO III: ANALISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA APORTICADO												■	■	■														
CAPITULO IV: ANALISIS ESTRUCTURAL DEL SISTEMA AISLADO (LRB)													■	■	■	■	■	■										
CAPITULO V: ANALISIS PRESUPUESTAL POR AISLADOR																■	■											
CAPITULO VI: CONCLUSIONES																	■	■	■	■	■							
PRESENTACION DEL BORRADOR																						■	■	■	■			
LEVANTAMIENTO DE OBSERVACIONES																								■	■			
PRESENTACION DE TESIS EMPASTADA																										■		

## ANEXO 2: Presupuesto

### PRESUPUESTO DE PROGRAMACIÓN DE TITES

tema: "ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS APORTICADOS Y EL AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO PARA EL PABELLÓN B DE UN ESTABLECIMIENTO DE SALUD"

ITEM	DESCRIPCION	UNIDAD	CANTIDAD	PRECIO UNITARIO	PRECIO PARCIAL	INCIDENCIA
1.0	<b>GASTOS BASICOS</b>				S/ 12,300.00	48.31%
1.1	PRE-INSCRIPCIÓN	GLB	2	S/ 150.00	S/ 300.00	1.18%
1.2	PAGO DEL PROGRAMA DE TITES	GLB	2	S/ 6,000.00	S/ 12,000.00	47.13%
2.0	<b>GASTOS OPERATIVOS</b>				S/ 5,480.00	21.52%
2.1	GASTOS DE EMPASTADO DE TESIS	UND	8	S/ 60.00	S/ 480.00	1.89%
2.2	LAPTOPS	UND	2	S/ 2,500.00	S/ 5,000.00	19.64%
3.0	<b>GASTOS DE CAPACITACION</b>				S/ 1,100.00	4.32%
3.1	CURSO DE CAPACITACIÓN REFERENTE AL TEMA	UND	2	S/ 350.00	S/ 700.00	2.75%
3.2	ASESORIA EXTERNA	GLB	2	S/ 200.00	S/ 400.00	1.57%
	<b>TOTAL</b>				S/ <b>25,460.00</b>	100.00%

### ANEXO 3: Matriz de Consistencia.

<b>MATRIZ DE CONSISTENCIA</b>		
<b>"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS APORTICADOS Y EL AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO PARA EL PABELLÓN B DE UN ESTABLECIMIENTO DE SALUD"</b>		
<b>PROBLEMAS</b>	<b>OBJETIVOS</b>	<b>HIPOTESIS</b>
<b>Problema Principal</b>	<b>Objetivo General</b>	<b>Hipotesis General</b>
¿Cómo serán los resultados del análisis comparativo entre los sistemas aporticados y el aislador elastomérico con núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?	Realizar el análisis comparativo entre los sistemas aporticados y el aislador elastomérico con núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.	El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene mejor respuesta durante un evento sísmico hacia la superestructura debido a que reduce la respuesta de la superestructura en derivas, aceleraciones, energía absorbida por los aisladores; en lo económico tendrá un aumento por la implementación del sistema aislado sin embargo tiene un costo beneficio que resulta rentable a largo plazo.
<b>Problema Secundarios</b>	<b>Objetivos Especificos</b>	<b>Hipotesis Secundarias</b>
¿Cuál es la respuesta sísmica de un sistema aporticado y un sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo para el Pabellón B del Establecimiento de Salud, bajo las mismas condiciones?	Determinar la respuesta sísmica de un sistema aporticado y un sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud, bajo las mismas condiciones.	El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene menores derivas y aceleraciones de entepiso en su desempeño como dispositivo de protección sísmica frente a un sistema aporticado.
¿Qué sistema es más óptimo como alternativa en costo y beneficio, para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?	Identificar qué sistema es más óptimo como alternativa en costo y beneficio del Pabellón B de un Establecimiento de Salud.	El sistema de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo tiene un costo adicional como mínimo del 8% y máximo del 15% del costo total de obra frente a un sistema aporticado en base fija para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud.
¿Qué procedimiento se aplicará para el diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo, para el Pabellón B de un Establecimiento de Salud?	Describir el diseño del aislador elastomérico núcleo de plomo, bajo el Reglamento Nacional de Edificaciones.	El diseño del aislador elastomérico de núcleo de plomo se realiza bajo la Norma Técnica E.031 Aislamiento sísmico.
¿Cómo se realizará el modelo numérico del Pabellón B de un Establecimiento de Salud, con el sistema aporticado y el sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo?	Realizar el modelo numérico con el programa ETABS V.2016.2.1, del Pabellón B de un Establecimiento de Salud con el sistema aporticado y el sistema con aisladores elastoméricos de núcleo de plomo.	El modelo numérico se realiza con el programa ETABS v2016.2.1, donde se contempla el comportamiento del aislador ante solicitaciones sísmicas del Pabellón B de un Establecimiento de Salud.

## ANEXO 4: Matriz de Operacionalización.

MATRIZ OPERACIONALIDAD			
"ANÁLISIS COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS APORTICADOS Y EL AISLADOR ELASTOMÉRICO CON NÚCLEO DE PLOMO PARA EL PABELLÓN B DE UN ESTABLECIMIENTO DE SALUD"			
VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	MEDICIÓN
<b>INDEPENDIENTE</b>			
Aisladores sísmicos	Sistemas de protección Pasivos	Aislamiento Sísmico	Aislador elastomérico con núcleo de plomo Aislador deslizador friccionante
	Desplazamientos	Aisladores sísmicos	Reducción de los desplazamientos
	Periodo de la superestructura	Aisladores sísmicos	Aumento del Periodo
	Aceleraciones	Aisladores sísmicos	Reducción de la aceleración de piso
	Energía absorbida	Aisladores sísmicos	Reducción de Energía en la Superestructura
<b>DEPENDIENTE</b>			
		Metrado de cargas Zonificación sísmica	Carga viva y carga muerta Zona 1,2,3 y 4
		Aislador sísmico	Aislador elastomérico de núcleo de plomo
Comparación Técnica		Pre diseño de Aislador	Rigidez de aislador Amortiguamiento de aislador
		Verificación de restricciones de Irregularidad estructural	Factor R Rigidez efectivo amortiguamiento efectivo Programa ETABSV2016.2.1 Verificación de derivas
		Análisis Tiempo-Historia	Aceleraciones Fuerza de restitución Fuerza mínima Energía Absorbida Fuerza máxima
Comparación Económica	A partir del diseño definitivo realizar un análisis económico de la estructura con el sistema de aisladores elastomericos con núcleo de plomo	Presupuesto con la implementación de los aisladores elastoméricos de núcleo de plomo LRB	Precio de aislador puesto en obra Precio de instalación de aislador Precio Unitario Unidad Metrado

**ANEXO 5: Tabla de daños en personas y viviendas (INDECI 2019)**

DEPARTAMEN TO	VIDA Y SALUD(PERSONAS)					VIVIENDAS		
	DAMNIFICAD OS	AFECTAD OS	FALLECID OS	HERID OS	DESAPARECID OS	COLAPSAD AS	INHABITABL ES	AFECTAD AS
AMAZONAS	78755	33162	203	677		15244	8469	10162
ANCASH	222752	93821	574	1891		42536	23631	28358
APURIMAC	84662	35487	218	890		20018	11121	13345
AREQUIPA	241361	101638	622	2069		46549	25861	31033
AYACUCHO	128292	53784	331	1340		30146	16748	20097
CAJAMARCA	14460	34668	205	1800		2410		5778
CALLAO	293998		7229	97216		28435	49438	
CUSCO	245362	103269	633	2158		48545	26969	32363
HUANCAVELIC A	95262	39989	246	942		21204	11780	14136
HUANUCO	159655	67239	412	1361		30615	17008	20410
ICA	149121	62886	385	1188		26730	14850	17821
JUNIN	64620	93493	1430	3041	688	5711	7277	18870
LA LIBERTAD	338707	143033	873	2501		56283	31268	37522
LAMBAYEQUE	217929	194609	1079	1809	42	27822	15764	38922
LIMA	994950	1766750	52918	639468	220	19906	198990	353350
LIMA PROVINCIAS	175835	73935	453	1617		36380	20211	24253
LORETO	186782	79150	482	1106		24893	13829	16595
MADRE DE DIOS	22947	9677	59	183		4114	2285	2742
MOQUEGUA	33835	14191	87	347		7797	4331	5198
PASCO	58743	24772	151	469		10546	5859	7031
PIURA	351121	148413	905	2456		55256	30698	36837
PUNO	625688	111163	685	2996		67420	37456	44947
SAN MARTIN	152656	64444	394	1149		25850	14361	17234
TACNA	60644	25990	189	1274	77	11998	6944	8998
TUMBES	58430	12240	12250	13790	2675	16245	7645	17234
UCAYALI	38661	88161	233	2593		9210	7675	13815

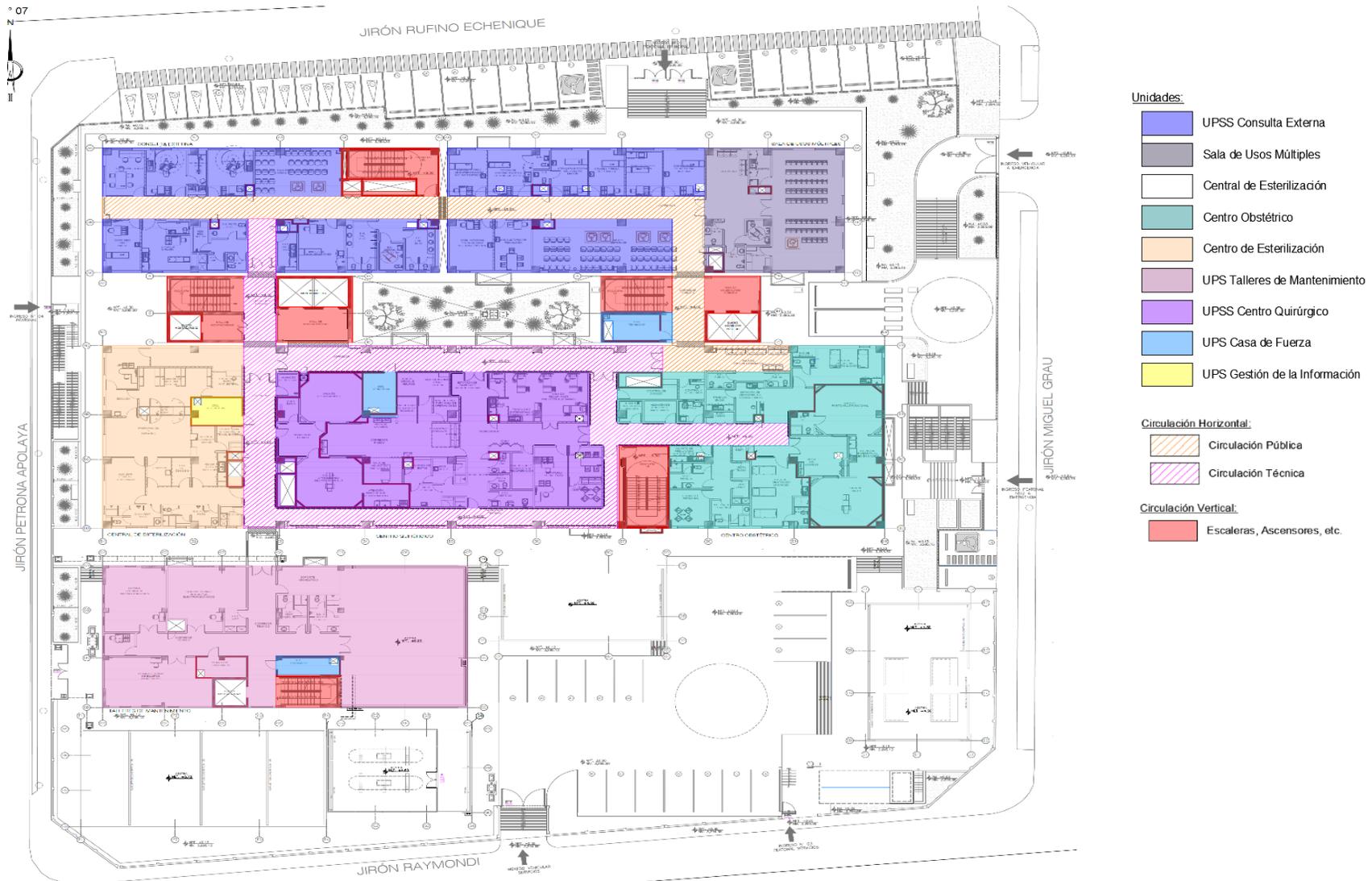
## ANEXO 6: Zonificación Primer Nivel.



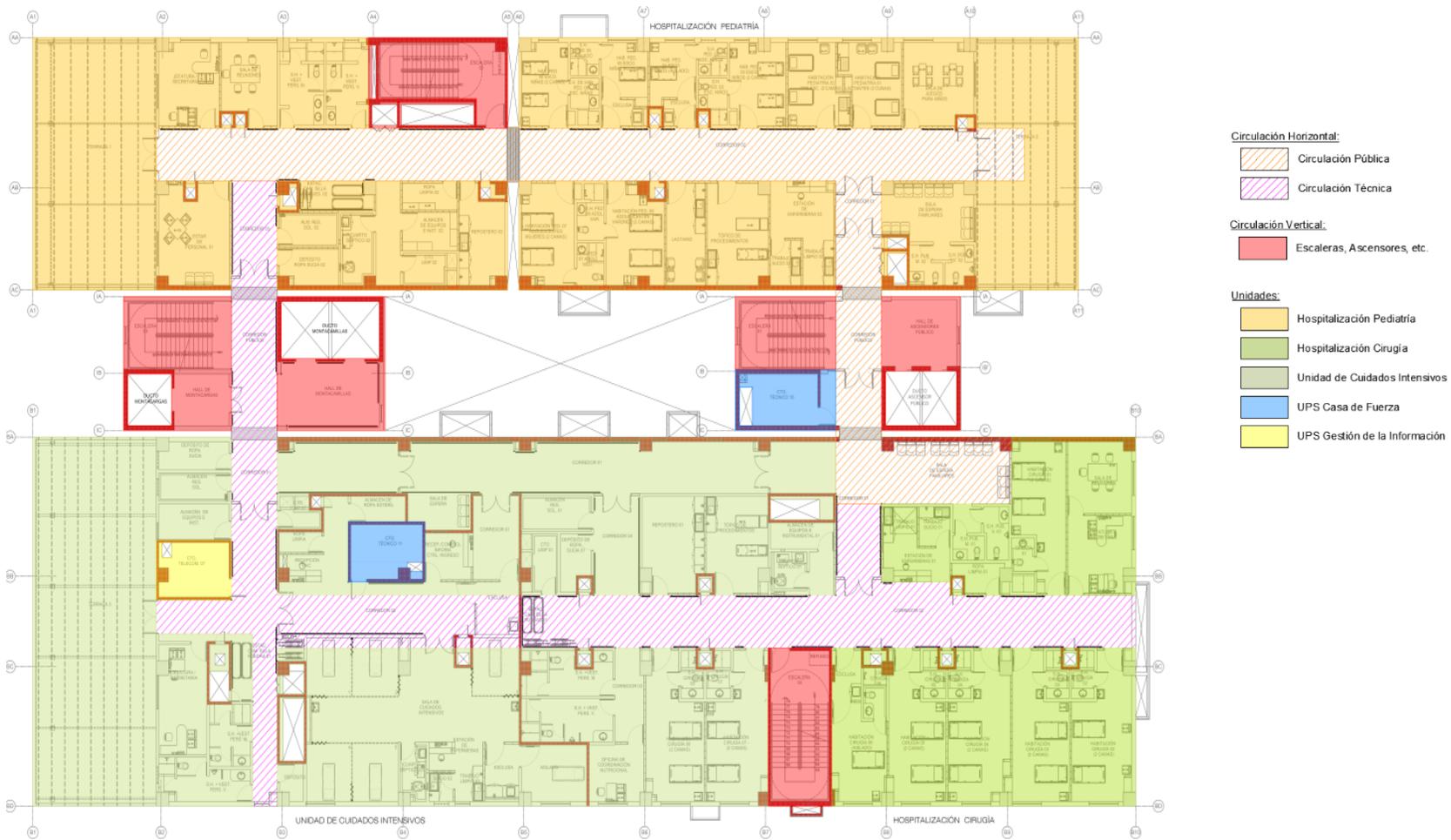
## ANEXO 7: Zonificación de Segundo Nivel.



## ANEXO 8: Zonificación del Tercer Nivel.



## ANEXO 9: Zonificación Cuarto Nivel.



## ANEXO 10: Zonificación del Quinto Nivel

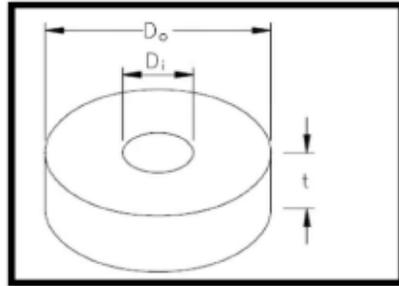


## ANEXO 11: Diseño del Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

### DISEÑO DEL AISLADOR LRB PARA EL PABELLÓN B DE UN ESTABLECIMIENTO DE SALUD

A)	Propiedades de la Goma y el Núcleo de Plomo:			
TM:	2.71	s	(Periodo de la base aislada)	
G:	50.00	tonf/m <sup>2</sup>	(módulo de corte de la goma)	
qadm:	1000.00	tonf/m <sup>2</sup>	(esfuerzo axial permisible en el aislador)	
τ :	1000.00	tonf/m <sup>2</sup>	(esfuerzo de fluencia del plomo)	
K:	200000.00	tonf/m <sup>2</sup>	módulo volumétrico de la goma	
f:	4.00		(según recomendación de la E.031 y el ensayo ASTM D945)	
B)	Cargas para el Aislador LRB			
Pser:	274.71	tonf	(carga de servicio según E.031 )	
Pmax:	447.34	tonf	(carga máxima según E.031 )	
C)	Desplazamientos			
DM:	38.00	cm	( Desplazamiento Máximo Lateral SMC)	
DTM:	43.70	cm	( Desplazamiento Máximo Total SMC)	
D)	Geometría del Aislador			
N:	22.00		(cantidad de laminas de goma)	
tr:	8.00	mm	(espesor de una sola goma)	
Tr:	17.60	cm	(altura total del goma)	
Cs:	2.50	cm	(espesor de cobertura o recubrimiento)	

1.00 PREDIMENSIONAMIENTO DEL AISLADOR LRB



Do: Diámetro del Aislador  
 Di: Diámetro de Núcleo de Plomo  
 t=Tr: Altura Total de la Goma

1.1 Primera forma de predimensionamiento (carga admisible)

$$A_o = A_g + A_p$$

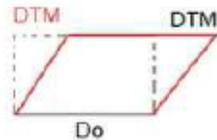
$$\frac{P_{ser}}{A} < q_{adm} \quad ;$$

$$A_o > 0.27 \text{ m}^2 \quad (\text{área mínima del aislador})$$

$$D_o > \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$D_o > 59.14 \text{ cm} \quad (\text{diámetro mínimo del aislador})$$

1.2 Segunda forma de predimensionamiento (en base a una deformada)



$$D_o > 1.5 \text{ DTM}$$

$$D_o > 65.55 \text{ cm} \quad (\text{diámetro mínimo del aislador})$$

Se escoge el mayor diámetro, sin embargo luego se verifica

$$D_o: 66.00 \text{ cm}$$

2.00 VERIFICACIÓN DE ESTABILIDAD POR CAPACIDAD AXIAL

Do:	70.00	cm	(diámetro del aislador)
At:	0.385	m2	(área del aislador)
De:	65.00	cm	(diámetro del aislador sin contar la cobertura de goma exterior)
Ae:	0.332	m2	(área del aislador sin contar la cobertura de goma exterior)
DTM:	43.70	cm	(desplazamiento máximo total SMC)

Área reducida(AR)

$$AR = A_A \cdot 2 \cdot \frac{\left[ D_e^2 \cdot \sin^{-1} \left( \frac{\sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2}}{D_e} \right) - D_{TM} \cdot \sqrt{D_e^2 - D_{TM}^2} \right]}{\pi \cdot D_e^2}$$

Donde:

$A_A$  = Área del aislador, en mm<sup>2</sup>.

$D_e$  = Diámetro del aislador sin contar la cobertura de caucho exterior, en mm.

$D_{TM}$  = Desplazamiento total de un elemento del sistema de aislamiento, en la dirección de análisis, que incluye la traslación en el centro de rigidez y la componente torsional, determinado con la ecuación 5.3, en mm.

AR= 0.21 m2

Factor de Forma (S)

Factor de forma(S) :  $\frac{\text{Área efectiva de una capa de goma}}{\text{Área de superficie de borde de una capa de goma}}$

Di:	10.00	cm	(diámetro de núcleo de plomo)
Ap:	0.0079	m2	(área de núcleo de plomo)

Área efectiva de una capa de caucho : 0.324 m2

Área de superficie de borde de una capa de caucho : 0.016 m2

S: 19.83

Capacidad de Pandeo (Pcrítico)

$$P_{crítico} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} G \cdot S \cdot \frac{D_e}{N \cdot t_r} \cdot AR$$

Donde:

N = número de capas de caucho  
 $t_r$  = espesor de cada capa de caucho, en mm.

Pcrítico: 853.85 tonf

entonces:

F.S> 1

F.S= 1.5

Pcr : 569.23 tonf

Pmax : 447.34 tonf

Pcr>Pmax : Aislador cumple por Capacidad de Carga Axial

3.00 COMPROBACIÓN POR DEFORMACIONES EN CORTE (ASSHTO 2014, CAP14)

Módulo Elástico(Eo):

Eo: fxG

Eo: 200 tonf/m2

Módulo de Compresión(Ec):

Ec: Eo(1+2kS2) ;

k: 0.75 (constante empírica que está en función de G)

Ec: 118189.264 tonf/m2

\* Deformación por corte debido a deformación:

$$\gamma_d = \frac{DTM}{Hr} < 2.5 \quad Hr: 17.60 \text{ cm}$$

$\gamma_d: 2.48 < 2.5$

Ok, continuar

\* Deformación por corte debido a compresión:

$$\gamma_c = \frac{6 \times P \times S}{E_c \times Ar} ; \quad P_{max}: 447.34 \text{ tonf}$$

$\gamma_c = 2.15$

\* Deformación por corte debido a deformación angular:

$$\gamma_\theta = \frac{0.375 \times D e^2 \times \theta}{tr \times Hr} ; \quad \theta: 0.003 \text{ rad}$$

$\gamma_\theta = 0.34$

\* Deformación total por corte:

$$\gamma_d + \gamma_c + 0.5 \gamma_\theta \leq 6$$

$4.80 \leq 6$

Ok, cumple verificación por deformación por corte

#### 4.00 OBTENCIÓN DE PROPIEDADES NO LINEALES

$$k_2 = k_d = \frac{G \times A_g}{T_r} \quad ; \quad k_d = \left(\frac{1}{\alpha}\right) \times k_1 ; \alpha = 10$$

Ag:	0.38	m <sup>2</sup>	(área de la goma)
G:	50.00	tonf/m <sup>2</sup>	(módulo de corte de la goma)
Tr:	0.18	m	(altura total de goma)
$\tau$ :	1000.00	tonf/m <sup>2</sup>	(esfuerzo de fluencia del Plomo)
$\alpha$ :	0.10		
Ap:	0.008	m <sup>2</sup>	(área de núcleo de plomo)
DM:	0.38	m	(desplazamiento máximo lateral SMC)
k2:	107.10	tonf/m	(Rigidez Post Fluencia )
k1:	1071.00	tonf/m	(Rigidez Elástica)
Qd=	7.85	tonf	(Fuerza Histerética)
Fy=	8.73	tonf	(Fuerza de Fluencia)
Dy=	0.008	m	(Desplazamiento de Fluencia)
Keff=	127.77	tonf/m	(Rigidez Efectiva)
EDC:	11.68	tonf.m	Energía Disipada por Cido
Ch:	11.09	tonf.s/m	(Coeficiente de Amortiguamiento horizontal)
beta:	20.15%	<b>Ok</b>	(Amortiguamiento calculado)