

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN**  
**ESTRUCTURAS**



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE  
UN CENTRO EDUCATIVO CON AISLADORES SÍSMICOS DE TIPO  
ELASTOMÉRICO FRENTE A UN DISEÑO CONVENCIONAL SIN  
AISLADORES BASADO EN LA NORMA TÉCNICA E.030 EN LA CIUDAD DE  
TACNA, 2019**

**TESIS**

**Presentada por:**

**Bach. Mary Esperanza Ticona Cutipa**

**ORCID: 0000-0002-0278-7084**

**Asesor:**

**Mag. José Martín Velásquez Vargas**

**ORCID: 0000-0002-6338-7455**

**Para obtener el grado académico de:**

**MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

**TACNA – PERÚ**

**2023**

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA**  
**ESCUELA DE POSTGRADO**  
**MAESTRÍA EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURA**

**Tesis**

“Análisis Comparativo del Comportamiento Estructural de un Centro Educativo con Aisladores Sísmicos de Tipo Elastomérico Frente a un Diseño Convencional Sin Aisladores Basado en la Norma Técnica E.030 en la Ciudad de Tacna, 2019”

Presentada por:

Bach. Mary Esperanza Ticona Cutipa

Tesis sustentada y aprobada el 26 de julio del 2023; ante el siguiente jurado examinador:

**PRESIDENTE:** Dr. Pedro Valerio MAQUERA CRUZ

**SECRETARIO:** Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES

**VOCAL:** Mtro. Edgar Hipólito CHAPARRO QUISPE

**ASESOR:** Mag. José Martin VELÁSQUEZ VARGAS

## DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Mary Esperanza Ticona Cutipa, en calidad de Maestrando de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N°45388159.

Soy autor de la tesis titulada:

“Análisis Comparativo del Comportamiento Estructural de un Centro Educativo con Aisladores Sísmicos de Tipo Elastomérico Frente a un Diseño Convencional Sin Aisladores Basado en la Norma Técnica E.030 en la Ciudad de Tacna, 2019” .

con asesor: Mag. José Martín Velásquez Vargas

### DECLARO BAJO JURAMENTO

Ser el único autor del texto entregado para obtener el grado académico de *Maestro en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras*, y que tal texto no ha sido entregado ni total ni parcialmente para obtención de un grado académico en ninguna otra universidad o instituto, ni ha sido publicado anteriormente para cualquier otro fin.

Así mismo, declaro no haber trasgredido ninguna norma universitaria con respecto al plagio ni a las leyes establecidas que protegen la propiedad intelectual.

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 25% de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

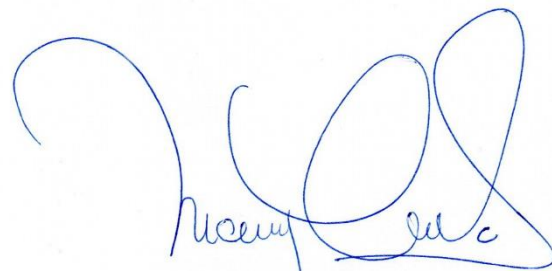
Por último, declaro que para la recopilación de datos se ha solicitado la autorización respectiva a la empresa u organización, evidenciándose que la información presentada es real y soy conocedor de las sanciones penales en caso de infringir las leyes del plagio y de falsa declaración, y que firmo la presente con pleno uso de mis facultades y asumiendo todas las responsabilidades de ella derivada.

Por lo expuesto, mediante la presente asumo frente a LA UNIVERSIDAD cualquier

responsabilidad que pudiera derivarse por la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos sobre la obra o invención presentada. En consecuencia, me hago responsable frente a LA UNIVERSIDAD y a terceros, de cualquier daño que pudiera ocasionar, por el incumplimiento de lo declarado o que pudiera encontrar como causa del trabajo presentado, asumiendo todas las cargas pecuniarias que pudieran derivarse de ello en favor de terceros con motivo de acciones, reclamaciones o conflictos derivados del incumplimiento de lo declarado o las que encontrasen causa en el contenido de la tesis, libro o invento.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente; asumo las consecuencias y sanciones que de mi acción se deriven, sometiéndome a la normatividad vigente de la Universidad Privada de Tacna.

Lugar y fecha: Tacna, 26 de julio del 2023.

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Mary Esperanza Ticona Cutipa', written over a horizontal line.

*Mary Esperanza Ticona Cutipa*

*DNI N°45388159*

## **DEDICATORIA**

A mis padres, Anastacio Ticona Machaca y Francisca Cutipa Cardoza, gracias por la darme la confianza, sus sacrificios y su amor. Ustedes son mi razón de ser, con las enseñanzas que me dan día a día, me impulsan a ser perseverante y luchar por mis anhelos en la vida.

A mis hermanas y sobrinas, por su comprensión y su apoyo, son grandiosas.

A mi hijo Leonhardt, que llego a mi vida gracias a Dios, regalándome la dicha más grande de ser madre, y quiero que en un futuro este orgulloso de mis logros.

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, por brindarme la salud y la fortaleza necesaria, las cuales me permitieron continuar, y poder llegar a esta etapa de mi vida profesional.

A mis padres, Alex y Francis, como les gusta que les digan de cariño, ellos son mi ejemplo de amor, fortaleza y valores, de ellos aprendo todos los días; agradezco a Dios por regalarme a tan maravillosos padres, sus muestras de cariño y comprensión hicieron que mis días estudio sean mejores. Valoro mucho la confianza que tuvieron en mí desde el inicio de mis estudios, juntos han sido mi impulso y apoyo para poder conseguir mis objetivos.

A mi esposo Herclyn, por darme esos consejos y apoyo incondicional, cuando en días difíciles lo necesitaba, su energía y ímpetu es contagiarte.

A la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, por contribuir en mi formación profesional, y de manera especial a la Maestra en Ingeniera Civil con mención en Estructuras Ing. Dina Marlene Cotrado Flores, al Magister en Ingeniera Civil Ing. José Velásquez Vargas y al Maestro en Ciencias en Gerencia en Ingeniería de Proyectos Ing. Luis Alfredo Fernández Vizcarra; cuyo asesoramiento ha sido de gran apoyo para concretar y materializar este trabajo de investigación.

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

<b>PÁGINA DE JURADO</b> .....	<b>I</b>
<b>DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD</b> .....	<b>II</b>
<b>DEDICATORIA</b> .....	<b>IV</b>
<b>AGRADECIMIENTOS</b> .....	<b>V</b>
<b>ÍNDICE DE CONTENIDOS</b> .....	<b>VI</b>
<b>ÍNDICE DE TABLAS</b> .....	<b>IX</b>
<b>ÍNDICE DE FIGURAS</b> .....	<b>XI</b>
<b>RESUMEN</b> .....	<b>XV</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>XVI</b>
<b>INTRODUCCIÓN</b> .....	<b>XVII</b>
<b>I. EL PROBLEMA</b> .....	<b>1</b>
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA .....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	2
1.2.1 Interrogante principal .....	2
1.2.2 Interrogantes secundarias .....	2
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN .....	3
1.4.1 Objetivo general .....	3
1.4.2 Objetivos específicos .....	4
<b>II. MARCO TEÓRICO</b> .....	<b>5</b>
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN .....	5
2.1.1 Antecedentes internacionales .....	5
2.1.2 Antecedentes nacionales .....	9
2.1.3 Antecedentes locales .....	20
2.2 BASES TEÓRICAS .....	21

2.2.1 Principios del Aislamiento Sísmico.....	23
2.2.2 Los Aisladores Elastoméricos .....	30
2.2.3 Aisladores elastoméricos de caucho natural o aisladores de caucho de Bajo amortiguamiento - Low Damping Rubber Bearing (LDRB) .....	31
2.2.4 Aisladores elastoméricos de Alto amortiguamiento - High Damping Rubber Bearing (HDRB) .....	32
2.2.5 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo - Lead Rubber Bearing (LRB).....	37
2.2.6 Propiedades ingenieriles de los materiales .....	42
2.2.7 Diseño sísmico convencional .....	51
2.2.8 Análisis comparativo del comportamiento estructural .....	54
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS.....	57
<b>III. MARCO METODOLÓGICO.....</b>	<b>61</b>
3.1 HIPÓTESIS .....	61
3.1.1 Hipótesis general .....	61
3.1.2 Hipótesis específicas.....	61
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	62
3.2.1 Identificación de la variable independiente .....	62
3.2.2 Identificación de la variable dependiente .....	62
3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN .....	63
3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN.....	63
3.5 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN .....	63
3.5.1 Ámbito social.....	63
3.5.2 Tiempo social .....	63
3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA .....	64
3.6.1 Unidad de estudio .....	64
3.6.2 Población .....	64
3.6.3 Muestra .....	64
3.7 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS.....	64
3.7.1 Procedimiento.....	64
3.7.2 Técnicas .....	65
3.7.3 Instrumentos .....	65
<b>IV. RESULTADOS.....</b>	<b>66</b>



4.1	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO.....	66
4.1.1	Normas Empleadas .....	69
4.2	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS .....	70
4.2.1	Diseño estructural del edificio tradicional.....	70
4.2.2	Diseño estructural del edificio aislado.....	91
4.3	RESULTADOS .....	129
4.3.1	Estructura convencional (estructura sin aislamiento).....	129
4.3.2	Estructura con sistema de aislamiento (asientos de apoyo).....	134
4.4	PRUEBA ESTADÍSTICA.....	144
4.4.1	Relación de periodos naturales .....	144
4.4.2	Desplazamientos máximos .....	145
4.4.3	Derivas máximas de entrepiso .....	147
4.4.4	Cortantes de piso y cortante basal máximas .....	149
4.5	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	151
4.6	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	152
<b>V.</b>	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....</b>	<b>154</b>
5.1	CONCLUSIONES.....	154
5.2	RECOMENDACIONES .....	157
	<b>REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>158</b>
	<b>ANEXOS .....</b>	<b>160</b>

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 : Factores de Zona .....	83
Tabla 2 : Clasificación de los Perfiles de Suelo .....	83
Tabla 3 : Factor de Suelo "S" .....	83
Tabla 4 : Periodo "T <sub>P</sub> " y "T <sub>L</sub> " .....	84
Tabla 5 : Categoría de las Edificaciones y Factor "U" .....	84
Tabla 6 : Coeficiente para determinar el periodo .....	85
Tabla 7 : Sistemas Estructurales .....	87
Tabla 8 : Aceleración Espectral .....	90
Tabla 9 : Propiedades del aislador LRB .....	125
Tabla 10 : periodo de la estructura sin aislamiento .....	129
Tabla 11 : Desplazamiento en el eje x - x (sin aislamiento) .....	131
Tabla 12 : Desplazamiento en el eje y - y (sin aislamiento) .....	132
Tabla 13 : Límites para la distorsión de entrepiso .....	132
Tabla 14 : Derivas en el eje x-x (sin aislamiento) .....	133
Tabla 15 : Derivas en el eje y-y (sin aislamiento) .....	133
Tabla 16 : Fuerza cortante en el eje x-x (sin aislamiento) .....	133
Tabla 17 : Fuerza cortante en el eje y-y (sin aislamiento) .....	134
Tabla 18 : Periodo de la estructura con aislamiento .....	134
Tabla 19 : Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Lima 03/10/1974) .....	137
Tabla 20 : Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Moquegua 23/06/2001) .....	137
Tabla 21 : Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Ica 15/08/2007) .....	137
Tabla 22 : Desplazamiento en eje y-y (registro sísmico Lima 03/10/1974) .....	138
Tabla 23 : Desplazamiento en eje y-y (registro sísmico Moquegua 23/06/2001) .....	138
Tabla 24 : Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Ica 15/08/2007) .....	138

Tabla 25 : Derivas en el eje x-x (Lima 03/10/1974) .....	139
Tabla 26 : Derivas en el eje x-x (Moquegua 23/06/2001) .....	140
Tabla 27 : Derivas en el eje x-x (Ica 15/08/2007).....	140
Tabla 28 : Derivas en el eje y-y (Lima 03/10/1974) .....	140
Tabla 29 : Derivas en el eje y-y (Moquegua 23/06/2001) .....	141
Tabla 30 : Derivas en el eje y-y (Ica 15/08/2007).....	141
Tabla 31 : Fuerza cortante en el eje x-x (Lima 03/10/1974).....	141
Tabla 32 : Fuerza cortante en el eje x-x (Moquegua 23/06/2001) .....	142
Tabla 33 : Fuerza cortante en el eje x-x (Ica 15/08/2007) .....	142
Tabla 34 : Fuerza cortante en el eje y-y (Lima 03/10/1974).....	142
Tabla 35 : Fuerza cortante en el eje y-y (Moquegua 23/06/2001) .....	143
Tabla 36 : Fuerza cortante en el eje y-y (Ica 15/08/2007) .....	143
Tabla 37 : Relación del periodo fundamental de la estructura empotrada vs estructura aislada.....	144
Tabla 38 : Reducción máxima del desplazamiento en eje x-x.....	145
Tabla 39 : Reducción máxima del desplazamiento en eje y-y.....	146
Tabla 40 : Reducción máxima de deriva de entrepiso en el eje x-x.....	147
Tabla 41 : : Reducción máxima de deriva de entrepiso en el eje y-y.....	148
Tabla 42 : Reducción máxima de la fuerza cortante en la base del eje x-x .....	150
Tabla 43: Reducción máxima de la fuerza cortante en la base del eje y-y .....	151

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 : Esquema de la clasificación de sistemas de control de respuesta sísmica. .....	21
Figura 2 : Efectos dinámicos en un sistema con asientos de apoyo - Espectro de peudo aceleraciones y desplazamiento.....	25
Figura 3 : Partes de un sistema de aislamiento sísmico. ....	26
Figura 4 : Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento. ....	31
Figura 5 : Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador de Bajo Amortiguamiento.....	32
Figura 6 : Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento. ....	33
Figura 7 : Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador de Alto Amortiguamiento. ....	33
Figura 8 : Aislador Deslizante Plano. ....	34
Figura 9 : Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de un Aislador plano.....	34
Figura 10 : Aislador con superficie cóncava – Primera Generación.....	36
Figura 11 : Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de un Aislador con superficie cóncava. ....	36
Figura 12 : Aislador de base con Núcleo de plomo. ....	39
Figura 13 : Detalles de un Aislador Elastomérico con núcleo de plomo. ....	39
Figura 14 : Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador con Núcleo de Plomo.....	40
Figura 15 : Parámetros principales del modelo bilineal.....	41

Figura 16 : Curva Módulo de Corte “G” vs Deformación Angular “ $\gamma$ ” de un Elastómero.....	43
Figura 17 : Fuerza Lateral (F) vs Deformación Lateral (D) en un LRB.....	48
Figura 18 : Amortiguamiento viscoso ( $\beta$ ) vs Deformación Angular ( $\gamma$ ) en un LRB.....	49
Figura 19 : Diagrama tensión y deformación del hormigón .....	52
Figura 20 : Gráfica de Fuerzas de Inercia.....	53
Figura 21 : Esquema diferencial de resultados, de una estructura con asientos de apoyo sísmico y con base fija.....	55
Figura 22 : Espectro de aceleraciones.....	56
Figura 23 : Espectro de desplazamiento.....	56
Figura 24 : Esquema de Edificio aislado - aislador.....	58
Figura 25 : Esquema de Nivel de base – Interfaz de aislamiento. ....	58
Figura 26 : Esquema de Superestructura – Sistema de aislamiento – Subestructura. ....	59
Figura 27: Plano de Planta - Primer Nivel.....	66
Figura 28 : Plano de Planta - Segundo Nivel.....	67
Figura 29 : Plano de Elevación Frontal.....	67
Figura 30 : Plano de Elevación Posterior.....	68
Figura 31 : Sección Típica de Aulas.....	68
Figura 32 : Propiedades de la Losa Aligerada – ETABS.....	72
Figura 33 : Dimensión de Columna Rectangular.....	73
Figura 34 : Dimensión de Columna T-1.....	74
Figura 35 : Dimensión de Columna T -2 .....	74
Figura 36 : Dimensión de Columna L.....	75
Figura 37 : Dimensión de la viga principal VP-1.....	76
Figura 38 : Dimensión de la viga principal VP-2.....	76
Figura 39 : Dimensión de viga secundaria VS-1.....	76
Figura 40 : Dimensión de viga borde Vb.....	77
Figura 41: Espectro Respuesta.....	91

Figura 42 : Estructura Aislada con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo (LRB) - Vista 3D .....	92
Figura 43 : Ubicación de los aisladores en la base de la superestructura .....	93
Figura 44 : Estructura Aislada - Vista en Planta .....	95
Figura 45 : Estructura Aislada - Vista Frontal .....	95
Figura 46 : Estructura Aislada - Vista Lateral .....	96
Figura 47 : Partes de un Aislador LRB .....	100
Figura 48 : Diagrama Histerético del Aislador LRB según catalogo.....	101
Figura 49 : Parámetros de diseño de los aisladores con núcleo de plomo L-RB según catálogo.....	102
Figura 50 : Propiedades del Aislador LRB. ....	103
Figura 51 : Registro Sísmico – Lima 03/11/1974 .....	107
Figura 52 : Registro Sísmico - Moquegua 23/06/2001 .....	108
Figura 53 Registro Sísmico – Ica 15/08/2007 .....	109
Figura 54 : Espectro de Diseño, R=1 .....	112
Figura 55 : Espectro de Diseño R=1, Software ETABS .....	113
Figura 56 : Acelerograma - Lima 03/10/1974.....	114
Figura 57 : Acelerograma - Moquegua 23/06/2001 .....	115
Figura 58 : Acelerograma - Ica 15/08/2007 .....	115
Figura 59 : Escalado de acelerograma .....	116
Figura 60 : Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Lima 03/10/1974 .....	117
Figura 61 : Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Lima 03/10/1974 .....	118
Figura 62 : Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Moquegua 26/06/2001	119
Figura 63 : Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Moquegua 26/06/2001	120
Figura 64 : Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Ica 15/08/2007 .....	121
Figura 65 : Figura 64 Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Ica 15/08/2007 .....	122
Figura 66 : Paso 01 modelamiento de aislador LRB.....	123
Figura 67 : Paso 02 modelamiento de aislador tipo LRB .....	124
Figura 68 : Paso 03 modelamiento de aislador tipo LRB .....	124
Figura 69 : Paso 04 modelamiento de aislador tipo LRB .....	125

Figura 70 : Histerética del Aislador LRB (x-x) - Lima 03/10/1974 .....	126
Figura 71 : Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Lima 03/10/1974.....	126
Figura 72 : Curva Histerética del Aislador LRB (x-x) - Moquegua 23/06/2001	127
Figura 73 Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Moquegua 23/06/2001..	127
Figura 74 Curva Histerética del Aislador LRB (x-x) - Ica 15/08/2007 .....	128
Figura 75 Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Ica 15/08/2007 .....	128
Figura 76 : Primer modo de vibración sin aislamiento .....	130
Figura 77 Segundo modo de vibración sin aislamiento .....	130
Figura 78 : Tercer modo de vibración sin aislamiento.....	131
Figura 79 : Primer modo de vibración con sistema de aislamiento .....	135
Figura 80 : Segundo modo de vibración con sistema de aislamiento .....	136
Figura 81 : Tercer modo de vibración con sistema de aislamiento.....	136
Figura 82 : Diagrama comparativo del periodo natural de vibración .....	144
Figura 83 : Diagrama comparativo del desplazamiento en el eje x-x.....	145
Figura 84 : Diagrama comparativo del desplazamiento en el eje y-y.....	146
Figura 85 : Diagrama comparativo de las derivas de entrepiso en el eje x-x.....	147
Figura 86 : Diagrama comparativo de las derivas de entrepiso en el eje y-y.....	148
Figura 87 : Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en el eje x-x.....	149
Figura 88 : Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en el eje y-y.....	150

## RESUMEN

**Objetivo:** Realizar el análisis y diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos elastoméricos y comparar su comportamiento con un diseño convencional sin aisladores según la Norma Técnica E.030. **Método:** Se emplea un enfoque cuantitativo, diseño pre-experimental y nivel descriptivo comparativo. **Resultados:** Por lo que, al implementar aisladores de base, se logra un comportamiento muy superior respecto a la versión de un sistema convencional, en cuanto a periodos, desplazamientos, derivas y esfuerzos; cumpliendo ampliamente con los parámetros establecidos en la norma técnica peruana E.030 **Conclusiones:** En cuanto al análisis comparativo; recae en una mayor ventaja respecto a la estructura con aisladores tipo elastomérico, debido a la reducción de los daños en cuanto a los elementos estructurales y elementos no estructurales, consecuentemente tendremos una operatividad de la estructura posterior al evento sísmico.

**Palabras clave:** Comportamiento estructural, aisladores sísmicos y diseño convencional sin aisladores



## ABSTRACT

**Objective:** To conduct the structural analysis and design of an educational facility using elastomeric seismic isolators and compare its behavior with a conventional design without isolators according to Technical Standard E.030. **Method:** A quantitative approach is employed, along with a pre-experimental design and a descriptive comparative level. **Results:** Therefore, when implementing base insulators, a much superior behavior is achieved compared to the version of a conventional system, in terms of periods, displacements, drifts and efforts; it will abundantly comply with the disorders established in the Peruvian technical standard E.030 **Conclusions:** Regarding the comparative analysis; It falls on a greater advantage compared to the structure with elastomeric type insulators, due to the reduction of damage in terms of structural elements and non-structural elements, consequently we will have an operability of the structure after the seismic event.

Keywords: Structural behavior, seismic isolators, conventional design without isolators.

## INTRODUCCIÓN

Nos situamos en una zona que se considera de alto riesgo sísmico, y en consecuencia una estructura debe estar preparada para los futuros eventos sísmicos. Y a medida como la tecnología avanza, se presentan diferentes técnicas en cuanto a la protección de estructuras, siendo una de ellas la protección sísmica, las cuales contribuyen a mejorar su comportamiento y por ende que reduzcan los daños.

Por esta razón, se tiene como propósito de este trabajo de investigación realizar un análisis y diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos tipo elastomérico y comparar su comportamiento estructural frente a un diseño convencional sin aisladores sísmicos basado en la Norma Técnica E.030. Para ello se considera la aplicación de los siguientes procesos desarrollados en los siguientes capítulos.

Primeramente, se presenta una descripción, formulación del problema, justificación de la investigación, objetivos de la investigación. Seguidamente, contiene el marco teórico, el cual aborda los antecedentes del estudio, bases teóricas y los conceptos necesarios para un mejor entender de la investigación. A continuación, comprende el marco metodológico, en el cual se indica las hipótesis planteadas, variables y sus indicadores, tipo y nivel de investigación, y la descripción de las técnicas e instrumentos para la recolección de datos. Seguidamente, se presentan los resultados y validación de la mejora del comportamiento estructural con los dispositivos de base propuestos. Finalmente, se tiene las conclusiones y recomendaciones.

## **I. EL PROBLEMA**

### **1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El Perú se encuentra ubicado dentro del Cinturón de Fuego del Pacífico, la mayor fuente generadora de sismos. La ocurrencia de sismos está controlada por el campo de deformación asociado completamente al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana. (Tavera, 2011)

Tacna, es una de las regiones del Perú, en referencia a la sismicidad histórica del país, ubicada en la zona sur del país donde han ocurrido sismos severos. De acuerdo con la historia sísmica de Tacna, en los últimos 500 años han ocurrido terremotos que en más de una ocasión causaron la destrucción total de la ciudad, como el ocurrido el 13 de agosto de 1868. (Alva, 1988).

El último evento sísmico de gran magnitud que afectó a la ciudad de Tacna, ocurrió el 23 de junio del 2001 (VII grados en la escala de Mercalli Modificada). Numerosos expertos en sismología opinan que este sismo no excluye a la zona sur del Perú y norte de Chile del gran silencio sísmico que los involucra; y es por eso que esta zona es de alta prioridad para efectuar estudios de predicción sísmica y para realizar acciones de prevención y planificación de desastres.

El problema recae en que la norma técnica E.030, solo establece el sistema de aislamiento en la base para edificaciones esenciales de tipo a1, no contemplando para categorías esenciales como son instituciones educativas, institutos superiores y universidades, pudiendo ser esto mejorado, puesto que estas estructuras no

deberían interrumpir la su operatividad, debido a que serviría de refugio después de un evento sísmico severo.

Por consiguiente, la aplicación de nuevas técnicas sísmicas como el uso de asientos de apoyo en una edificación cumplen la función de aminorar en gran medida de los daños en una estructura que suponen la continuidad de su funcionamiento.

Por lo expuesto anteriormente, para la ciudad de Tacna, es necesario conocer el efecto que tienen las estructuras con la aplicación de estas técnicas sísmicas para poder aminorar los daños en una estructura. Por lo que se propone realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural de un centro educativo con asientos de apoyo de tipo elastomérico frente a un diseño convencional sin asientos de apoyo basado en la Norma Técnica E.030 en la ciudad de Tacna.

## **1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

### ***1.2.1 Interrogante principal***

¿Cómo mejora el comportamiento estructural de un centro educativo con aisladores tipo elastomérico frente a un diseño convencional sin aisladores basado en la Norma Técnica E.030 en la ciudad de Tacna?

### ***1.2.2 Interrogantes secundarias***

- ¿Cuál será el resultado del comportamiento estructural de un Centro Educativo convencional sin asientos de apoyo empleando la Norma Técnica E.030?
- ¿Cuál será el resultado del comportamiento estructural de un Centro Educativo con aislador tipo elastomérico?

- ¿Cuál es el comportamiento estructural obtenido de un diseño estructural de un centro educativo sin asientos de apoyo en comparación con un diseño estructural con asientos de apoyo tipo elastomérico?

### **1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

En el Perú, el sistema de aislación sísmica es relativamente nuevo, convirtiéndose en una alternativa para aminorar en gran medida los daños en una estructura que suponen la continuidad de su funcionamiento y la preservación de la vida humana ante las solicitaciones sísmicas. Es por ello la necesidad que en la región de Tacna se pueda aplicar estas técnicas sísmicas, como es el uso de asientos de apoyo en una edificación. (Mullo, 2014)

De forma que realizaremos el análisis y diseño estructural de un centro educativo con aislador sísmico tipo elastomérico, de tal manera de conocer su comportamiento estructural que permita mejorar el diseño a fin de reducir los daños, y conocer los resultados; de tal manera de realizar una comparación en cuanto a una estructura convencional sin asientos de apoyo empleando la Norma Técnica E.030.

En tal sentido en la presente investigación se pretende contribuir con los conocimientos necesarios para la difusión de esta técnica sísmica de asientos de apoyo en las construcciones de la ciudad de Tacna.

### **1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### ***1.4.1 Objetivo general***

Realizar un análisis y diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos tipo elastomérico y comparar su comportamiento estructural frente a un diseño convencional sin aisladores sísmicos basado en la Norma Técnica E.030.

### ***1.4.2 Objetivos específicos***

- A. Realizar el diseño convencional de un Centro Educativo sin aisladores sísmicos empleando la Norma Técnica E.030.
- B. Realizar el diseño de un Centro Educativo con aisladores sísmicos tipo elastomérico.
- C. Comparar el comportamiento estructural del diseño de un centro educativo sin aisladores sísmicos frente a un diseño con aisladores sísmicos tipo elastomérico.

## II. MARCO TEÓRICO

### 2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

#### 2.1.1 *Antecedentes internacionales*

Arriagada (2005), realizó una investigación sobre, "Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. (Análisis Comparativo de Comportamiento y Costos con un Edificio Tradicional)". **Objetivo:** Comparar la respuesta estructural y los costos, incluyendo daños sísmicos probables, entre una estructura convencional y una estructura similar aislada, específicamente el caso del Edificio Vanguardia. El objetivo es determinar la conveniencia de incorporar aislación basal en la estructura. **Método:** Se llevó a cabo un análisis comparativo de comportamiento y costos entre un edificio tradicional y uno aislado sísmicamente. Se consideraron ciertos parámetros de respuesta estructural y se analizaron los posibles daños sísmicos. Se evaluó el desempeño de ambas estructuras en términos de protección y comportamiento frente a eventos sísmicos. **Resultados:** La estructura aislada sísmicamente (Edificio Vanguardia) mostró un comportamiento estructural significativamente superior en comparación con la versión convencional. Presentó niveles elevados de protección de la estructura y cumplió con creces los estándares de desempeño requeridos. En términos de costos, aunque la versión aislada tuvo un costo mayor, se argumenta que, al considerar efectos a largo plazo, esta diferencia es relativamente menor. **Conclusiones:** La tesis concluyó que la incorporación de aislación sísmica en el diseño de la estructura, como en el caso del Edificio Vanguardia, resulta en un comportamiento estructural altamente efectivo y una protección superior ante eventos sísmicos. Aunque el costo

inicial es mayor, se considera que los beneficios a largo plazo compensan esta diferencia de costo.

Villavicencio (2015), "Análisis sísmico estructural comparativo para edificios con aisladores de base tipo elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador". Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis comparativo entre aisladores de base tipo elastoméricos y friccionantes para edificios en diferentes tipos de suelos en Ecuador. La investigación busca determinar cuál de los dos sistemas de aislamiento ofrece una mejor respuesta sísmica en términos de reducción de derivas de piso, cortantes basales y fuerza cortante de piso. Método: Se lleva a cabo un análisis comparativo de aisladores de base elastoméricos y friccionantes para edificios considerando los diferentes tipos de suelos presentes en Ecuador. Se analiza la respuesta sísmica de los edificios empotrados y los edificios con muros de corte utilizando ambos tipos de aisladores. Se destaca la importancia de asumir correctamente los espesores de las capas de elastómero y acero en el diseño, así como el coeficiente de fricción en el caso de los aisladores friccionantes. Resultados: La investigación concluye que el procedimiento de diseño para ambos tipos de aisladores es iterativo. Se destaca que los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) presentaron la mejor respuesta sísmica en comparación con los aisladores friccionantes. Estos aisladores LRB demostraron una reducción significativa en las derivas de piso, cortantes basales y fuerza cortante de piso en comparación con los aisladores friccionantes. Este resultado fue consistente tanto para edificios empotrados como para edificios con muros de corte. Conclusiones: La investigación concluyó que los aisladores sísmicos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) ofrecen una mejor respuesta sísmica en comparación con los aisladores friccionantes en el contexto de edificios en los diferentes tipos de suelos presentes en Ecuador. Se enfatiza la importancia de un diseño iterativo y se destaca la influencia de los espesores de las capas y el coeficiente de fricción en el comportamiento de los aisladores.



Cando et al (2012) "Aislación sísmica de un edificio (análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)" Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis comparativo entre una estructura tradicional y una estructura con aislación sísmica basal. El estudio se enfoca en una edificación de 07 pisos y utiliza aisladores tipo HDR, mixto LRB + HDR y FPS. La investigación busca evaluar el comportamiento sísmico y los costos asociados a la implementación de la aislación basal. Método: Se realiza un análisis dinámico no lineal utilizando la normativa NEC-11 y el Código ACI 318-08. Se emplea la normativa NCh 2745 para el sistema de aislamiento. Se diseña utilizando aisladores tipo HDR, LRB y FPS, con un proceso iterativo para definir las características geométricas y mecánicas de los dispositivos. Se comparan los resultados de respuesta, esfuerzos y desplazamientos entre los sistemas de aislamiento y la estructura tradicional. Resultados: Los resultados muestran que el sistema aislado tiene un periodo principal de 2.0 segundos, lo que garantiza niveles de respuesta satisfactorios al apartar la estructura de la zona de mayor energía. Se obtienen dimensiones y rigideces para los aisladores tipo HDR y LRB. Se destaca el sistema HDR + LRB debido a que reduce los daños estructurales, disminuye los momentos volcantes y los daños, y reduce los esfuerzos cortantes en general. Conclusiones: La investigación concluye que la incorporación de aislación sísmica basal, especialmente el sistema HDR + LRB, beneficia el comportamiento sísmico de la edificación de 07 pisos. Se observa una reducción en desplazamientos relativos, esfuerzos cortantes y aceleraciones. Los resultados indican una disminución de la demanda en elementos estructurales en un 40% aproximadamente. La comparación se realiza considerando tanto el comportamiento sísmico como los costos asociados.

Mullo (2014), "Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en Etabs". Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis comparativo entre el comportamiento estructural de una estructura convencional y una estructura aislada utilizando aisladores sísmicos. El análisis se enfoca en un bloque de hospitalización (Bloque I) del Hospital Regional de Ambato. Se busca evaluar los resultados obtenidos a través del modelamiento en el software Etabs y

compararlos con la normativa ecuatoriana NEC (Norma Ecuatoriana de Construcción). Método: Se realiza un análisis y diseño estructural utilizando el software Etabs. Se comparan los resultados obtenidos para una estructura convencional y una estructura aislada con aisladores tipo HDR y LBR, diseñados de acuerdo a la normativa NCh2745. Se evalúan los valores de deriva y participación modal en los modos de vibración. Resultados: Para la estructura convencional, la deriva obtenida es de 0.66%, lo cual cumple con el límite del 2% establecido por la normativa. En cuanto a la participación modal, se obtienen valores de 97.5 en el primer modo de vibración y 94.5 en el segundo modo de vibración, lo que indica un comportamiento sísmico adecuado. Los aisladores de tipo HDR y LBR proporcionan mejores respuestas estructurales en comparación con otros sistemas (FPS) y con la estructura convencional. Se observan mejoras en términos de cortantes, derivas y participación modal. Conclusiones: La investigación concluye que el uso de aisladores sísmicos tipo HDR y LBR en la estructura aislada del bloque de hospitalización del Hospital Regional de Ambato proporciona un mejor comportamiento sísmico en comparación con una estructura convencional y otros sistemas de aislamiento (FPS). Los valores de deriva y participación modal cumplen con los requisitos normativos y muestran una respuesta estructural mejorada en términos de cortantes, derivas y participación modal. El modelamiento en el software Etabs proporcionó información valiosa para la evaluación y diseño de la estructura aislada.

Macías y Suarez (2015), "Diseño Estructural de un edificio de 6 pisos con aisladores de base elastoméricos". Objetivo: El objetivo de la tesis es llevar a cabo el diseño sismo-resistente de un edificio de 6 pisos utilizando aisladores de base tipo elastomérico. Se busca analizar los resultados del diseño de la estructura tradicional en comparación con la estructura con aisladores sísmicos. Método: Se utiliza el software ETABS (2015) para realizar el análisis y diseño de ambas estructuras. Se emplean aisladores de base tipo Slider y LRB en la estructura aislada. Se comparan los resultados de los esfuerzos estructurales, desplazamientos relativos, deriva máxima y aceleraciones entre ambas estructuras. Resultados: Para la estructura

tradicional, el periodo fundamental es de 0.803 segundos, mientras que para la estructura con aisladores de base (LRB - Slider) es de 2.777 segundos, cumpliendo con los valores recomendados por la norma FEMA 450. Los esfuerzos resultantes de los elementos estructurales (columnas y vigas) se reducen en un promedio del 39%. Los desplazamientos relativos y la deriva máxima se reducen en la estructura aislada. Las máximas aceleraciones en el primer nivel se reducen en un 54% en comparación con la estructura tradicional. Conclusiones: La investigación concluye que la implementación de aisladores de base elastoméricos en un edificio de 6 pisos reduce significativamente los esfuerzos estructurales, los desplazamientos relativos y las aceleraciones en comparación con una estructura tradicional. El diseño sismo-resistente con aisladores resulta en una mejora en la respuesta sísmica y una mayor seguridad de la edificación frente a eventos sísmicos.

### ***2.1.2 Antecedentes nacionales***

Villagómez (2015), "Lineamientos para el análisis y diseño de edificaciones sísmicamente aisladas en el Perú" Objetivo: El objetivo de la tesis es contribuir al desarrollo de una normativa que regule el diseño de estructuras aisladas sísmicamente en el Perú. Esto se busca lograr a través de la formulación de lineamientos para el análisis y diseño de dichas estructuras. Método: La investigación aborda la necesidad de desarrollar lineamientos específicos para el análisis y diseño de edificaciones aisladas en el contexto sísmico del Perú. Para ello, se realizó un estudio de peligro sísmico que permitió proponer un periodo de retorno adecuado. También se establecieron procedimientos de análisis que incluyen expresiones generales para visualizar los efectos físicos de un terremoto y que pueden ser aplicadas a diferentes códigos de diseño sismorresistente. Resultados: La investigación concluyó que, debido a las condiciones sísmicas específicas de cada país, no es viable aplicar directamente códigos internacionales en todos los casos. En el contexto peruano, se propuso un estudio de peligro sísmico y un periodo de retorno como parte del proceso de diseño de edificaciones aisladas. Además, se establecieron procedimientos de análisis que permiten entender los

efectos físicos de los terremotos y que son flexibles para adaptarse a distintos códigos de diseño sismorresistente. Conclusiones: La tesis concluyó que es esencial desarrollar lineamientos y enfoques específicos para el diseño de edificaciones aisladas sísmicamente en el Perú. La investigación sugiere que los códigos internacionales no pueden aplicarse sin considerar las condiciones sísmicas únicas de cada región. La propuesta de un estudio de peligro sísmico, un periodo de retorno y procedimientos de análisis adaptables puede contribuir significativamente a un diseño más seguro y efectivo de este tipo de estructuras en el país.

Solórzano (2019) "Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base". Objetivo: El objetivo de la tesis es evaluar la influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un módulo de hospital con aisladores sísmicos. Se considera variar el tipo de suelo (suelo rígido S1 y suelo flexible S3) en diferentes zonas sísmicas (zona 4 y zonas 2 y 4) utilizando normativas como ASCE/SEI 7-16 y la norma peruana E.031. El análisis se centra en comprender cómo las condiciones del suelo afectan la eficiencia de los aisladores sísmicos. Método: La investigación emplea aisladores sísmicos de tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB) en un módulo de hospital. Se evalúan diferentes condiciones de suelo y zonas sísmicas utilizando las normativas mencionadas. Se analiza el comportamiento estructural considerando la respuesta sísmica y la eficiencia de los aisladores en diferentes escenarios. Resultados: Los resultados obtenidos indican que la eficiencia de los aisladores sísmicos en suelos rígidos (Zona 4, Suelo S1) es considerablemente mayor (16 veces) en comparación con suelos flexibles (Zonas 2 y 4, Suelo S3). Además, se observa que los mayores periodos se presentan en las zonas con mayor exigencia sísmica (Zonas 4 y 3), lo que sugiere la necesidad de utilizar aisladores sísmicos en estas situaciones. Conclusiones: La investigación concluye que las condiciones del suelo tienen un impacto significativo en la eficiencia de los aisladores sísmicos. Los resultados sugieren que los aisladores sísmicos son particularmente eficaces en zonas sísmicas con suelos rígidos, brindando una mayor protección estructural. Además, se resalta la importancia de considerar la normativa específica de cada

región, como la norma peruana E.031, para un análisis y diseño adecuados de sistemas aislados en hospitales u otras edificaciones.

Korswagen et al (2012) "Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú". Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis y diseño de estructuras utilizando aisladores sísmicos en el contexto peruano. La investigación tiene como objetivo principal realizar un análisis comparativo de diferentes tipos de estructuras con aisladores, con el fin de establecer pautas para determinar la viabilidad de la incorporación de aisladores sísmicos en el diseño estructural. Método: La investigación aborda los tipos, comportamientos y consideraciones relacionadas con el uso de aisladores de base. Se realiza un análisis comparativo de diversos tipos de estructuras con aisladores, teniendo en cuenta factores como la altura y esbeltez de la edificación, la capacidad de carga de los aisladores elastoméricos y el periodo natural de la superestructura. Se discuten las implicaciones de utilizar aisladores de mayor área transversal y con características similares, así como la cantidad de aisladores para reducir la incertidumbre del comportamiento. 5. Resultados: La investigación concluye que la altura y esbeltez de la edificación son parámetros limitantes para un aislamiento eficiente utilizando aisladores elastoméricos. Se destaca que la capacidad de carga de los aisladores y el periodo natural de la superestructura son indicadores de la eficiencia del sistema de aislamiento. Se sugiere emplear aisladores de mayor área transversal para reducir la rigidez lateral y la fuerza sísmica. Se recomienda utilizar aisladores con características similares y en menor cantidad para minimizar la incertidumbre del comportamiento. Conclusiones: La investigación concluye que el uso de aisladores sísmicos en estructuras en el Perú es factible, pero está condicionado por varios factores como la altura, esbeltez, capacidad de carga de los aisladores, periodo natural de la superestructura y características de los propios aisladores. Se destaca la importancia de considerar estos aspectos en el análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos para lograr una implementación eficiente y segura. Aquí está la información extraída siguiendo las categorías proporcionadas:

Leyton (2017), "Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en Lima, Perú" Objetivo: El objetivo de la tesis es evaluar la factibilidad técnica y económica de implementar aisladores sísmicos en un edificio de viviendas construido con concreto armado en Lima, Perú. La investigación se centra en comparar el proyecto ya construido con la propuesta alternativa que incluye aisladores sísmicos. Método: La investigación se enfoca en comparar dos enfoques: el edificio de viviendas construido con el sistema estructural de pórticos y la propuesta alternativa que utiliza aisladores sísmicos. Se evalúa la respuesta técnica y económica de ambas opciones. Se analiza cómo el sistema estructural influye en la distribución de la carga sísmica y se discuten las implicaciones de asignar mayor responsabilidad sísmica a las placas en un sistema de muros. También se plantea la posibilidad de reducir las exigencias de diseño debido a los efectos positivos del aislamiento sísmico. Resultados: La investigación concluye que el sistema estructural de pórticos es el más óptimo en términos técnicos y económicos para la superestructura. Se sugiere que en sistemas duales o de muros, asignar mayor responsabilidad sísmica a las placas podría prevenir problemas de inestabilidad o falla por tracción en caso de acumulación de momento volcante. Se señala que las normas no consideran adecuadamente los efectos del aislamiento sísmico en la capacidad de la estructura para incurrir en el rango inelástico, lo que lleva a requisitos de diseño conservadores. Conclusiones: La tesis concluye que implementar aisladores sísmicos en edificios de viviendas en Lima, Perú, es técnicamente factible y puede tener beneficios económicos. Se resalta la importancia de considerar el sistema estructural y cómo este afecta la respuesta sísmica. También se sugiere la necesidad de revisar y ajustar las normativas para tener en cuenta los efectos del aislamiento sísmico de manera más precisa, lo que podría resultar en requisitos de diseño más realistas y un uso más eficiente de los materiales. En cuanto a la subestructura, se destaca la importancia de regular las vigas de arriostre debido a su influencia en la integridad estructural y los posibles costos adicionales.

Pino y Frederick (2015) "Análisis comparativo y diseño estructural de una edificación de ocho niveles y un sótano con y sin el uso de una base sísmica aislada". Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis comparativo entre una estructura convencional y una estructura con aisladores sísmicos (LRB). La investigación busca evaluar el comportamiento, los costos y los tiempos de ambas opciones en una edificación de ocho niveles y un sótano. Método: La investigación realiza el análisis del comportamiento estructural de una edificación con y sin aisladores sísmicos. Se comparan los esfuerzos, desplazamientos, derivas de entrepiso y desplazamientos relativos entre ambas opciones. También se analiza la reducción de daños a elementos estructurales y a la edificación en general en el caso de la estructura aislada. Se consideran los costos y los tiempos de cada opción. Resultados: Los resultados indican mejoras en el comportamiento de la estructura aislada en términos de esfuerzos, desplazamientos, derivas de entrepiso, aceleración, esfuerzos cortantes y cortante basal en comparación con la estructura convencional. Se observa una reducción significativa en las derivas de entrepiso y en los desplazamientos relativos. Aunque el costo del sistema aislado es un 10.93% más alto que el de la estructura convencional, se destaca que en una estructura aislada los daños a elementos y la edificación en sí son menores, lo que permite una operatividad más rápida y eficiente. Conclusiones: La investigación concluye que incorporar aisladores sísmicos en una estructura mejora su comportamiento sísmico al reducir esfuerzos, desplazamientos y derivas, además de disminuir daños y aumentar la operatividad. Aunque el costo inicial del sistema aislado es mayor, se resalta la importancia del costo a largo plazo y se considera una desventaja inicial superada por los beneficios en términos de seguridad y funcionamiento. Se destaca la necesidad de aumentar el conocimiento sobre sistemas aislados para mejorar su aceptación y uso en la ingeniería estructural.

Flores y Cahuata (2015), "Análisis y diseño estructural de edificaciones con aisladores sísmicos y análisis comparativo de respuesta sísmica y costos con la edificación convencional". Objetivo: El objetivo de la tesis es llevar a cabo el análisis y diseño comparativo entre una estructura aislada y una estructura

convencional. La investigación se centra en analizar la respuesta sísmica y los costos de ambas opciones. Método: La investigación realiza un análisis comparativo entre una estructura aislada y una estructura convencional utilizando aisladores sísmicos de tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB). Se analiza la respuesta sísmica, incluyendo el periodo fundamental de vibración y el cortante de base de diseño. Se lleva a cabo un análisis sísmico modal-espectral conforme a los parámetros establecidos por la NTP E.030. Se compara la respuesta elástica de ambas estructuras utilizando registros sísmicos normalizados. Resultados: Los resultados indican que la estructura convencional presenta un periodo fundamental de vibración menor debido a la alta densidad de muros delgados de concreto. La estructura aislada presenta un periodo de vibración seis veces mayor debido a la mayor rigidez por la cantidad de aisladores y el suelo intermedio. Se observa una reducción del 3.15% en el cortante de base de diseño en la estructura aislada. El análisis sísmico muestra que la estructura aislada presenta una reducción significativa en desplazamientos de entrepiso, aceleración de piso y cortante basal en comparación con la estructura convencional. Conclusiones: La investigación concluye que la estructura aislada presenta una respuesta sísmica más favorable en términos de desplazamientos, aceleración y cortante basal en comparación con la estructura convencional. Sin embargo, el costo de la estructura aislada es considerablemente mayor, con un incremento del 322% en comparación con la estructura convencional, siendo el aislamiento sísmico la partida de mayor impacto en los costos. Aunque la estructura aislada presenta ventajas en términos de respuesta sísmica, se resalta la importancia de considerar el costo en la toma de decisiones, especialmente en el contexto de limitaciones presupuestarias.

Viacava y Traverso (2013), "Comparación del análisis y diseño de un edificio de concreto armado de siete pisos con y sin aisladores en la base". Objetivo: El objetivo de la tesis es llevar a cabo una comparación entre el análisis y diseño de una estructura de concreto armado de siete pisos con y sin aisladores sísmicos en la base. La investigación se enfoca en analizar y comparar los diseños y comportamientos de ambas opciones. Método: La investigación realiza un análisis



y diseño de dos estructuras: una convencional y otra con aisladores sísmicos en la base. Para la estructura convencional se emplean pórticos y unos cuantos muros de corte para asegurar rigidez horizontal. Para la estructura aislada se debe distribuir la rigidez horizontal uniformemente en los entrepisos para evitar concentraciones de tracciones. Se considera que los dispositivos de aislamiento no toman momentos, por lo que se agrega una losa encima del nivel de aislación para tomar los momentos y estabilizar la edificación. Se discute la ductilidad esperada en ambas estructuras y se toman en cuenta aspectos como el aumento del periodo fundamental, los desplazamientos y las juntas sísmicas en el caso del sistema aislado. Resultados: La investigación destaca que el sistema de aislación aumenta el periodo fundamental de la estructura, lo que resulta en mayores desplazamientos. Se menciona que el diseño sísmico de la estructura aislada se realiza con un factor de reducción sísmica (R) menor que en la estructura convencional, lo que afecta la ductilidad esperada. Se discute la influencia de la rigidez horizontal y el peso de la estructura en el rendimiento del sistema aislado, destacando que las estructuras livianas pueden tener ventajas con el sistema aislado debido a la reducción de aceleraciones transmitidas. Conclusiones: La investigación concluye que el uso de aisladores sísmicos en una estructura concreto armado de siete pisos puede llevar a cambios significativos en el diseño y comportamiento en comparación con una estructura convencional. Se resalta la importancia de distribuir uniformemente la rigidez en el caso del sistema aislado y se discuten los efectos en el periodo fundamental, los desplazamientos y las juntas sísmicas. Se destaca la influencia del peso de la estructura y la ventaja potencial para estructuras livianas en el sistema aislado.

Luque (2016), "Evaluación del desempeño estructural con sistemas de aislamiento de base para el edificio 15 niveles de la ciudad universitaria de Puno". Objetivo: El objetivo de la tesis es evaluar el desempeño estructural de un edificio de 15 niveles en la Ciudad Universitaria de Puno mediante la comparación entre una estructura convencional y una estructura aislada con sistemas de aislamiento en la base. Método: La investigación evalúa el desempeño estructural de un edificio de 15 niveles utilizando tanto una estructura convencional como una estructura aislada

con sistemas de aislamiento en la base. Se utiliza el Reglamento Nacional de Edificaciones (R.N.E) y el código ACI 318-08 para el diseño de la estructura convencional. Se evalúan las derivas máximas para ambas estructuras. Se considera el sistema de aislamiento FPS y se realiza el diseño de los aisladores basado en la norma UBC-97 y el método de los mínimos desplazamientos laterales. Resultados: La investigación muestra que la estructura aislada tiene una deriva máxima de 0.002 en comparación con la deriva máxima de 0.003 en la estructura convencional. Se destaca que el sistema de aislamiento FPS ha reducido significativamente los desplazamientos laterales (1.95 veces en sentido x y 1.61 veces en sentido y) y las aceleraciones (1.93 veces en sentido x y 4.10 veces en sentido y). Conclusiones: La investigación concluye que la incorporación de sistemas de aislamiento en la base, específicamente el sistema FPS, ha mejorado notablemente el desempeño estructural del edificio de 15 niveles. Se destaca la reducción de desplazamientos laterales y aceleraciones en comparación con la estructura convencional. El diseño de los aisladores se basó en la norma UBC-97 y el método de los mínimos desplazamientos laterales.

Carmona y Rosas (2015), "Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del edificio de oficinas Schell de seis pisos ubicado en la provincia de Lima - Perú". Objetivo: El objetivo de la tesis es realizar un análisis comparativo entre el comportamiento sísmico de un diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual (base empotrada) y un modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) en un edificio de oficinas de seis pisos ubicado en Lima, Perú. Método: Se realiza un análisis y diseño estructural comparativo entre un sistema aislado con aisladores HDR y un sistema dual de base empotrada. Se evalúan desplazamientos horizontales relativos de entrepiso, periodos de la estructura, aceleraciones, fuerzas axiales, fuerzas cortantes máximas y momentos flectores máximos en ambos casos. Se considera el tipo de suelo rígido donde se ubica la edificación. Resultados: Se determina que el sistema aislado con aisladores

HDR presenta menores desplazamientos horizontales relativos de entrepiso en comparación con el sistema dual de base empotrada. Además, se obtienen mayores periodos de la estructura en el sistema aislado, lo que resulta en menores aceleraciones y fuerzas sísmicas. Se observa una disminución promedio del 49% en las fuerzas axiales, 37% en las fuerzas cortantes máximas y 29% en los momentos flectores máximos. Conclusiones: La investigación concluye que el uso de aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) en el edificio de oficinas de seis pisos ubicado en Lima, Perú, proporciona un mejor comportamiento sísmico en comparación con un sistema dual de base empotrada. Se destaca la reducción en desplazamientos relativos, periodos de la estructura, aceleraciones, fuerzas axiales, fuerzas cortantes máximas y momentos flectores máximos en el sistema aislado. El suelo rígido en el sitio facilita la colocación y el desempeño adecuado de los dispositivos de base.

Mendo (2015), Bases para la implementación de la Norma Peruana de Análisis y Diseño de edificios con aislación sísmica". Objetivo: El objetivo de la tesis es adaptar los requisitos del análisis y diseño de edificios con aislación sísmica de las normativas americana NEHRP 2009 y chilena Nch2745-2003 a las condiciones de la realidad peruana. Se busca proporcionar directrices específicas para la implementación de la normativa de aislación sísmica en Perú, considerando aspectos como las aceleraciones de diseño, factores de amortiguamiento, factores de amplificación del suelo y análisis de historia de respuesta en el tiempo. Método: Se realiza un análisis comparativo y adaptativo de los requisitos de las normativas NEHRP 2009 y Nch2745-2003 para el contexto peruano. Se proponen ajustes y directrices específicas para la implementación de la normativa en Perú. Resultados: Se proponen recomendaciones específicas para la implementación de la normativa de aislación sísmica en Perú. En cuanto a las aceleraciones de diseño, se sugiere trabajar con un espectro con dos ordenadas espectrales  $S_s$  (0.20 seg) y  $S_1$  (1.0 seg). Se proponen factores de ajuste para las aceleraciones en función de los periodos de vibración. Se ajustan los factores de amortiguamiento  $B_d$  y se proponen factores de amplificación del suelo  $F_a$  y  $F_v$  para diferentes periodos de vibración. Se sugiere

trabajar con el promedio de 7 registros para el análisis de historia de respuesta en el tiempo, estableciendo límites de distorsión de piso para diferentes tipos de análisis. Conclusiones: La investigación proporciona bases sólidas para la implementación de la Norma Peruana de Análisis y Diseño de edificios con aislación sísmica, adaptando los requisitos de las normativas NEHRP 2009 y Nch2745-2003 a las condiciones específicas de Perú. Las recomendaciones incluyen ajustes en aceleraciones de diseño, factores de amortiguamiento, factores de amplificación del suelo y directrices para el análisis de historia de respuesta en el tiempo. Estas pautas permiten un diseño más preciso y adecuado de edificios con aislación sísmica en el contexto peruano.

Soriano (2014), "Comparación de la respuesta estructural del pabellón A de la Universidad Privada del Norte con aisladores sísmicos elastoméricos y sin aisladores sísmicos" Objetivo: El objetivo de la tesis es comparar la respuesta estructural de un pabellón universitario utilizando aisladores sísmicos elastoméricos en comparación con una estructura sin aisladores. El estudio busca evaluar cómo los aisladores afectan el comportamiento y la resistencia sísmica de la estructura. Método: Se analiza la respuesta estructural de la estructura con y sin aisladores sísmicos. Se comparan las derivas y fuerzas de base en ambos casos para diferentes eventos sísmicos (Sismo de Lima - 1974 y Sismo de Ica - 2007). Se evalúan los desplazamientos verticales y horizontales, tanto en análisis espectrales como en análisis tiempo-historia. Resultados: La estructura con aisladores de base muestra un mejor comportamiento estructural en comparación con la estructura sin aisladores. Las derivas y las fuerzas de base se reducen en un promedio del 60% debido a la implementación de aisladores sísmicos. Los desplazamientos generales son mayores en la estructura aislada, pero los desplazamientos verticales están mejor distribuidos. En general, los desplazamientos absolutos aumentan en un 43% promedio en el análisis espectral y en un 48% promedio en el análisis tiempo-historia (Sismo de Ica - 2007). Sin embargo, en el caso del sismo de Lima - 1966, los desplazamientos absolutos muestran una disminución del 85% en promedio. Conclusiones: La investigación concluye que la incorporación de aisladores

sísmicos elastoméricos en el pabellón universitario resulta en una reducción significativa de las derivas y las fuerzas de base en comparación con la estructura sin aisladores. Aunque los desplazamientos generales pueden aumentar, los desplazamientos verticales mejor distribuidos y el mejor comportamiento general de la estructura con aisladores indican una mayor resistencia sísmica y una mejora en la seguridad de la edificación.

Flores y Paredes (2019), "Diseño estructural de un pabellón de hospital con aisladores sísmicos" Objetivo: La tesis tiene como objetivo realizar el diseño estructural de un pabellón de hospital de 4 niveles con aisladores sísmicos. El estudio busca evaluar la capacidad de resistencia sísmica de la estructura a través de análisis dinámicos y prediseños, considerando restricciones de derivas y aceleraciones para controlar el daño en los elementos estructurales y no estructurales. Métodos: Se realiza el predimensionamiento de la superestructura considerando criterios de carga fija y sismo raro con un periodo de retorno de 500 años. Luego, se prediseña el sistema aislado basado en el aumento del periodo y el peso de la estructura, utilizando 24 aisladores elastoméricos y 4 deslizadores. Se considera el diseño del sistema aislado teniendo en cuenta propuestas del mercado y restricciones de periodo y amortiguamiento. Resultados: El análisis sísmico revela que, con la implementación de aisladores sísmicos, la estructura tendría un daño leve ante un sismo extremo de 2500 años de retorno. Se observa daño mínimo en elementos estructurales con pequeñas grietas y fisuras. Las derivas y aceleraciones máximas están por debajo de los límites establecidos por la Norma E.031 y recomendaciones como Hazus. El prediseño del sistema aislado indica una razón de amortiguamiento del 15%. El diseño final del sistema aislado incorpora 24 aisladores elastoméricos y 4 deslizadores planos. Las derivas de entrepiso varían entre 1.9% y 2.7%, y las aceleraciones máximas en los análisis tiempo-historia y modal espectral están dentro de rangos aceptables. El desplazamiento lateral de la plataforma de aislamiento es de 0.34 m, lo que lleva a una junta sísmica de 0.35 m. 6. Conclusiones: La tesis concluye que el diseño estructural del pabellón de hospital con aisladores sísmicos permite reducir significativamente el daño estructural ante

sismos extremos. Los resultados indican que los aisladores elastoméricos y deslizadores planos controlan las derivas y aceleraciones, manteniendo los desplazamientos y fuerzas dentro de rangos aceptables. La implementación de aisladores sísmicos mejora la resistencia sísmica y la seguridad de la estructura en comparación con un diseño convencional.

### ***2.1.3 Antecedentes locales***

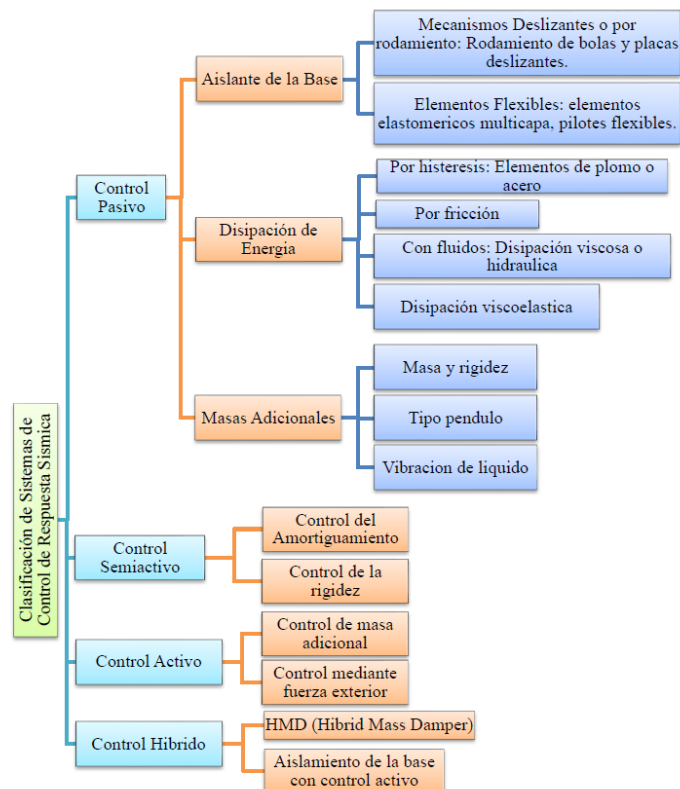
Meléndez y Gutiérrez (2019), "Diseño y proceso constructivo de instalación de los aisladores sísmicos elastoméricos en la base, en los bloques a y b del nuevo hospital Hipólito Unanue de Tacna" Objetivo: Este trabajo de tesis tiene como objetivo general contribuir con información técnica en el diseño y construcción de futuros edificios con aisladores sísmicos elastoméricos en la base, de tal manera que se reduzca la vulnerabilidad de las edificaciones ubicadas en zonas altamente sísmicas como es el caso de la Región de Tacna. Metodología: Para la realización de este trabajo se ha realizado el análisis y diseño de los bloques A y B del Nuevo Hospital Hipólito Unanue de Tacna. Asimismo, a través de fotos se describe detalladamente el proceso constructivo, de tal manera que este trabajo sirva como referencia para futuros profesionales que desean construir edificios con aisladores sísmicos en la base. Conclusiones: Del análisis y diseño se puede concluir que las deformaciones de entrepiso elásticas máximas en la superestructura son 3.97 y 5.14 por mil para el sismo de diseño y máximo posible, respectivamente. Estos valores cumplen con lo 2 máximo permitido por la norma E.030, y corresponden a una estimación realista de las deformaciones que sufrirá esta estructura, dado que como hemos visto, su comportamiento será esencialmente elástico. Por otro lado, dichas deformaciones (aún para el sismo máximo posible) están dentro del orden de las deformaciones que se le exige a una estructura convencional para condiciones de servicio. Todo lo anterior permite inferir que aún ante un evento sísmico severo, no existirá daño en los elementos no estructurales o bien si existiera sería mínimo. Respecto al proceso constructivo, se debe tener especial cuidado en el montaje e instalación de los aisladores sísmicos, ya que estos deben ser muy precisos.

## 2.2 BASES TEÓRICAS

Desde tiempos pasados el hombre ha tenido interés por saber y entender los sismos, esto dio lugar a que se generaron estudios como la sismología que refiere a las ciencias de la tierra; y por su parte la ingeniería civil que tiene por objetivo el de generar construcciones que brinden seguridad. La unión de ambas, hace que tengan como objetivo principal el de mitigar la amenaza sísmica, que dan como resultado el de desarrollar soluciones que minimicen y posiblemente eliminen la peligrosidad sísmica (Carmona & Rosas, 2015).

Siendo una de las tecnologías, los sistemas de protección, como son los sistemas de disipación pasiva, sistemas semi – activos, sistemas de disipación activa y sistemas híbridos (Aguiar, Vergara, & Guaygua, 2014).

**Figura 1.**  
*Esquema de la clasificación de sistemas de control de respuesta sísmica.*



*Nota:* Fuente (Macías & Suarez, 2015)

El sistema desarrollado en el presente proyecto, es el sistema de control o dispositivo pasivo; son elementos de función reactiva, siendo su respuesta no controlable y dependiendo del entorno y las condiciones de trabajo donde se ubiquen. Estos dispositivos alteran las propiedades dinámicas del edificio, generando una reducción en su respuesta estructural. Sus principales ventajas se dan con respecto a su competitividad económica y su comportamiento eficiente (Carmona & Rosas, 2015).

Este sistema de protección sísmica consiste en aislar el edificio o estructura del movimiento del suelo que ocurre durante un sismo. Lográndose mediante el empleo de dispositivos en la base de la estructura, denominados también asientos de apoyo o aisladores, que en su conjunto se denomina sistema de aislamiento. Con el fin de aminorar los daños a las estructuras producto de los eventos sísmicos, se ha desarrollado diferentes tecnologías que han ayudado a que estas estructuras tengan un mejor comportamiento ante la acción de las fuerzas sísmicas (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012).

La definición de aislamiento sísmico fue desarrollada aproximadamente hace más de 100 años, pero recién empleándose en forma práctica en los últimos 40 años, dándose su incremento en la última década por los buenos resultados; siendo el objetivo principal de los investigadores el de obtener un mecanismo que sirva para desacoplar la estructura del suelo, para así reducir las fuerzas que son producidas por el sismo y sus daños (Carmona & Rosas, 2015).

Un sistema de asientos de apoyo en la base con rigidez horizontal, se interponen entre la estructura y la fundación, de esta manera se provee a la estructura flexibilidad horizontal que logra absorber buena parte de la energía producto del sismo, siendo una solución para conseguir reducciones importantes en las aceleraciones y deformaciones de entrepiso de la estructura, concentrándose los desplazamientos en el nivel de aislamiento (Villagómez, 2015).



### 2.2.1 Principios del Aislamiento Sísmico.

El evento sísmico transfiere energía a la estructura, posteriormente se convierte en energía elástica de movimiento y deformación ( $E$  elástica) y en energía disipada ( $E$  disipada). Y según el principio de conservación de energía, esta no se crea ni se destruye solo se transforma debiéndose mantener el equilibrio de energía, obteniéndose las siguientes ecuaciones:

$$E_{entrada} = E_{elástica} + E_{disipada} \quad (\text{Ecuación 1})$$

La energía elástica la conforma la energía almacenada de la deformación elástica ( $E$  potencial) y de la energía de movimiento ( $E$  cinemática)

$$E_{elástica} = E_{potencial} + E_{cinemática} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Una estructura tendrá dos formas de disipar la energía, una es a través de la energía de amortiguamiento ( $E$  amortiguamiento) y la energía de histerética ( $E$  histerética), la cual se basa en la ductilidad, la formación de articulaciones plásticas y consecuentemente el daño estructural.

$$E_{disipada} = E_{amortiguamiento} + E_{histerética} \quad (\text{Ecuación 3})$$

De la ecuación 1, 2 y 3 nos obtiene como resultado:

$$E_{elástica} = E_{potencial} + E_{cinemática} + E_{amortig.} + E_{histerética} \quad (\text{Ecuación. 4})$$

Siendo el principio fundamental del diseño sismo resistente basado en que la capacidad de disipación de energía de las estructuras debe ser mayor que la demanda de energía histerética. Por lo tanto, se busca reducir la energía de entrada o incrementar su capacidad de disipación de energía.

Esta disminución de la energía de entrada se obtiene por medio del aislamiento sísmico y por el incremento de la capacidad de disipación de energía de las estructuras que se puede lograr por medio de dispositivos disipadores de energía.

Realizándose una comparación entre el diseño normativo sismo-resistente (base fija) y las estructuras con aislamiento de base, el de base fija tiene como base el de aumentar la capacidad de resistencia y deformación de los elementos estructurales, teniendo como criterio la ductilidad. Por otro lado, las estructuras con aislamiento de base vibran como un cuerpo rígido, presentándose grandes deformaciones de desplazamiento que lo soportan estos asientos de apoyo.

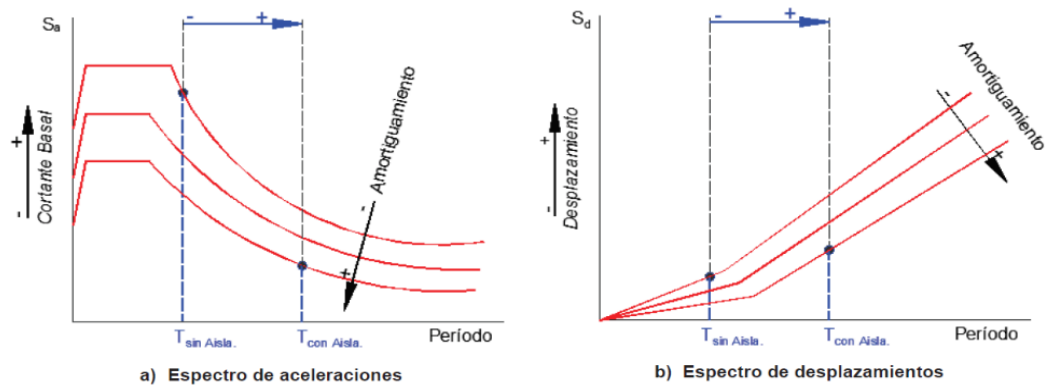
Una estructura sin aislamiento de base absorbe la aceleración del suelo en gran medida; mientras que el edificio con aislamiento de base, las fuerzas laterales se ven reducidas y redistribuidas sobre los pisos, mitigando el momento que tiende a voltear la estructura. (Carmona & Rosas, 2015)

Por otra parte, estos asientos de apoyo, hacen que la flexibilidad lateral incremente el periodo de vibración de la estructura, que de estar situada en la zona de alta demanda sísmica que corresponde a estructuras rígidas, ahora se sitúen en la zona de menor demanda, que corresponde a una estructura flexible. Adicionalmente otro efecto, es el incremento de amortiguamiento que repercute en la reducción del desplazamiento (Villagómez, 2015).

En la siguiente figura se aprecia esta reducción de fuerzas sísmicas y de desplazamiento a través de los espectros de pseudo – aceleraciones y de desplazamiento.

**Figura 2.**

*Efectos dinámicos en un sistema con asientos de apoyo - Espectro de pseudo aceleraciones y desplazamiento.*



*Nota:* Fuente (Villagómez, 2015)

Mostrándose la reducción de la pseudo – aceleración mediante el incremento del periodo o por la reducción del desplazamiento a través del incremento del amortiguamiento.

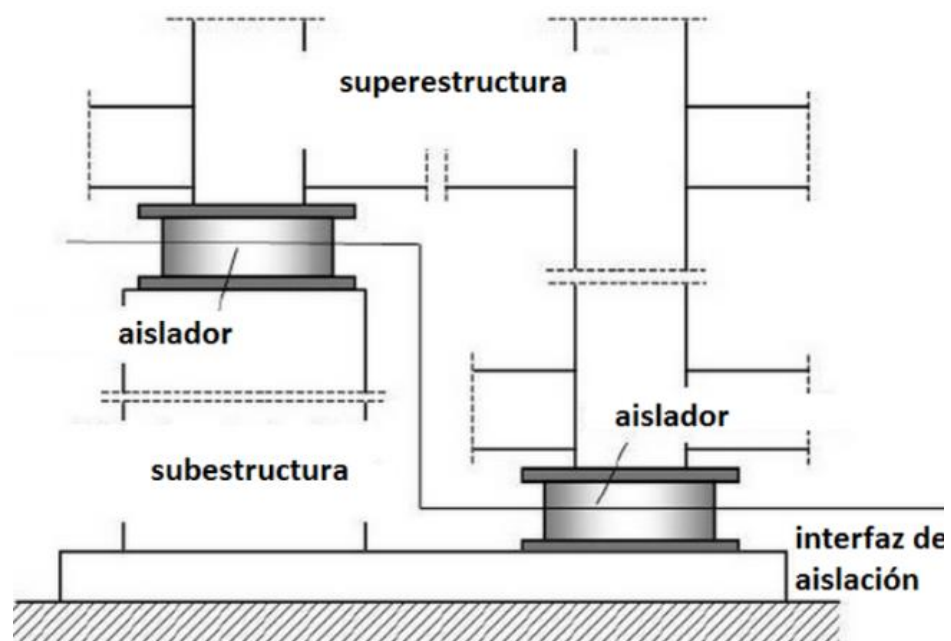
El funcionamiento de este sistema limita la energía que efecto sísmico transfiere a la superestructura, por lo tanto, se ve reducido el esfuerzo y las deformaciones de la estructura aislada y por ende se minimiza el daño estructural como los servicios del mismo. Este sistema reduce la sollicitación sísmica a través de la disipación de energía (amortiguamiento) en comparación a la disipación en una edificación de base fija (Zanelli & Patricia, 2019).

Un sistema de apoyo se sitúa directamente sobre la cimentación, definiéndose como nivel de aislamiento o interfaz de aislamiento. Esta disposición suele conformarse por cabezales o dados de concreto, situándose sobre y debajo los aisladores, y luego conectados a través de una parrilla de vigas más una losa, la que actuara como un diafragma rígido, permitiendo un desplazamiento uniforme para todo el sistema. (Villagómez, 2015)

Generalmente, la estructura aislada, que se encuentra sobre el nivel de aislamiento, se define como superestructura; mientras que la que se sitúa por debajo se denomina subestructura (Villagómez, 2015). De tal manera que se transmite la carga de la superestructura a la subestructura. La configuración de los asientos de apoyo en toda edificación, se situará debajo de las columnas (Cando, Monroy, Ortega, & Puerres, 2012).

Un sistema con asientos de apoyo, debe contar con una cota de cimentación de más de 1.00 metro, el mismo que servirá para el acceso a los aisladores para su posterior verificación y cambios de ser necesario.

**Figura 3.**  
*Partes de un sistema de aislamiento sísmico.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

Un sistema de aislación debe cumplir con los siguientes objetivos, tales como:

- Resistir sismos pequeños y moderados sin que se produzcan daños en elementos estructurales, elementos no estructurales, y los contenidos del edificio.
- Resistiendo daños severos, sin que el sistema de aislación presente fallas, no existiendo daños severos en los elementos estructurales, no existiendo daños masivos en elementos no estructurales, así también garantizando la operatividad de la estructura. (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012).

Por lo tanto, un sistema de aislación tiene requisitos fundamentales, tales como:

- Flexibilidad horizontal, alargando el período fundamental de vibración de la estructura a una zona de menor aceleración espectral.
- Amortiguamiento y disipación de energía, reduciendo la demanda de deformación lateral sobre el sistema de aislación.
- Resistir el peso propio y sobrecargas de la estructura con un factor de seguridad.
- Contar con una rigidez vertical alta para evitar las amplificaciones verticales.
- Capacidad de resistir las deformaciones de corte ocasionadas por un sismo de gran magnitud.
- Manteniendo la estabilidad vertical ocasionados por sismos de gran magnitud.
- Proveer rigidez ante cargas de servicio de la estructura así evitando vibraciones molestias.

- Un sistema con asientos de apoyo será efectivo durante y después de un sismo, que soporten las posibles replicas.
- Un sistema con asientos de apoyo tendría que permanecer efectivo a través de un rango normal de condiciones climáticas y ambientales.

Al ser una estructura con flexibilidad horizontal, los edificios de pequeña a mediana altura notaran grandes desplazamientos en su base; por otro lado, los desplazamientos en la superestructura se mantienen en el rango elástico con deformaciones mínimas.

- Las estructuras en donde se tiene mejores resultados en el empleo de los asientos de apoyo, son las de mediana rigidez y mediana altura, menor a 10 niveles, que como es de conocimiento, el periodo natural de vibración se verá incrementado con la altura de la estructura, siendo estos los que alcanzan mayores periodos. La cantidad de niveles de una estructura va a restringir el empleo de estos dispositivos de apoyo. (Meza & Sanchez, 2010)

La incorporación de estos sistemas de aislamiento sísmico, resultan efectivos. Sin embargo, la aplicación no tiene esa efectividad para todos los casos, siendo el empleo de estos asientos de apoyo, factible para los siguientes casos:

- Estructuras cimentadas en suelos con periodos de vibración predominantes bajos, suelos rígidos.
- Estructuras de pocos niveles.
- Estructuras que tengan un desplazamiento libre de 25 cm o más, sin chocar con otras estructuras.
- Estructuras que logran soportar fuerzas como son de viento u otras cargas que no son de naturaleza sísmica y que fueran menor al 10% del peso total

de la estructura, que se determina como la suma de la carga muerta más un porcentaje de carga viva.

- Estructuras con relaciones de esbeltez  $\text{Altura/Ancho} \leq 1,5$ , debido a que pueden presentar momentos de volteo elevados alterando el equilibrio. (Mendo, 2015)

#### Consideraciones generales en el sistema con aisladores

- Capacidad de carga: Un aislador sísmico posee un límite máximo de capacidad de carga, por ello es importante que se reparta las cargas de forma uniforme en el edificio, de tal manera que ningún aislador se encuentre sobre exigido
- Uniformar desplazamientos: Para lograr flexibilizar la estructura se tiene que incluir un diafragma rígido, de modo tal que no exista desplazamientos diferenciales horizontales en las direcciones del sistema de aislación.
- Efectos de torsión: Tendría que hacerse una evaluación en cuanto a la separación entre el centro de masas y el centro de rigidez del sistema de asientos de apoyo, debido a que, si se llega a presentar efectos de torsión, se presentaría una mayor participación de los dispositivos en la dirección perpendicular al análisis; viéndose reducido el poder independizar el movimiento en cada dirección.
- Tracción: Estos dispositivos poseen una resistencia a tracción entre 10 y 15% de la compresión, sin llegar a valores superiores al rango, que podrían llenar a daños.
- Deformaciones verticales: Pudiendo llegar a deformaciones diferenciales en los diferentes elementos de la superestructura. (Carmona & Rosas, 2015).

**En la actualidad existen diferentes tipos asientos de apoyo en la base, entre los más importantes tenemos:**

Existen diferentes tipos de sistemas aisladores sísmicos también llamados asientos de apoyo, de los cuales poseen diferentes características propias, siendo en cuanto a la composición de sus materiales, mecanismos de acción, costos de implementación y evaluación respecto a su empleo. Siendo la finalidad de cada uno de estos asientos de apoyo, el querer desacoplar la estructura del movimiento del suelo. Existe una variedad de asientos de apoyo en la base, siendo algunos de los principales y más empleados los siguientes (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012).

- a) Aisladores elastoméricos
  - Aisladores elastoméricos de bajo amortiguamiento - LDRB
  - Aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento – HDRB
- b) Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo – LRB
- c) Aisladores deslizantes
  - Aisladores deslizantes planos
  - Aisladores deslizantes con superficie cóncava o de péndulo friccional – FPS.

### **2.2.2 Los Aisladores Elastoméricos**

Está formado por un conjunto de láminas planas de goma alternadas con láminas de acero, adheridas mediante un proceso de vulcanización, en la parte superior e inferior está cubierto por dos placas, siendo la parte superior conectada con la superestructura y siendo la parte inferior conectada a la fundación, fijadas por medio de pernos de anclaje. Las láminas de goma controlan la rigidez lateral, y por su parte las láminas de acero controlan la rigidez vertical evitando la expansión lateral de las capas de goma ante la carga vertical de la estructura. Para incrementar la capacidad de disipación de estos asientos de apoyo, se puede agregar aditivos a

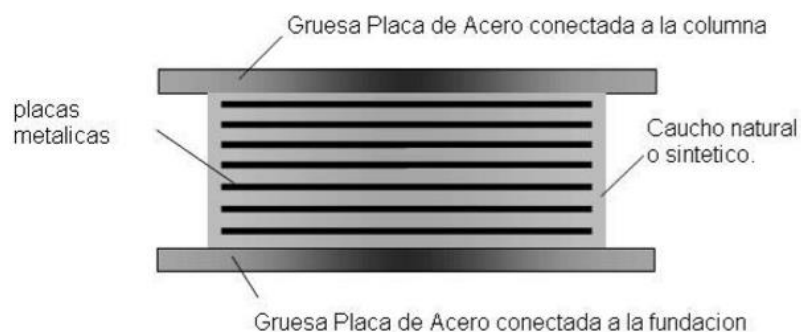


las láminas de goma con el fin de incrementar las propiedades de amortiguamiento, por otro lado, también se les puede incluir en el centro un núcleo de plomo y así poder aprovechar sus propiedades de disipación. También consideramos, otra opción para incrementar la disipación del sistema de aislamiento, la cual consiste en la incorporación de dispositivos de disipación de energía en la estructura aislada. (Villagómez, 2015)

### 2.2.3 *Aisladores elastoméricos de caucho natural o aisladores de caucho de Bajo amortiguamiento - Low Damping Rubber Bearing (LDRB)*

Estos dispositivos son los más comunes y simples dentro de los aisladores elastoméricos, siendo su fabricación relativamente sencilla, los cuales están compuestos por un conjunto intercalado de capas de acero y caucho, el cual es vulcanizado para lograr la adherencia entre ambos materiales. Tiene un bajo amortiguamiento entre 2-5% y con una deformación máxima por corte del 100%. Unos asientos de apoyo de estas características necesitan ser combinados con elementos adicionales de disipación por el poco amortiguamiento que aporta a la estructura. En el diagrama fuerza – deformación, se puede calcular la energía disipada (energía histerética) que origina la inclusión inelástica de un aislador. (Villagómez, 2015).

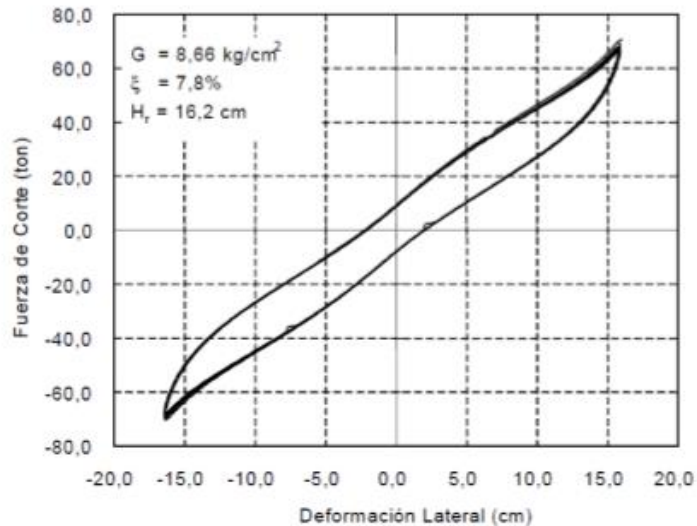
**Figura 4.**  
*Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

**Figura 5.**

*Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador de Bajo Amortiguamiento.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

#### ***2.2.4 Aisladores elastoméricos de Alto amortiguamiento - High Damping Rubber Bearing (HDRB)***

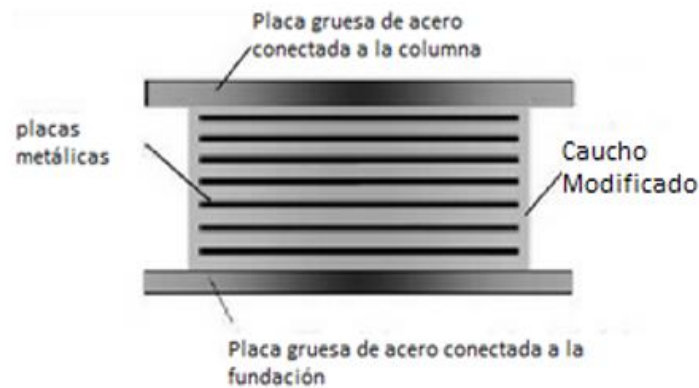
Estos aisladores están elaborados de caucho modificado modificándose con aceites, carbón en polvo, resinas, polímeros u otros elementos que le permiten incrementar su amortiguamiento, estos cauchos mejorados se combinan con las láminas de acero, ubicándose en la parte superior e inferior una calces de acero para confinar el núcleo. (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012).

El amortiguamiento se ve incrementado en un 10-15%. Asu vez se ve incrementada su capacidad de deformación por corte hasta 200% - 350%, teniendo una mayor sensibilidad a los cambios de temperatura y frecuencia. Al tener un amortiguamiento suficiente ante cargas laterales, no necesita otros dispositivos adicionales para incrementar el amortiguamiento. Al igual que el aislador LDRB,

éstos son de fácil fabricación. (Villagómez, 2015). En el diagrama fuerza – deformación, es lineal, formando un área menor al LDRB.

**Figura 6.**

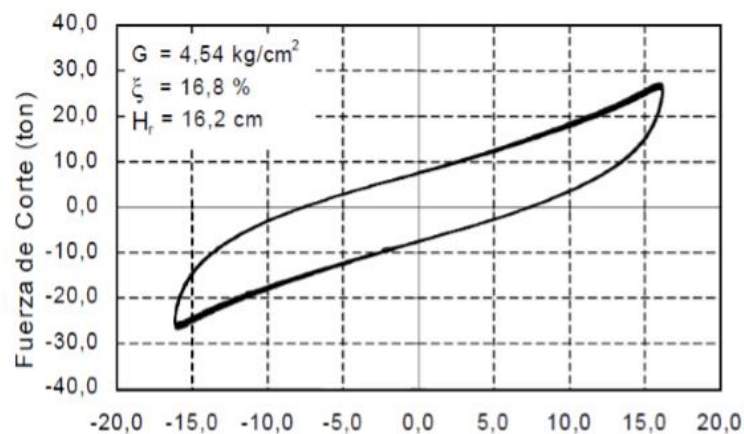
*Aislador Elastomérico de Alto Amortiguamiento.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

**Figura 7.**

*Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador de Alto Amortiguamiento.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

**Los asientos de apoyo deslizantes planos** también conocidos como deslizadores friccionales son los más simples de su tipo; estos consisten en dos superficies una adherida a la superestructura y otra a la subestructura, que poseen

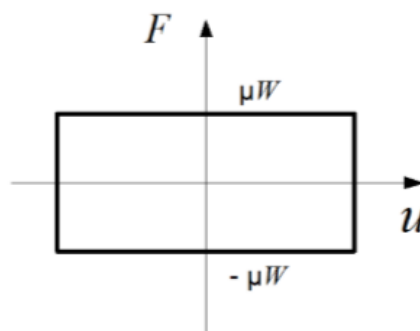
un bajo coeficiente de roce permitiendo movimientos horizontales y, a su vez resisten cargas verticales provenientes de la superestructura, además poseen una capa de material elastomérico con el fin de facilitar el movimiento del deslizador en caso de un movimiento telúrico Son los más económicos y generalmente son utilizados en puentes y otras obras civiles similares, pero su uso en edificaciones está restringido ya que solo van a suministrar la propiedad de aislamiento de la estructura y no cuentan con un sistema restitutivo que le dé la capacidad de regresar a su posición inicial de forma independiente después de ocurrido el sismo; por lo que deberán ser usados en combinación con otros tipos de asientos de apoyo (Villagómez, 2015).

**Figura 8.**  
*Aislador Deslizante Plano.*



*Nota:* Fuente (Villagómez, 2015)

**Figura 9 :**  
*Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de un Aislador plano.*



*Nota:* Fuente (Villagómez, 2015)

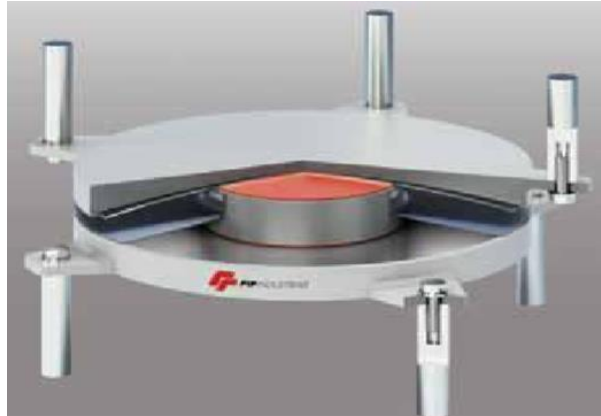
**Los aisladores deslizantes con superficie cóncava** (spherical sliding bearings) están conformados por una placa inferior que posee una superficie cóncava, sobre esta la placa superior se desliza dando como efecto que la masa soportada se eleve con movimientos similares a las de un péndulo invertido; por lo que también se denomina aislador de péndulo de fricción (Friction Pendulum System - FPS). El empleo de los dispositivos deslizantes es una de las técnicas más efectivas en cuanto al aislamiento sísmico. Este tipo de dispositivos funciona muy bien ante cargas sísmicas severas y reduce de manera efectiva los elevados niveles de aceleración de la superestructura. Tendiendo a disminuir la energía del sismo sobre un amplio rango de frecuencias. El movimiento sísmico provoca la elevación de la placa superior, haciendo que el dispositivo desarrolle una fuerza resistente lateral que proviene de la fuerza friccional que se produce y respecto a la fuerza de gravedad de la carga soportada. (Villagómez, 2015)

Los aisladores con superficie deslizante esférica de radio  $R$ , dotaran de una fuerza de restauración que será proporcional al desplazamiento de diseño, una relación fuerza- desplazamiento y una disipación de energía por ciclo. (Cando, Monroy, Ortega, & Puerres, 2012)

A la fecha tenemos tres generaciones de aisladores FPS, los cuales son: simple péndulo de fricción - 1ra generación, doble péndulo de fricción - 2da generación y triple péndulo de fricción - 3ra generación, estos dispositivos cuentan con topes que impiden el desplazamiento lateral y asimismo encapsulan al aislador garantizando que no quede expuesto al medio ambiente. (Villagómez, 2015)

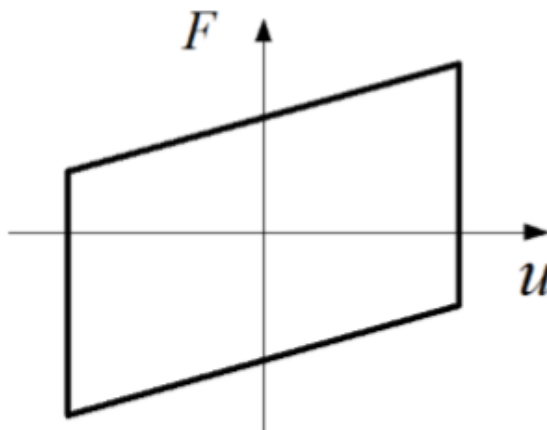
Se muestra a continuación un aislador deslizante con superficie cóncava de primera generación. Respecto a ello se tiene su diagrama de fuerza – deformación, el cual tiene un área importante de energía que logra disipar, siendo mayor al deslizador plano.

**Figura 10 :**  
*Aislador con superficie cóncava – Primera Generación.*



*Nota:* Fuente (Villagómez, 2015)

**Figura 11 :**  
*Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de un Aislador con superficie cóncava.*



*Nota:* Fuente (Villagómez, 2015)

### ***2.2.5 Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo - Lead Rubber Bearing (LRB)***

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo, están conformados por cauchos de bajo amortiguamiento intercalado con láminas de acero, similar a los asientos de apoyo tipo LDRB, con la adición en el centro con un núcleo de plomo.

El núcleo de plomo que se coloca, permite incrementar el amortiguamiento del sistema entre un 25-30%, esto provee rigidez bajo las cargas de servicio y además que, al generar mayor amortiguamiento se disminuye el desplazamiento de diseño, se aumenta la rigidez del sistema y posteriormente se disminuye el periodo objetivo.

El plomo es empleado como material por el motivo que, tiene un comportamiento aproximado al de un sólido elasto-plástico, además tiene una fluencia al corte para un esfuerzo relativamente bajo aproximado a 10 MPa. Además, el plomo es un elemento que trabaja en caliente, a temperaturas de ambiente, da como resultado que sus propiedades se restauran de manera seguida para un ciclo en el rango inelástico. El plomo posee una resistencia a la fatiga. (Pino, 2015).

Al deformarse lateralmente el aislador durante el sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor. Al concluir la acción del sismo, la goma retorna a la estructura a su posición original, y por su parte el núcleo de plomo se recristaliza, de tal manera que estará preparado para un nuevo sismo (Lema, 2013).

Este mecanismo, combina en una unidad, un elemento flexible y el disipador de energía, debido a que las láminas de acero, están forzando al núcleo de plomo a

deformar en el esfuerzo de corte, que trabaja como un amortiguador de histéresis interno (Arriagada, 2005).

La relación de deformación lateral con el espesor de la lámina de caucho puede llegar a niveles de hasta el 200%. Siendo la rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependientes del desplazamiento (Luque, 2016).

En el Diagrama de Fuerza de corte - deformación lateral, se aprecia, que en forma natural se tiene mayor rigidez inicial para las cargas de servicio, y por otro lado se tiene una alta capacidad de disipación de energía, debido a la adición del núcleo del plomo (Arriagada, 2005).

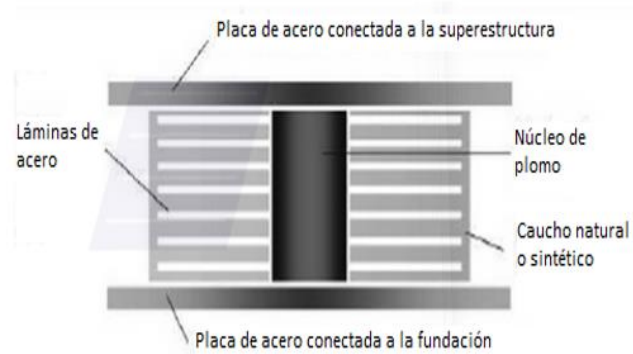
El núcleo de plomo, va a controlar la rigidez inicial, la fuerza de fluencia y el desplazamiento de fluencia del apoyo LRB. La fuerza lateral considerada para llegar a la fluencia del núcleo de plomo va ser proporcional al área de su sección y al esfuerzo de fluencia por corte del plomo. Para este tipo de dispositivos es necesario contar con los siguientes datos para hacerlo llegar proveedor de dichos asientos de apoyo LRB:

- a.- Diámetro exterior
- b.- Diámetro del núcleo de plomo
- c.- Altura y
- d.- Número de espesor de las placas de confinamiento

Es mejor contar con los catálogos de los fabricantes de los apoyos LRB, que darán como resultado dispositivo con las mismas o superiores características.

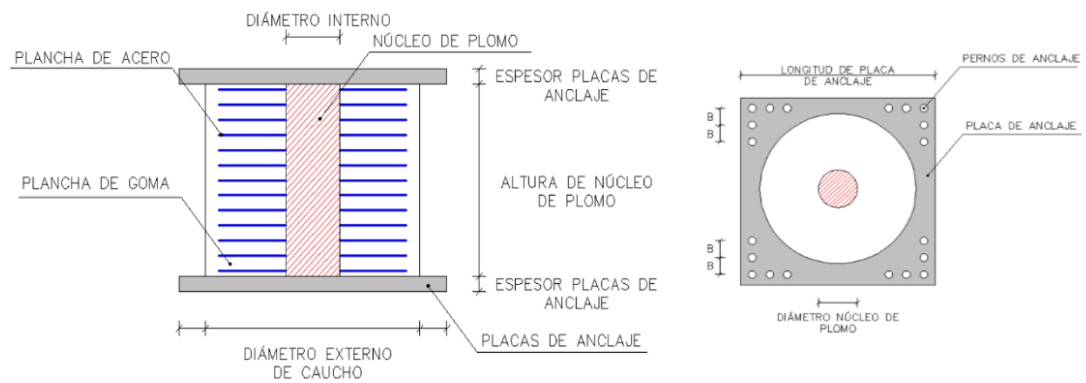


**Figura 12 :**  
Aislador de base con Núcleo de plomo.



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaringa, 2012)

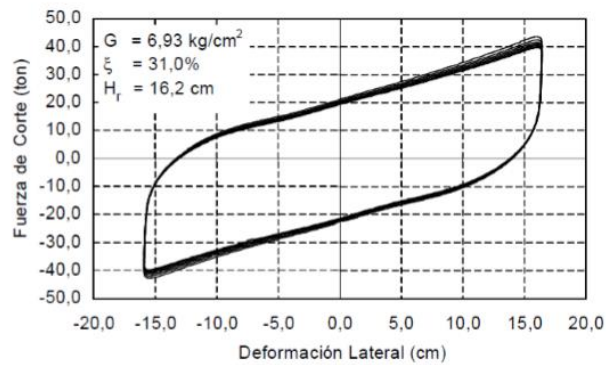
**Figura 13 :**  
Detalles de un Aislador Elastomérico con núcleo de plomo.



*Nota:* Fuente (Soriano, 2014)

**Figura 14 :**

*Diagrama de Fuerza de corte vs deformación lateral de Aislador con Núcleo de Plomo.*



*Nota:* Fuente (Korswagen, Arias, & Huaringa, 2012)

La superestructura es más rígida que el sistema de aislamiento y por su parte el movimiento será como el de un cuerpo rígido y tendrá una respuesta lineal, por consiguiente, los desplazamientos se presentarán en el sistema de aislamiento, dando como resultado respuestas y propiedades no lineales.

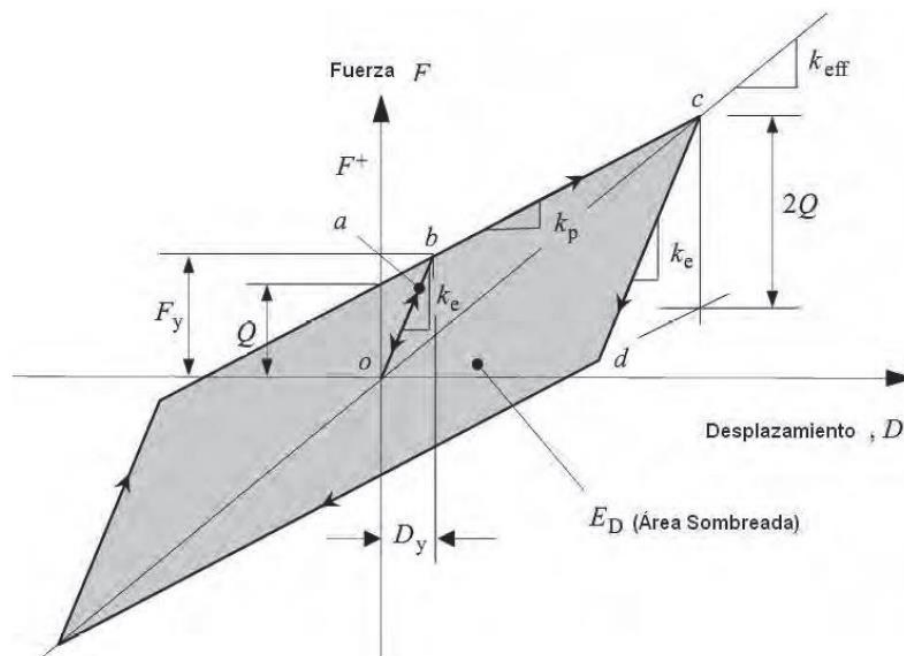
Por lo que para un estudio y diseño no lineal de los aisladores sísmicos, se ha acogido a un modelo matemático bilineal.

El modelo bilineal es el empleado para expresar la relación de la fuerza cortante y el desplazamiento lateral, siendo los (03) parámetros más importantes los siguientes:

- Rigidez elástica  $k_e$
- Rigidez post fluencia  $k_p$
- Fuerza característica  $Q$

Estos parámetros son los que reflejan adecuadamente las características mecánicas de los aisladores y con ellos se logra una estimación apropiada del comportamiento no lineal de un aislador. (Villavicencio, 2015)

**Figura 15 :**  
Parámetros principales del modelo bilineal.



Nota: Fuente (Villavicencio, 2015)

Cuando una fuerza cortante se comienza a aplicar al aislador, se da una relación lineal entre el cortante y el desplazamiento lateral, expresada por “**oa**”, una vez que el cortante llega al punto “**b**” comienza la fluencia en el aislador, más allá del punto “**b**” se dan grandes desplazamientos con pequeños incrementos en el cortante, su rigidez está definida como Rigidez post fluencia “**kp**” Si la descarga inicia en el punto “**c**”, la trayectoria de descarga no es la previa sino sigue la trayectoria “**cd**” que tiene la misma rigidez inicial de “**oa**”. El valor de cortante de “**cd**” es igual a “**2Fy**” donde “**Fy**” es la fuerza de fluencia, más allá del punto “**d**”, la trayectoria de descarga es paralela a “**bc**” con la misma magnitud de **kp**.

## 2.2.6 *Propiedades ingenieriles de los materiales*

Los diferentes tipos de asientos de apoyo tipo elastomérico, tienen materiales tradicionales para su producción, siendo este el caucho, calces de acero y núcleo de plomo. Es necesario conocer las propiedades de estos diferentes materiales, para lograr entender el comportamiento y poder calcular las propiedades mecánicas de los aisladores (Leyton, 2017).

### 2.2.6.1 **Propiedades del caucho**

El elastomérico, como el caucho, tiene ciertas peculiaridades en sus propiedades, en su composición natural o con alteración química.

#### 2.2.6.1.1 *Dureza (IRHD)*

La clasificación más común del caucho es por la dureza y de acuerdo a la clasificación IRHD de la ASTM. La dureza es una condicionante para las demás propiedades del material.

#### 2.2.6.1.2 *Módulo de Elasticidad (En), según Dureza del Elastómero*

El módulo de elasticidad representa la relación esfuerzo y deformación axial del caucho, este valor no se cambia respecto a alteraciones químicas al material, más si por la dureza del caucho.

<b>IRHD</b>	37	40	45	50	55	60
<b>En (MPa)</b>	1.35	1.50	1.80	2.20	3.25	4.45

– **Módulo de Corte (Gn), según Dureza del Elastómero**

El módulo de Corte representa la relación entre el esfuerzo y la deformación angular del material. Este valor puede cambiar por las modificaciones químicas del material y puede llegar a tener variaciones en un 250%, de acuerdo a la dureza del caucho.

<b>IRHD</b>	37	40	45	50	55	60
<b>Gn (MPa)</b>	0.40	0.45	0.54	0.64	0.81	1.06

El módulo de corte tiene un valor constante en cauchos comunes, sin embargo, los considerados para la fabricación de asientos de apoyo tipo HDR, tienen modificaciones químicas que hacen que el valor cambie con la deformación angular, como se aprecia en la siguiente gráfica, esta propiedad otorga la capacidad de disipar energía a los aisladores HDR. (FIP Industriale – III, 2015 p.5).

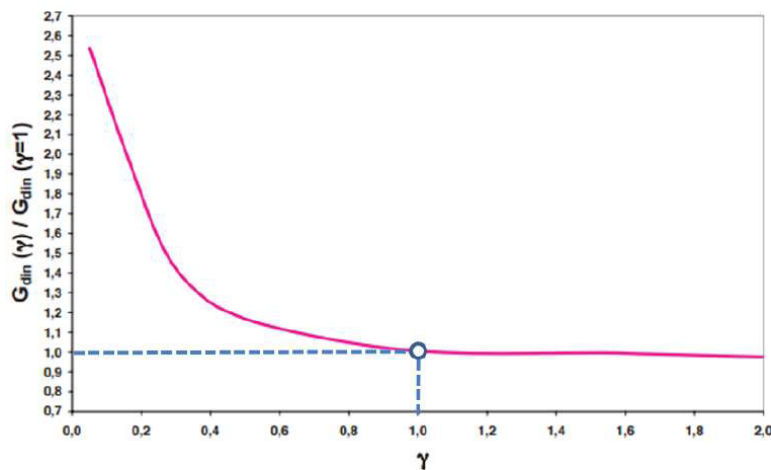


Figura 16 : Curva Módulo de Corte “G” vs Deformación Angular “ $\gamma$ ” de un Elastómero.

Fuente: (Leyton, 2017)

– **Constante del Material (k)**, según dureza del elastomérico

Este valor está asociado a la dureza que implica el cálculo del módulo de compresibilidad, dato que es necesario para obtener la rigidez vertical del aislador. Se muestra en la tabla siguiente.

<b>IRHD</b>	37	40	45	50	55	60
<b>K</b>	0.87	0.85	0.80	0.73	0.64	0.57

– **Deformación Angular Inelástica ( $\gamma_n$ )**

El caucho no posee fluencia ante deformaciones angulares, llegando a romper frágilmente en sollicitaciones ultimas. Para un aislador HDR, tiene variaciones conforme tenga deformaciones ( $\gamma=5\%-10\%$  según proveedor). Este valor de deformación se asocia en la incursión al rango inelástico del material.

– **Deformación de Angular de Rotura ( $\gamma_{un}$ )**

El caucho posee una capacidad de deformación angular elevada antes de poder llegar a la rotura de 350%, de acuerdo a ensayos llevados por Skellerup Industries; sin embargo, las consideradas para el diseño, las deformaciones angulares llegan a 300% para asientos de apoyo tipo HDR y con respecto a los asientos de apoyo tipo LRB tenemos deformaciones angulares del 250%.

– **Elongación de Rotura ( $\epsilon_{un}$ )**

La deformación axial, cuando el caucho llega a la tracción, tenemos un valor empleado para el cálculo de la capacidad de carga a una deformación dada. Los valores de elongación de rotura varían de manera inversamente proporcional con la dureza del caucho, tal como se muestra en tabla siguiente:

<b>IRHD</b>	37	40	45	50	55	60
<b><math>\epsilon_u</math></b>	650%	600%	600%	500%	500%	400%

### – **Esfuerzo de Compresión Máximo ( $\sigma_{\max}$ )**

Este valor es necesario para poder predimensionar el diámetro del aislador ante las cargas de servicio, debemos entender que dicho valor solo aplica para el caso en que la deformación angular  $\gamma = 0$ . Skellerup Industries recomienda que se considere para el esfuerzo de compresión máximo el valor de tres (03) veces el módulo de corte  $G_n$ . Para otras verificaciones, el valor será calculado considerando fórmulas que dependen de la elongación de rotura, factor de seguridad, entre otros.

#### **2.2.6.2 Propiedades del acero**

Las propiedades del acero, no alteran el funcionamiento de los asientos de apoyo, tendiendo a servir para mantener operativa la funcionalidad y los estándares de calidad, los calces de acero deben seguir las especificaciones técnicas de acuerdo al acero grado 50 o A36 de la norma ASTM, de modo que se garantice la falla de caucho antes que la adherencia entre los materiales.

#### **2.2.6.3 Propiedades del plomo**

El plomo posee la capacidad de recrystalizarse a temperatura de ambiente, y al estar presentes en los asientos de apoyo tipo LRB, mejora la conformación de ciclos estables de histéresis.

##### **2.2.6.3.1 Módulo de corte ( $G_p$ )**

Con los ensayos de la deformación al material, se podrá estimar el valor constante de 150 MPa, en un rango elástico, después que sobrepase este valor, llega a cero, y posteriormente se recrystaliza una vez que regresa al rango de deformación elástica.

### 2.2.6.3.2 *Deformación angular de fluencia ( $\gamma_p$ )*

El esfuerzo cortante de fluencia del plomo es considerado de 10 MPa, por ello la fluencia se alcanza al 6.7% de deformación angular.

### 2.2.6.3.3 *Capacidad de carga ( $Q/W$ )*

La definición de capacidad de carga, se usa para dimensionar el diámetro del núcleo del plomo del dispositivo, respecto a los de tipo LRB, el ratio  $Q/W$  debe mantenerse en un rango de 3-10%, donde el valor de  $Q$ , será la fuerza cortante a una desplazamiento de cero y mientras que  $W$  es la carga axial a la cual está sometido.

$$Q = G_p \cdot A_p \quad (\text{Ecuación 5})$$

Dónde:  $A_p$ : Área transversal del núcleo de plomo

## 2.2.6.4 **Propiedades mecánicas de los aisladores**

Los aisladores con núcleo de plomo tienen un comportamiento según la interacción del núcleo de plomo con las láminas de caucho, los calces de acero no tienen mucha incidencia en el desempeño, al menos que sea para controlar las deformaciones axiales del dispositivo (Leyton, 2017).

### 2.2.6.4.1 *Rigidez lateral:*

Es la relación entre la fuerza lateral que actúa sobre el aislador y la deformación que sufre a causa de misma. Siendo en los dispositivos LRB, que esto depende de la altura del caucho, sección transversal y módulo de corte, ya sea del plomo como del caucho, en el rango elástico. Cuando el plomo fluye, aproximadamente al 6.7% de la deformación angular, la rigidez lateral sólo depende de las propiedades del caucho. La definición de la rigidez efectiva esta dado por el



cociente de la fuerza a un desplazamiento dado entre dicho desplazamiento. Al tener la facilidad de recristalización del plomo, el núcleo recupera sus propiedades elásticas una vez regresa a la deformación cero, logrando ciclos de histéresis estables (Leyton, 2017).

### **Rigidez lateral elástica “Ke”**

$$K_e = \frac{G_p \cdot A_p + G_n \cdot A_n}{H_n} \quad (\text{Ecuación 6})$$

### **Rigidez lateral post-fluencia “Kl”**

$$K_l = \frac{G_n \cdot A_n}{H_n} \quad (\text{Ecuación 7})$$

### **Rigidez lateral efectiva “Keff”**

$$K_{eff} = K_e \cdot (\Delta y / \Delta) + K_l \cdot (1 - \Delta y / \Delta) \quad (\text{Ecuación 8})$$

Donde:

*G<sub>p</sub>*: Módulo de Corte del Plomo

*G<sub>n</sub>*: Módulo de Corte del Neopreno

*A<sub>p</sub>*: Área de la sección transversal del Plomo

*A<sub>n</sub>*: Área de la sección transversal del Neopreno

*Δy*: Desplazamiento de Fluencia

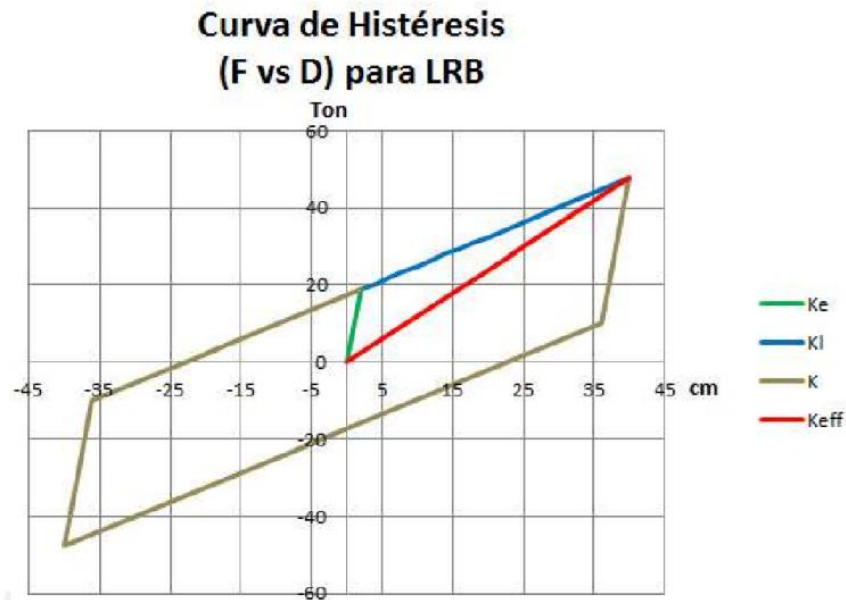
*Δ*: Desplazamiento aplicado

La curva de histéresis grafica el desplazamiento transversal del aislador y la fuerza lateral asociada.

Representándose en la siguiente figura el comportamiento del aislador LRB. Identificándose en dicho gráfico que las pendientes en cada tramo representan las rigideces mencionadas. (Leyton, 2017)

**Figura 17 :**

*Fuerza Lateral (F) vs Deformación Lateral (D) en un LRB.*



*Nota:* Fuente (Leyton, 2017)

#### 2.2.6.4.2 Amortiguamiento:

El amortiguamiento viscoso, se calcula como un ratio del trabajo realizado entre el desplazamiento, a partir de la gráfica de histéresis por medio de la siguiente fórmula.

$$\beta_{eff} = \frac{2 \cdot Q \cdot (\Delta - \Delta_y)}{\pi \cdot K_{eff} \cdot \Delta^2} \quad (\text{Ecuación 9})$$

Dónde:

$Q$ : Fuerza a Desplazamiento  $\Delta = 0$  (Curva de Histéresis)

$\Delta$ : Desplazamiento considerado

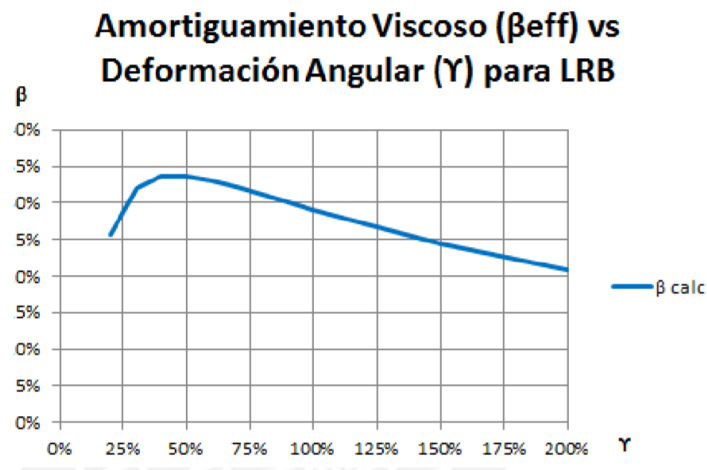
$\Delta y$ : Desplazamiento de Fluencia

$K_{eff}$ : Rigidez efectiva para un desplazamiento igual a " $\Delta$ "

En la siguiente figura se muestra la gráfica del amortiguamiento viscoso para el aislador LRB. Donde observa como el coeficiente varía según la distorsión angular a la que se encuentre. (Leyton, 2017)

**Figura 18 :**

*Amortiguamiento viscoso ( $\beta$ ) vs Deformación Angular ( $\gamma$ ) en un LRB.*



*Nota:* Fuente (Leyton, 2017)

#### **2.2.6.4.3 Rigidez Vertical:**

La rigidez vertical determina las deflexiones verticales por cargas de servicio o cargas sísmicas. La rigidez vertical se determina calculando el factor de forma, el módulo de compresibilidad y el área de traslape efectiva a un desplazamiento dado (Leyton, 2017).

**Factor de Forma "Si":**

$$S_i = \frac{A_b - A_p}{\pi D t_i} \quad (\text{Ecuación 10})$$

### Módulo de Compresibilidad “Ec”

$$E_c = E_n(1 + 2kS_i^2) \quad (\text{Ecuación 11})$$

### Rigidez Vertical “Kv”

$$K_v = \frac{E_c \cdot A_r}{t_i} \quad (\text{Ecuación 12})$$

Dónde:

Ab: Área total de la sección transversal del Aislador

Ap: Área de la sección transversal del Núcleo de Plomo

D: Diámetro del Aislador

ti: Espesor de una capa de caucho

En: Módulo de Elasticidad del caucho

k: Constante del Material

A r: Área de traslape efectiva para un desplazamiento dado

Por lo tanto, con el núcleo de plomo se logrará incrementar la disipación de energía, y cuando la estructura este sometida a un sismo, el asiento de apoyo se deformara lateralmente y por su parte el núcleo de plomo fluye incurionando en deformaciones plásticas y disipando la energía en forma de calor, asimismo el núcleo de plomo proporciona rigidez ante cargas verticales (Villavicencio, 2015).

Con el elastomérico se lograra controlar la rigidez post-fluencia del asiento de apoyo, por su parte el núcleo de plomo solo aporte entre un 10% a la rigidez

post-fluencia, sin embargo el núcleo de plomo controla la rigidez inicial, la fuerza de fluencia, y en lo que respecta al desplazamiento de fluencia del asiento de apoyo (Villavicencio, 2015).

Para un sistema con asientos de apoyo bajo condiciones favorables, las distorsiones de entrepiso y aceleraciones se reducen hasta un 75% y dependiendo del diseño del sistema de aislación se pueden lograr reducciones de hasta 90%. La reducción de las distorsiones de entrepiso protege tanto a los elementos estructurales como a los elementos no estructurales. Por lo tanto, después de ocurrido el sismo, la estructura es funcional con poco o ningún daño. (Pino, 2015).

**Códigos Internacionales de Diseño de Sistemas de Aislamiento Sísmico,** Respecto a los lineamientos del análisis y diseño de edificaciones aisladas, se cuenta con las normas americanas ASCE7-2010, FEMA356-2000, y el código chileno NCh2745-2013. Siendo las normas americanas las más difundidas y estudiadas en nuestro medio, tal es el caso que muchos códigos de diferentes países en América Latina las toman como base.

### ***2.2.7 Diseño sísmico convencional***

Un sismo genera principalmente movimientos horizontales en el suelo, a través de ondas, estos movimientos horizontales son la principal causa que se produzcan daños en las estructuras, debido a que están conectados al suelo a través de fundaciones (cimentaciones); estos movimientos horizontales son en menor proporción a los movimientos verticales en una estructura.

Al respecto, estas ondas tienen sus propias frecuencias y periodos, que hacen que se manifieste en la estructura, produciéndose aceleraciones y deformaciones que dañan propiamente a la estructura. (Cando, Monroy, Ortega, & Puerres, 2012).

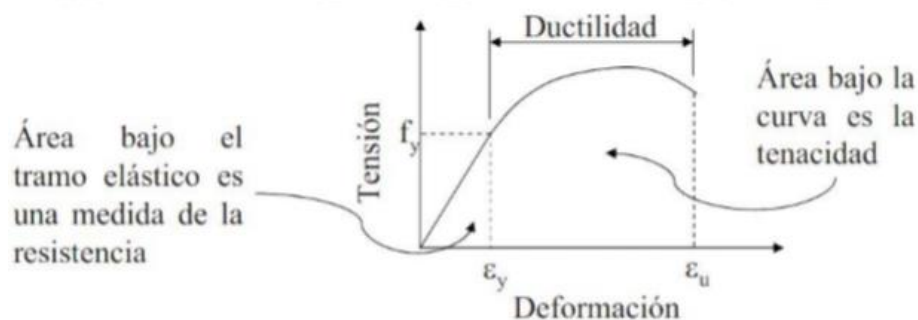
Un objetivo primordial de un diseño sísmico es minimizar el desplazamiento entre pisos y las aceleraciones de las estructuras, acogiéndose la estructura a un nivel de ductilidad de tal manera que adopte una capacidad estructural de disipar la

energía, mediante la incursión de la estructura en un rango no lineal, pero esto viene a ser una solución cara que se lograría rigidizando la estructura, pero esto conduciría a una amplificación del movimiento de la base, generando altas aceleraciones en los pisos, causando daños a los componentes no estructurales. (Arriagada, 2005)

En los criterios de diseño sísmico en estructuras convencionales se trabaja con un balance entre la resistencia y la capacidad de deformación de la estructura para que a través de la disipación de energía que produce en sus elementos estructurales resistan los sismos, la capacidad de deformación permitirá mayor ductilidad posible para salvar así un edificio de un colapso. (Arriagada, 2005).

**Figura 19 :**

*Diagrama tensión y deformación del hormigón*



*Nota:* Fuente (Luque, 2016)

El diseño sísmico convencional se fundamenta en la ductilidad y la redundancia estructural con el objetivo de evitar aceleraciones y desplazamientos grandes como consecuencia del sismo, logrando minimizar considerablemente las fuerzas provocadas por los sismos. Sin embargo, esto puede ser peligroso debido a que se fijan en la edificación ductilidades muy difíciles de comprobar y controlar. (Arriagada, 2005)

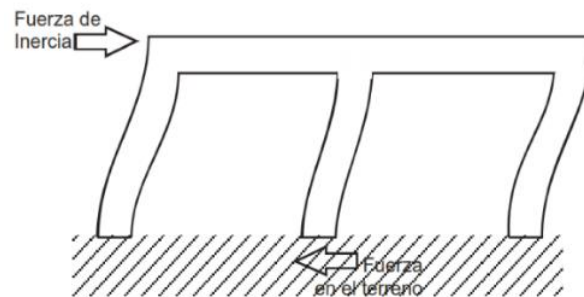
Siendo la ductilidad la propiedad del sistema estructural que consiste en sufrir grandes deformaciones (por encima del límite elástico) bajo una carga variable, sin sufrir daños excesivos. Esta propiedad, en una edificación que debe soportar las acciones del sismo, descarta el riesgo de una falla frágil y además proporciona una fuente adicional de amortiguamiento. (Luque, 2016).

El modelamiento de la estructura convencional de base empotrada se realiza añadiendo rigidez a los elementos estructurales en las direcciones principales con la finalidad de poder controlar los desplazamientos y deflexiones durante la ocurrencia de los sismos. (Benavente & Traverso, 2013)

La Norma Técnica E-030 contempla 2 métodos de análisis: el análisis estático y el análisis dinámico. Siendo el análisis estático la representación de las solicitaciones sísmicas por medio de fuerzas horizontales en cada nivel de la edificación, para una edificación que no posea irregularidades y sea de baja altura. Por otro lado, el análisis dinámico; que son causadas por viento, sismo, y vivas dinámicas o con impacto; siendo las fuerzas inerciales no despreciables, realizándose mediante el proceso de Combinación Modal Espectral o por medio del Análisis Tiempo-Historia. (N.T.E.030, 2018); en el caso de sismos, la fuerza de la inercia se genera debido a que el movimiento sísmico se trasmite del suelo a la estructura, y por ende la base de la estructura tiende a seguir el movimiento del suelo, como resultado la masa de la estructura por inercia se opone a ser desplazada y continuar el movimiento de la base. (Luque, 2016).

**Figura 20 :**

*Gráfica de Fuerzas de Inercia.*



*Nota:* Fuente (Luque, 2016)

### **2.2.8 *Análisis comparativo del comportamiento estructural***

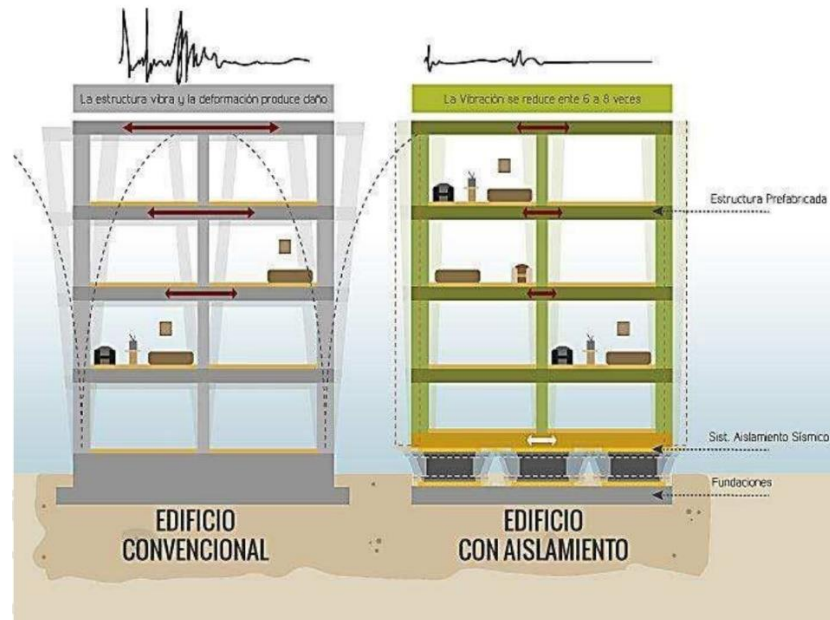
El diseño convencional está basado en añadir rigidez y resistencia a las estructuras en las principales direcciones, esto con la finalidad de dificultar el ingreso a la zona inelástica y así poder controlar los desplazamientos excesivos durante un evento sísmico, siendo por ello común el empleo de placas o muros de corte. Este incremento de la resistencia va a permitir que la estructura sea capaz de tomar mayores fuerzas y por ello se van a emplear elementos estructurales para resistir dichas fuerzas (Pino, 2015).

Con respecto a las estructuras aisladas la transmisión de las fuerzas se ve reducida significativamente y por ello no es necesario el empleo de los elementos estructurales con gran capacidad de resistencia, rigidez como se realiza en el diseño convencional. En un sistema con asientos de apoyo el parámetro a controlar es el alto desplazamiento (Pino, 2015).



**Figura 21 :**

*Esquema diferencial de resultados, de una estructura con asientos de apoyo sísmico y con base fija.*

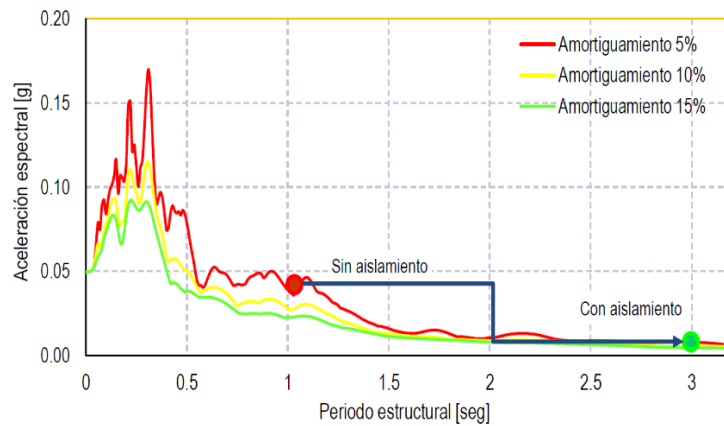


*Nota:* Fuente (Luque, 2016)

En un sistema con asientos de apoyo el desplazamiento es la base para para el procedimiento de diseño, siendo los parámetros como el amortiguamiento equivalente y el periodo efectivo dependen de esta variable. (Pino, 2015)

Los dispositivos de apoyo modificaran las respuestas dinámicas de una estructura incrementando su periodo fundamental de vibración respecto al período de vibración que tendría en la condición de base fija. Por lo tanto, al incursionar en una zona de alta flexibilidad (o poca rigidez) horizontal se verá incrementado el período fundamental de vibración de la estructura situándola lejos de la zona de mayor demanda de energía sísmica (zona de periodos cortos en un espectro de diseño), lo que correspondería a una estructura rígida eficiente situadas en terrenos firmes (Mendo, 2015).

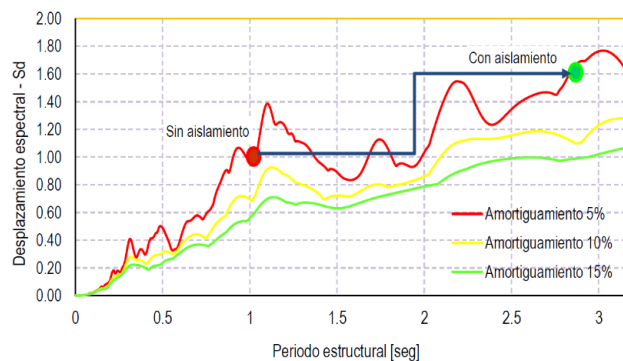
**Figura 22 :**  
*Espectro de aceleraciones.*



*Nota: Fuente (Mendo, 2015)*

Es sustancial conocer que con un incremento del periodo fundamental de vibración se verá incrementado el desplazamiento lateral espectral, debido a que se iguala al desplazamiento lateral del suelo, que es absorbido por los asientos de apoyo permiten minimizar los desplazamientos laterales relativos de entrepiso y sus respectivas aceleraciones, haciendo que puedan llegar esfuerzos cortantes a niveles moderados o bajos a la superestructura. Por lo general, esta superestructura adopta un movimiento similar a un bloque rígido, no llegando a tener deformación importantes o daños durante la acción del sismo (Mendo, 2015).

**Figura 23:**  
*Espectro de desplazamiento.*



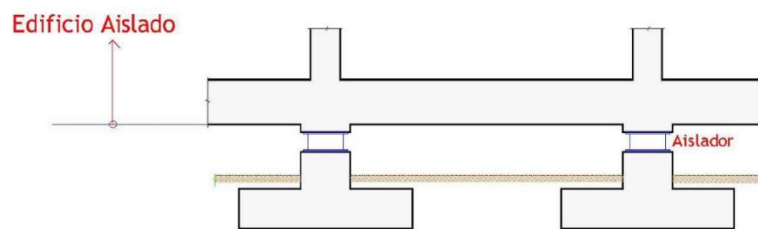
*Nota: Fuente (Mendo, 2015)*

### 2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

- Aislador: Elemento estructural que conforma el sistema de aislamiento sísmico de una estructura. (Villagómez, 2015)
- Sistema de Aislamiento Sísmico: Conjunto de aisladores que se ubican en la base de la estructura, de manera que provee verticalmente rigidez y horizontalmente flexibilidad. (Villagómez, 2015)
- Interfaz de Aislamiento: Es el límite, zona o espacio que existe entre la parte superior de la superestructura, la cual está aislada; y la inferior por la subestructura o cimentación, que se mueve rígidamente con el terreno. (Villagómez, 2015)
- Unidad de Aislamiento: Es un elemento estructural muy flexible en la dirección horizontal ante cargas sísmicas, y muy rígido en la dirección vertical ante cargas gravitacionales. (Villavicencio, 2015)
- Sistema de aislamiento: Es el conjunto de sistemas estructurales que incluye a: todas las unidades de aislamiento, disipadores de energía y sistemas de restricción de desplazamientos. (Villavicencio, 2015)
- Periodo Fundamental: El periodo fundamental se define como el tiempo que requiere una estructura para culminar el primer movimiento producto de una fuerza sísmica aplicada. (Mullo, 2014)
- Amortiguamiento: En las estructuras, el amortiguamiento es generado por las fricciones internas de los elementos, apoyos, elementos no estructurales, etc., todos estos disipan la energía sísmica, al ser el amortiguamiento una característica estructural influye en la respuesta sísmica, porque decrece el movimiento oscilatorio, se expresa normalmente como una fracción del

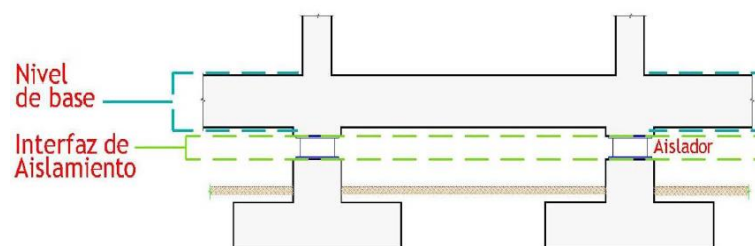
amortiguamiento crítico, donde el movimiento resultante en vez de ser oscilatorio decrece exponencialmente con el tiempo hasta hacerse cero (Mullo, 2014).

**Figura 24:**  
*Esquema de Edificio aislado - aislador*



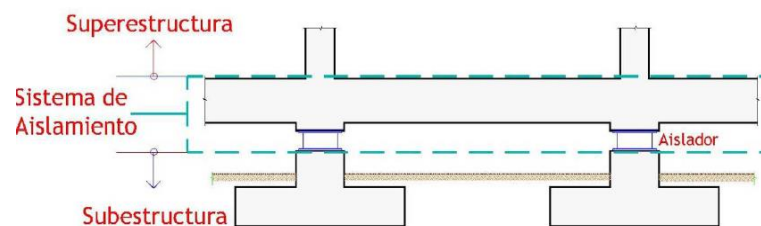
*Nota:* Fuente (Muñoz, 2018)

**Figura 25 :**  
*Esquema de Nivel de base – Interfaz de aislamiento.*



*Nota:* Fuente (Muñoz, 2018)

**Figura 26 :**  
*Esquema de Superestructura – Sistema de aislamiento – Subestructura.*



*Nota:* Fuente (Muñoz, 2018)

- **Desplazamiento de diseño (DD-D'D)** : desplazamiento lateral producto del sismo de diseño (SD) sin considerar el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación. (Villavicencio, 2015)
- **Desplazamiento total de diseño (DTD)**: desplazamiento lateral producto del sismo de diseño, tomando en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, requerido para el diseño del sistema de aislación o para un elemento del mismo. (Villavicencio, 2015).
- **Desplazamiento máximo (DM – D'M)**: desplazamiento lateral producto del sismo máximo considerado (SMC), sin tomar en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental. (Villavicencio, 2015)
- **Desplazamiento total máximo (DTM)** desplazamiento lateral producto del sismo máximo considerado, tomando en cuenta el desplazamiento adicional debido a la torsión natural y accidental, necesario para la verificación de la estabilidad del sistema de aislación o para un elemento del mismo, para el diseño de las separaciones entre edificios, y para los ensayos bajo carga vertical de los prototipos de los aisladores. (Villavicencio, 2015)

- **Amortiguamiento efectivo ( $\beta_{\text{eff}}$ ):** valor del amortiguamiento viscoso equivalente que se obtiene de la energía disipada durante la respuesta cíclica del sistema de aislación. (Villavicencio, 2015)
- **Rigidez efectiva ( $k_{\text{eff}}$ ):** valor de la fuerza lateral en el sistema de aislación, o un elemento del mismo, dividido por el desplazamiento lateral correspondiente. (Villavicencio, 2015)
- **Sismo de diseño (SDI):** nivel del movimiento sísmico del suelo que tiene como mínimo el 10% de probabilidad de excedencia en 50 años. (Villavicencio, 2015)
- **Sismo máximo considerado (SMC):** nivel máximo del movimiento del suelo que puede ocurrir dentro del esquema geológico conocido que tiene un 2% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años. (FEMA-450, 2003) (Villavicencio, 2015)
- **Peligrosidad Sísmica:** Siendo la probabilidad de que ocurra en un periodo específico de tiempo y un área determinada, un movimiento sísmico de una intensidad determinada. Y respecto a la vulnerabilidad sísmica esta representa el grado de daño debido a la ocurrencia del evento sísmico de una intensidad determinada (Cando, Monroy, Ortega, & Puerres, 2012).

### **III. MARCO METODOLÓGICO**

#### **3.1 HIPÓTESIS**

##### **3.1.1 Hipótesis general**

El Bloque C del Centro educativo diseñado con aisladores sísmicos tipo elastomérico tiene un mejor comportamiento estructural frente a un diseño convencional sin aisladores sísmicos basado en la Norma Técnica E.030.

##### **3.1.2 Hipótesis específicas**

- A. Para el diseño convencional del Centro Educativo se obtienen resultados de periodos naturales, desplazamientos máximos, derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y distorsiones, demostrando que están dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica E.030.
- B. Al realizar el diseño del Centro Educativo con aisladores tipo elastomérico se mejora el comportamiento estructural en gran medida, con el aumento del periodo natural, y una reducción considerable del desplazamiento relativos, derivas de entrepiso y fuerzas cortantes.
- C. Al comparar los diferentes diseños se puede conocer que el comportamiento estructural tiene una mejora notable en cuanto a la estructura con aisladores sísmicos tipo elastomérico frente a la estructura con diseño convencional.

## **3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES**

### **3.2.1 *Identificación de la variable independiente***

- Diseño estructural convencional basado en la norma técnica E.030.
- Diseño estructural con aislador sísmico tipo elastomérico.

#### **3.2.1.1 Indicadores**

- Periodo fundamental.
- Fuerza cortante en la base.
- Desplazamiento en la base.
- Deriva de la edificación.

#### **3.2.1.2 Escala de medición**

- Optimizando lo resultados que se encuentran dentro de los parámetros de diseño de las normas técnicas establecidas.

### **3.2.2 *Identificación de la variable dependiente***

- Comportamiento estructural.

#### **3.2.2.1 Indicadores**

- Altura
- Área
- Tipo de suelo
- Sistema estructural



### **3.2.2.2 Escala de medición**

- Adecuado procedimiento de diseño, que garantice un buen comportamiento estructural

## **3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN**

El tipo de investigación es cuantitativa y es de diseño pre-experimental, porque tiene la característica de no manipular a las variables, y se basa fundamentalmente en la observación de los fenómenos para posterior a ello analizarlos.

## **3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN**

El nivel de investigación descriptivo comparativo. Considerando que el enfoque es evidenciar las características fundamentales de la estructura convencional con y sin aisladores de tal manera de realizar una evaluación, y por ende determinar el comportamiento estructural de ambos.

## **3.5 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN**

### ***3.5.1 Ámbito social***

La investigación se realizó en el distrito, provincia y departamento de Tacna.

### ***3.5.2 Tiempo social***

El tiempo corresponde al año 2019, durante los meses de junio a diciembre.

## **3.6 POBLACIÓN Y MUESTRA**

### **3.6.1 *Unidad de estudio***

La investigación comprende únicamente el distrito, provincia y departamento de Tacna.

### **3.6.2 *Población***

Centros Educativos de Concreto Armado.

### **3.6.3 *Muestra***

Es el Pabellón “C” del Centro Educativo Coronel Bolognesi en la provincia y departamento de Tacna, muestra tomada a conveniencia del autor.

## **3.7 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS**

### **3.7.1 *Procedimiento***

- Primeramente, se realiza el cálculo del comportamiento sísmico de un centro educativo, aplicando la Norma Técnica E.030, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos según la norma.
- Seguidamente, se realiza el cálculo del comportamiento sísmico del mismo centro educativo aplicando la tecnología del aislamiento sísmico en la base tipo elastomérico, empleando el análisis tiempo - historia.
- Finalmente, se realiza el análisis comparativo de ambos modelos bajo las mismas sollicitaciones sísmicas, para determinar el sistema más apropiado de acuerdo a los resultados obtenidos.

### **3.7.2 Técnicas**

- A través de la técnica de la observación, se va a conocer el comportamiento estructural del diseño convencional basado en la norma E.030, y la misma estructura con la incorporación de aisladores sísmicos en la base tipo elastomérico, el cual será respaldado a través de un análisis estructural independiente, de modo tal que a través de sus resultados se den a conocer las ventajas de la aplicación de estas tecnologías de protección, basadas en las propiedades físicas y mecánicas de estos dispositivos de aislamiento.

### **3.7.3 Instrumentos**

- A través de una lista de cotejo de los resultados obtenidos del software de análisis y diseño ETABS, respecto a la respuesta sísmica de la estructura convencional frente a la misma estructura con aislamiento en la base tipo elastomérico.

## IV. RESULTADOS

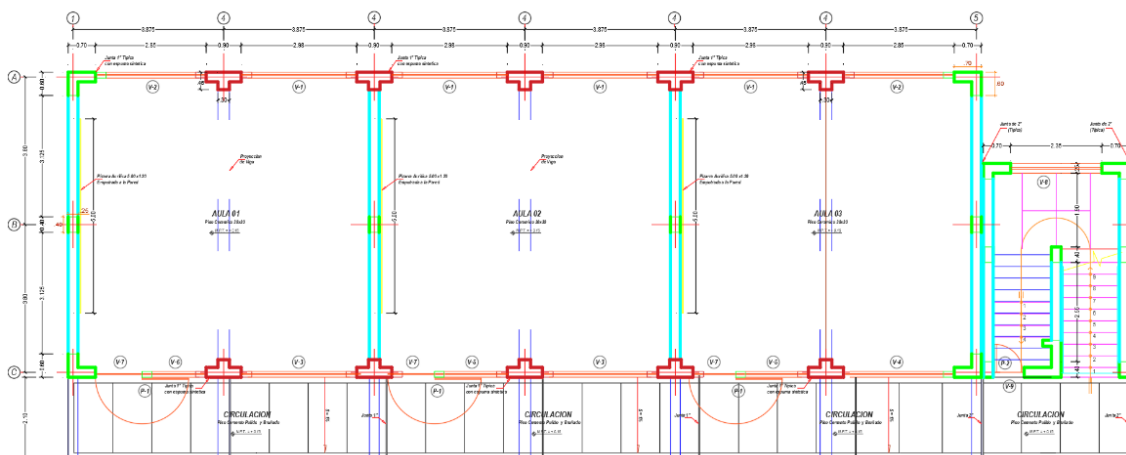
### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

El Pabellón de estudio se encuentra ubicado en el Centro Educativo “Coronel Bolognesi”, distrito, provincia y departamento Tacna.

Este edificio destinado para infraestructura educativa tiene 02 niveles con 03 aulas por nivel. Con un área de 184.475 m<sup>2</sup> y su perímetro es 62.70 ml, con dimensiones de 23.50 ml, y 7.85 ml.

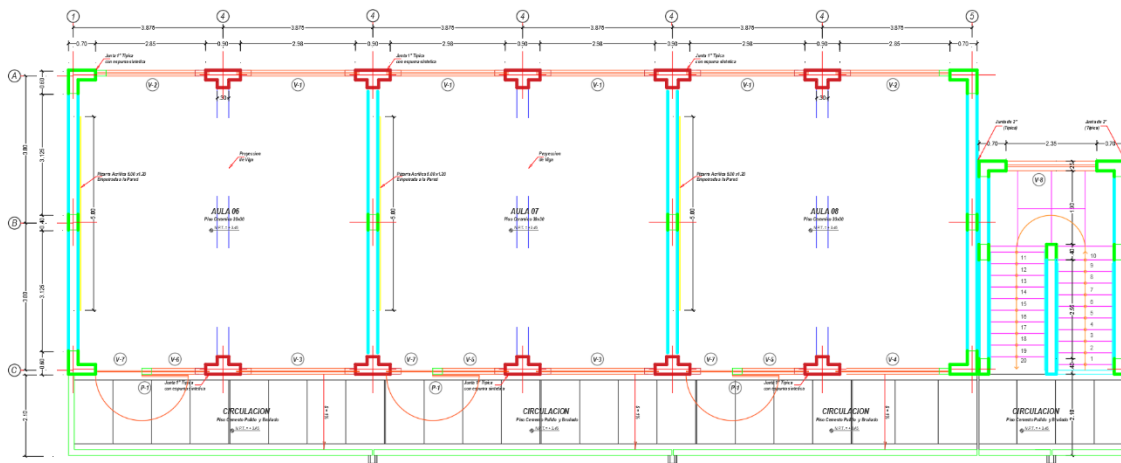
El acceso para para el piso superior se realiza por una escalera independiente ubicadas en cada extremo de la edificación.

**Figura 27:**  
*Plano de Planta - Primer Nivel.*



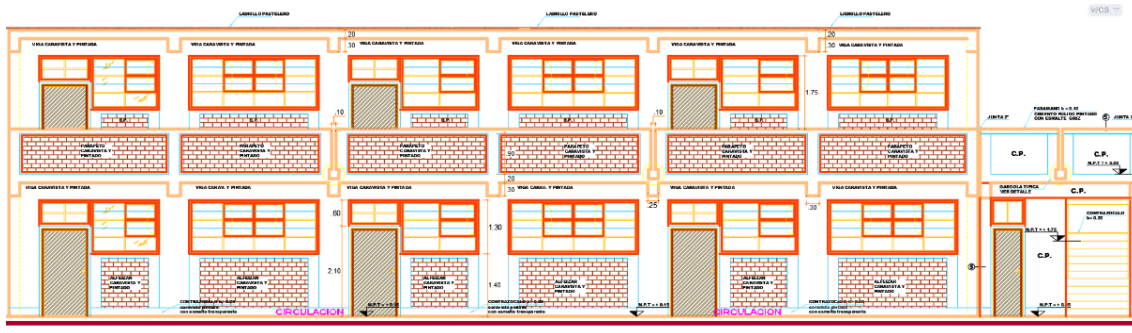
*Nota:* Fuente Elaboración Propia

**Figura 28 :**  
*Plano de Planta - Segundo Nivel.*



*Nota:* Fuente Elaboración Propia

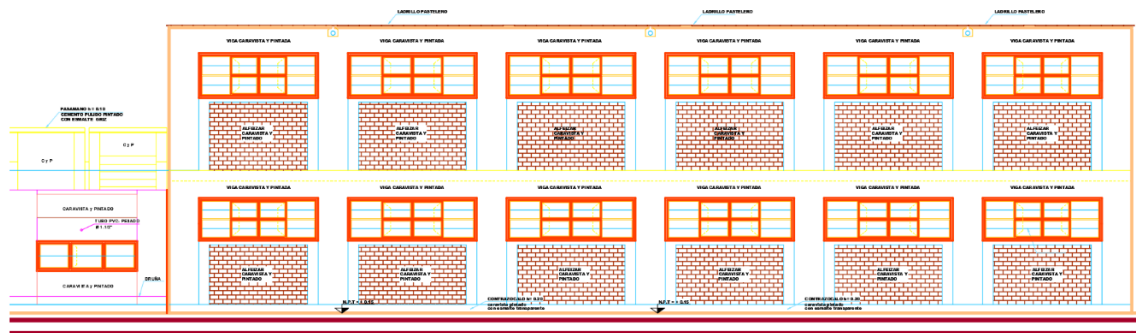
**Figura 29 :**  
*Plano de Elevación Frontal.*



*Nota:* Fuente Elaboración Propia

**Figura 30 :**

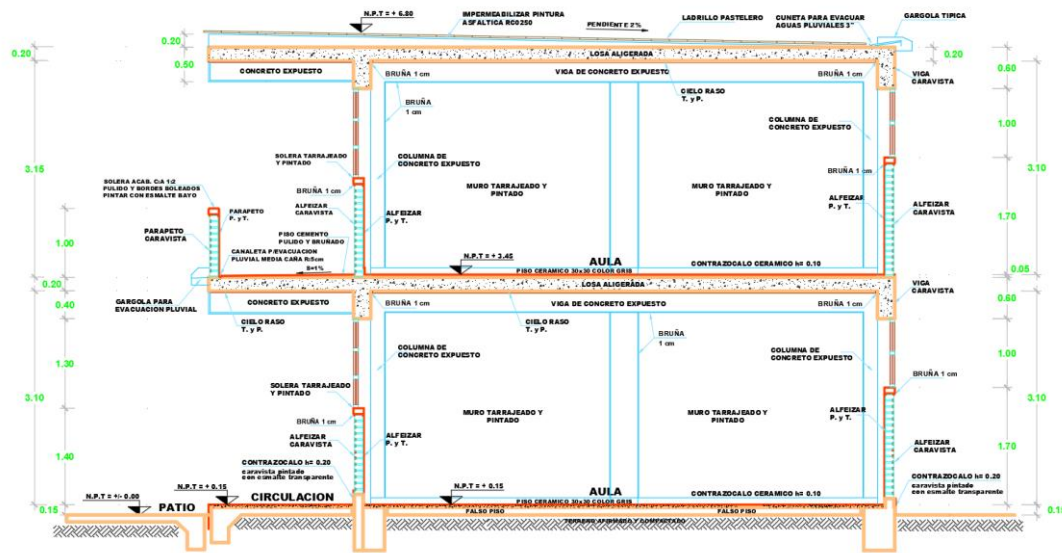
*Plano de Elevación Posterior.*



*Nota:* Fuente Elaboración Propia

**Figura 31 :**

*Sección Típica de Aulas.*



*Nota:* Fuente Elaboración Propia

#### ***4.1.1 Normas Empleadas***

La normativa empleada para el desarrollo del presente proyecto de investigación, se basa en el “Reglamento Nacional de Edificaciones”, considerándose las siguientes normas técnicas:

- Norma Técnica E.020 Cargas.
- Norma Técnica E.030 Diseño Sismoresistente.
- Norma Técnica E.060 Concreto Armado.
- Norma Técnica E.070 Albañilería

Para el requerimiento del diseño de las estructuras aisladas sísmicamente, se empleó el Código ASCE/SEI 7-16, Código elaborado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles (ASCE).

Se ha empleado para los cálculos matemáticos la propuesta de espectros de diseño para edificaciones peruanas de los ingenieros Alejandro Muñoz, Félix Alvarado, Guillermo Zavala y Jorge Zegarra de la PUCP.

Se entiende que todos los reglamentos y normas están en vigencia y/o son de la última edición.

## 4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

### 4.2.1 Diseño estructural del edificio tradicional

#### 4.2.1.1 Materiales de la estructura

Las principales propiedades de los materiales de la estructura, del pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, han sido obtenidas del Expediente Técnico del proyecto denominado “Construcción de 01 pabellón de 04 aulas, reforzamiento de 08 aulas - 2 pisos y rehabilitación de ss.hh. en nivel primario, construcción de 01 pabellón de 10 aulas - 02 pisos y 01 escalera en nivel secundario, reconstrucción de cancha de tenis y accesos”. Se indica a continuación las principales propiedades de los materiales empleados para llevar a cabo el análisis sísmico:

- **Concreto:**

$$\begin{aligned}
 \text{Resistencia del Concreto} &= f'c \\
 &= 210.00 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{Densidad del Concreto} &= 2,400.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 2.40 \text{ Tonf/m}^3 \\
 \text{Masa del Concreto} &= \frac{\text{Densidad del Concreto}}{\text{Gravedad}} \\
 &= 244.65 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.24 \text{ Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \\
 \text{Módulo de Elasticidad} &= E \\
 &= 15,000.00 \sqrt{f'c} \\
 &= 217,370.65 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 2,173,706.51 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \text{Módulo Poisson's} &= U \\
 &= 0.20 \\
 \text{Coeficiente de Expansión Termica} &= A \\
 &= 9.9 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\
 &= 0.0000099 \text{ 1/C} \\
 \text{Módulo de Corte} &= G \\
 \text{Módulo de Corte} &= \frac{E}{2 \times (1 + U)} \\
 &= 90,571.10 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 905,711.05 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \text{Resistencia a la Compresion} &= f'c \\
 &= 210.00 \text{ kgf/cm}^3 \longrightarrow 2,100.00 \text{ Tonf/m}^3
 \end{aligned}$$



- **Material de albañilería:**

$$\begin{aligned}
 \text{Resistencia de Concreto} &= f' m \\
 &= 55.00 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{Densidad de la Albañilería} &= 1,900.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 1.90 \text{ Tonf/m}^3 \\
 \text{Masa de la Albañilería} &= \frac{\text{Densidad de la Albañilería}}{\text{Gravedad}} \\
 &= 193.68 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.19 \text{ Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \\
 \text{Módulo de Elasticidad} &= E \\
 &= 500 \times f' c \\
 &= 27,500.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 275,000.00 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \text{Módulo Poisson's} &= U \\
 &= 0.25 \\
 \text{Coeficiente de Expansion Termica} &= A \\
 &= 8.1 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\
 &= 0.0000081 \text{ 1/C} \\
 \text{Módulo de Corte} &= G \\
 \text{Módulo de Corte} &= \frac{E}{2 \times (1 + U)} \\
 &= 11,000.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 110,000.00 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \text{Resistencia a la Compresion} &= f' m \\
 &= 55.00 \longrightarrow 550.00 \text{ Tonf/m}^3
 \end{aligned}$$

- **Material de acero:**

$$\begin{aligned}
 \text{Fluencia del Acero} &= f' y \\
 &= 4,200.00 \text{ kgf/cm}^2 \\
 \text{Densidad del Acero} &= 7,850.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 7.85 \text{ Tonf/m}^3 \\
 \text{Masa de la Albañilería} &= \frac{\text{Densidad del Acero}}{\text{Gravedad}} \\
 &= 800.20 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.80 \text{ Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \\
 \text{Módulo de Elasticidad} &= E \\
 &= 2 \times 10^6 \\
 &= 2,000,000.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 20,000,000.00 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \text{Coeficiente de Expansion Termica} &= A \\
 &= 12 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\
 &= 0.000012 \text{ 1/C}
 \end{aligned}$$

#### 4.2.1.2 Características del Suelo de Fundación

El estudio de mecánica de suelos, del pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, han sido obtenidas del Expediente Técnico del proyecto denominado “Implementación y Mejoramiento de la Infraestructura Educativa de la I.E. Coronel Bolognesi – Tacna” – Distrito Tacna - Tacna”.

Según los estudios de mecánicas de suelos (EMS), se ha identificado las siguientes características y propiedades mecánicas del terreno de fundación:

- Tipo de Suelo : Suelo intermedio (S<sub>2</sub>)
- Profundidad de Cimentación : 1.5 mts del N.T.N.
- Esfuerzo admisible del Terreno : 1.50 kg/cm<sup>2</sup>.
- Asiento Máximo : 1.5”

#### 4.2.1.3 Elementos estructurales

Los elementos estructurales, del pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, han sido obtenidas del Expediente Técnico del proyecto denominado “Implementación y Mejoramiento de la Infraestructura Educativa de la I.E. Coronel Bolognesi – Tacna” – Distrito Tacna - Tacna”.

##### 4.2.1.3.1 Losa aligerada

Para calcular el espesor de la losa aligerada de la edificación dividimos su luz libre entre 25. La edificación en estudio presenta una luz libre de 3.875m, por lo que te tiene un espesor de losa aligerada de 0.20m.

**Figura 32 :**  
*Propiedades de la Losa Aligerada – ETABS*

**Slab Property Data**

**General Data**

Property Name: ALIGERADO\_1

Slab Material: FC 210

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Modeling Type: Membrane

Modifiers (Currently Default): Modify/Show...

Display Color:   Change...

Property Notes: Modify/Show...

Use Special One-Way Load Distribution

**Property Data**

Type: Ribbed

Overall Depth: 0.2 m

Slab Thickness: 0.05 m

Stem Width at Top: 0.1 m

Stem Width at Bottom: 0.1 m

Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction): 0.4 m

Rib Direction is Parallel to: Local 1 Axis

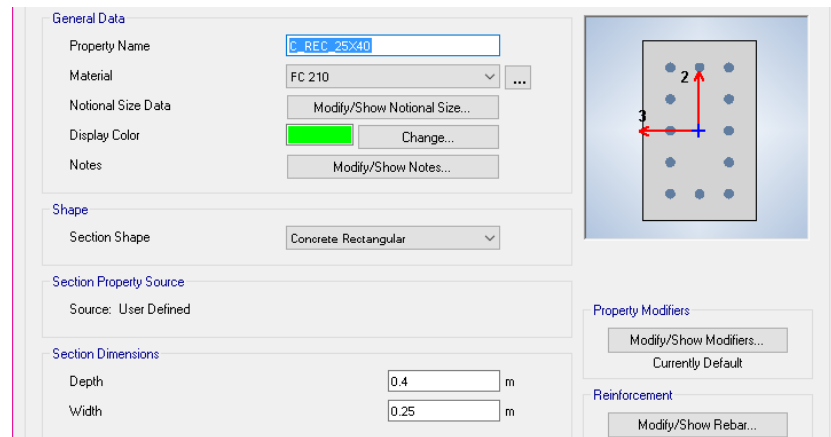
OK Cancel

*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

#### 4.2.1.3.2 Columnas:

Las columnas son los elementos estructurales de concreto armado que soportan simultáneamente la carga axial y el momento flector de la edificación; tenemos las dimensiones son de 03 tipos:

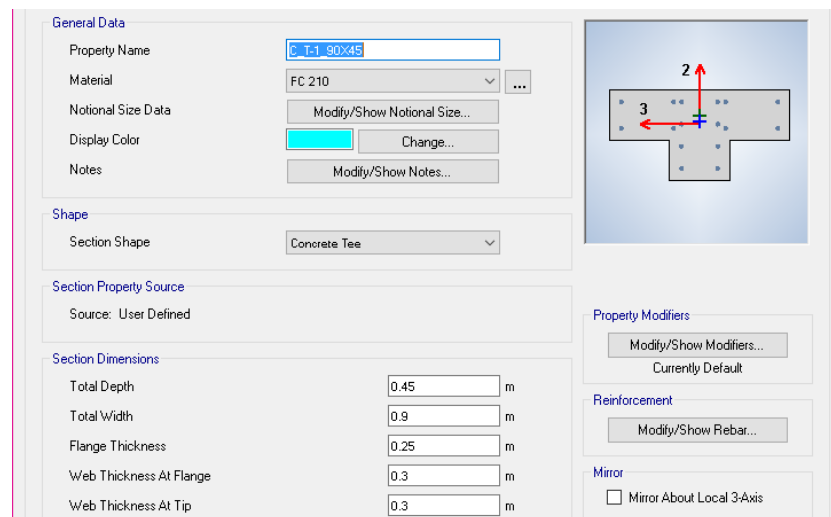
**Figura 33 :**  
*Dimensión de Columna Rectangular*



*Nota: Fuente Software Etabs V. 16*

**Figura 34 :**

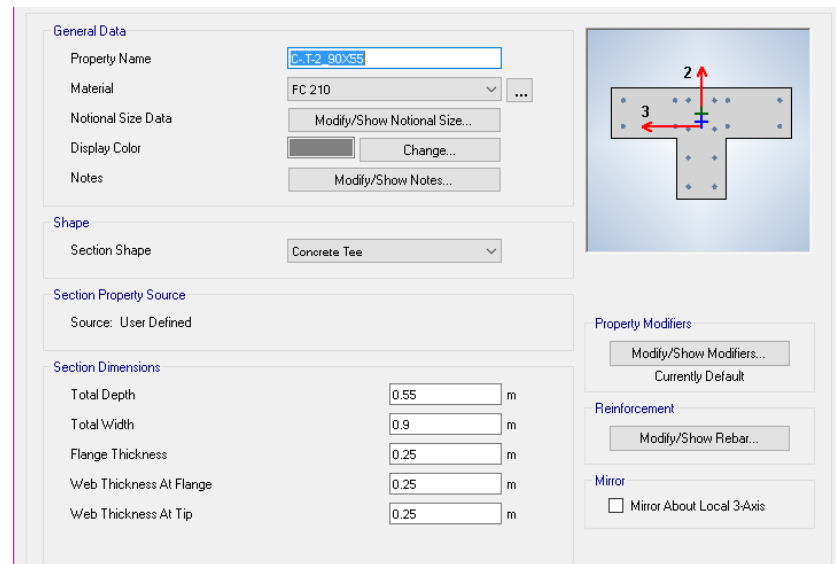
*Dimensión de Columna T-1*



*Nota: Fuente Software Etabs V. 16*

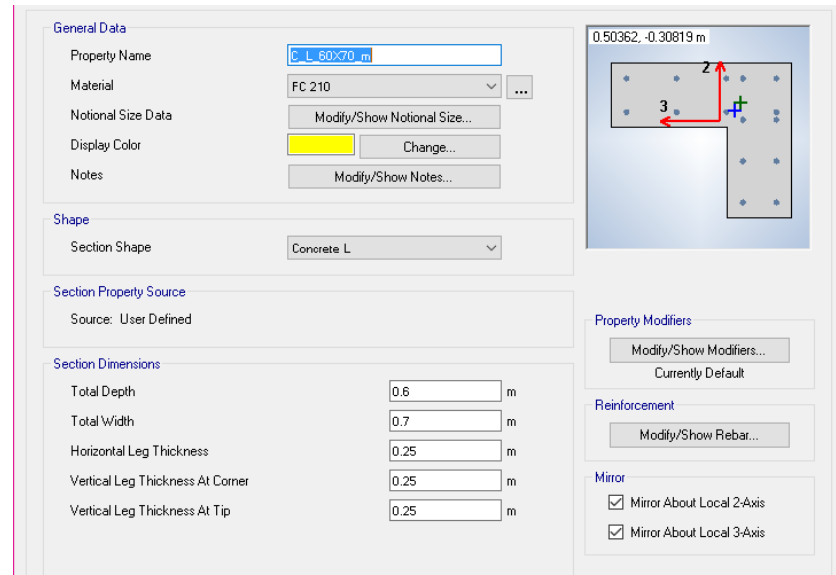
**Figura 35 :**

*Dimensión de Columna T -2*



*Nota: Fuente Software Etabs V. 16*

**Figura 36 :**  
*Dimensión de Columna L*



*Nota: Fuente Software Etabs V. 16*

#### 4.2.1.3.3 Vigas:

Las vigas son de concreto armado; en la edificación se tienen vigas peraltadas perimetrales e interiores, cuyas dimensiones son de 02 tipos:

**Figura 37 :**  
*Dimensión de la viga principal VP-1.*

**General Data**

Property Name: VP1\_30x60

Material: FC 210

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.6 m

Width: 0.3 m

**Property Modifiers**

Modify/Show Modifiers...  
 Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 38 :**  
*Dimensión de la viga principal VP-2.*

**General Data**

Property Name: VA-1\_25x60

Material: FC 210

Notional Size Data: Modify/Show Notional Size...

Display Color: Change...

Notes: Modify/Show Notes...

**Shape**

Section Shape: Concrete Rectangular

**Section Property Source**

Source: User Defined

**Section Dimensions**

Depth: 0.6 m

Width: 0.25 m

**Property Modifiers**

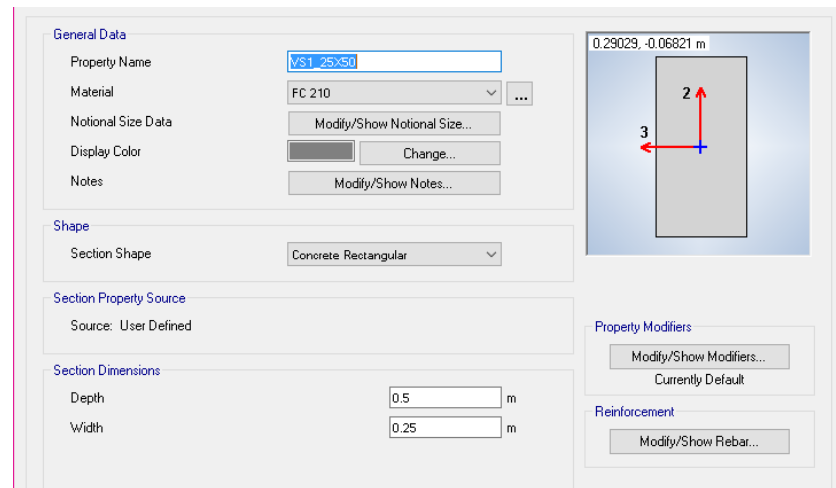
Modify/Show Modifiers...  
 Currently Default

**Reinforcement**

Modify/Show Rebar...

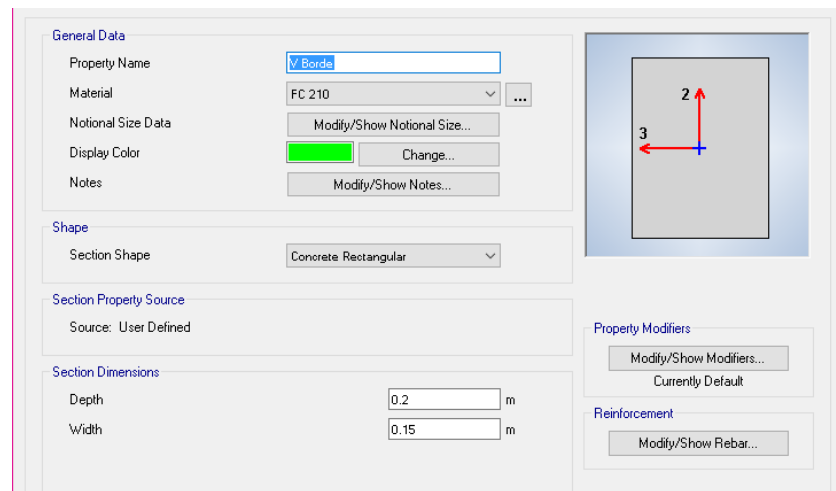
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 39 :**  
*Dimensión de viga secundaria VS-1.*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 40 :**  
*Dimensión de viga borde Vb*



*Nota:* Fuente: Software Etabs V. 16

#### **4.2.1.4 Asignación de cargas**

La Norma Técnica E.020 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 a considerar son las denominadas: muertas, vivas y sismo. Consideramos como carga muerta (CM) 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 (CV), 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.

La edificación estará sometida a cargas muertas y cargas vivas, en concordancia con la Norma Técnica E.020 del Reglamento Nacional de edificaciones, para el pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, que forma parte del Expediente Técnico del proyecto denominado “Implementación y Mejoramiento de la Infraestructura Educativa de la I.E. Coronel Bolognesi – Tacna” – Distrito Tacna - Tacna”. de acuerdo a lo siguiente:



ASIGNACION DE CARGAS**\* CARGA MUERTA:**

PESO DE LA LOSA DE 20cm	=	0.30	$Ton.F/m^2$
ACABADOS	=	0.10	$Ton.F/m^2$
TABIQUERIA EQUIVALENTE	=	0.15	$Ton.F/m^2$
		<hr/>	
CARGA MUERTA	=	0.55	$Ton.F/m^2$


**\* CARGA VIVA:**STORY 01

<b>Zona 01:</b>	CENTROS EDUCATIVOS - Aulas	=	0.25 $(Ton.F)/m^2$
<b>Zona 02:</b>	CENTRO EDUCATIVOS - Corredores y Escaleras	=	0.40 $(Ton.F)/m^2$

AZOTEA

<b>Zona 01:</b>	CENTROS EDUCATIVOS - Aulas	=	0.13 $(Ton.F)/m^2$
-----------------	----------------------------	---	--------------------

**CARGA EN PARAPETOS:**


**PARAPETO 01 :**  ( Ladr. Pandereta con tarrajeo )

$$t = 0.15$$

$$h = 1.00$$

$$\gamma = 1.60 \text{ Ton.F/m}^3$$

$$W_{pp1} = 0.24 \text{ Ton.F/m}$$


**PARAPETO 02 :**  ( Ladr. Pandereta con tarrajeo )

$$t = 0.15$$

$$h = 1.40$$

$$\gamma = 1.60 \text{ Ton.F/m}^3$$

$$W_{pp2} = 0.34 \text{ Ton.F/m}$$

**PARAPETO 03 :**  ( Ladr. Pandereta con tarrajeo )

$$t = 0.15$$

$$h = 1.70$$

$$\gamma = 1.60 \text{ Ton.F/m}^3$$

$$W_{pp2} = 0.41 \text{ Ton.F/m}$$

#### 4.2.1.5 Estructuración

La edificación corresponde al pabellón C de un Centro Educativo Coronel Bolognesi, que forma parte del Expediente Técnico del proyecto denominado “Implementación y Mejoramiento de la Infraestructura Educativa de la I.E. Coronel Bolognesi – Tacna” – Distrito Tacna - Tacna”. de acuerdo a lo siguiente:

La configuración estructural del Pabellón está constituida por 02 sistemas, siendo en el sentido X-X “dual de concreto armado” con  $R=7$ , y para el sentido Y-Y se ha considerado una “Albañilería confinada” con  $R=3$ .

- Simetría: El pabellón del proyecto es simétrico.
- Resistencia: La resistencia ante movimientos sísmicos y cargas de gravedad es proporcionada por los elementos estructurales tales como: Columnas, Vigas y muros de albañilería.
- Rigidez lateral: Los elementos que aportan rigidez lateral son las columnas tipo L, las columnas tipo T y los muros de albañilería, los cuales se han distribuidos en la estructura simétrica de tal manera que puedan resistir las fuerzas sísmicas sin obtener deformaciones laterales importantes.
- Diafragma rígido: Los diafragmas rígidos están conformados por las losas aligeradas, las cuales permiten la idealización de la estructura como una unidad, es decir, las fuerzas laterales aplicadas en la edificación son distribuidas en los elementos estructurales verticales (columnas y muros de albañilería), de tal manera que compatibilicen sus desplazamientos laterales.
- Elementos no estructurales: Entre los principales elementos no estructurales que tendremos en nuestra estructura son:

Los muros interiores, sólo servirán para separar los distintos ambientes que se encuentran en el área de la estructura.

#### Materiales Empleados

- Modelo mecánico del concreto armado para una resistencia de  $f'c = 210$  Kg/cm<sup>2</sup>
- Módulo de Elasticidad calculado para el  $f'c$  especificado:  $E_c = 15000\sqrt{f'c}$  (kg/cm<sup>2</sup>)
- Refuerzo correspondiente al del acero grado 60

#### Elementos Estructurales

- Modelamiento de losas como elementos área con fuerzas fuera del plano en una dirección, para el caso de aligerados.
- Modelamiento de vigas como elementos lineales sujetos a solicitaciones de flexión y cortante.
- Modelamiento de columnas como elementos lineales sujetos a solicitaciones de flexión, cortante y axial.
- Modelamiento de muros
- Diafragmas rígidos en todos los puntos de cada losa sin irregularidades considerables.

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

#### **4.2.1.6 Parámetros sísmicos**

Los parámetros sísmicos del análisis estructural correspondiente a la Edificación Convencional, del pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, que forma parte del Expediente Técnico del proyecto denominado “Implementación y Mejoramiento de la Infraestructura Educativa de la I.E. Coronel Bolognesi – Tacna” – Distrito Tacna - Tacna”; cuya clasificación de la estructura y su ubicación,

conlleva a determinar los parámetros establecidos según la Norma Técnica E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, para llevar a cabo el análisis sísmico.

Entre los parámetros tenemos la Zonificación, que corresponde a la distribución espacial de la sismicidad, lo que da como resultado un Coeficiente de Zona "Z".

Tenemos los parámetros respecto a las Condiciones Geotécnicas, que corresponden a los perfiles del suelo, que consideran las propiedades mecánicas del suelo, el espesor del estrato, el periodo fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte, y que determinan un Factor de Suelo "S".

- Zonificación:

**Factor de Zona "Z":**

se interpreta como la aceleración máxima horizontal en suelo rígido con una probabilidad de 10 % de ser excedida en 50 años. El factor Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad.

**Tabla 1**  
Factores de Zona

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

Nota: Fuente (N.T.E.030, 2018)

- Condiciones Geotécnicas:

**Perfil del Suelo:**

**Tabla 2 :**  
Clasificación de los Perfiles de Suelo

Perfil	$\bar{V}_s$	$\bar{N}_{60}$	$\bar{s}_u$
S <sub>0</sub>	> 1500 m/s	-	-
S <sub>1</sub>	500 m/s a 1500 m/s	> 50	>100 kPa
S <sub>2</sub>	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S <sub>3</sub>	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S <sub>4</sub>	Clasificación basada en el EMS		

Nota: Fuente: (N.T.E.030, 2018)

**Factor de Suelo "S":**

**Tabla 3 :**  
Factor de Suelo "S"

Zona	Suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
Z <sub>4</sub>	0.80	1.00	1.05	1.10
Z <sub>3</sub>	0.80	1.00	1.15	1.20
Z <sub>2</sub>	0.80	1.00	1.20	1.40
Z <sub>1</sub>	0.80	1.00	1.60	2.00

Nota: Fuente: (N.T.E.030, 2018)

### Periodo “ $T_P$ ” y “ $T_L$ ”:

**Tabla 4 :**  
Periodo “ $T_P$ ” y “ $T_L$ ”

Periodo	Perfil de suelo			
	S <sub>0</sub>	S <sub>1</sub>	S <sub>2</sub>	S <sub>3</sub>
$T_P$ (S)	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L$ (S)	3.00	2.50	2.00	1.60

Nota: Fuente: (N.T.E.030, 2018)

### Entonces los parámetros del análisis de la estructura en estudio son:

#### Parámetros de Sitio:

Zonificación Sísmica: Zona 4

#### Factor Asociado:

$Z=0.45$

Perfil del suelo : Perfil Tipo S<sub>2</sub>  $S=1.05$  y  $T_P=0.6s$  -  $T_L=2.00$

Donde:

- S = Factor del suelo
- $T_P$  = Período que define la plataforma del factor C.
- $T_L$  = Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.

#### - Categoría de la Edificación:

**Tabla 5 :**  
Categoría de las Edificaciones y Factor “U”

Categoría	Descripción	U
A	Edificaciones Esenciales - A1	Nota 1
	Edificaciones Esenciales - A2	1.50
B	Edificaciones Importantes	1.30
C	Edificaciones Comunes	1.00
D	Edificaciones Temporales	Nota 2

**Nota 1** : Las nuevas edificaciones de categoría A1 tendrán aislamiento sísmico en la base cuando se encuentren en las zonas sísmicas 4 y 3. En las zonas sísmicas 1 y 2, la entidad responsable podrá decidir si usa o no aislamiento sísmico. Si no se utiliza aislamiento sísmico en las zonas sísmicas 1 y 2, el valor de U será como mínimo 1,5.

**Nota 2** : En estas edificaciones deberá proveerse resistencia y rigidez adecuadas para acciones laterales, a criterio del proyectista.

Nota: Fuente: (N.T.E.030, 2018)

**Entonces los parámetros del análisis de la estructura en estudio son:**

Entonces si:

Descripción de la Edificación = Centro Educativo.  
Categoría de la Edificación = A

$$\longrightarrow \boxed{U = 1.50}$$

Donde:

U = Factor de uso e importancia

- Periodo Fundamental:

$T$  = Periodo fundamental de la estructura para el análisis estático o periodo de un modo en el análisis dinámico

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

Entonces si:

$H_n$  = Altura total de la edificación en metros

$C_t$  = Coeficiente para estimar el periodo predominante de un edificio

**Tabla 6 :**

*Coeficiente para determinar el periodo*

Ct	Detalle
35	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente: a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte. b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.
45	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean: a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) Pórticos de acero arriostrados.
60	Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Nota: Fuente: (N.T.E.030, 2018)

Entonces los parámetros del análisis de la estructura en estudio son:

$$\begin{aligned} H_n &= 7.70 \\ C_{t_x} &= 60 \\ C_{t_y} &= 60 \end{aligned}$$

$$T_x = \frac{H_n}{C_{T_x}}$$

$$T_y = \frac{H_n}{C_{T_y}}$$

$$T_x = \frac{7.7}{60}$$

$$T_y = \frac{7.7}{60}$$

$$T_x = 0.13$$

$$T_y = 0.13$$

$$\Rightarrow T=0.13$$

- Factor de Amplificación Sísmica:

C = Factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo

T<sub>P</sub> = Período que define la plataforma del factor C.

T<sub>L</sub> = Período que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante.

Entonces:

$$\begin{aligned} T &= 0.13 \\ T_P &= 0.60 \\ T_L &= 2.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad T &< T_P \\ 0.13 &< 0.60 \end{aligned}$$

$$C = 2.5$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad T_P &< T < T_L \\ 0.60 &< 0.13 < 2.00 \end{aligned}$$

$$C = 2.5 \times \frac{T_P}{T}$$

$$C = 2.5 \times \frac{0.60}{0.13}$$

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad T &> T_L \\ 0.13 &> 2.00 \end{aligned}$$

$$C = 2.5 \times \frac{T_P \times T_L}{T \times T}$$

$$\Rightarrow C=2.50$$



- Sistemas Estructurales:

**Tabla 7 :**  
*Sistemas Estructurales*

Categoría	Descripción	R
Acero	Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8.00
	Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	7.00
	Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	6.00
	Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	8.00
	Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	6.00
	Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8.00
Concreto Armado	Pórticos Dual	8.00
	Muros estructurales	7.00
	Muros de ductilidad limitada	6.00
	Albañilería Armada o Confinada	4.00
	Madera (Por Escuerzos admisibles)	6.00
		7.00

*Nota:* Fuente (N.T.E.030, 2018)

- Irregularidades:

Las estructuras se clasifican como regulares o irregulares para poder adoptar el procedimiento adecuado para el análisis y el factor de reducción de fuerza sísmica.

Los factores de irregularidad serán únicos en ambas direcciones de análisis. Se tomará el menor valor, tanto de los factores de irregularidades en altura (Ia) como de los factores de irregularidades en planta (Ip). Y respecto, si la estructura no presenta irregularidades en altura o en planta, el factor de Ia o Ip tendrá un valor igual a 1.

Debe verificarse la existencia o no de los siguientes tipos de irregularidades:

- a) Irregularidad de rigidez - Piso Blando
- b) Irregularidad de resistencia - Piso Débil
- c) Irregularidad de rigidez extrema - Piso Blando

- d) Irregularidad extrema de resistencia - Piso Débil
- e) Irregularidad por discontinuidad extrema en los sistemas resistentes
- f) Irregularidad torsional extrema en planta.

**Entonces los parámetros del análisis de la estructura en estudio son:**

R = Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas  
 $R_0$  = Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas  
 $I_A$  = Factor de Irregularidad en altura  
 $I_P$  = Factor de Irregularidad en planta

S. Estructural en "X" : Dual	→	R <sub>x0</sub> =	7.00
S. Estructural en "Y" : Albañilería Confinada	→	R <sub>y0</sub> =	3.00
IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA	=		<b>NO</b>
IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA	=		<b>NO</b>

**COEFICIENTE DE REDUCCION DE LAS FUERAS SISMICAS**

$$R = R_0 \times I_A \times I_P$$

$$\Rightarrow R_x=7.00 \quad ; \quad R_y=3.00$$

#### 4.2.1.7 Análisis Estático

El análisis estático se refiere al desplazamiento de un sistema relacionado solamente a un grado de libertad con una rigidez efectiva. Este análisis se aconseja para un diseño preliminar y no para un diseño final. (Carmona & Rosas, 2015)

El análisis estático solo puede llevarse a cabo en estructuras regulares e irregulares que se encuentran ubicados en la zona sísmica 01; en las otras zonas sísmicas pueden ser usadas en estructuras regulares que no tengan más de 30 metros de altura y en estructuras de muros portantes que no tengan más de 15 metros de altura, aun cuando sean irregulares (N.T.E.030, 2018).

- Fuerza cortante en la base de la estructura:

V= Fuerza cortante en la base de la estructura

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

Entonces si:

Z = Factor de zona, que se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.

U = Factor de uso e importancia

C = Factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo

S = Factor del suelo

R = Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas

P = **Peso total de la edificación**

**CORTANTE DE DISEÑO EN X**

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

$$C = 2.50$$

$$S = 1.05$$

$$R_x = 7.00$$

$$V_x = \frac{Z.U.C.S}{R} .P$$

$$V_x = \frac{1.77}{7.00} .P$$

$$V_x = \color{green}{\quad} \quad 0.25 .P$$

**CORTANTE DE DISEÑO EN Y**

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

$$C = 2.50$$

$$S = 1.05$$

$$R_y = 3.00$$

$$V_y = \frac{Z.U.C.S}{R} .P$$

$$V_y = \frac{1.77}{3.00} .P$$

$$V_y = \color{green}{\quad} \quad 0.59 .P$$

$$\begin{aligned} \text{CORTANTE BASAL ESPERADO} &= Z.U.C.S.P \\ V_B &= 1.77 .P \end{aligned}$$

#### 4.2.1.8 Análisis Dinámico

A una estructura a la cual se le aplica acciones dinámicas externas va a experimentar respuestas que varían con el tiempo. Si se conocen las solicitaciones externas podrá proveerse el comportamiento de la estructura. Por lo que la respuesta de la estructura dependerá de sus modos de vibración, frecuencias y periodos.

El análisis dinámico puede realizarse mediante el análisis espectral o de tiempo historia (Pino, 2015).

También se define al espectro respuesta como los máximos valores respuesta de un sistema que está en función del periodo de la estructura. Siendo el

periodo el calculado a través de un procedimiento de análisis que considere una adecuada distribución espacial de masas y de rigidez (Pino, 2015).

- Análisis modal espectral:

- S<sub>a</sub> = Aceleración espectral  
 Z = Factor de zona, que se interpreta como la aceleración máxima del terreno con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años.  
 U = Factor de uso e importancia  
 C = Factor de amplificación de la respuesta estructural respecto de la aceleración en el suelo  
 S = Factor del suelo  
 R = Coeficiente de reducción de solicitaciones sísmicas  
 g = Aceleración de la gravedad

- Z = 0.45  
 U = 1.50  
 S = 1.05  
 R<sub>x</sub> = 8.00  
 R<sub>y</sub> = 6.00  
 TP = 0.60  
**g = 9.81**

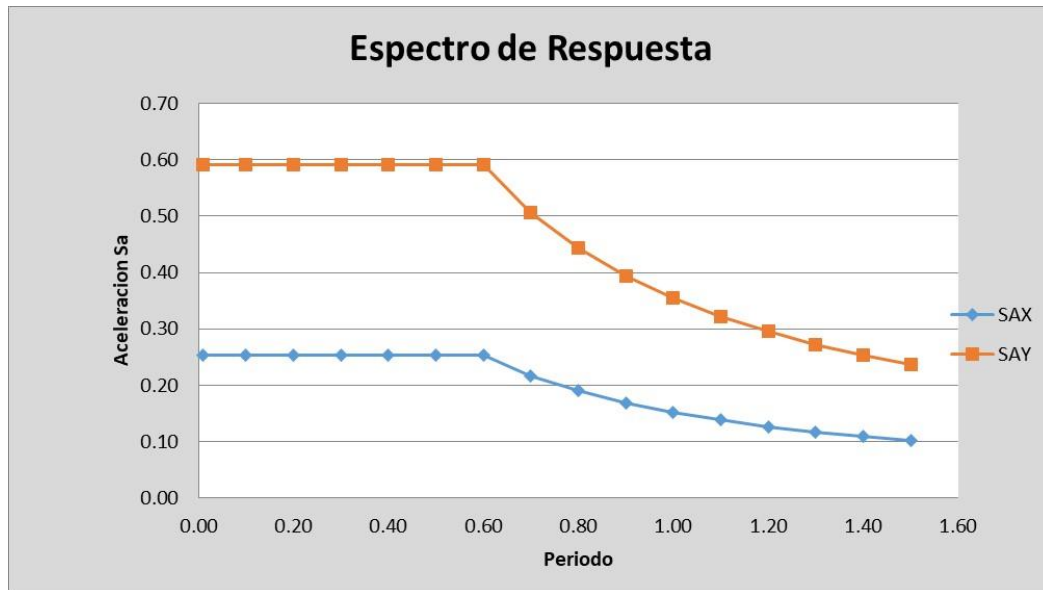
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

**Tabla 8 :**  
*Aceleración Espectral*

T	C	$\frac{ZUCS}{R_x} G$	$\frac{ZUCS}{R_y} G$	S <sub>ax</sub>	S <sub>ay</sub>
0.01	2.50	0.25	0.59	0.01 0.253	0.01 0.591
0.10	2.50	0.25	0.59	0.1 0.253	0.1 0.591
0.20	2.50	0.25	0.59	0.2 0.253	0.2 0.591
0.30	2.50	0.25	0.59	0.3 0.253	0.3 0.591
0.40	2.50	0.25	0.59	0.4 0.253	0.4 0.591
0.50	2.50	0.25	0.59	0.5 0.253	0.5 0.591
0.60	2.50	0.25	0.59	0.6 0.253	0.6 0.591
0.70	2.14	0.22	0.51	0.7 0.217	0.7 0.506
0.80	1.88	0.19	0.44	0.8 0.19	0.8 0.443
0.90	1.67	0.17	0.39	0.9 0.169	0.9 0.394
1.00	1.50	0.15	0.35	1 0.152	1 0.354
1.10	1.36	0.14	0.32	1.1 0.138	1.1 0.322
1.20	1.25	0.13	0.30	1.2 0.127	1.2 0.295
1.30	1.15	0.12	0.27	1.3 0.117	1.3 0.273
1.40	1.07	0.11	0.25	1.4 0.108	1.4 0.253
1.50	1.00	0.10	0.24	1.5 0.101	1.5 0.236

*Nota:* Fuente Elaboración Propia

**Figura 41:**  
*Espectro Respuesta*



*Nota:* Fuente Elaboración Propia

## 4.2.2 *Diseño estructural del edificio aislado*

### 4.2.2.1 **Estructuración del Edificio Aislado**

La estructura aislada del Pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, va a presentar las mismas características mencionadas que en la estructura convencional, en cuanto a la configuración de las dimensiones de sus elementos estructurales que conforman la edificación, siendo la única diferencia la incorporación del sistema de aislación con dispositivos de aislamiento tipo elastomérico.

Cabe aclarar que la siguiente tesis evaluara los parámetros sísmicos de respuesta obtenidos de la superestructura y no a la edificación completa (subestructura y superestructura), de modo que sea factible realizar una comparación de cotejo de resultados entre la estructura convencional y la estructura aislada, que es el objetivo de la presente tesis. Por lo tanto, no se ve por conveniente realizar el predimensionamiento de la subestructura de la edificación aislada.

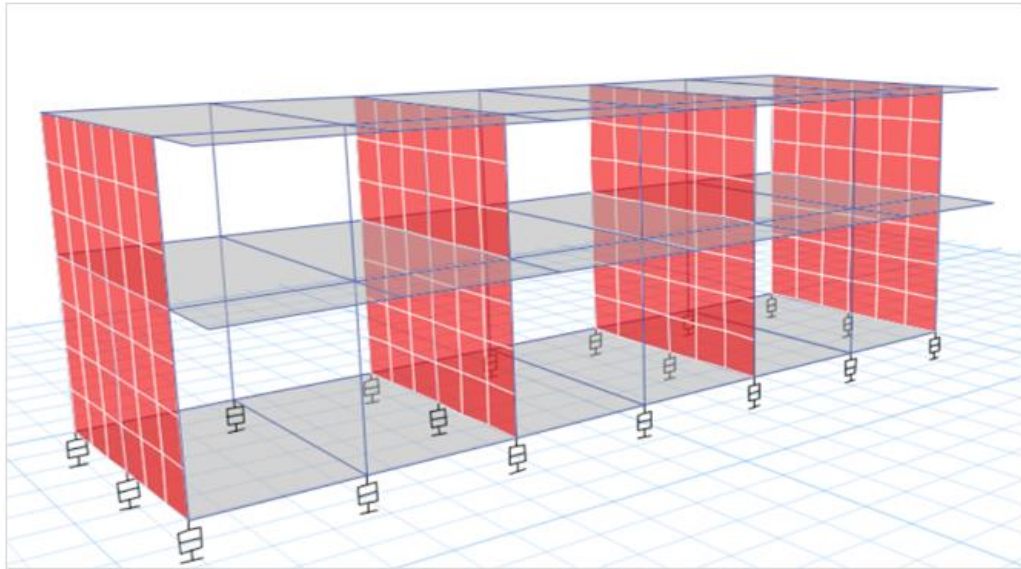
Finalmente, de poder presentarse los resultados esperados en el análisis comparativo, la edificación aislada podrá disminuir la sección en cuanto a sus elementos que conforman la superestructura (vigas, columnas, losas, muros), esto mismo, se cataloga como un diseño definitivo, el cual puede realizarse y puede ser recomendable desde el punto de vista económico. Se ve por conveniente, que al obtener este diseño definitivo recién se podrá definir el diseño de la subestructura, lo cual no forma parte del análisis de la presente tesis.

La estructura en estudio, cuenta con 18 asientos de apoyo tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB), los cuales se localizan en los elementos estructurales de tal manera que se logrará transmitir las cargas de la superestructura a la subestructura, donde se incluirá vigas de conexión, sobre nivel superior de los aisladores. La ubicación de estos dispositivos es de tal forma que evite y contrarreste la torsión de la edificación. Las unidades de aislamiento se encuentran a 1.00 m. por debajo del piso terminado del primer nivel de la edificación, para el acceso a las unidades de aislamiento por el personal al momento de su construcción y mantenimiento.

Y con la finalidad de que todo el sistema se comporte como un solo elemento, se logrará mediante una losa, que servirá como base de la superestructura, esta losa tiene un sentido unidireccional y tiene un espesor de 0.20 m. En esta misma tendrá vigas entre principales y secundarias.

**Figura 42 :**

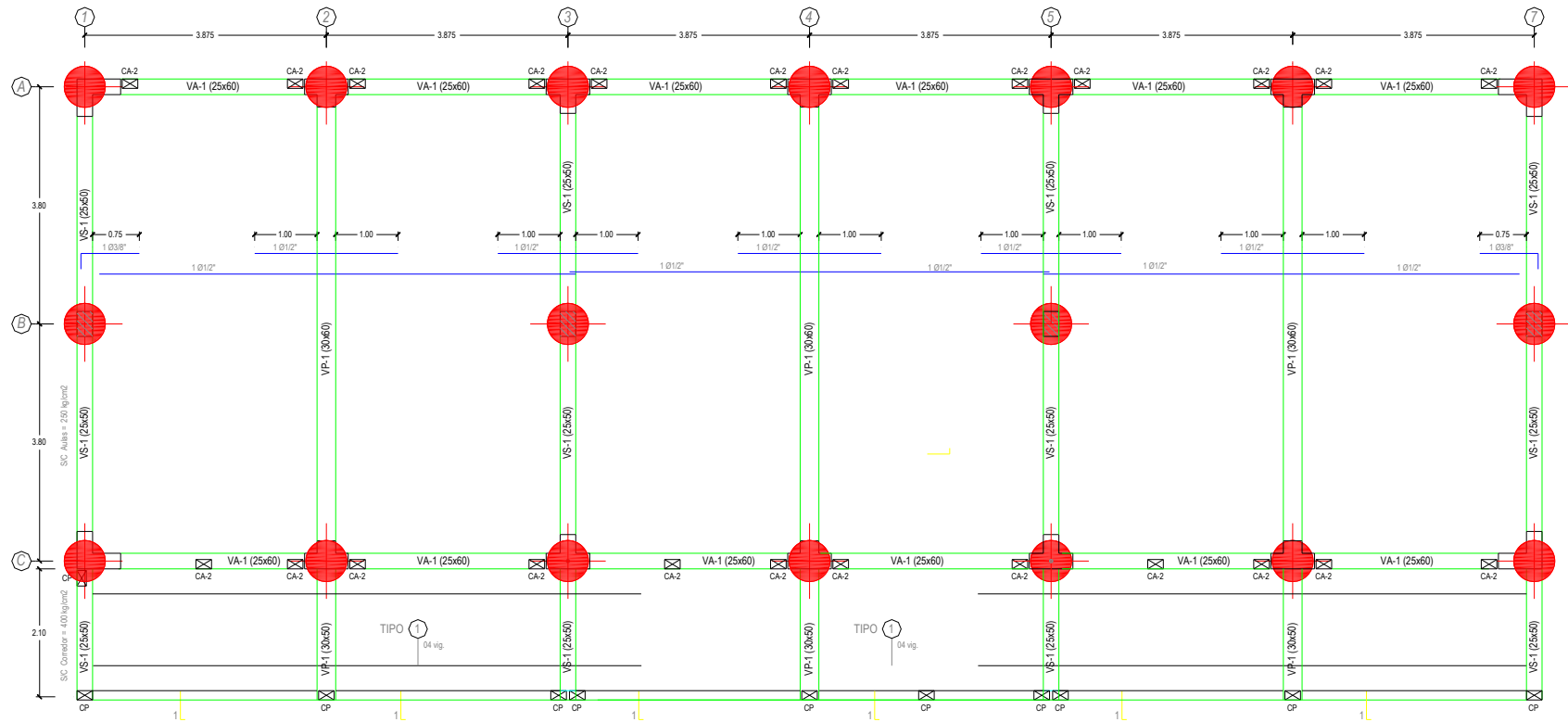
*Estructura Aislada con Aisladores Elastoméricos con Núcleo de Plomo (LRB) - Vista 3D*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 43**

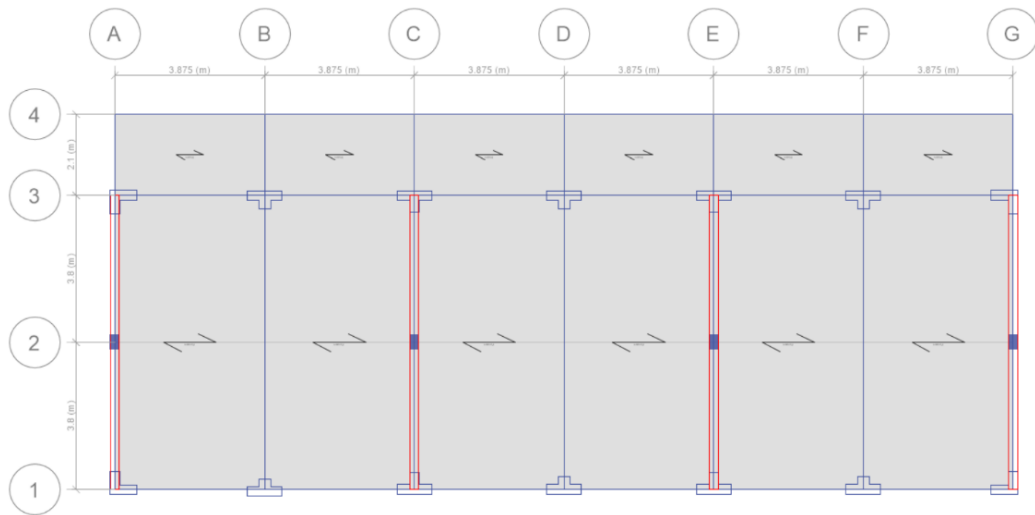
**Ubicación de los aisladores en la base de la superestructura**



*Nota:* Fuente: Propia

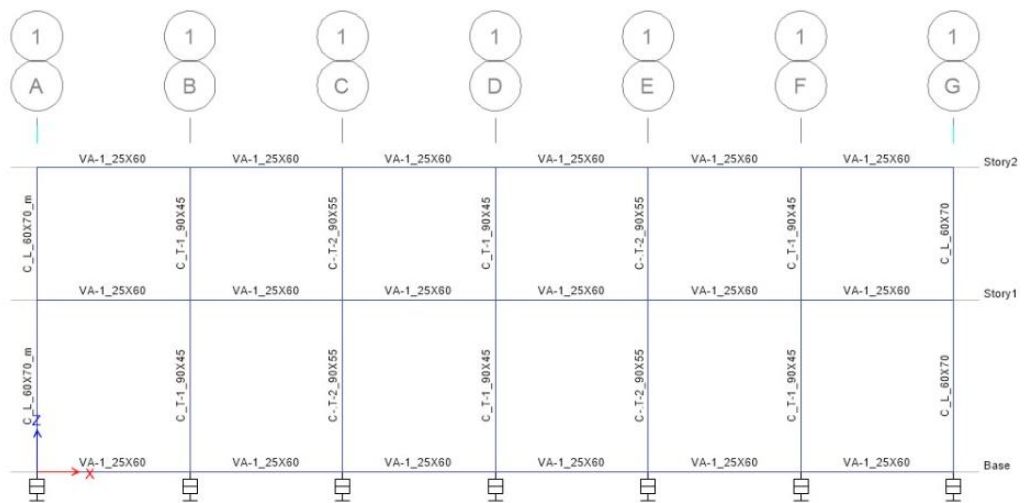


**Figura 44 :**  
*Estructura Aislada - Vista en Planta*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 45 :**  
*Estructura Aislada - Vista Frontal*



*Nota:* Fuente: Software Etabs V. 16

**Figura 46 :**

*Estructura Aislada - Vista Lateral*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

#### 4.2.2.2 Diseño del Aislador tipo Elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB)

El diseño de aisladores sísmicos, pueden seguir diferentes metodologías, siendo una alternativa trabajar con un diseño propio de aislador y otro que se obtiene del catalogo del fabricante, tomando en cuenta las propiedades geométricas y dinámicas de los materiales que conforman estos dispositivos.

Para la presente investigación, se tomará consideraciones preliminares obtenidas del catálogo de las empresas que están en el rubro de la fabricación de aisladores sísmicos (BRIGDSTONE), para un aislador tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB). Siendo las consideraciones preliminares las siguientes:

- La cantidad de aisladores que se emplearan en el sistema de aislación y su ubicación.
  - Peso total de la superestructura que recae sobre el sistema de aislación.
  - Determinar el área del aislador, propiedades geométricas y dinámicas según el catálogo de fábrica.
  - Carga máxima ( $P_{max}$ ) bajo la cual estará actuando el aislador bajo su vida útil, la cual está dada por la combinación de peso propio más sobrecarga y sismo.
  - Carga mínima ( $P_{min}$ ) bajo la cual estará actuando el aislador durante su vida útil.
- (Arriagada, 2005)

Para el procedimiento para el diseño del aislador LRB, se tomará en consideración los datos iniciales ya mencionados. El diseño es similar a un aislador HDR, debido a la incorporación del núcleo de plomo.

Se determinará algunos datos para el sistema:

- a) Se establece los límites para la deformación de corte directa máxima,  $\gamma_s$ .

- b) Se calcula el desplazamiento de diseño ( $D_D$ ) y el desplazamiento máximo ( $D_M$ ).
- c) Se estima un valor del amortiguamiento.
- d) Se decide por la forma de la sección transversal.
- e) Se establece el valor de la tensión de fluencia del plomo.
- f) Se establece la tensión admisible de compresión,  $\sigma_{AC}$
- g) Se determina el sistema de conexión de los aisladores.

### Requerimientos generales de diseño

#### Primero:

Emplearemos la normativa americana de diseño de aisladores, ASCE/SEI - 7, para determinar los parámetros de movimiento de terreno, los cuales damos a conocer a continuación:

#### **Tabla:**

Parámetros del movimiento de terreno.

MOVIMIENTO DE TERRENO		
Aceleración espectral del sismo considerado máximo (MCE)	$S_S$	1.00 g
Aceleración espectral MCE en un periodo de 1.00 seg.	$S_1$	0.42 g
Coefficiente de sitio en periodos cortos	$F_a$	1.00
Coefficiente de sitio en periodos largos	$F_v$	1.60
Aceleración espectral MCE ajustada para la clase de sitio, en periodos cortos	$S_{MS} = (F_a S_S)$	1.00 g
Aceleración espectral MCE ajustada para la clase de sitio, en periodos largos	$S_{M1} = (F_v S_1)$	0.67 g
Aceleración espectral del sismo de diseño (DE), en periodos cortos	$S_{DS} = (2/3 S_{MS})$	0.67 g
Aceleración espectral del sismo de diseño (DE), en periodos largos	$S_{D1} = (2/3 S_{M1})$	0.45 g
Peso efectivo sísmico en toda la estructura	Peso	1,640.32 klb
Factor de importancia sísmico en estructuras aisladas sísmicamente	$I_e$	1.00
Coefficiente de modificación de respuesta para el sistema convencional	$R$	8.00
Coefficiente de modificación de respuesta para el sistema con base aislada	$R_I = 3/8 R \leq 2.0$	2.00

#### Segundo:

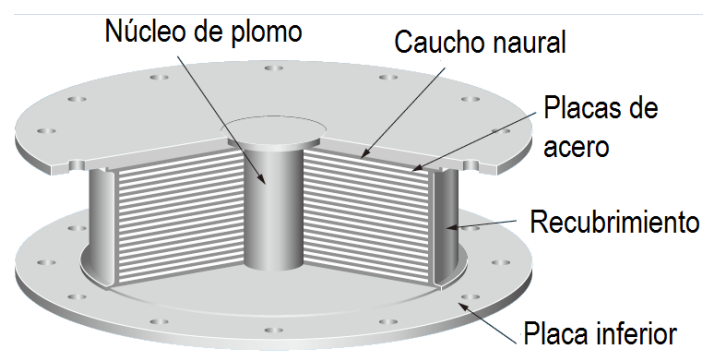
Luego, se realiza un proceso iterativo respecto al amortiguamiento efectivo y periodo efectivo para un desplazamiento de diseño y máximo, de tal forma de lograr una correlación a un máximo de 1.00, con la finalidad de optimizar los parámetros que nos otorga el fabricante respecto a un aislador elastomérico con núcleo de plomo.

**Tabla:**  
**Parámetros optimizados del diseño del Aislador LRB**

PARAMETROS PARA DISEÑO DE AISLADOR LRB	L-RB		UND
	DBE	MCE	
Cantidad de Aisladores	18.0		-
Total de Aisladores a Usar	18.0		-
Peso Sísmico Total	7296.5		kN
Masa Sísmica Total	743.8		kN-s <sup>2</sup> /m
Masa por cada Aislador (por Tipo)	41.3		kN-s <sup>2</sup> /m
Módulo de Corte de la Goma, Gr (para LRB)	0.39		-
Módulo Aparente de Corte del Plomo, $\alpha_r$ (para LRB)	0.58		N/mm <sup>2</sup>
Peso del Aislador	6.70		kN
Diámetro Exterior del Aislador, D0	600.00		mm
Área Efectiva en el Plano, A	274900.00		mm <sup>2</sup>
Espesor Total de la Goma, H	200.00		mm
Número de Capas de Goma	37.50		-
Espesor de cada Capa de Goma, tr	5.33		mm
Altura Total	407.90		mm
Diámetro efectivo del Núcleo de Plomo	100.00		mm
Área efectiva del Núcleo de Plomo, Ap	7853.98		mm <sup>2</sup>
Esfuerzo de Corte en Fluencia del Núcleo de Plomo, $\sigma_{pb}$	7.97		N/mm <sup>2</sup>
Desplazamientos Totales, DD y DM	56.21	110.92	mm
Desplazamientos Totales, DTD y DTM	75.90	149.78	mm
Deformación por Corte, Y	0.28	0.55	-
Factor de Corrección a la Rigidez Post-fluencia, CKd (para LRB)	1.37	1.16	-
Factor de Corrección a la Resistencia Característica, CQd (para LRB)	0.92	1.00	-
Relación de Amortiguamiento Equivalente, Heq(Y) o $\beta$	0.32	0.28	N/mm <sup>2</sup>
Rigidez al Corte de la Goma Laminada, Kr (para LDR)	529.18		kN/m
Rigidez al Corte Adicional por el Núcleo de Goma, Kp (para LDR)	22.89		kN/m
Rigidez Equivalente al Corte, Keq	1782.51	1203.86	kN/m
Rigidez Postfluencia, K2	758.24	639.74	kN/m
Rigidez Inicial, K1	9857.14	8316.64	kN/m
Resistencia Característica, Qd	57.57	62.57	kN
Energía por Ciclo, $\Delta W$	11486.90	25722.24	kN-mm
Desplazamiento de Fluencia, Dy	6.33	8.15	mm
Fuerza de Fluencia, Fy	62.37	67.79	kN
Fuerza en el Asiento de Apoyo	100.19	133.53	kN
Factor B	1.89	1.75	-
Aporte a la Rigidez Total	32085.16	21669.56	kN/m
Aporte a la Energía por Ciclo	206764.26	463000.37	kN-mm
Módulo de Young, E	2.20		N/mm <sup>2</sup>
Módulo Volumétrico, $E_{\infty}$	1176.00		N/mm <sup>2</sup>
Factor de Corrección de E por Rugosidad, k	0.85		-
Primer Factor de Forma del Material, S1	28.13		-
Segundo Factor de Forma del Material, S2	3.00		-
Módulo de Compresión Efectivo, EC	841.67		N/mm <sup>2</sup>
Factor de Corrección al Módulo de Young, $\alpha_V$ (para LDR)	1.23		-
Rigidez a Compresión Vertical, KV	1463616.54		kN/m
Masa por cada Aislador (por Tipo)	41.32		kN-s <sup>2</sup> /m
Periodo Efectivo	0.96	1.16	s
Amortiguamiento	149.07	100.99	kN-s/m

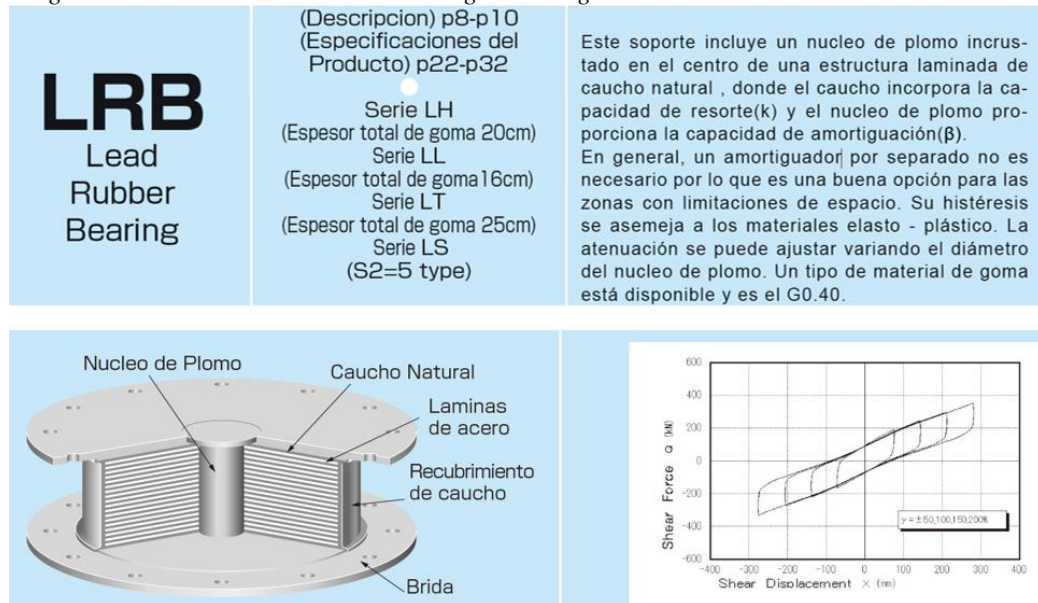
En la actualidad existen diferentes ofertas de varias casas de fabricantes, por lo que las dimensiones de los asientos de apoyo elastomérico con núcleo de plomo (LRB) deben sujetarse a su disponibilidad, asimismo deben darse coordinaciones con los fabricantes, dando a conocer que dichos dispositivos cuenten con las propiedades afines al diseño preliminar (Carmona & Rosas, 2015).

**Figura 47 :**  
*Partes de un Aislador LRB*

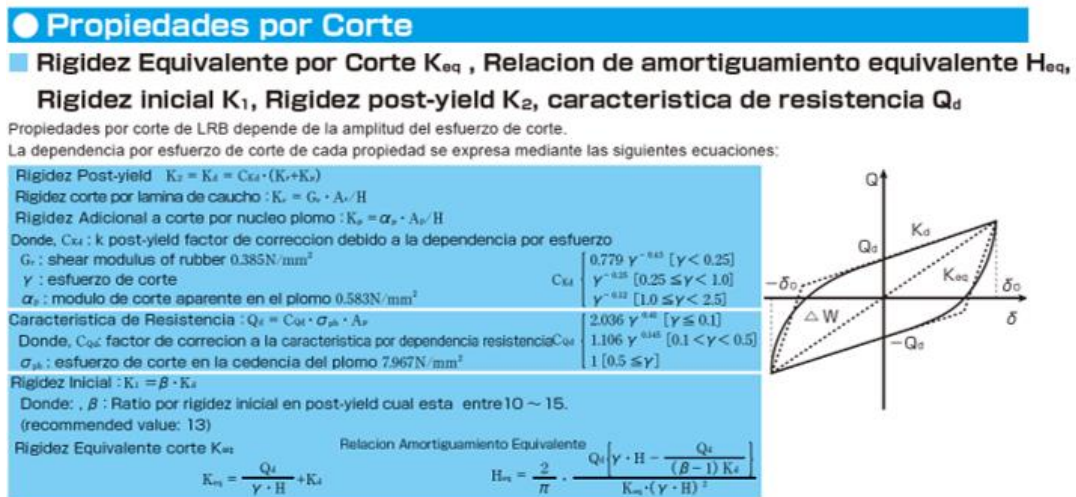
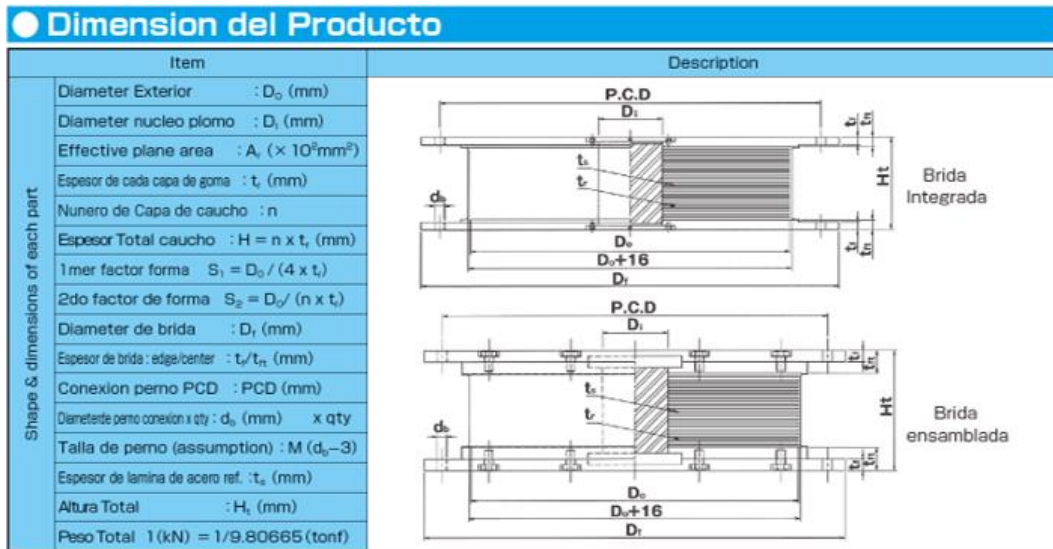


*Nota:* Fuente (BRIDGESTONE, 2013)

Seguidamente, emplearemos, el diseño del sistema aislamiento sísmico de los catálogos de aisladores sísmicos con núcleo de plomo BRIDGESTONE.

**Figura 48 :***Diagrama Histerético del Aislador LRB según catalogo**Nota:* Fuente (BRIDGESTONE, 2013)

**Figura 49 :**  
*Parámetros de diseño de los aisladores con núcleo de plomo L-RB según catálogo.*



Nota: Fuente (BRIDGESTONE, 2013)



**Figura 50 :**  
Propiedades del Aislador LRB.

● LH-Series (Total Rubber Thickness 200mm)																Code		
																Designation	Compound	Shear Modulus (N/mm <sup>2</sup> )
																G4	G0.40	0.385
Characteristics		LH060G4					LH065G4					LH070G4						
		C	B	A	G	H	C	B	A	G	H	C	B	A	G	H		
Physical Dimensions	Outer Diameter (mm)	600					650					700						
	Inner Diameter (mm)	100	110	120	130	140	110	120	130	140	150	120	130	140	150	160		
	Effective Plane Area ( $\times 10^2 \text{mm}^2$ )	2749	2732	2714	2695	2673	3223	3205	3186	3164	3142	3735	3716	3695	3672	3647		
	Thickness of One Rubber Layer (mm)	4.0					4.4					4.7						
	Number of Rubber Layers (-)	50					45					43						
	Total Rubber Thickness (mm)	200					198					202						
	First Shape Factor (-)	375					36.9					37.2						
	Second Shape Factor (-)	3.00					3.28					3.46						
	Diameter of Flange (mm)	900					950					1000						
	Thickness of Flange (mm)	22/28					22/28					22/28						
	Diameter of Bolt Center (mm)	775					825					875						
	Diameter (Number) of Fixing bolts (mm)	$\phi 33 \times 12$					$\phi 33 \times 12$					$\phi 33 \times 12$						
	Supposed Bolt (-)	M30					M30					M30						
	Thickness of One Reinforcing Steel Plate (mm)	3.1					3.1					3.1						
	Height (mm)	407.9					390.4					388.3						
Total Weight (KN)	6.7	6.7	6.8	6.8	6.9	7.3	7.3	7.4	7.4	7.5	8.2	8.2	8.3	8.4	8.4			
Compression Properties	Critical Stress (N/mm <sup>2</sup> ) $\gamma=0 \sigma_{cr}$	(24.4)					(30.3)					(34.7)						
	Ultimate Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	$(\gamma_0, \sigma_0)$	(0.00, 24.4)					(0.00, 30.3)					(0.00, 34.7)					
		$(\gamma_1, \sigma_1)$	-					-					-					
		$(\gamma_2, \sigma_2)$	(3.00, 2.44)					(3.28, 3.03)					(3.46, 3.47)					
	Compressive Stiffness ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	1670					1970					2250						
	Nominal Long Term Compressive Stress (N/mm <sup>2</sup> )	6.0 <sup>+0.9</sup> <sub>-1.4</sub>					7.3 <sup>+1.1</sup> <sub>-1.7</sub>					8.1 <sup>+1.2</sup> <sub>-1.9</sub>						
	Nominal Long Term Column Load (kN)	1650	1640	1630	1620	1600	2350	2330	2320	2300	2290	3020	3010	2990	2970	2950		
Allowable Tensile Stress ( $\gamma=100\%$ ) (N/mm <sup>2</sup> )	1.0					1.0					1.0							
Shear Properties ( $\gamma=100\%$ )	Initial Stiffness ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	7.18	7.20	7.22	7.25	7.27	8.51	8.53	8.56	8.59	8.62	9.67	9.70	9.73	9.76	9.79		
	Post Yield Stiffness ( $\gamma=100\%$ ) ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	0.552	0.554	0.555	0.557	0.560	0.655	0.657	0.658	0.661	0.663	0.744	0.746	0.748	0.750	0.753		
	Characteristic Strength (kN)	63	76	90	106	123	76	90	106	123	141	90	106	123	141	160		
	Equivalent shear stiffness ( $\times 10^3 \text{kN/m}$ )	0.87	0.93	1.01	1.09	1.17	1.04	1.11	1.19	1.28	1.37	1.19	1.27	1.35	1.45	1.55		
	Equivalent Damping Ratio (-)	0.219	0.244	0.266	0.285	0.302	0.223	0.246	0.266	0.284	0.300	0.227	0.247	0.266	0.283	0.298		

Nota: Fuente (BRIDGESTONE, 2013)

#### **4.2.2.3 Análisis Estático No Lineal**

La norma ASCE/SEI-7 indica que, para un análisis estático también conocido como el método de fuerza lateral equivalente. Está basado en los desplazamientos para determinar la respuesta de una estructura aislada, sus ecuaciones incorporan valores dependientes de la amplitud de la rigidez y el amortiguamiento efectivo.

Este método tiene varias limitaciones, por lo que su empleo servirá para un pre diseño de un sistema de aislamiento, el mismo que puede compararse con el método modal espectral y el método análisis tiempo – historia, no formando parte de este cotejo de datos, como uno de los objetivos de la presente investigación.

Para la norma ASCE/SEI 7, tendremos los siguientes parámetros para el diseño estático no lineal de un aislador tipo elastomérico con núcleo de plomo, que detallamos en la siguiente tabla.

**Tabla:**  
Diseño preliminar estático no lineal

DISEÑO PRELIMINAR		
Amortiguamiento efectivo inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$\beta_{\text{eff},D} =$	32.30 %
Amortiguamiento efectivo inicial asumido para el desplazamiento máximo	$\beta_{\text{eff},M} =$	27.40 %
Coefficiente de amortiguamiento inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{\sum E_D}{k_{D\text{max}} D_D^2} \right)$	1.88
Coefficiente de amortiguamiento inicial asumido para el desplazamiento máximo	$BM =$	1.75
Periodo efectivo inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\text{min}} g}}$	0.95 s
Periodo efectivo inicial asumido para el desplazamiento máximo	$TM =$	1.16 s
Dimensión en planta más larga de la estructura	$d =$	76.28 pie
Dimensión en planta más corta de la estructura medida perpendicular a "d"	$b =$	24.93 pie
Excentricidad real medida en planta entre el centro de masas de la estructura por encima de la interface de aislación y el centro de rigidez del sistema de aislación	$e_{\text{real}} =$	1.12 pie
Excentricidad accidental (5 por ciento de la dimensión en planta más larga)	$e_{\text{accidental}} =$	3.81 pie
Excentricidad real medida en planta entre el centro de masas de la estructura por encima de la interface de aislación y el centro de rigidez del sistema de aislación, más la excentricidad accidental	$e = e_{\text{real}} + e_{\text{accidental}}$	4.93 pie
Distancia entre los centros de rigidez del sistema de aislación y el elemento de interés medida perpendicular a la dirección de la carga sísmica en consideración	$y$	38.14 pie
Desplazamiento de diseño del sistema de aislación	$D_D = \left( \frac{g}{4\pi^2} \right) \frac{S_{D1} T_D}{B_D}$	2.21 plg
desplazamiento máximo del sistema de aislación	$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M}$	4.37 plg
Desplazamiento total del sistema de aislación	$D_{TD} = D_D \left[ 1 + y \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$	2.99 plg
Desplazamiento máximo total del sistema de aislación	$D_{TM} = D_M \left[ 1 + y \left( \frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$	5.90 plg
	DTD / DD =	1.35
	DTM / DM =	1.35
Rigidez mínima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento de diseño	$k_{D\text{min}} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g}$	185.70 klb/plg
Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento de diseño	$k_{D\text{max}} = \frac{1.1 k_{D\text{min}}}{0.90}$	268.23 klb/plg
Rigidez mínima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento máximo de diseño	$k_{M\text{min}} = \frac{1.1 k_{M\text{min}}}{0.90}$	179.90 klb/plg
Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento máximo de diseño	$k_{M\text{min}} = \frac{4\pi^2 W}{T_M^2 g}$	124.55 klb/plg
Cortante en la base del sismo de diseño	$V_{DE} = D_D \times k_{D\text{max}}$	593.57 klb
Coefficiente del sismo de diseño	$\text{Coef}_{DE} = V_{DE} / \text{Peso}$	0.36
Cortante en la base del sismo de diseño reducida por el factor R1	$V_S = \frac{V_D}{R_I} = \frac{k_{D\text{max}} D_D}{R_I}$	296.78 klb
Coefficiente del sismo de diseño reducido por el factor R1	$\text{Coef}_S = V_S / \text{Peso}$	0.18
Fuerza lateral requerida para verificar la estabilidad y la capacidad última de los elementos del sistema de aislación	$V_{MCE} = k_{D\text{max}} D_M$	1,171.34 klb
Coefficiente para verificar la estabilidad y la capacidad última de los elementos del sistema de aislación	$\text{Coef}_{MCE} = V_{MCE} / \text{Peso}$	0.71
La cortante de diseño en la base para una estructura con base fija con el mismo peso	$V = C_s W = \frac{S_{D1}}{T \left( \frac{R}{T} \right)} W$	386.77

#### 4.2.2.4 Análisis Dinámico no Lineal

Una acción dinámica es por la cual existe una variación en el tiempo, siendo rápida y dando origen a fuerzas de inercia comparables en magnitud con las fuerzas estáticas.

Y para poder llevar a cabo un análisis a la estructura, es necesario definir su modelo mecánico y definir el movimiento del terreno, de modo que el análisis dinámico puede realizarse mediante procedimientos de análisis espectral o de tiempo historia (Luque, 2016).

La realización de un análisis dinámico tiempo – historia, tiene dentro de sus ventajas que puede ser empleado en diversas estructuras con asientos de apoyo y sistema estructural, con el cual se obtendrá resultados más óptimos y reales en cuanto al comportamiento de un sistema estructural aislado frente a un evento sísmico. Siendo el análisis de un modelo no lineal, como mejor opción, ya que nos mostrara un comportamiento real de la estructura aislada.

En lo que respecta al análisis de tiempo – historia, debe considerarse tres pares de registros como mínimo, los cuales registran la aceleración del suelo conformada por tres direcciones, siendo dos componentes horizontales y una vertical, los cuales deben ser escalados respectivamente (Arriagada, 2005).

Este análisis en el presente trabajo de tesis consideraremos tres pares de registros como mínimo (conformados por dos componentes horizontales y una vertical) debidamente escalados; esto corresponde que sus dos magnitudes de tipo de suelo y de distancia a la falla fuente de mecanismo del sismo sean equivalentes con el sismo de diseño, estas dos magnitudes deben ser aplicadas a la vez, por lo que la suma vectorial de los dos desplazamientos en cada momento será el desplazamiento máximo del sistema de aislación.

Definición de registros o acelerogramas, son diagramas que relacionan la magnitud de las aceleraciones, y las cuales han sido registradas en el suelo en un tiempo transcurrido desde el inicio del evento. (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012). Los registros de eventos sísmicos considerados para el siguiente trabajo fueron los siguientes:

**Figura 51 :**

*Registro Sísmico – Lima 03/11/1974*

```

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME      : Parque de la Reserva
STATION CODE      : PRQ
STATION LOCATION  : Parque de la Reserva, Cercado de Lima, Lima
LATITUDE          : -12.07
LONGITUDE         : -77.04
ALTITUDE (m)     : 130
ACCELEROMETER MODEL : Acelerógrafo Analógico
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 50

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE              : October 03, 1974
ORIGIN TIME (Local) : 09:21:00
LATITUDE          : -12.50
LONGITUDE         : -77.98
DEPTH (km)        : 13.00
MAGNITUDE         : 6.6 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 09:21:00
NUMBER OF SAMPLES   : 4899
MAXIMUM ACCELERATION : -194.21  180.09  100.30
DATA UNITS          : cm/s2

4. COMMENTS
BASELINE CORRECTED

```

*Nota:* Fuente CISMID

**Figura 52 :**  
*Registro Sísmico - Moquegua 23/06/2001*

```

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME      : César Vizcarra Vargas
STATION CODE     : MOQ001
STATION LOCATION  : Rolando Catacora Sports Complex - Regional Government of
LATITUDE         : -17.186
LONGITUDE        : -70.928
ALTITUDE (m)     : 1461
ACCELEROMETER MODEL : RION SM-10B
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE             : June 23, 2001
ORIGIN TIME (Local) : 15:33:00
LATITUDE        : -16.08
LONGITUDE       : -73.77
DEPTH (km)      : 33.00
MAGNITUDE       : 6.9 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 15:33:00
NUMBER OF SAMPLES  : 19892
MAXIMUM ACCELERATION : -295.15  219.99  160.74
DATA UNITS         : cm/s2

4. COMMENTS
BASELINE CORRECTED. TRAPEZOIDAL BANDPASS (0.05/0.10-20/50) FILTERED.

```

*Nota:* Fuente CISMID

**Figura 53:***Registro Sísmico – Ica 15/08/2007*

```

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME      : UNICA
STATION CODE     : ICA002
STATION LOCATION : San Luis Gonzaga National University, Ica, Ica
LATITUDE        : -14.088
LONGITUDE       : -75.732
ALTITUDE (m)    : 409
ACCELEROMETER MODEL : RION SM-10B
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE             : August 15, 2007
ORIGIN TIME (Local) : 18:40:58
LATITUDE        : -13.67
LONGITUDE       : -76.76
DEPTH (km)      : 40.00
MAGNITUDE       : 7.0 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 18:40:58
NUMBER OF SAMPLES  : 21807
MAXIMUM ACCELERATION : -272.82    333.66    192.04
DATA UNITS        : cm/s2

4. COMMENTS
BASELINE CORRECTED. BANDPASS (0.01-25) FILTERED. PROCESSED THANKS TO DR. AKIO ABE
AND TOKYO SOIL RESEARCH CO., LTD.

```

*Nota:* Fuente CISMID

#### 4.2.2.5 Análisis Sísmico

Para realizar el análisis estructural se elaboró el modelo computacional de la estructura través del software ETABS, Primeramente, fue considerado un sistema convencional, al cual se ingresaron los parámetros referentes a las cargas actuantes, dimensiones de los elementos y los materiales.

De igual forma, en el software ETABS se realizó el modelado de la edificación aislada, en el cual fue considerada la misma superestructura del modelado convencional, al cual se ha incluido debajo de ella un nivel de base, que incluye vigas y losas. Modelado al cual se permitirá ingresar los parámetros de un modelo bilineal para poder representar los asientos de apoyo LRB para poder

realizar el respectivo análisis no lineal tiempo – historia. Siendo los datos a ingresar los siguientes: (Solórzano, 2019)

- Espectro de diseño.

Para llevar a cabo el análisis dinámico con asientos de apoyo, se debe definir los parámetros de análisis y diseño sísmico, a partir de un modelo ya desarrollado en la estructura convencional, establecidos en la Norma E030 (RNE), a excepción de los factores de uso o importancia, de verificación de irregularidad y de reducción sísmica (Flores & Cahuata, 2015).

La estructura aislada con asientos de apoyo tendrá un factor de uso, con un valor mínimo de  $U=1.5$  (N.T.E.030, 2018).

Los factores de irregularidad serán únicos en ambas direcciones de análisis. Se tomará el menor valor, tanto de los factores de irregularidades en altura ( $I_a$ ) como de los factores de irregularidades en planta ( $I_p$ ). Si la estructura no presenta irregularidades en altura o en planta, el factor de  $I_a$  o  $I_p$  será igual a 1.

De tal modo que el control de la irregularidad de la superestructura se efectuará del mismo modo que se realizó en la estructura con sistema convencional, teniéndose una irregularidad estructural en altura = 1 ( $I_a=1.00$ ) y una irregularidad estructural en planta = 1 ( $I_p=1.00$ ) respectivamente (Solórzano, 2019).

Es necesario precisar que el “factor de reducción de fuerza sísmica (R)” que se refiere al coeficiente entre el cual se divide la fuerza sísmica amplificada del espectro de aceleraciones y, “factor de reducción (FR)”, que se refiere al número de veces que se reduce la fuerza representativa entre la obtenida del análisis del edificio empotrado y de su versión aislada.



Las estructuras con asientos de apoyo usaran un factor de reducción sísmico igual a  $3/8R$ , por lo que su valor no deberá ser menor a 1 ni mayor a 2. En el caso del de la estructura con asientos de apoyo se ha considerado un factor  $R$  de 1, esto ante el hecho que dicho sistema no puede tolerar daño. Y por ser el caso que la superestructura del modelo aislado, tiene una doble finalidad de preservar los contenidos de la edificación, y mantener la distribución de esfuerzos sobre el sistema de aislación. Y conociendo que la superestructura es regular, no es necesario reducir el factor  $R$  por condiciones de regularidad (Benavente & Traverso, 2013).

Por lo tanto, tendremos nuestro espectro de diseño con siguientes parámetros mencionados antes y los cuales detallamos a continuación:

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

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

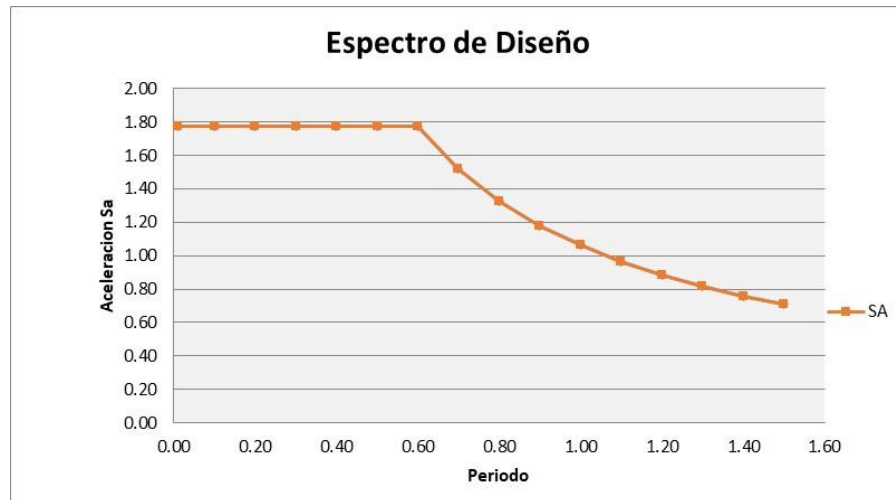
$$C = 2.50$$

$$S = 1.05$$

$$g = 9.81$$

$$\mathbf{R = 1.00}$$

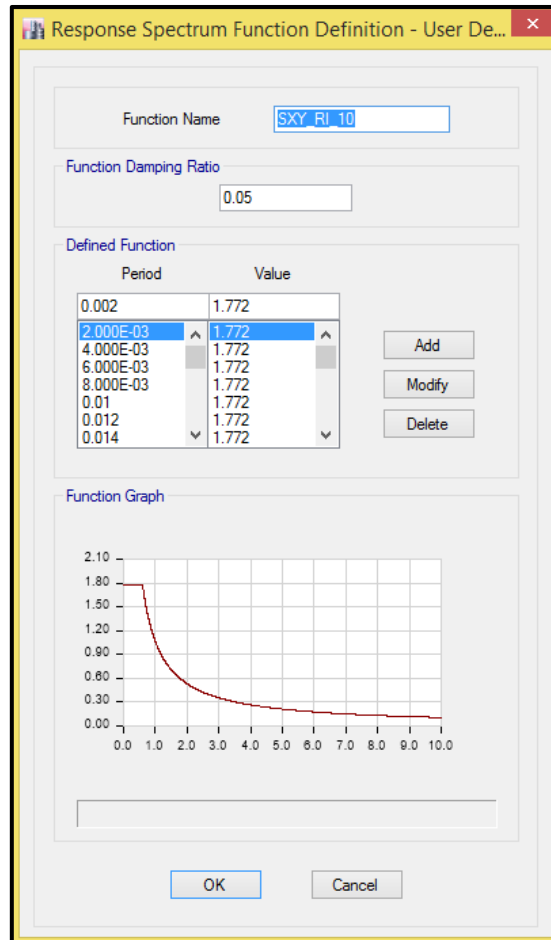
**Figura 54 :**  
*Espectro de Diseño, R=1*



*Nota:* Fuente (Benavente & Traverso, 2013)

Debemos ingresar el espectro de diseño ( $R=1$ ) en el software ETABS, tal como se muestra a continuación:

**Figura 55 :**  
*Espectro de Diseño R=1, Software ETABS*



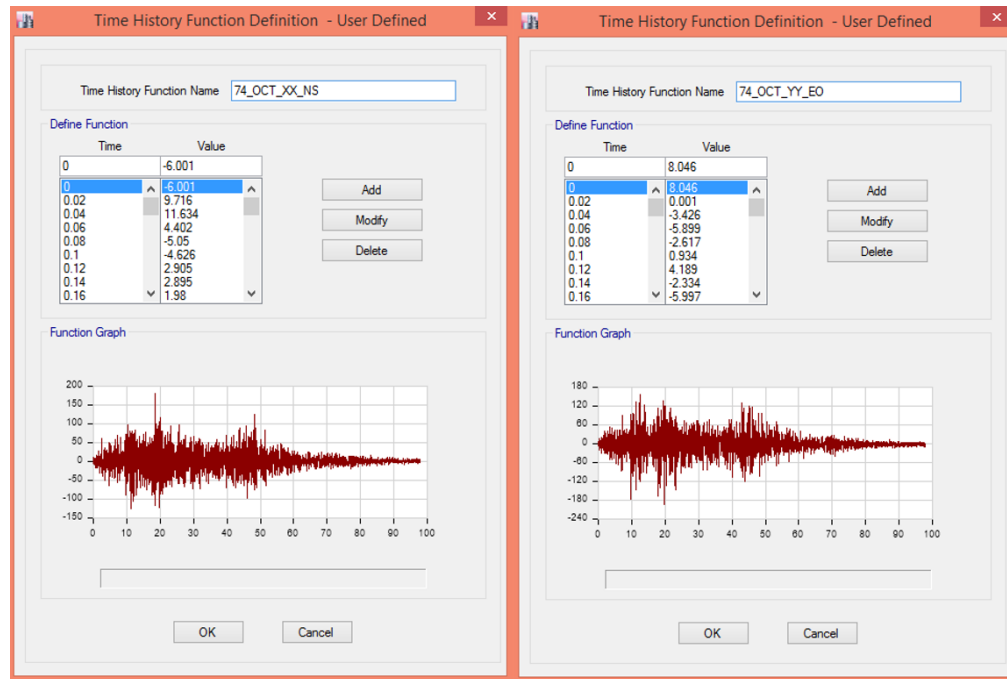
*Nota:* Fuente: Software Etabs V. 16

#### - Registros sísmicos

Para el análisis tiempo – historia, debemos ingresar al Software ETABS, los 03 registro sísmicos de los acelerogramas que se presentaron cerca de la zona de estudio (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012). Siendo la toma de estos datos con intervalos de tiempo de 0.01 o 0.02. Respecto a los registros sísmicos, fueron

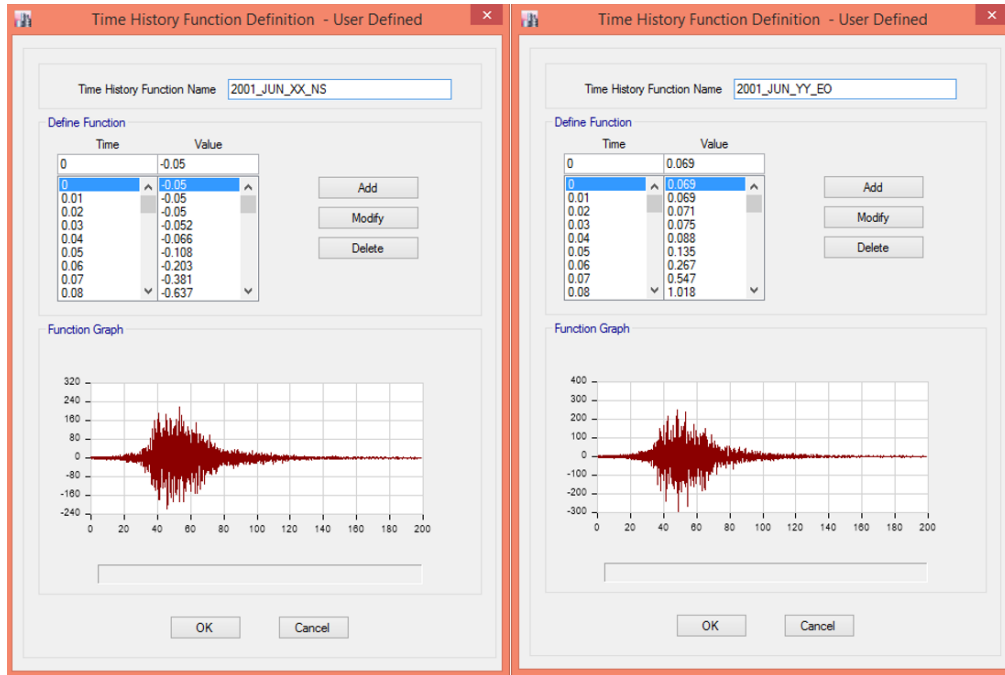
detallados anteriormente, y en el Software ETABS, fueron ingresados los registros como tenemos a continuación:

**Figura 56 :**  
*Acelerograma - Lima 03/10/1974*



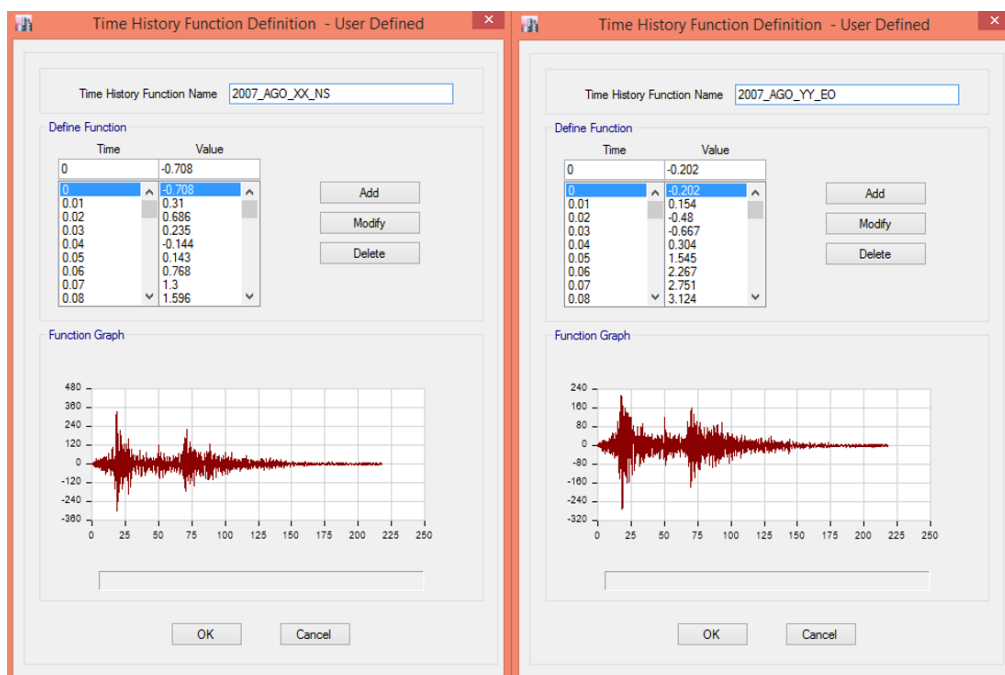
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 57 :**  
*Acelerograma - Moquegua 23/06/2001*



Nota: Fuente: Software Etabs V. 16

**Figura 58 :**  
*Acelerograma - Ica 15/08/2007*



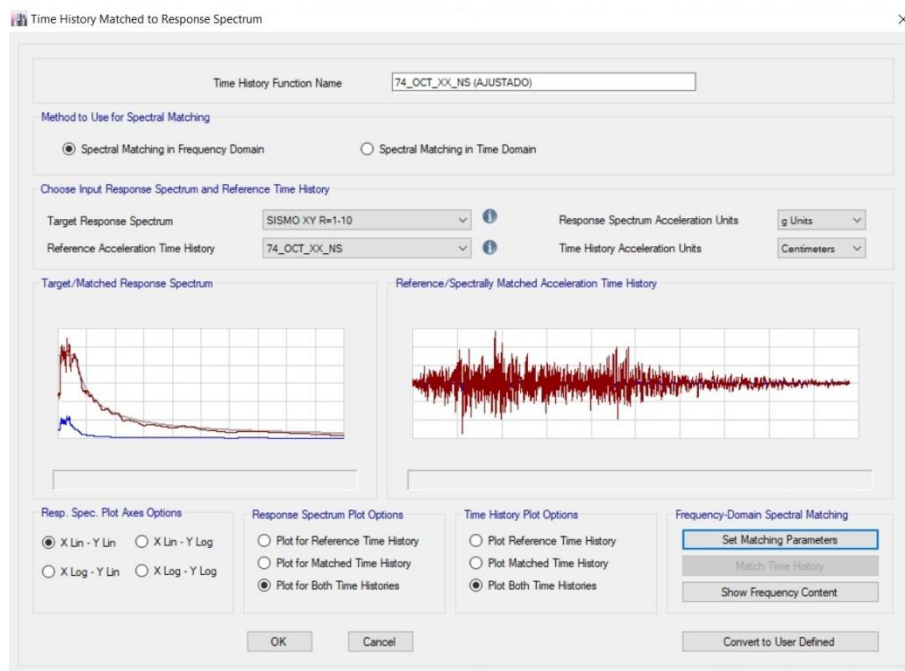
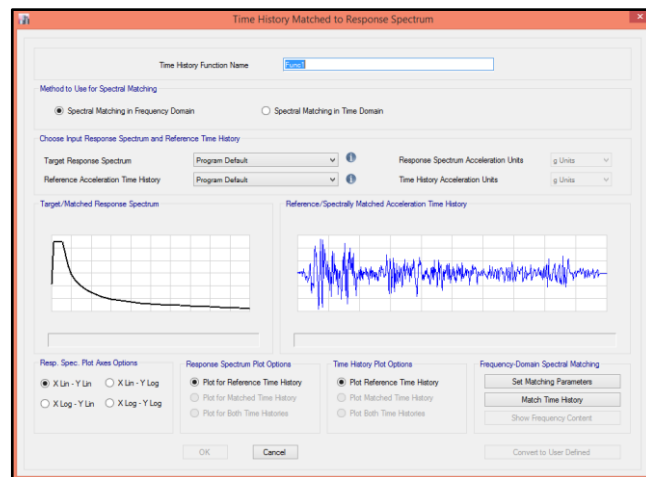
Nota: Fuente Software Etabs V. 16

En los acelerogramas, por lo mencionado en párrafos anteriores, al realizar un análisis tiempo- historia emplearemos un espectro sísmico de respuesta como resultado de ajustar los acelerogramas al espectro de diseño con un  $R=1$ .

Por ello, en el Software ETABS, ingresaremos un espectro de diseño  $R=1$ , y los respectivos registros sísmicos a considerar.

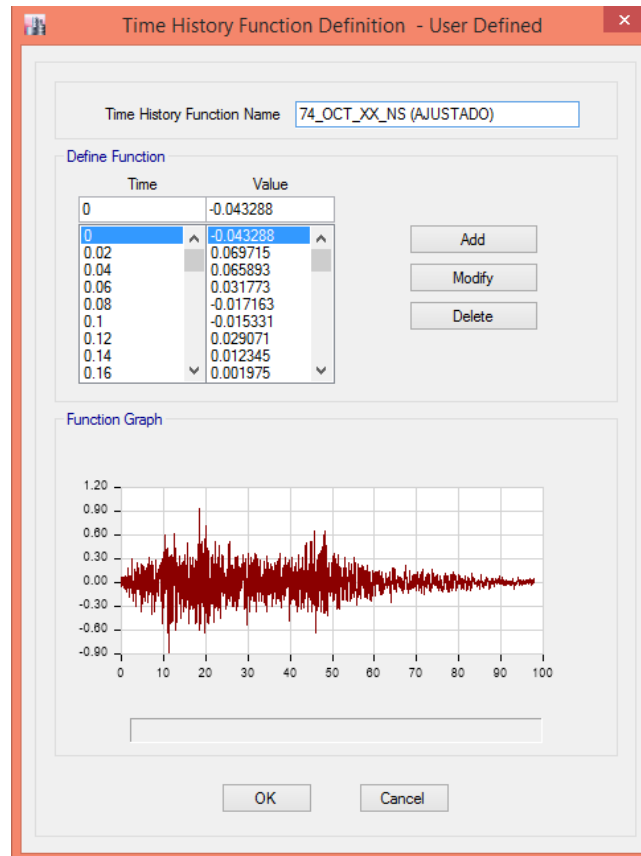
**Figura 59 :**

*Escalado de acelerograma*



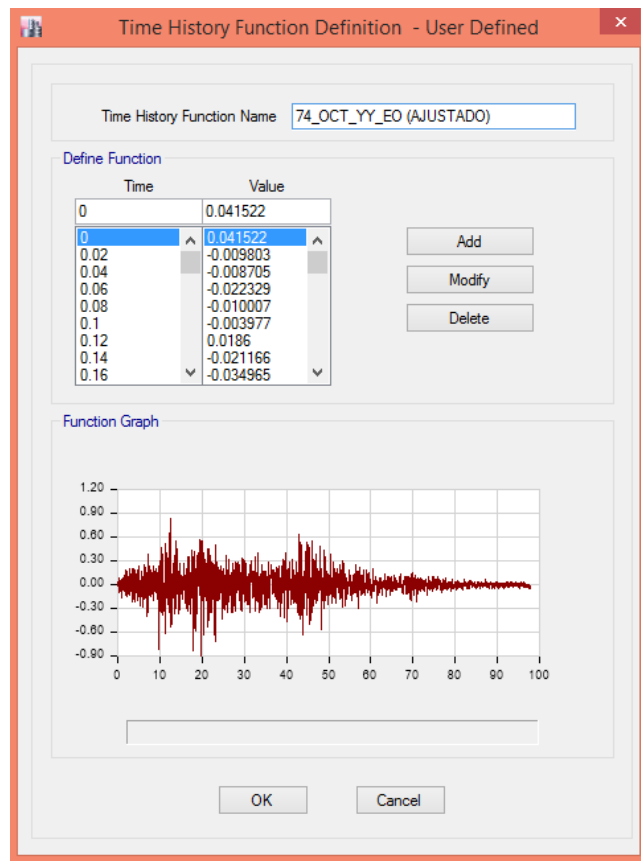
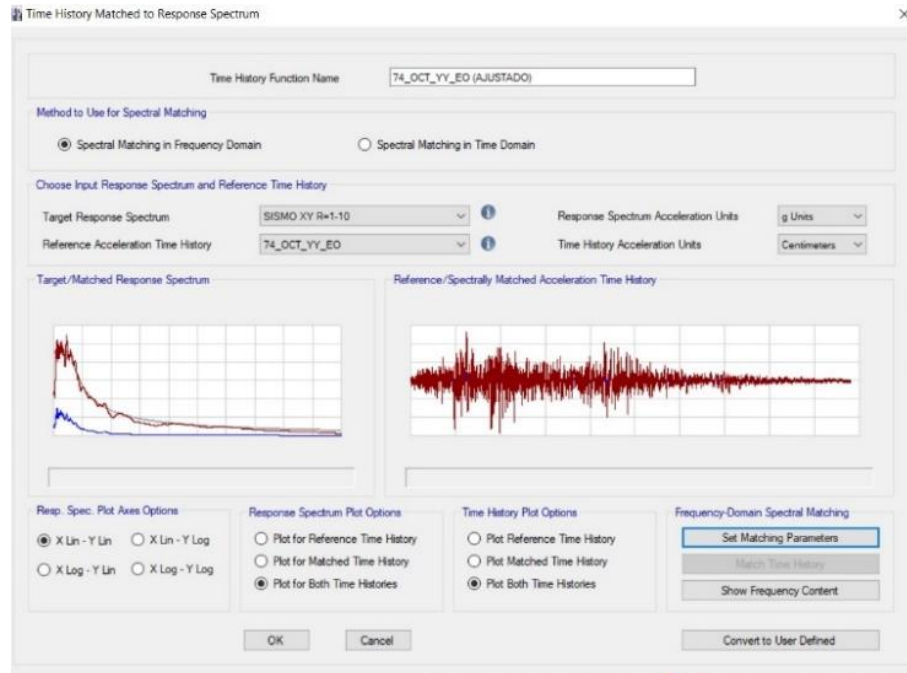
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 60 :**  
*Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Lima 03/10/1974*



*Nota:* Fuente: Software Etabs V. 16

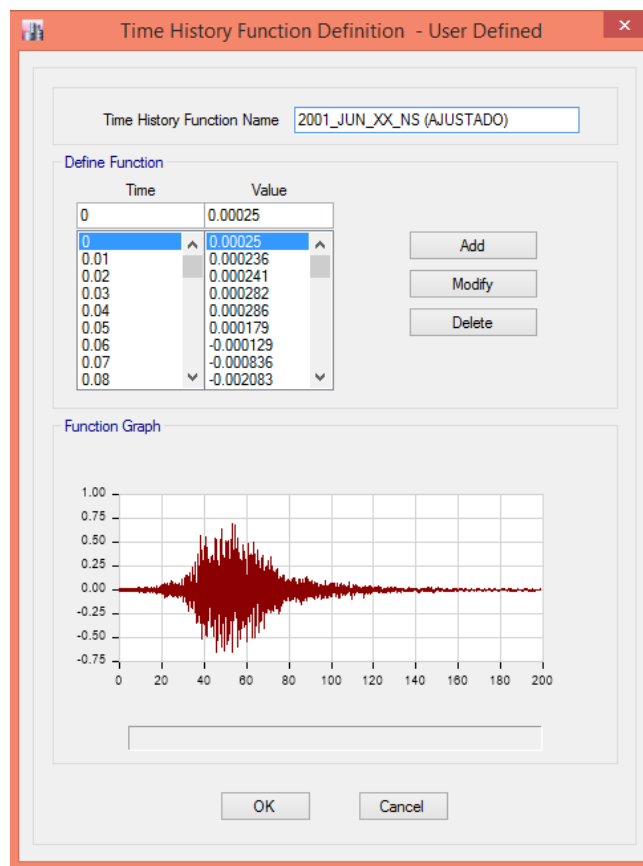
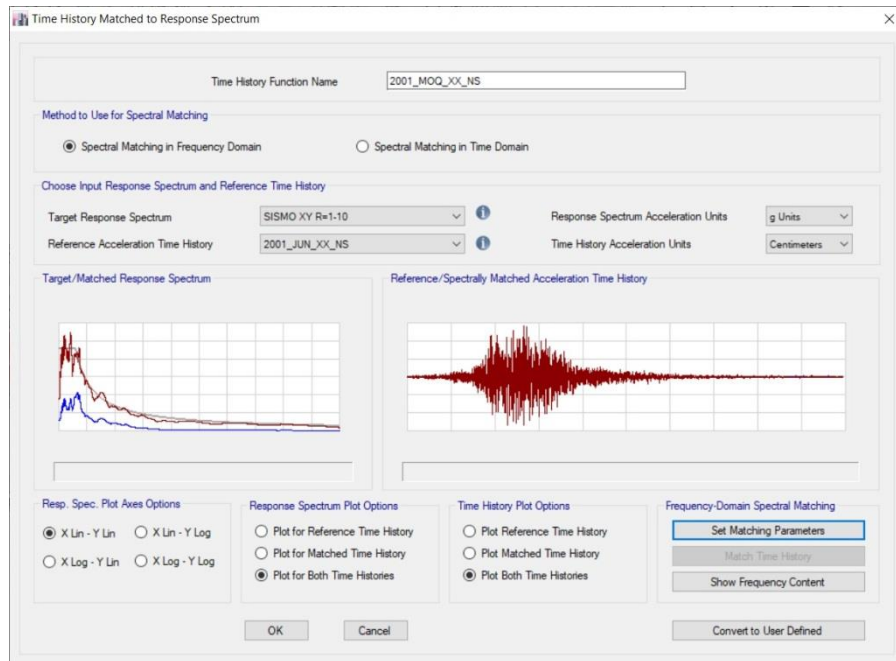
**Figura 61 :**  
*Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Lima 03/10/1974*



Nota: Fuente: Software Etabs V. 16



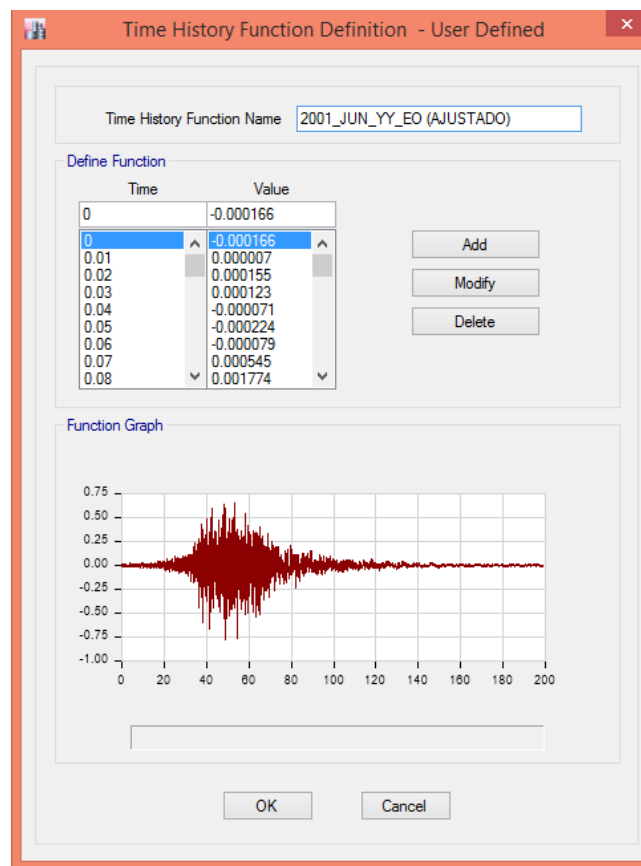
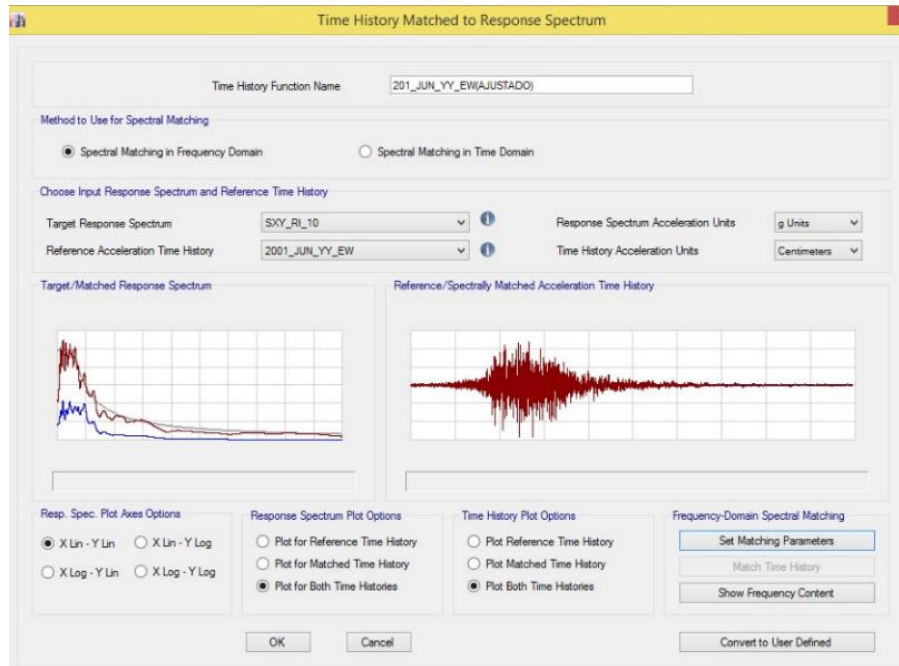
**Figura 62 :**  
*Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Moquegua 26/06/2001*



Nota: Fuente Software Etabs V. 16

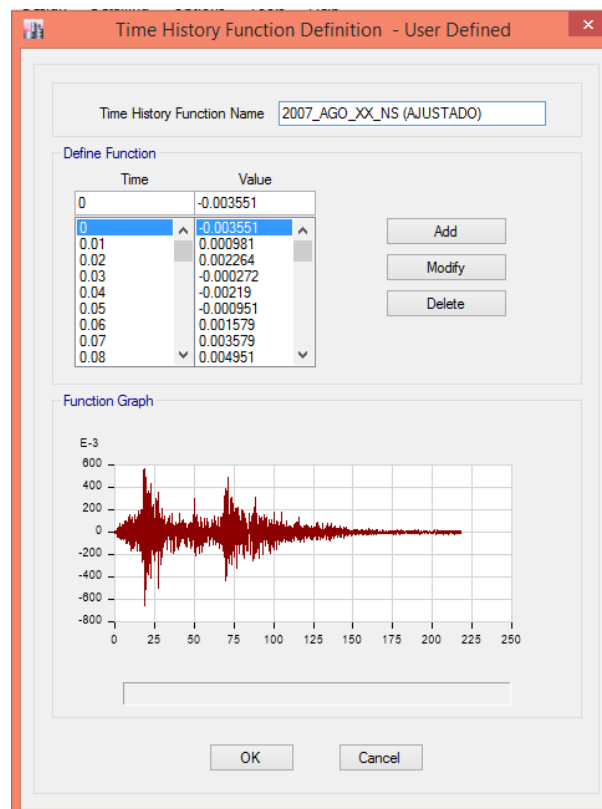
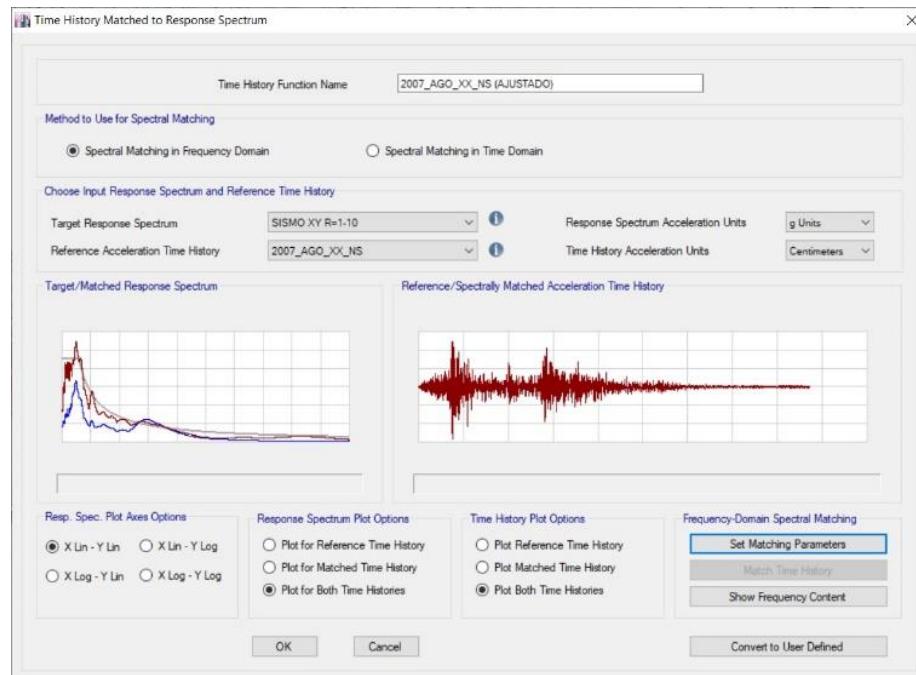
**Figura 63 :**

*Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Moquegua 26/06/2001*



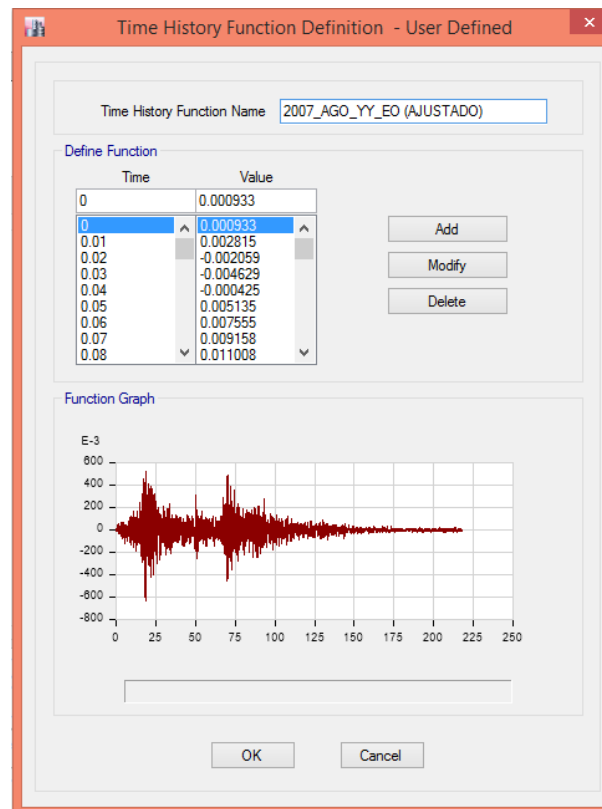
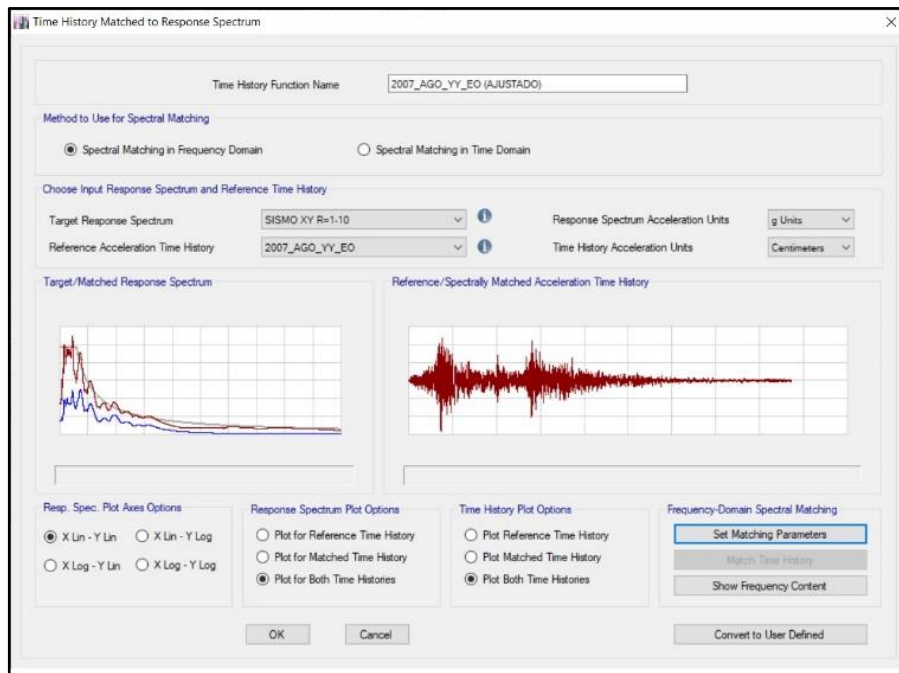
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 64 :**  
*Acelerograma escalado en dirección (x-x) – Ica 15/08/2007*



Nota: Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 65 :**  
*Acelerograma escalado en dirección (y-y) – Ica 15/08/2007*



Nota: Fuente Software Etabs V. 16

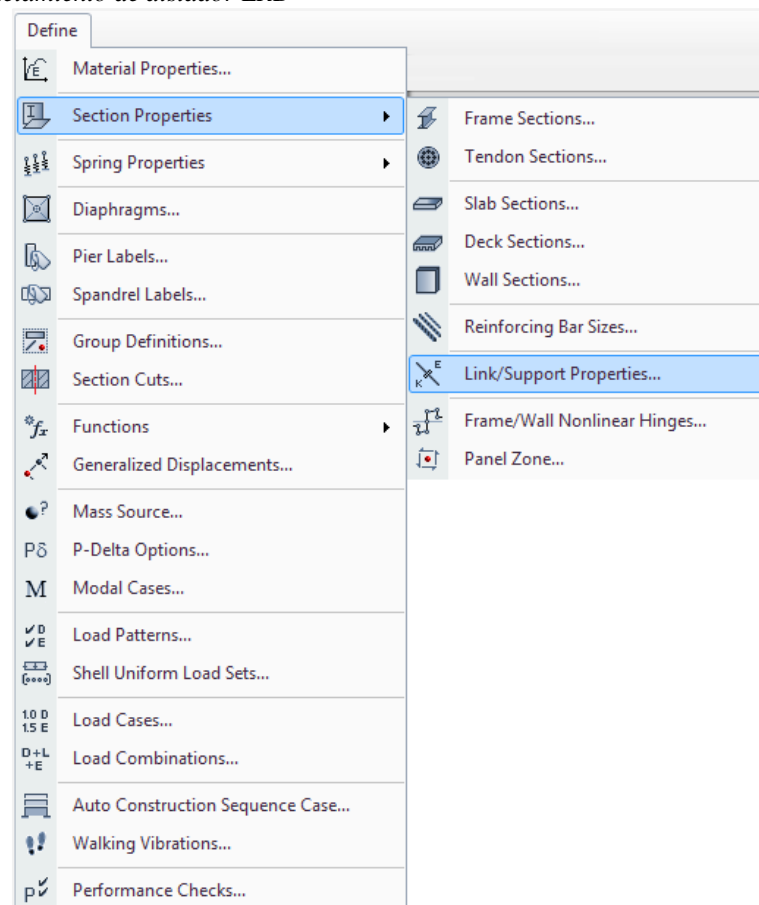
- Modelamiento del Aislador

Para ingresar las propiedades del asiento de apoyo tipo elastomeric con núcleo de plomo en el Software Etabs, se considera los procedimientos indicados a continuación.

En el Software Etabs. En la barra de menús seleccionaremos el icono Define, posteriormente ingresaremos al menú Section Properties y finalmente hacemos click en Link/Support Properties.

**Figura 66 :**

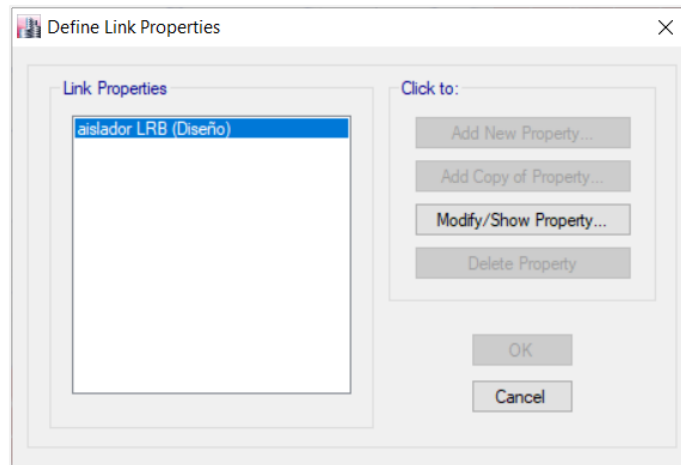
*Paso 01 modelamiento de aislador LRB*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

Posteriormente, ello en la nueva ventana emergente, hacemos click en Add New Property.

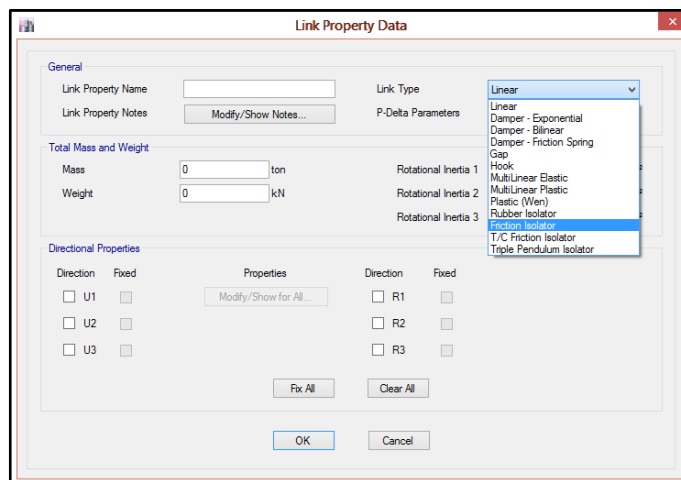
**Figura 67 :**  
Paso 02 modelamiento de aislador tipo LRB



Nota: Fuente Software Etabs V. 16

En la nueva sub-ventana donde colocaremos el nombre y tipo de aislador a modelar.

**Figura 68 :**  
Paso 03 modelamiento de aislador tipo LRB



Nota: Fuente Software Etabs V. 16

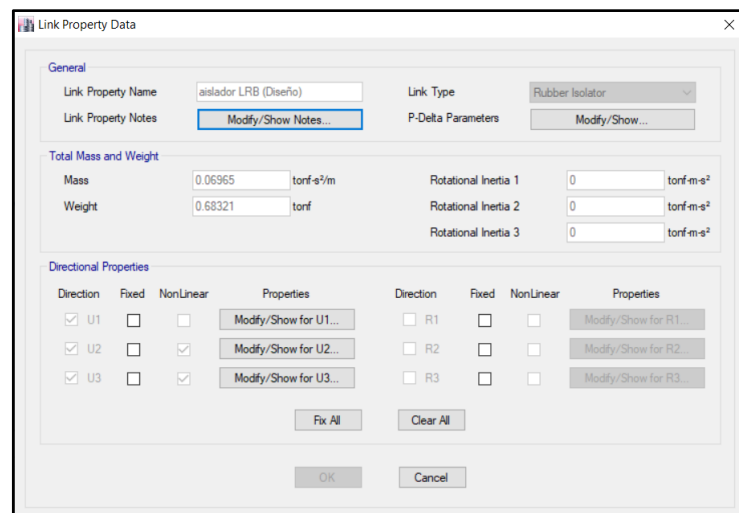
Las variaciones de frecuencia de los aisladores son modeladas empleando “Link property Data” o “propiedades de enlace”, con velocidad de amortiguación dependiente y exponentes no lineales, el elemento RUBBER ISOLATOR se utiliza para modelar el aislador elastomérico con los datos obtenidos en la memoria de cálculo.

**Tabla 9 :**  
*Propiedades del aislador LRB*

DESCRIPCION	L-RB		UND
	DBE	MCE	
Número Total de Aisladores por Tipo =		18	
Masa =		0.683	ton
Peso =		6.700	Kn
Rigidez Efectiva (U2, U3) =	1782.509	1203.864	kN/m
Amortiguamiento Efectivo (U2, U3) =	149.070	100.989	kN-s/m
Rigidez (U2, U3) =	9857.140	8316.636	kN/m
Resistencia a la Fluencia (U2, U3) =	62.370	67.787	kN
Relación de la Rigidez Post-Fluencia (U2, U3) =	0.077	0.077	-
Rigidez Efectiva Vertical (U1) =		1463616.540	kN/m

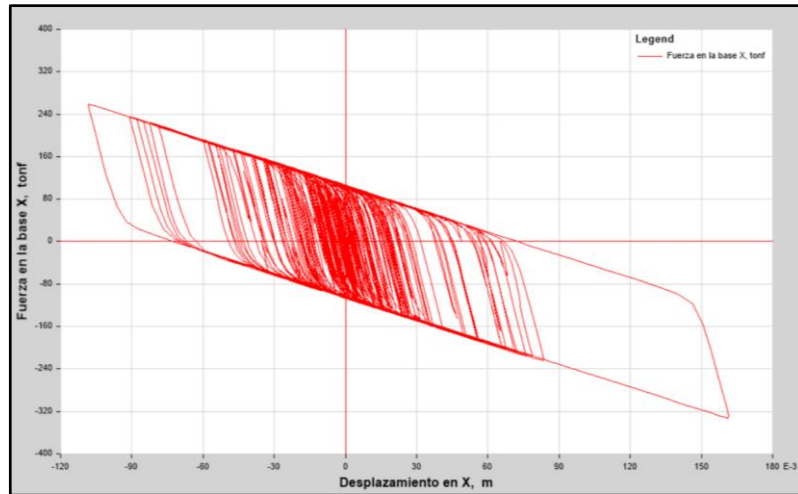
*Nota: Fuente Elaboración Propia.*

**Figura 69 :**  
*Paso 04 modelamiento de aislador tipo LRB*



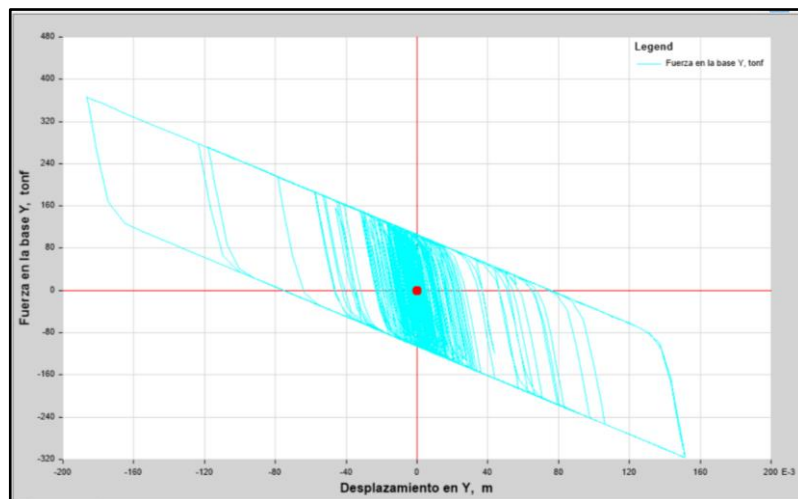
*Nota: Fuente Software Etabs V. 16*

**Figura 70 :**  
*Histerética del Aislador LRB (x-x) - Lima 03/10/1974*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

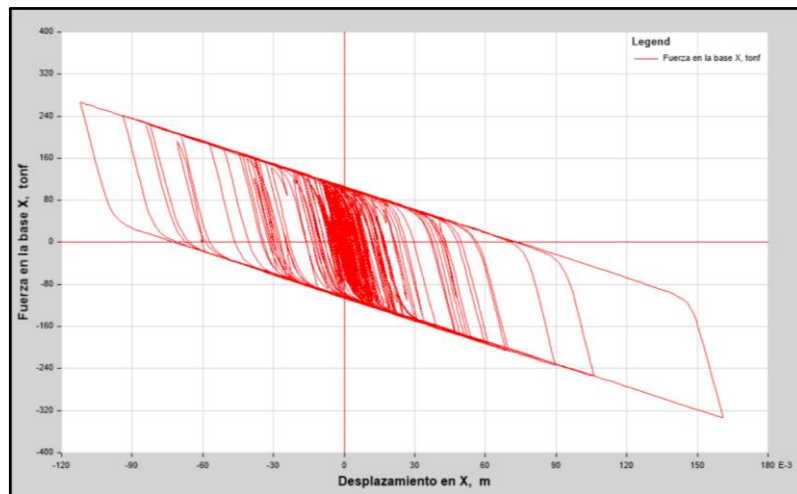
**Figura 71 :**  
*Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Lima 03/10/1974*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

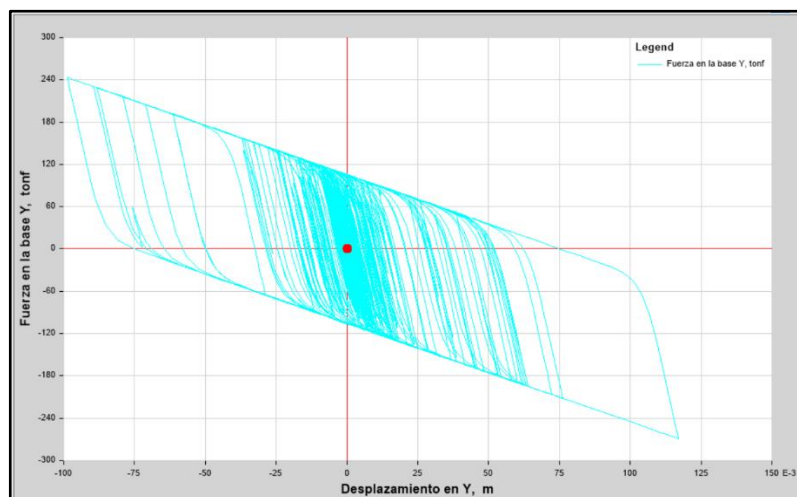


**Figura 72 :**  
*Curva Histerética del Aislador LRB (x-x) - Moquegua 23/06/2001*



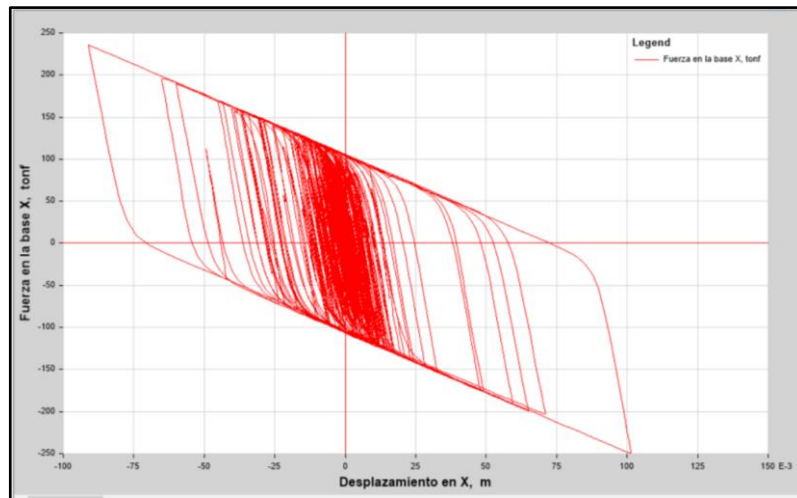
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 73:**  
*Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Moquegua 23/06/2001*



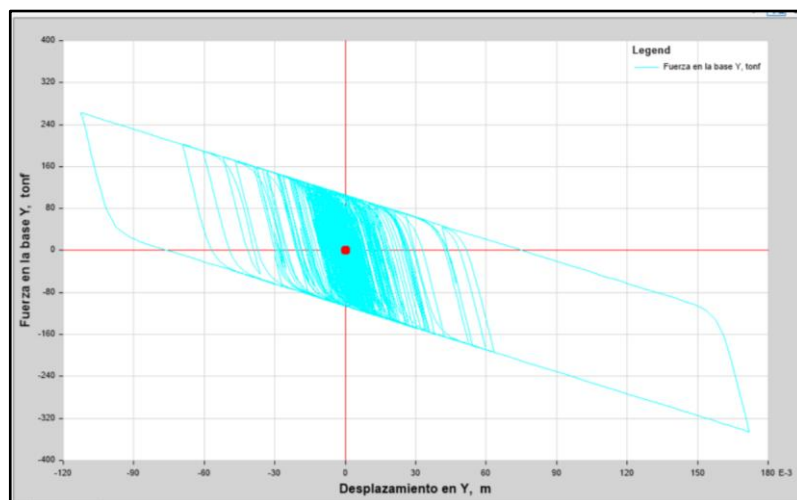
*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 74 :**  
*Curva Histerética del Aislador LRB (x-x) - Ica 15/08/2007*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

**Figura 75 :**  
*Curva Histerética del Aislador LRB (y-y) - Ica 15/08/2007*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

## 4.3 RESULTADOS

### 4.3.1 Estructura convencional (estructura sin aislamiento)

#### 4.3.1.1 Periodo natural

El periodo natural máximo de la estructura es de 0.25 segundos y su periodo natural es de 0.24 segundos.

**Tabla 10 :**  
*periodo de la estructura sin aislamiento*

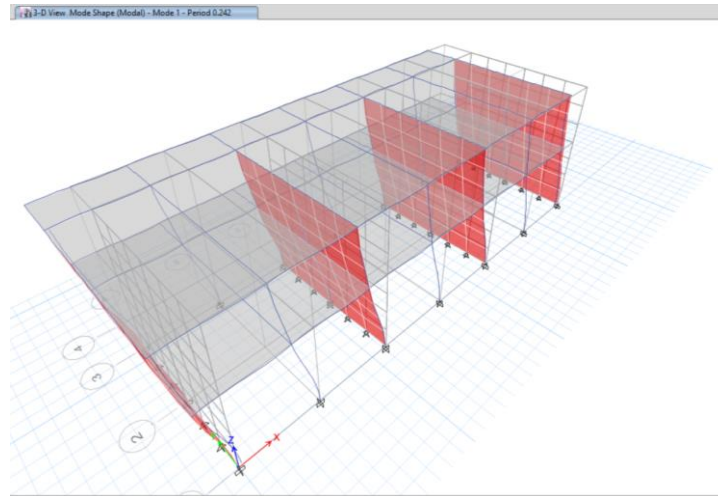
Case	Mode	Periodo sec	<	Periodo maximo	control
Modal	1	0.242	<	0.25	→ Admisible
Modal	2	0.114	<	0.25	→ Admisible
Modal	3	0.106	<	0.25	→ Admisible
Modal	4	0.068	<	0.25	→ Admisible
Modal	5	0.040	<	0.25	→ Admisible
Modal	6	0.037	<	0.25	→ Admisible

*Nota:* Fuente Elaboración propia.

#### 4.3.1.2 Modos de vibración

- **Primer modo de vibración:**  $T_1 = 0.242$  segundos, nos muestra una traslación en el eje X.

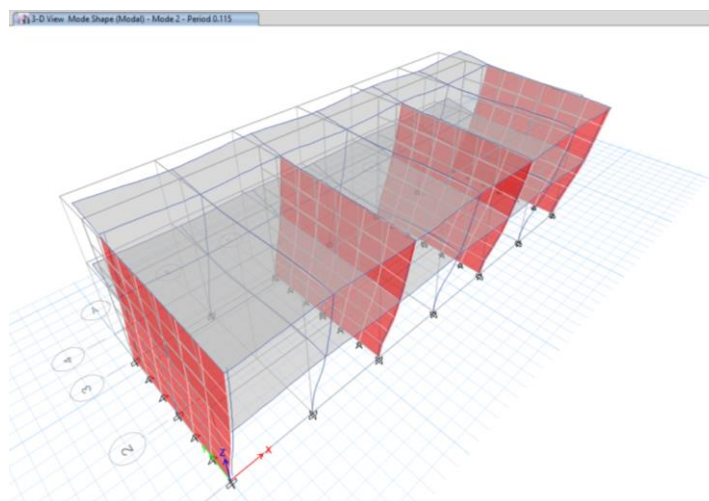
**Figura 76 :**  
*Primer modo de vibración sin aislamiento*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

- **Segundo modo de vibración:**  $T_2 = 0.114$  segundos, nos muestra una traslación en el eje Y.

**Figura 77 :**  
*Segundo modo de vibración sin aislamiento*

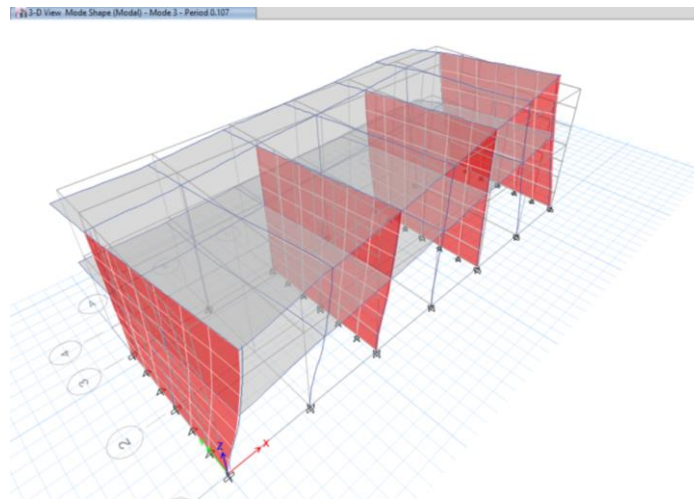


*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

- **Tercer modo de vibración:**  $T = 0.106$  seg, nos muestra rotación.

**Figura 78 :**

*Tercer modo de vibración sin aislamiento*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

#### 4.3.1.3 Desplazamientos

- **Desplazamiento en X:** La configuración estructural del bloque está constituido por concreto armado en el sentido de los ejes X-X, siendo su desplazamiento máximo en el eje X-X de 0.44 cm.

**Tabla 11 :**

*Desplazamiento en el eje x - x (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D cm
Story2	S_DIN_X Max	0.444
Story1	S_DIN_X Max	0.280

*Fuente:* Elaboración propia.

- **Desplazamiento en Y:** La configuración estructural del bloque está constituido por albañilería en el sentido de los ejes Y-Y, siendo su desplazamiento máximo en el eje Y-Y de 0.23 cm.

**Tabla 12 :**

*Desplazamiento en el eje y - y (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D cm
Story2	S_DIN_Y Max	0.23
Story1	S_DIN_Y Max	0.15

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.3.1.4 Derivas de entrepiso

Los parámetros de la estructura convencional, son:

$D$  = Desplazamiento de centro de masa

$D_R$  = Desplazamiento Relativo

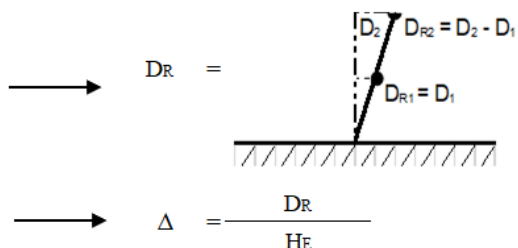
$H_E$  = Altura de Entrepiso

$\Delta$  = Deriva

$R_X$  = 7.00

$R_Y$  = 3.00

$F_s$  = 0.75 = Factor de Seguridad para Estructura Regular



- Límites para la distorsión de entrepiso de acuerdo a la norma técnica E0.30.

**Tabla 13 :**

*Límites para la distorsión de entrepiso*

Material Predominante	$\Delta$
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de C°A° con M.D.L.	0.005

*Nota:* Fuente (N.T.E.030, 2018)

Como resultado obtenemos las derivas máximas.

Deriva máxima en X:  $0.0034 \leq 0.007$ , cumple condición de norma.

**Tabla 14 :**

*Derivas en el eje x-x (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D	D <sub>R</sub> (a)	H <sub>E</sub> (b)	$\Delta$ (a/b)	(F <sub>s</sub> )(R <sub>x</sub> )( $\Delta$ )
Story2	S_DIN_X Max	0.004443	0.001645	3.35	0.000491	0.002578
Story1	S_DIN_X Max	0.002798	0.002798	4.35	0.000643	0.003377

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- Deriva máxima en Y:  $0.000790 \leq 0.005$ , cumple condición de norma.

**Tabla 15 :**

*Derivas en el eje y-y (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D	D <sub>R</sub> (a)	H <sub>E</sub> (b)	$\Delta$ (a/b)	(F <sub>s</sub> )(R <sub>x</sub> )( $\Delta$ )
Story2	S_DIN_Y Max	0.002307	0.000796	3.35	0.000238	0.000535
Story1	S_DIN_Y Max	0.001511	0.001511	4.35	0.000347	0.000782

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.3.1.5 Cortante de piso y cortante basal

- **Cortante de piso y cortante basal en X:** El material que predomina en el eje X-X es de concreto armado, siendo de 125.2642 ton su cortante en la base.

**Tabla 16 :**

*Fuerza cortante en el eje x-x (sin aislamiento)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VX tonf
Story2	S_DIN_X Max	Top	Bottom	67.2065
Story1	S_DIN_X Max	Top	Bottom	125.2642

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- **Cortante de piso y cortante basal en Y:** El material que predomina en el eje Y-Y es de albañilería, siendo de 295.1023 TN su cortante en la base.

**Tabla 17 :***Fuerza cortante en el eje y-y (sin aislamiento)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VY
				tonf
Story2	S_DIN_Y Max	Top	Bottom	155.2486
Story1	S_DIN_Y Max	Top	Bottom	295.1023

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.3.2 Estructura con sistema de aislamiento (asientos de apoyo)

##### 4.3.2.1 Periodo natural

El periodo natural máximo de la estructura es de 0.95 seg.

**Tabla 18 :***Periodo de la estructura con aislamiento*

Case	Mode	Periodo sec
Modal	1	0.95
Modal	2	0.89
Modal	3	0.84
Modal	4	0.15
Modal	5	0.08
Modal	6	0.07

*Nota:* Fuente Elaboración propia.

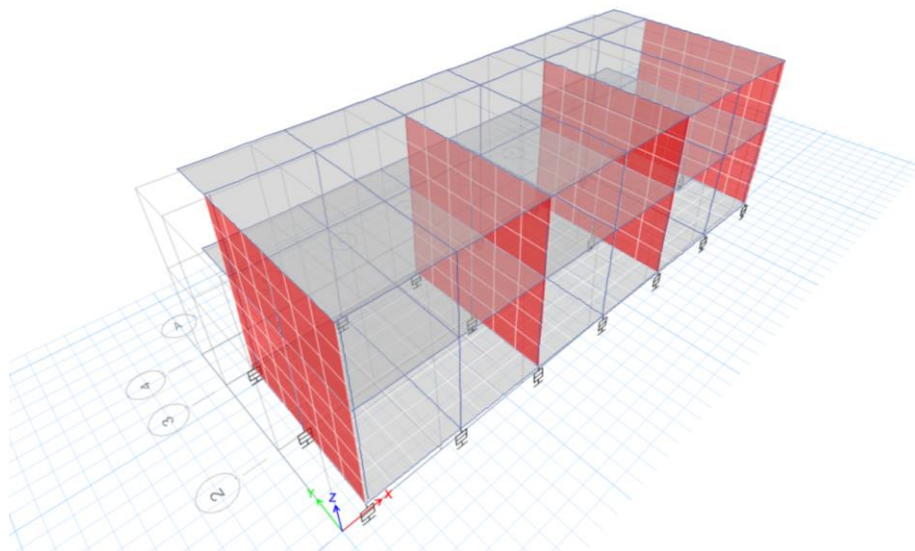


#### 4.3.2.2 Modos de vibración

- **Primer modo de vibración:**  $T1 = 0.95$  seg., nos muestra una traslación en el eje X.

**Figura 79 :**

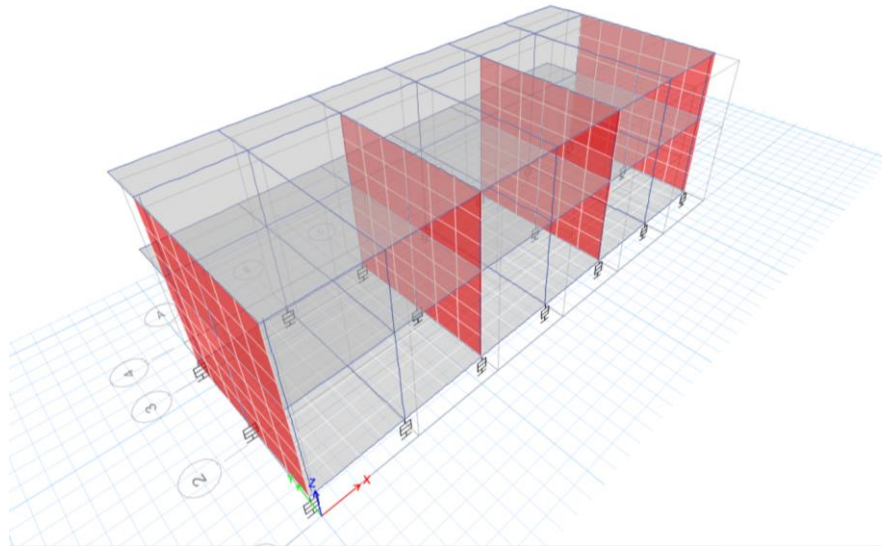
*Primer modo de vibración con sistema de aislamiento*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

- **Segundo modo de vibración:**  $T2 = 0.89$  seg., nos muestra una traslación en el eje Y.

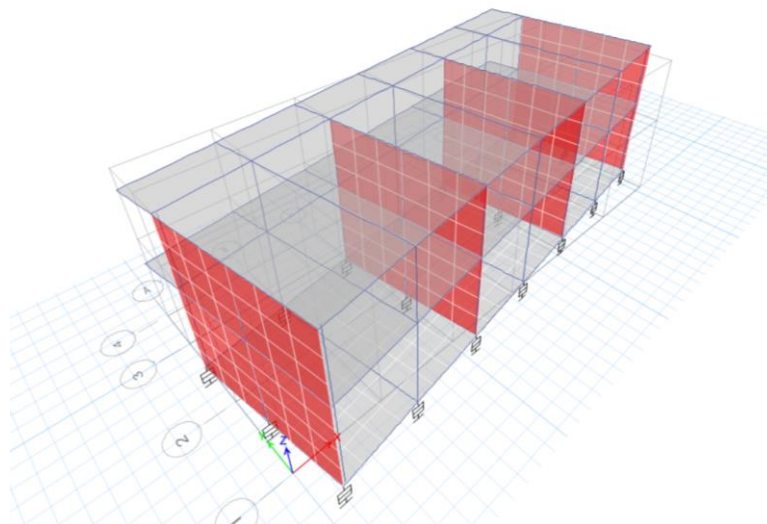
**Figura 80 :**  
*Segundo modo de vibración con sistema de aislamiento*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

- **Tercer modo de vibración:**  $T = 0.84$  seg, nos muestra rotación.

**Figura 81 :**  
*Tercer modo de vibración con sistema de aislamiento*



*Nota:* Fuente Software Etabs V. 16

### 4.3.2.3 Desplazamiento

- **Desplazamiento en X:** La configuración estructural del bloque está constituido por concreto armado en el sentido de los ejes X-X, conociéndose que su máximo desplazamiento se obtiene del registro sísmico de Lima 03 de octubre del 1974, obtenemos un desplazamiento general de 0.345 cm.

**Tabla 19 :**

*Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Lima 03/10/1974)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	3.669	0.345
Story1	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	3.438	0.114
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	3.323	3.323

*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 20 :**

*Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	3.320	0.346
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	3.110	0.137
Base	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	2.974	2.974

*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 21 :**

*Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Ica 15/08/2007)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	1.791	0.356
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	1.678	0.244
Base	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	1.434	1.434

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- **Desplazamiento en Y:** La configuración estructural del bloque está constituido por albañilería en el sentido de los ejes Y-Y, conociéndose que su máximo desplazamiento se obtiene del registro sísmico de Lima 03 de octubre del 1974, obtenemos un desplazamiento general de 0.06 cm.

**Tabla 22 :***Desplazamiento en eje y-y (registro sísmico Lima 03/10/1974)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	4.653	0.060
Story1	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	4.593	0.056
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	4.537	4.537

*Nota:* Fuente Elaboración propia**Tabla 23 :***Desplazamiento en eje y-y (registro sísmico Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	4.356	0.058
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	4.300	0.002
Base	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	4.299	4.299

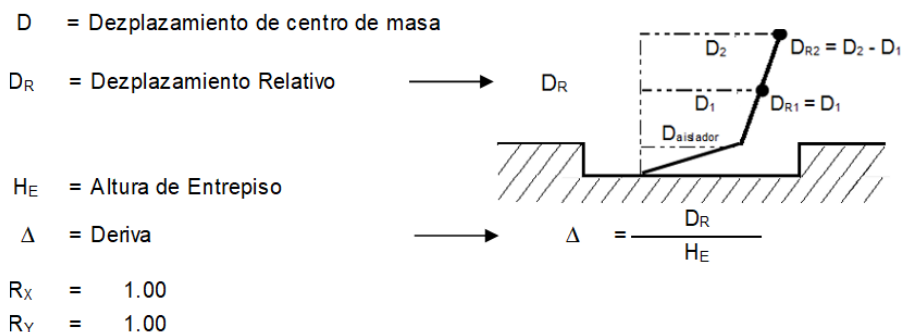
*Nota:* Fuente Elaboración propia**Tabla 24 :***Desplazamiento en eje x-x (registro sísmico Ica 15/08/2007)*

Story	Load Case / Combo	D cm	DG cm
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	3.267	0.115
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	3.225	0.073
Base	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	3.152	3.152

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.3.2.4 Derivas de entrepiso

Teniendo los siguientes parámetros del diseño para el sistema con asientos de apoyo, sabemos que:



Siendo los límites para la distorsión de entrepiso de acuerdo a la norma técnica E0.30, (Ver Tabla 13).

La deriva máxima en la dirección x-x, de la estructura con aislamiento sísmico, se obtiene del Registro sísmico de Lima de 03/10/1974, dando como resultado una deriva máxima en el eje x-x de  $0.000518 \leq 0.007$ , el cual cumple con condición que indica la norma.

**Tabla 25 :**  
Derivas en el eje x-x (Lima 03/10/1974)

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	0.0367	0.002313	3.35	0.000690	0.000518
Story1	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	0.0344	0.001142	4.36	0.000262	0.000196
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	0.0332	-	-	-	-

Nota: Fuente Elaboración propia

**Tabla 26 :***Derivas en el eje x-x (Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.0332	0.002092	3.35	0.000625	0.000468
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.0311	0.001367	4.36	0.000313	0.000235
Base	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.0297	-	-	-	-

*Nota:* Fuente Elaboración propia**Tabla 27 :***Derivas en el eje x-x (Ica 15/08/2007)*

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.018	0.001129	3.35	0.000337	0.000253
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.017	0.002436	4.36	0.000559	0.000419
Base	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.014	-	-	-	-

*Nota:* Fuente Elaboración propia

La deriva máxima en la dirección y-y, de la estructura con aislamiento sísmico, se obtiene del Registro sísmico de Lima de 03/10/1974, dando como resultado una deriva máxima en el eje x-x de  $0.000134 \leq 0.005$ , el cual cumple con condición que indica la norma.

**Tabla 28 :***Derivas en el eje y-y (Lima 03/10/1974)*

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	0.0465	0.000601	3.35	0.000179	0.000134
Story1	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	0.0459	0.000559	4.36	0.000128	0.000096
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	0.0454	-	-	-	-

*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 29 :***Derivas en el eje y-y (Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.044	0.000562	3.35	0.000168	0.000126
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.043	0.000015	4.36	0.000004	0.000003
Base	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.043	-	-	-	-

*Nota:* Fuente Elaboración propia**Tabla 30 :***Derivas en el eje y-y (Ica 15/08/2007)*

Story	Load Case / Combo	D (m)	DR (a)	HE (b)	$\Delta$ (a/b)	(FS)(Rx)( $\Delta$ )
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	0.033	0.000422	3.35	0.000126	0.000094
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	0.032	0.000728	4.36	0.000167	0.000125
Base	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	0.032	-	-	-	-

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.3.2.5 Cortante de piso y cortante basal

- La cortante máxima en la dirección x-x que da la estructura con asientos de apoyo es obtenida del Registro Sísmico de la ciudad de Lima de 03/10/1974, dándonos una fuerza cortante máxima 68.80 ton.

**Tabla 31 :***Fuerza cortante en el eje x-x (Lima 03/10/1974)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VX
				tonf
Story2	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	Top	Bottom	38.29
Story1	DIN_Modal_74_OCT_XX-NS Max	Top	Bottom	68.80

*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 32 :***Fuerza cortante en el eje x-x (Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VX
				tonf
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	Top	Bottom	31.91
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	Top	Bottom	57.34

*Nota:* Fuente Elaboración propia**Tabla 33 :***Fuerza cortante en el eje x-x (Ica 15/08/2007)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VX
				tonf
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	Top	Bottom	35.10
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	Top	Bottom	63.07

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- La cortante máxima en la dirección y-y que da la estructura con asientos de apoyo es obtenida del Registro Sísmico de la ciudad de Lima de 03/10/1974, dándonos una fuerza cortante máxima 93.82 ton.

**Tabla 34 :***Fuerza cortante en el eje y-y (Lima 03/10/1974)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VY
				tonf
Story2	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	Top	Bottom	52.21
Story1	DIN_Modal_74_OCT_YY-EO Max	Top	Bottom	93.82

*Nota:* Fuente Elaboración propia



**Tabla 35 :**  
*Fuerza cortante en el eje y-y (Moquegua 23/06/2001)*

Story	Load Case/Combo	Location	Location	VY
				tonf
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	Top	Bottom	47.86
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	Top	Bottom	86.00

*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 36 :**  
*Fuerza cortante en el eje y-y (Ica 15/08/2007)*

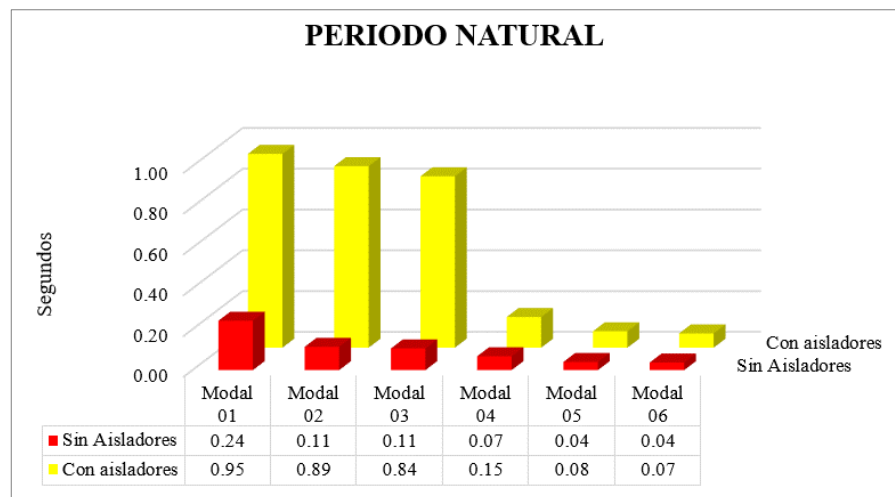
Story	Load Case/Combo	Location	Location	VY
				tonf
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	Top	Bottom	43.51
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_YY Max	Top	Bottom	78.19

*Nota:* Fuente Elaboración propia

## 4.4 PRUEBA ESTADÍSTICA

### 4.4.1 Relación de periodos naturales

**Figura 82 :**  
*Diagrama comparativo del periodo natural de vibración*



*Nota:* Fuente Elaboración propia

La relación del periodo natural obtenidos entre el sistema con asientos de apoyo y el sistema convencional, son como se detalla a continuación:

**Tabla 37 :**  
*Relación del periodo fundamental de la estructura empotrada vs estructura aislada.*

Case	Mode	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA CON AISLAMIENTO	RELACION EMP-LRB
		Periodo sec	Periodo sec	
Modal	1	0.242	0.95	3.926
Modal	2	0.114	0.89	7.833
Modal	3	0.106	0.84	7.943

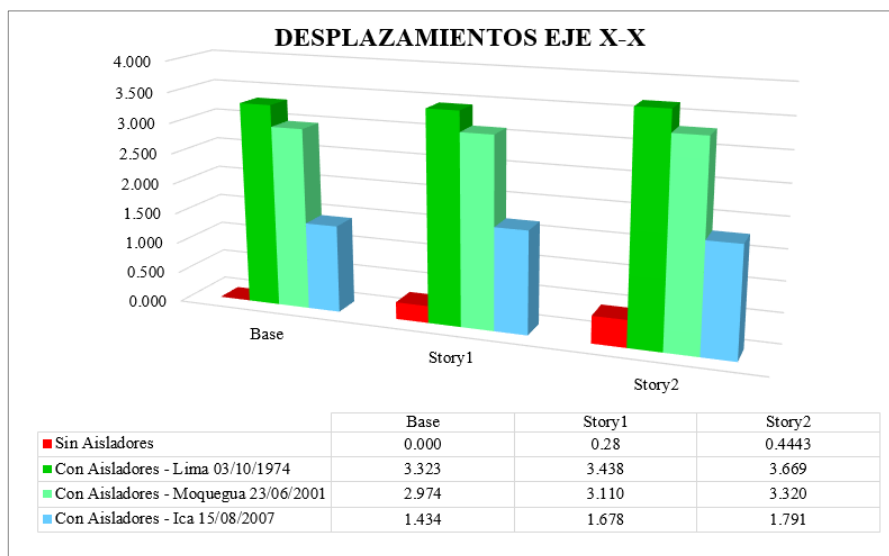
*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.4.2 Desplazamientos máximos

##### - Desplazamientos máximos en el eje x-x

**Figura 83 :**

*Diagrama comparativo del desplazamiento en el eje x-x*



*Nota:* Fuente Elaboración propia

La mayor traslación se da en el eje x-x, respecto a la estructura con asientos de apoyo sometido al sismo de la ciudad de Lima 03/10/1974, dándonos un desplazamiento del aislador LRB de 3.32 cm y una reducción máxima de desplazamiento general de -59.29%.

**Tabla 38 :**

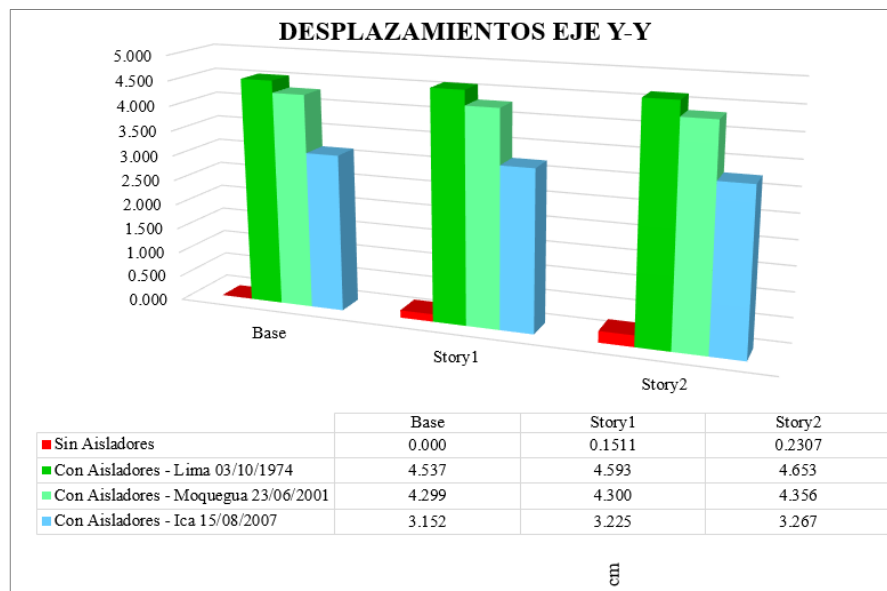
*Reducción máxima del desplazamiento en eje x-x*

Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA AISLAMIENTO	% DE REDUCCION
	Desplazamiento cm	Desplazamiento cm	
Story2	0.44	0.35	-21.59%
Story1	0.28	0.11	-59.29%
Aislador		3.32	

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- **Desplazamientos máximos en el eje y-y**

*Figura 84.* Diagrama comparativo del desplazamiento en el eje y-y



*Nota:* elaborado para fines de la investigación.

La mayor traslación se da en el eje y-y, respecto a la estructura con asientos de apoyo sometido al sismo de la ciudad de Lima 03/10/1974, dándonos un desplazamiento del aislador LRB de 4.65 cm y una reducción máxima de desplazamiento general de  $-62.67\%$ .

**Tabla 39 :**

*Reducción máxima del desplazamiento en eje y-y*

Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA AISLAMIENTO	% DE REDUCCION
	Desplazamiento cm	Desplazamiento cm	
Story2	0.23	0.12	-49.57%
Story1	0.15	0.06	-62.67%
Aislador		4.53	

*Nota:* Fuente Elaboración propia

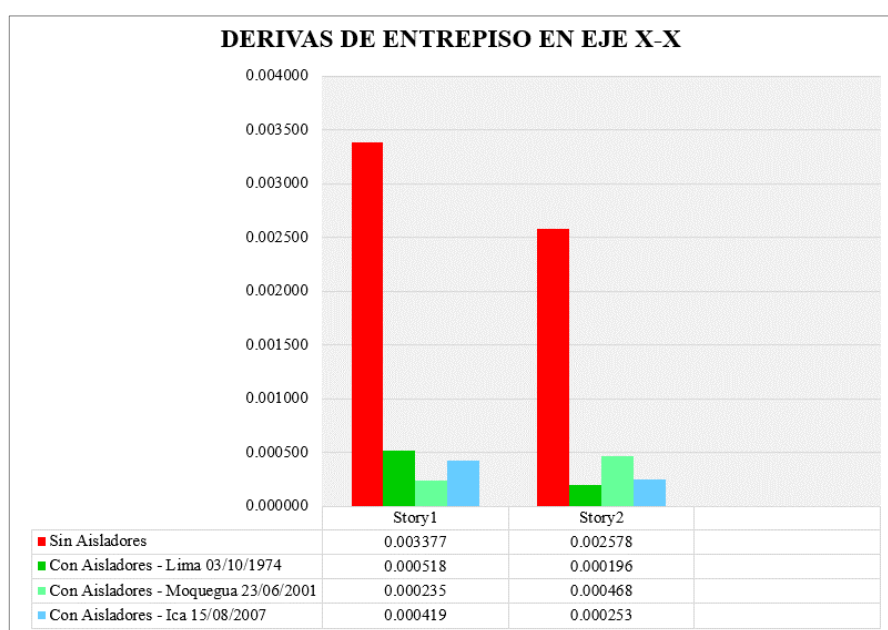
#### 4.4.3 Derivas máximas de entrepiso

##### - Derivas máximas de entrepiso en el eje x-x:

La mayor deriva máxima de entrepiso en la dirección x-x de las estructuras con asientos de apoyo, se obtiene del sismo de la ciudad de Lima 03/10/1974, dándonos una reducción máxima de deriva de 94.20%.

**Figura 85 :**

*Diagrama comparativo de las derivas de entrepiso en el eje x-x*



*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 40 :**

*Reducción máxima de deriva de entrepiso en el eje x-x*

Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCION
	Deriva	Deriva	
Story2	0.002578	0.000518	-79.91%
Story1	0.003377	0.000196	-94.20%

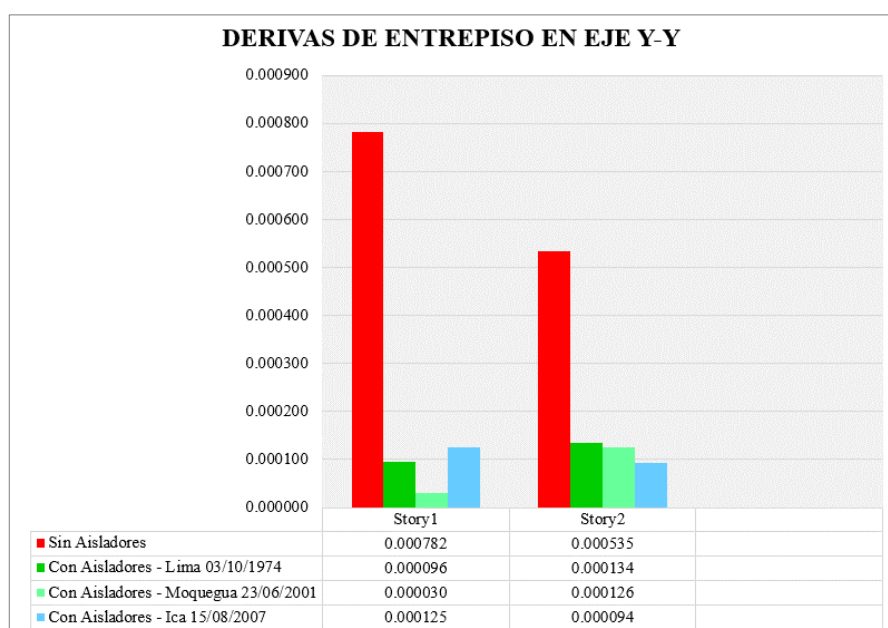
*Nota:* Fuente Elaboración propia

- **Derivas máximas de entrepiso en el eje y-y:**

La mayor deriva máxima de entrepiso en la dirección y-y de las estructuras con asientos de apoyo, se obtiene del sismo de la ciudad de Lima 03/10/1974, dándonos una reducción máxima de deriva de 87.72%.

**Figura 86 :**

*Diagrama comparativo de las derivas de entrepiso en el eje y-y*



*Nota:* Fuente Elaboración propia

**Tabla 41 :**

*Reducción máxima de deriva de entrepiso en el eje y-y*

Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA CON AISLAMIENTO	% DE REDUCCION
	Deriva	Deriva	
Story2	0.000535	0.000134	-74.94%
Story1	0.000782	0.000096	-87.72%

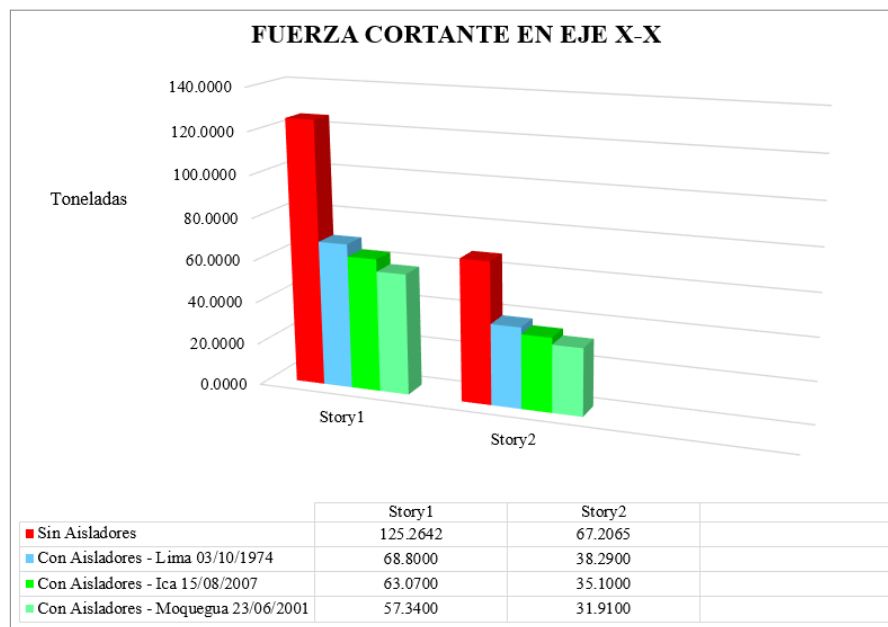
*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.4.4 Cortantes de piso y cortante basal máximas

- Cortantes de piso y cortante basal máximas en el eje X-X:

**Figura 87 :**

Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en el eje x-x



*Nota:* Fuente Elaboración propia

La máxima fuerza cortante en el eje x-x de las estructuras con sistema de aislamiento, se obtiene del sismo de la ciudad de Lima del 03/10/1974, siendo de 68.80 TN su cortante en la base y nos dará una reducción máxima de la fuerza cortantes de 45.08%.

**Tabla 42 :**

*Reducción máxima de la fuerza cortante en la base del eje x-x*

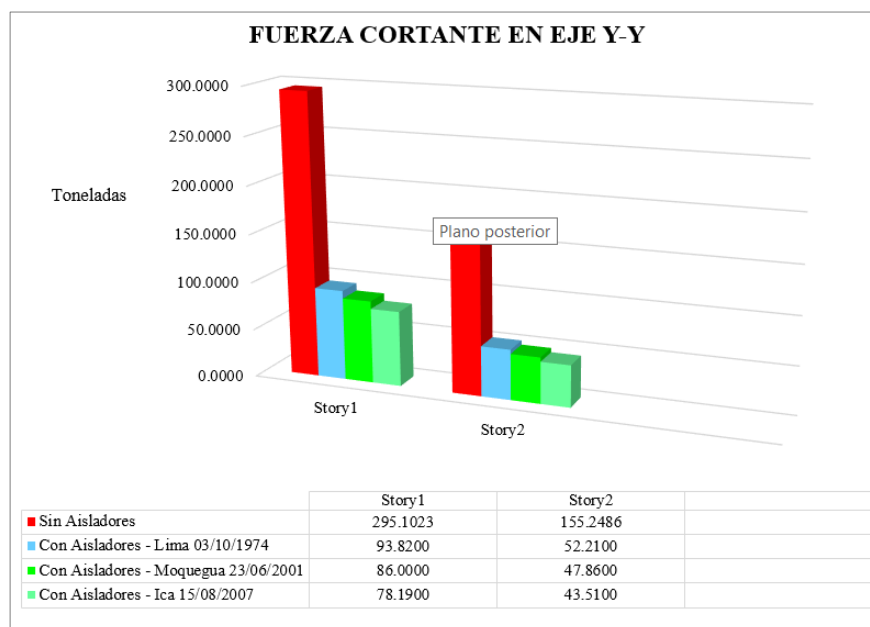
Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA AISLAMIENTO	% DE REDUCCION
	Cortante tn	Cortante tn	
Story2	67.21	38.29	-43.03%
Story1	125.26	68.80	-45.08%

*Nota:* Fuente Elaboración propia

- **Cortantes de piso y cortante basal máximas en el eje Y-Y:**

**Figura 88 :**

*Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en el eje y-y*



*Nota:* Fuente Elaboración propia

La máxima fuerza cortante en el eje y-y de las estructuras con sistema de aislamiento, se obtiene del sismo de la ciudad de Lima del 03/10/1974,



siendo de 93.82 TN su cortante en la base y nos dará una reducción máxima de la fuerza cortantes de 68.21%.

**Tabla 43:**

*Reducción máxima de la fuerza cortante en la base del eje y-y*

Story	SISTEMA CONVENCIONAL	SISTEMA AISLAMIENTO	% DE REDUCCION
	Cortante tn	Cortante tn	
Story2	155.25	52.21	-66.37%
Story1	295.10	93.82	-68.21%

*Nota:* Fuente Elaboración propia

#### 4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

En cuanto a los periodos naturales, según Tabla 18 se obtiene un incremento, debido a que estos dispositivos de aislamiento al ejercer un amortiguamiento, hacen que la aceleración de la estructura se ve reducida, notándose una reducción de fuerzas, de modo tal que tardara en volver a su estado inicial.

En cuanto a los desplazamientos máximos, según Tabla 22 la estructura con dispositivos de aislamiento, va a tener un incremento en el desplazamiento absoluto debido a que en la base se presenta un mayor desplazamiento en la interfaz de aislamiento; y en cuanto al desplazamiento relativo se presenta una reducción debido a la absorción de energía. Con ello se demuestra estructura protegida.

Respecto a las derivas, según Tabla 40 se ve una reducción significativa en cuanto a la estructura con sistema de aislamiento, conforme a los parámetros de la norma peruana E.030. Observándose un incremento de la deriva en la interfaz de aislamiento, por estar acoplada a la base y/o subestructura.

En cuanto a la cortante de piso y cortante basal máxima, al reflejar la intensidad de los esfuerzos en los elementos estructurales por piso, la estructura con asientos de apoyo se ve reducida significativamente, según Tabla 43 en vista al

incremento del periodo fundamental, porque con el aislador se disipa la aceleración del suelo.

Por lo mencionado, definitivamente se obtiene una mayor ventaja, lo que propondría una disminución de los elementos estructurales, que ser verá reflejado en costos futuros.

#### **4.6 DISCUSIÓN DE RESULTADOS**

Para el diseño del Pabellón C del Centro Educativo Coronel Bolognesi, el cual cuenta con asientos de apoyo tipo elastomérico frente a un diseño convencional basado en la Norma Técnica Peruana E.030, el desplazamiento máximo tiene una mejor distribución vertical, y sus resultados varían de acuerdo a cada uno de los tres registros sísmicos mostrados.

Se ha comprobado que los edificios con sistemas convencional tienen desplazamientos absolutos mayores, mientras que en el sistema aislado la estructura los desplazamientos absolutos son menores. En la dirección X, de acuerdo al registro de la ciudad de Lima del 03/10/1974, el desplazamiento general tiene una reducción máxima del 59.29% y mínima del 21.59%; y en la dirección Y tenemos una reducción máxima del 62.67% y una reducción mínima del 49.57%.

Las derivas máximas de entrepiso se vieron reducidas. Obteniéndose del registro del sismo de la ciudad de Lima 03/10/1974, en la dirección X, promediándose una reducción máxima del 94.20% y una reducción mínima del 79.91%; mientras que para la dirección Y se tiene una reducción máxima del 87.72%, y una mínima del 74.94%.

Para las fuerzas cortantes máximas de piso y cortante basal se obtiene del sismo de la ciudad de Lima del 03/10/1974, teniendo en la dirección X, una disminución máxima del 45.08% y una mínima del 45.08%; y en cuanto a la dirección Y, tenemos una reducción máxima del 68.21%, y en cuanto a una mínima del 66.37%.

Se ha demostrado que, el empleo de aisladores sísmicos de tipo elastomérico han mejora significativamente el comportamiento estructural de la estructura, al reducir la demanda sísmica en los elementos estructurales que lo conforman.

## **V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

### **5.1 CONCLUSIONES**

- En conclusión, se comprobó que para el diseño convencional del bloque C del centro educativo, con estructura de base fija, se cumple lo establecido en la Norma Técnica E.030, al tener para los siguientes parámetros, de periodo natural, desplazamiento relativo y corte basal, valores que se encuentran por debajo de los parámetros establecidos en la Norma Técnica E.030, todo esto de acuerdo al marco normativo y filosofía de un diseño tradicional establecido. Y en cuanto a la mayor deriva de entrepiso, se presento en el primer nivel en el sentido X, con un valor 0.003377, obtenido de la Tabla N°14, valor que cumple lo establecido en la norma E.030. Sin embargo, la normativa establece una filosofía que acepta un mínimo de daños a la estructura, que podría dificultar la continuidad del mismo, ante un evento sísmico severo.
- En conclusión, en cuanto al diseño del centro educativo con la incorporación de aisladores sísmicos tipo elastomérico para la base, se obtuvo para la superestructura, una mejor respuesta, debido a los resultados obtenidos en su análisis con respecto a las derivas y fuerzas en la base, los cuales son minimizados, aunque los aisladores presentan un mayor desplazamiento absoluto.

El buen funcionamiento de aisladores también radica en que la estructura se situé en suelos rígidos que tengan periodos fundamentales bajos, evitando ser asentados en suelos blandos que tengan periodos fundamentales altos,

para así evitar la amplificación de los desplazamientos que se sitúan en la base debido a los grandes movimientos del terreno, siendo una consecuencia indeseable para la superestructura, eliminando los beneficios de un sistema con asientos de apoyo.

- Se logró realizar el análisis y diseño estructural del bloque C del Centro Educativo de manera convencional empleando la Norma Técnica E.0.30, y posteriormente con la incorporación de aisladores tipo elastomérico con núcleo de plomo (LRB).

Realizamos la comparación de los valores obtenidos del comportamiento sísmico de cada estructura, pudiéndose verificar un mejor comportamiento de la estructura aislada frente a una estructura convencional. El resultado del diseño aislado fue satisfactorio, ya que se obtuvieron dimensiones adecuadas y factibles de realizar, tomando en cuenta propiedades de los elastómeros y elementos friccionantes disponibles en el mercado. Consecuentemente a ello se puede garantizar una operatividad de la estructura posterior a un evento sísmico severo.

- Finalmente, logramos realizar la comparación en cuanto al comportamiento estructural del bloque C del Centro Educativo sin aisladores sísmicos, de tipo convencional frente a la misma estructura con aisladores de tipo elastomérico, de este último, realizando un análisis tiempo – historia, en base al registro de 03 eventos sísmicos. Al respecto, de ambas estructuras, se obtuvo una mejor respuesta sísmica en cuanto al diseño con aisladores, ello debido a que los resultados de los desplazamientos se han visto reducidos hasta en un 59.29% en el eje x-x y 62.67% en el eje y-y, conllevando a una situación similar en la fuerza en la base, logrando así obtener una reducción de los esfuerzos internos de hasta 45.08% en eje x-x y 68.21% en eje y-y, esto generara una menor demanda en cuanto a los elementos estructurales. También, se tiene el beneficio directo con la aplicación del sistema de aislación, en cuanto a las derivas de entrepiso, por

una reducción de hasta de 94.20% en el eje x-x y 87.72% en el eje y-y, la cual se relaciona con el nivel de daños estructurales.

Por lo que, al implementar aisladores de base, se logra un comportamiento muy superior respecto a la versión de un sistema convencional, en cuanto a periodos, desplazamientos, derivas y esfuerzos; cumpliendo ampliamente con los parámetros establecidos en la norma técnica peruana E.030

Concluyéndose, en cuanto al análisis comparativo; recae en una mayor ventaja respecto a la estructura con aisladores tipo elastomérico, debido a la reducción de los daños en cuanto a los elementos estructurales y elementos no estructurales, consecuentemente tendremos una operatividad de la estructura posterior al evento sísmico.

## 5.2 RECOMENDACIONES

- Para futuras actualizaciones de la norma E.030, que buscan mejorar los diseños convencionales de base fija, sería necesario instalar estaciones acelerográficas en distintas zonas de nuestro país, para tener un mayor conocimiento del comportamiento dinámico de los suelos y ampliar el rango de perfiles de suelo y su clasificación; esto por la alta probabilidad que se tiene de experimentar sismos severos.
- Se recomienda, la inclusión del sistema de aislación sísmica en el dictado de la currícula de la carrera, en un nivel básico y/o cursos de especialización, para poder fomentar nuevos trabajos de investigación de este tema, en vista que existen edificaciones en nuestra ciudad bajo este sistema, por tener una mayor probabilidad de lograr una operatividad de la edificación ante situaciones críticas de sismos severos.
- Se recomienda a los profesionales, desarrollar alternativas que permitan la viabilidad técnica de los sistemas con aislamiento en la base, pues si bien el diseño con el sistema de aislación puede ser desarrollado como proyecto, es importante recibir el asesoramiento de una empresa especializada de la fabricación y distribución de estos dispositivos de aislamiento, de manera que se mejore y/o verifique la efectividad del diseño a través de propiedades físicas y mecánicas de los dispositivos que se encuentren en el mercado.
- Se recomienda para futuras investigaciones realizar un análisis comparativo en cuanto al costo de la implementación de esta tecnología, tomando en cuenta que existe una reducción de fuerzas en la superestructura, lo que recompensaría el incremento de los costos con este sistema.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., Vergara, F., & Guaygua, B. (2014). *Análisis sísmico de una estructura con aisladores FSS de primer y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo*. Quito: Universidad de Fuerzas Armadas .
- Alva, J. (1988). *Riesgo sísmico de Tacna*. Lima: Consejo Nacional de Ciencia, Tecnología e Innovación Tecnológica.
- Arriagada, J. (2005). *Aislación sísmica de un edificio de oficinas de siete pisos. (Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)*. Valdivia - Chile: Universidad Austral de Chile.
- Benavente, J., & Traverso, I. (2013). *Comparación del análisis y diseño de un edificio de concreto armado de siete pisos con y sin aislamiento en la base*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- BRIDGESTONE. (2013). Seismic isolation product line-up. *BRIDGESTONE*.
- Cando, F., Monrroy, C., Ortega, J., & Puerres, O. (2012). *Aislación sísmica de un edificio (Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional)*. Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Carmona, P., & Rosas, A. (2015). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico dinámico del diseño normativo sismo-resistente de un sistema dual frente al modelo con aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDR) de un sistema aporticado, del edificio de oficinas Schell*. Lima: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Flores, H., & Cahuata, F. (2015). *Análisis y diseño estructural de edificaciones con aisladores sísmicos y análisis comparativo de respuesta sísmica y costos con la edificación convencional*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Korswagen, P., Arias, J., & Huaranga, P. (2012). *Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Lema, E. (2013). *Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos modelamiento en el ETABS*. Quito - Ecuador: Universidad central del Ecuador.
- Leyton, M. (2017). *Implementación de aisladores sísmicos en un edificio de viviendas en Lima*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Luque, M. (2016). *Evaluación del desempeño estructural con sistemas de aislamiento de base para el edificio 15 niveles de la ciudad universitaria de Puno*. Puno - Perú: Universidad Nacional del Altiplano - Puno.



- Macías, P., & Suarez, V. (2015). *Diseño estructural de un edificio de 6 pisos con aisladores de base elastoméricos*. La Libertad: Universidad Estatal Península de Santa Elena.
- Mendo, A. (2015). *Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú. .
- Meza, R., & Sanchez, E. (2010). *Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la República de Nicaragua*. Managua: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Mullo, C. (2014). *Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en ETABS*. Quito: Universidad Central del Ecuador.
- Muñoz, A. (2018). *Las normas peruanas de diseño SR y aislamiento sísmico, E.030 y E.031*. Lima: Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción.
- N.T.E.030. (2018). *Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Pino, E. (2015). *Análisis comparativo y diseño estructural de una edificación de ocho niveles y un sótano con y sin el uso de una base sísmica aislada*. Arequipa: Universidad Nacional de San Agustín.
- Solórzano, E. (2019). *Influencia de las condiciones del suelo en el comportamiento estructural de un hospital con aislamiento sísmico en la base0*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Soriano, J. (2014). *Comparación de la respuesta estructural del pabellón a de la universidad privada del norte con aisladores sísmicos elastoméricos y sin aisladores sísmicos*. Cajamarca - Perú: Universidad Privada del Norte.
- Tavera, H. (2011). *Fuentes sismogénicas y tipos de sismos en Perú*. Lima: Instituto Geofísico del Perú.
- Villagómez, D. (2015). *Lineamientos para el análisis y diseño de edificaciones sísmicamente aisladas en el Perú*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Villavicencio, E. (2015). *Análisis Sísmico Estructural Comparativo para Edificios con Aisladores de Base tipo Elastoméricos y Friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador*. Quito: Escuela Politécnica Nacional.
- Zanelli, C., & Patricia, P. (2019). *Diseño estructural de un pabellon de hospital con aisladores sísmicos*. Tacna: Pontificia Universidad Católica del Perú.

**ANEXOS**

## MATRIZ DE CONSISTENCIA – PROYECTO DE INVESTIGACIÓN

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE E INDICADORES	METODOLOGÍA
<p><b>1. INTERROGANTE PRINCIPAL</b> ¿Cómo mejora el comportamiento estructural de un centro educativo con aisladores tipo elastomérico frente a un diseño convencional sin aisladores basado en la Norma Técnica E.030 en la ciudad de Tacna?</p> <p><b>2. INTERROGANTES ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) ¿Cuál será el resultado del comportamiento estructural de un Centro Educativo convencional sin aisladores sísmicos empleando la Norma Técnica E.030?</p> <p>b) ¿Cuál será el resultado del comportamiento estructural de un Centro Educativo con aislador tipo elastomérico?</p> <p>c) ¿Cuál es el comportamiento estructural obtenido de un diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos en comparación con un diseño estructural con aisladores sísmicos tipo elastomérico?</p>	<p><b>1. OBJETIVO GENERAL</b> Realizar un análisis y diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos tipo elastomérico y comparar su comportamiento estructural frente a un diseño convencional sin aisladores sísmicos basado en la Norma Técnica E.030.</p> <p><b>2. ESPECÍFICOS</b></p> <p>a) Realizar el diseño convencional de un Centro Educativo sin aisladores sísmicos empleando la Norma Técnica E.030.</p> <p>b) Realizar el diseño de un Centro Educativo con aisladores sísmicos tipo elastomérico.</p> <p>c) Comparar el comportamiento estructural del diseño de un centro educativo sin aisladores sísmicos frente a un diseño con aisladores sísmicos tipo elastomérico.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b> El Bloque C del Centro educativo diseñado con aisladores sísmicos tipo elastomérico tiene un mejor comportamiento estructural frente a un diseño convencional sin aisladores sísmicos basado en la Norma Técnica E.030.</p> <p><b>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</b></p> <p>a) Para el diseño convencional del Centro Educativo se obtienen resultados de periodos naturales, desplazamientos máximos, derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y distorsiones, demostrando que están dentro de los límites establecidos por la Norma Técnica E.030.</p> <p>b) Al realizar el diseño del Centro Educativo con aisladores tipo elastomérico se mejora el comportamiento estructural en gran medida, con el aumento del periodo natural, y una reducción considerable del desplazamiento relativos, derivas de entrepiso y fuerzas cortantes.</p> <p>c) Al comparar los diferentes diseños se puede conocer que el comportamiento estructural tiene una mejora notable en cuanto a la estructura con aisladores sísmicos tipo elastomérico frente a la estructura con diseño convencional.</p>	<p><b>1. HIPÓTESIS GENERAL</b></p> <p><b>Variable Independiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Diseño estructural convencional.</li> <li>- Diseño estructural con aislador sísmico tipo elastomérico</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Periodo Fundamental.</li> <li>- Fuerza cortante en la base.</li> <li>- Desplazamiento en la base.</li> <li>- Deriva de la Edificación.</li> </ul> <p><b>Variable Dependiente</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Comportamiento Estructural.</li> </ul> <p><b>Indicadores</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Altura</li> <li>- Área</li> <li>- Tipo de suelo</li> <li>- Sistema estructural</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <b>Tipo de Investigación</b> Investigación Cuantitativa.</li> <li>- <b>Diseño de Investigación</b> diseño pre-experimental</li> <li>- <b>Ámbito de Estudio</b> En la ciudad de Tacna en el Cercado de Tacna</li> <li>- <b>Población</b> Centros Educativos de pórticos de concreto armado</li> <li>- <b>Muestra</b> Pabellón “C” del Centro Educativo Coronel Bolognesi en la provincia y departamento de Tacna, muestra tomada a conveniencia del autor.</li> <li>- <b>Técnica de recolección de datos</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Realizar el cálculo del comportamiento sísmico de un centro educativo, aplicando la Norma Técnica E.030, verificando el cumplimiento de los parámetros establecidos según la norma..</li> <li>- Realizar el cálculo del comportamiento sísmico del mismo centro educativo aplicando la tecnología del aislamiento sísmico en la base tipo elastomérico, empleando el análisis tiempo - historia.</li> <li>- Realizar el análisis comparativo de ambos modelos bajo las mismas solicitaciones sísmicas, para determinar el sistema más apropiado de acuerdo a los resultados obtenidos.</li> </ul> </li> <li>- <b>Instrumentos.</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Programa computacional ETABS.</li> <li>- Lista de cotejo de resultados</li> </ul> </li> </ul>