

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 DISEÑO CONVENCIONAL BASADO EN
LA NORMA E-030 FRENTE A UN DISEÑO CON AISLADORES
SISMICOS DE PÉNDULO FRICCIONAL EN LA CIUDAD
DE TACNA, 2019**

TESIS

Presentado por:

Bach. Herclyn Olfroy Fernandez Puente

ORCID: 0000-0001-5296-3501

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

PÁGINA DE JURADO

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 Diseño Convencional Basado en la Norma E-030 frente a un Diseño con Aisladores Sísmicos de Péndulo Friccional en la Ciudad de Tacna, 2019”

Presentada por:

Bach. Herclyn Olfroy Fernandez Puente

Tesis sustentada y aprobada el 14 de abril 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, Herclyn Olfroy Fernandez Puente, 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°42668049.

Soy autor de la tesis titulada:

“Análisis Comparativo del Comportamiento Estructural de un Centro Educativo con Diseño Convencional Basado en la Norma E-030 frente a un Diseño con Aisladores Sísmicos de Péndulo Friccional en la Ciudad de Tacna, 2019”

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 23% 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, 14 de abril del 2023.



Herclyn Olfroy Fernandez Puente
DNI N°42668049

DEDICATORIA

Dedico el presente proyecto de investigación a mis padres.

A mi padre, Cesar Augusto Fernandez Tantalean, por tu amor, por tu paciencia, por haberme forjado con reglas y libertades, por motivarme constantemente a alcanzar metas grandes; sé que has trabajado duro y te has sacrificado tanto para brindarme la oportunidad de ser mejor, es por eso que quiero que sepas que todos mis logros te lo debo y si he llegado aquí y me he convertido en la persona que soy, es gracias a ti padre mío.

A mi madre, Alicia Julia Puente Macassi, por ser el pilar más importante de mi vida y por ser un ejemplo de esfuerzo y valentía ante las adversidades; tu paciencia, tu cariño y tu amor incondicional, son una gran bendición que me protege y me permite cumplir uno a uno todos mis sueños. Por todo lo que me has dado, te doy de ofrenda todo lo que soy; eres lo que más quiero y admiro, te amo madre mía.

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quiero agradecer a Dios por haberme acompañado y guiado a lo largo de mi vida; gracias por permitirme continuar con salud, por ser la luz en momentos de dificultad y por concederme una vida llena aprendizaje, experiencia y sobre todo felicidad. Este proyecto de investigación es una gran bendición y es gracias a ti que esta meta está cumplida.

También quiero agradecer a mis padres Cesar y Alicia por darme siempre su mejor y mayor esfuerzo, ustedes son los principales promotores de mis sueños; gracias por su amor, dedicación y paciencia; gracias por confiar y creer en mí, quiero que sepan que esta meta alcanzada también es de ustedes ya que la fuerza que me ayudo a conseguirlo fue su gran apoyo.

De igual forma quiero agradecer a mis hijos Herclyn y Leonhardt y a mi esposa Mary; por tenerme la paciencia necesaria y alentarme en mis momentos de desesperación, siempre estuvieron ahí para darme palabras de apoyo y un abrazo reconfortante para renovar energías. Ustedes son mi mayor inspiración y motivación, son el ingrediente perfecto para poder alcanzar y enfrentar todo; gracias por entender que la recompensa del tiempo de familia sacrificado es el éxito obtenido.

Por ultimo quiero agradecer a mis tutores, al Ingeniero José Martin Velásquez Vargas Magister en Ingeniera Civil, a la Ingeniera Dina Marlene Cotrado Flores Maestra en Ingeniera Civil con mención en Estructuras y al Ingeniero Luis Alfredo Fernández Vizcarra Maestro en Ciencias en Gerencia en Ingeniería de Proyectos; gracias por compartir todo su conocimiento y sabiduría, por cada detalle y momento dedicado para aclarar cualquier tipo de duda y por hacer posible el desarrollo del presente proyecto de investigación.

A TODOS, MUCHAS GRACIAS.

INDICE DE CONTENIDO

PÁGINA DE JURADO.....	I
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	II
DEDICATORIA.....	IV
AGRADECIMIENTOS.....	V
INDICE DE CONTENIDO.....	VI
ÍNDICE DE TABLAS.....	IX
ÍNDICE DE FIGURAS.....	XI
RESUMEN.....	XV
ABSTRACT.....	XVI
INTRODUCCIÓN.....	XVII
I EL PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Interrogante Principal.....	3
1.2.2 Interrogantes Secundarias.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION.....	5
1.4.1 Objetivo General.....	5
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
II MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION.....	6
2.1.1 Antecedentes Locales.....	6
2.1.2 Antecedentes Nacionales.....	7
2.1.3 Antecedentes Internacionales.....	13
2.2 BASES TEÓRICAS.....	21
2.2.1 Diseño Convencional.....	30
2.2.2 Aisladores de Péndulo de Fricción.....	33
2.2.2.1. Aislador de Péndulo de Fricción de Primera Generación.....	34
2.2.2.2. Aislador de Péndulo de Fricción de Segunda Generación.....	41

2.2.2.3. Aislador de Péndulo de Fricción de Tercera Generación.....	47
2.2.3 Análisis Comparativo del comportamiento Estructural.....	53
2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS	55
III MARCO METODOLÓGICO	59
3.1 HIPÓTESIS.....	59
3.1.1 Hipótesis General	59
3.1.2 Hipótesis Específicas.....	59
3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	59
3.2.1 Identificación de la Variable Independiente.....	59
3.2.1.1. Indicadores	60
3.2.1.2. Escala de medición de la variable	60
3.2.2 Identificación de la Variable Dependiente	60
3.2.2.1. Indicadores.....	60
3.2.2.2. Escala de medición de la variable.....	60
3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	61
3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN	61
3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN	61
3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN.....	61
3.6.1 Ámbito Social.....	62
3.6.2 Tiempo Social.....	62
3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	62
3.7.1 Unidad de Estudio	62
3.7.2 Población	62
3.7.3 Muestra	62
3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	62
3.8.1 Procedimiento.....	62
3.8.2 Técnica.....	63
3.8.3 Instrumentos	63
IV RESULTADOS	64
4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	64
4.1.1 Normas Empleadas	65

4.2 DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS	66
4.2.1 Diseño Estructural del Edificio Tradicional	66
4.2.1.1. Materiales de la Estructura	66
4.2.1.2. Características del Suelo de Fundación:.....	69
4.2.1.3. Elementos Estructurales Existentes:.....	69
4.2.1.4. Asignación de Cargas	74
4.2.1.5. Estructuración.....	75
4.2.1.6. Parámetros Sísmicos.....	76
4.2.1.7. Análisis Estático	81
4.2.1.8. Análisis Dinámico	82
4.2.2 Diseño Estructural del Edificio Aislado	85
4.2.2.1. Estructuración del Edificio Aislado	85
4.2.2.2. Diseño de Aislador	89
4.2.2.3. Análisis Estático No Lineal	92
4.2.2.4. Análisis Dinámico No Lineal	94
4.2.2.5. Programa Computacional	97
4.3 RESULTADOS.....	114
4.3.1 Estructura sin Aislamiento.....	114
4.3.2 Estructura con Aislamiento (Asientos de apoyo)	118
4.4 PRUEBA ESTADISTICA	127
4.4.1 Relación de Periodos Naturales	127
4.4.2 Desplazamientos Máximos.....	128
4.4.3 Derivas Máximas de Entrepiso.....	130
4.4.4 Cortantes de Piso y Cortante Basal Máximas.....	132
4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	135
4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	138
V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	141
5.1 CONCLUSIONES	141
5.2 RECOMENDACIONES	143
VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	144
VII ANEXOS	148

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Sismos en el Perú	2
Tabla 2: Etapas de movimiento del aislador de triple péndulo de fricción.....	52
Tabla 3: Variables e Indicadores.....	61
Tabla 4: Factor de zona	76
Tabla 5: Clasificación de perfiles de suelo	77
Tabla 6: Factor de suelo “S”	77
Tabla 7: Periodos “Tp” y “TL”	77
Tabla 8: Categorías de las edificaciones	78
Tabla 9: Coeficiente para estimar el periodo predominante de un edificio	79
Tabla 10: Sistemas Estructurales	80
Tabla 11: Aceleración Espectral	84
Tabla 12: Parámetros del movimiento del Terreno.....	90
Tabla 13: Unidades de Aislador Optimizadas.....	91
Tabla 14: Diseño Preliminar estático no lineal	93
Tabla 15: Propiedades del Aislador FPS.....	112
Tabla 16: Periodos de la estructura sin aislamiento.....	114
Tabla 17: Desplazamientos en eje X-X (sin aislamiento).....	116
Tabla 18: Desplazamientos en eje Y-Y (sin aislamiento).....	116
Tabla 19: Límites para la distorsión del entrepiso	117
Tabla 20: Derivas en eje X-X (sin aislamiento).....	117
Tabla 21: Derivas en eje Y-Y (sin aislamiento).....	117
Tabla 22: Fuerza cortante en eje X-X (sin aislamiento)	118
Tabla 23: Fuerza cortante en eje Y-Y (sin aislamiento)	118
Tabla 24: Periodos de la estructura con aislamiento.....	119
Tabla 25: Desplazamientos en eje X-X (sismo de Lima del 03/10/1974)	121
Tabla 26: Desplazamientos en eje X-X (Sismo de Moquegua del 23/06/2001) .	121
Tabla 27: Desplazamientos en eje X-X (Sismo de Ica del 15/08/2007)	121
Tabla 28: Desplazamientos en eje Y-Y (sismo de Lima del 03/10/1974)	122

Tabla 29: Desplazamientos en eje Y-Y (Sismo de Moquegua del 23/06/2001).	122
Tabla 30: Desplazamientos en eje X-X (Sismo de Ica del 15/08/2007)	122
Tabla 31: Derivas en eje X-X (Sismo de Lima del 03/10/1974).....	123
Tabla 32: Derivas en eje X-X (Sismo de Moquegua del 23/06/2001).....	124
Tabla 33: Derivas en eje X-X (Sismo de Ica del 15/Agosto/2007).....	124
Tabla 34: Derivas en eje Y-Y (Sismo de Lima del 03/10/1974).....	124
Tabla 35: Derivas en eje Y-Y (Sismo de Moquegua del 23/06/2001).....	125
Tabla 36: Derivas en eje Y-Y (Sismo de Ica del 15/Agosto/2007).....	125
Tabla 37: Fuerza cortante en eje X-X (Sismo de Lima del 03/10/1974)	125
Tabla 38: Fuerza cortante en eje X-X (Sismo de Moquegua del 23/06/2001)....	126
Tabla 39: Fuerza cortante en eje X-X (Sismo de Ica del 15/Agosto/2007)	126
Tabla 40: Fuerza cortante en eje Y-Y (Sismo de Lima del 03/10/1974)	126
Tabla 41: Fuerza cortante en eje Y-Y (Sismo de Moquegua del 23/06/2001)....	126
Tabla 42: Fuerza cortante en eje Y-Y (Sismo de Ica del 15/Agosto/2007)	127
Tabla 43: Relación de periodos naturales en modos de vibración	128
Tabla 44: Reducción máxima de desplazamiento general en eje X-X.....	129
Tabla 45: Reducción máxima de desplazamiento general en eje Y-Y.....	130
Tabla 46: Reducción máxima de deriva de entrepiso en eje X-X.....	131
Tabla 47: Reducción máxima de deriva de entrepiso en eje Y-Y	132
Tabla 48: Reducción máxima de fuerzas cortantes en eje X-X	133
Tabla 49: Reducción máxima de fuerzas cortantes en eje Y-Y	134

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Sistemas de Protección Sísmica	21
Figura 2: Distribución de los aisladores de acuerdo con su posición	22
Figura 3: Respuesta de la estructura en suelos suaves y firmes.....	23
Figura 4: Reducción del cortante por el incremento del periodo.....	24
Figura 5: Disminución de los desplazamientos por el incremento de amortiguamiento.....	24
Figura 6: Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento	26
Figura 7: Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador de bajo amortiguamiento.....	27
Figura 8: Detalles de Aislador elastomérico en elevación y planta	27
Figura 9: Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador de alto amortiguamiento.....	28
Figura 10: Componentes del aislador elastomérico con núcleo de plomo.....	28
Figura 11: Detalles de aislador elastomérico con núcleo de plomo en elevacion y planta.....	29
Figura 12: Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador con núcleo de plomo.....	29
Figura 13: Aislador deslizante plano.....	30
Figura 14: Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador deslizante plano	30
Figura 15: Diagrama tensión vs deformación del hormigón.....	31
Figura 16: Curva de capacidad (análisis no lineal de estructuras).....	32
Figura 17: Tipos de Aisladores de péndulo friccional	34
Figura 18: Partes principales de un aislador de primera generación.....	35
Figura 19: Principio de funcionamiento de aisladores FPS	35
Figura 20: Aisladores de péndulo de fricción simple.....	37
Figura 21: Curva de histéresis del Aisladores de péndulo de fricción simple	39
Figura 22: Corte de un aislador de doble péndulo de fricción.....	42
Figura 23: Fase I del Aislador de doble péndulo de fricción.....	43

Figura 24: Fase II del Aislador de doble péndulo de fricción (Desplazamiento máximo)	45
Figura 25: Curva de histéresis del Aislador de doble péndulo de fricción	47
Figura 26: Partes principales del Aislador de triple péndulo de fricción.....	48
Figura 27: Relación fuerza-desplazamiento del aislador de triple péndulo de fricción	52
Figura 28: Comparación de la respuesta de un edificio sin y con aislación basal	53
Figura 29: Diagramas de deformación de un edificio sin y con aislamiento basal	54
Figura 30: Plano de planta.....	64
Figura 31: Plano de elevación principal.....	64
Figura 32: Plano de elevación (corte)	65
Figura 33: Curva de esfuerzo - deformación del acero	68
Figura 34: Losa membrana tipo nervada o canaleta.....	70
Figura 35: Propiedades de losa aligerada.....	70
Figura 36: Dimensión de columna existente C-1	71
Figura 37: Dimensión de columna existente C-2.....	71
Figura 38: Dimensión de columna existente C-A	72
Figura 39: Dimensión de viga existente VP-1.....	72
Figura 40: Dimensión de viga existente VP-2	72
Figura 41: Dimensión de viga existente VS-1	73
Figura 42: Dimensión de viga existente VB	73
Figura 43: Dimensión de viga acarteladas existentes VL-1 y VL2	73
Figura 44: Zonificación.....	76
Figura 45: Espectro de Respuesta	84
Figura 46: Estructuración de Edificación Aislada – Vista 3D.....	86
Figura 47: Estructuración de Edificación Aislada – Ubicación de Aisladores en la base de Superestructura.....	87
Figura 48: Estructuración de edificación aislada – Vista frontal	88
Figura 49: Estructuración de edificación aislada – Vista frontal.....	88
Figura 50: Esquema del Asiento de Apoyo de Péndulo Friccional Simple	92
Figura 51: Vista en planta del aislador.....	92

Figura 52: Registro de Evento Sísmico - Lima 03/10/1974.....	95
Figura 53: Registro de Evento Sísmico – Moquegua 23/06/2001	96
Figura 54: Registro de Evento Sísmico – Ica 15/08/2007.....	96
Figura 55: Factor de Reducción Sísmico (R).....	98
Figura 56: Espectro de Diseño con $R=1$	99
Figura 57: Espectro de diseño con $R=1$ en Etabs.2016.....	100
Figura 58: Paso 01 modelamiento de acelerogramas.....	101
Figura 59: Paso 02 modelamiento de acelerogramas.....	102
Figura 60: Paso 03 modelamiento de acelerogramas.....	102
Figura 61: Acelerograma – Lima 03/10/1974.....	103
Figura 62: Acelerograma – Moquegua 23/06/2001	103
Figura 63: Acelerograma – Ica 15/08/2001	104
Figura 64: Paso 01 modelamiento de escalado de acelerogramas	105
Figura 65: Paso 02 modelamiento de escalado de acelerogramas	106
Figura 66: Paso 03 modelamiento de escalado de acelerogramas	106
Figura 67: Acelerograma escalado – Lima 03/10/1974	107
Figura 68: Acelerograma escalado – Moquegua 23/06/2001	108
Figura 69: Acelerograma – Ica 15/08/2001	109
Figura 70: Paso 01 modelamiento de aislador FPS.....	110
Figura 71: Paso 02 modelamiento de aislador FPS.....	111
Figura 72: Paso 03 modelamiento de aislador FPS.....	111
Figura 73: Paso 05 modelamiento de aislador FPS.....	112
Figura 74: Curva de histéresis del aislador de FPS - Lima 03/10/1974.....	113
Figura 75: Curva de histéresis de aislador de FPS - Moquegua 23/06/2001	113
Figura 76: Curva de histéresis de aislador de FPS - Ica 15/08/2007	113
Figura 77: Primer modo de vibración sin aislamiento	114
Figura 78: Segundo modo de vibración sin aislamiento	115
Figura 79: Tercer modo de vibración sin aislamiento.....	115
Figura 80: Primer modo de vibración con aislamiento	119
Figura 81: Segundo modo de vibración con aislamiento	120
Figura 82: Tercer modo de vibración con aislamiento.....	120

Figura 83: Diagrama comparativo entre modos de vibración.....	127
Figura 84: Diagrama comparativo entre desplazamientos en eje X-X	128
Figura 85: Diagrama comparativo entre desplazamientos en eje Y-Y	129
Figura 86: Diagrama comparativo entre derivas de entrepiso en eje X-X.....	131
Figura 87: Diagrama comparativo entre derivas de entrepiso en eje Y-Y.....	132
Figura 88: Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en eje X-X.....	133
Figura 89: Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en eje Y-Y	134

RESUMEN

Este proyecto de investigación realizó la comparación de dos situaciones de comportamiento sísmico de un centro educativo, confrontando el diseño convencional basado en la Norma Técnica E.030 frente a un diseño con aisladores sísmicos de péndulo friccional simple frente; la estructura analizada es el pabellón B del Centro Educativo Jorge Chávez, de tres niveles, la cual cuenta con cuatros aulas por nivel y está ubicado en el distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, de la provincia y departamento de Tacna; comprendiendo los siguientes pasos: 1) diseño y análisis del centro educativo con un diseño convencional, 2) diseño y análisis del centro educativo con un diseño de asientos de apoyo de péndulo friccional simple y 3) análisis comparativo entre la estructura con y sin aisladores sísmicos.

Se detalló el comportamiento y las propiedades de los sistemas de asientos de apoyo de péndulo friccional simple y se define su procedimiento de análisis, modelamiento y diseño siguiendo los lineamientos del ASCE/SEI 7-16; para el análisis tiempo historia se emplearon las dos magnitudes horizontales de los registros de acelerogramas debidamente escalados de tres eventos sísmicos reales.

Concluyendo qué, al incluir un sistema de asientos de apoyo de péndulo friccional simple en las estructuras, se obtendrá un mejor comportamiento estructural; cumpliendo ampliamente con los parámetros de desempeño de la Norma Técnica E.030, permitiéndonos reducir las secciones de la estructura, sin alterar los altos niveles de seguridad y protección sísmica en los elementos estructurales y no estructurales.

Palabras claves: comparación de dos situaciones de comportamiento sísmico, diseño convencional basado en la Norma Técnica E.030, diseño con aisladores sísmicos de péndulo friccional simple, centro educativo, Tacna.

ABSTRACT

This project of investigation made the comparison of two situations of seismic behavior of an educational center, comparing the conventional design based on the Technical Standard E.030 against a design with simple front frictional pendulum seismic isolators; the structure analyzed is pavilion B of the Jorge Chávez Educational Center, with three levels, which has four classrooms per level and is located in the district of Colonel Gregorio Albarracín Lanchipa, in the province and department of Tacna; comprising the following steps: 1) design and analysis of the educational center with a conventional design, 2) design and analysis of the educational center with a simple frictional pendulum support seat design and 3) comparative analysis between the structure with and without seismic isolators .

It's detailed the behavior and the properties on the seating systems of support of frictional pendulum simple and defined its procedure of análisis, modeling and design following the guidelines of the ASCE/SEI 7-16; from the analysis time-story, there was used two horizontal magnitudes of the record of acceletograms properly scaled of three actual seismic events.

Concluding that, a seating system of support of frictional pendulum simple in the strutures, it will get a better structural behavior; fulfilling widely with the parameter of perfomance of the technical standard E.0.30, letting us to reduce the sections of the structure, without altering the high levels of fecurity and protection seismic in the elements structural and not structural.

INTRODUCCIÓN

El Perú se encuentra localizado en una de las zonas sísmicas más activas del mundo, ya que nos situamos en el borde occidental de Sudamérica donde se produce la liberación de energía por la interacción convergente del fenómeno de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana, lo que genera que ocurran en nuestro país diversos sismos muy destructores; de aquí, nace la necesidad que las edificaciones construidas en esta zona deban contar con un diseño sismo-resistente, para que de esta manera puedan resistir este tipo de solicitaciones.

En la Norma Técnica E.030 no incluye el uso de aislamiento sísmico en la base en las nuevas edificaciones de categoría A2 (instituciones educativas, institutos superiores, tecnológicos y universidades), las cuales son edificaciones esenciales que albergan gran población estudiantil y administrativa, y su operatividad debe asegurarse después de un movimiento telúrico severo pues deben de servir como refugio; conociendo que el propósito fundamental del diseño sismo-resistente es salvaguardar la vida; en tal sentido, el objetivo del presente proyecto de investigación es realizar un análisis comparativo entre el comportamiento sísmico de una estructura educativa con un sistema de aislamiento en la base frente a la misma estructura, pero con un sistema convencional basada en la Norma Técnica E.030, y así demostrar la conveniencia de considerar un sistema de aislamiento sísmico mediante asientos de apoyo ya que se lograra optimizar el comportamiento de la estructura ante un movimiento telúrico y se evitara cualquier daño en esta y su contenido.

Estos asientos de apoyo se colocan en la base de la estructura separándola del movimiento que transmite el suelo, proporcionándole un control pasivo de la vibración de la estructura, disminuyendo la transmisión de las fuerzas sísmicas.

En la actualidad existen una gran cantidad de asientos de apoyo en la base, entre los principales tenemos los siguientes:

a) Aislador Elastomérico Convencional.

Aislador elastomérico de caucho de bajo amortiguamiento (LDRB).

Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB).

b) Aislador Elastomérico con Núcleo De Plomo (LRB).

c) Aislador deslizante.

Aislador deslizante plano.

Aislador deslizante con superficie cóncava o de péndulo friccional (FPS).

El presente proyecto de investigación se enfoca especialmente en los asientos de apoyo de péndulo friccional simple y consta de las siguientes partes: 1) el problema, 2) marco teórico, 3) marco metodológico, 4) resultados y 5) conclusiones y recomendaciones.

La primera parte contiene el planteamiento del problema, formulación del problema, justificación de la investigación y los objetivos de la investigación; a continuación, en la segunda parte se darán a conocer los antecedentes del problema, las bases teóricas, el análisis comparativo del comportamiento estructural y la definición de concepto básicos; después en la tercera parte se presenta la hipótesis, variables, tipo y diseño de investigación, nivel de investigación, ámbito y tiempo social de la investigación, población, muestra, procedimiento, técnicas e instrumentos; luego en la cuarta parte se indica la descripción del trabajo de campo, el diseño de la presentación de los resultados, los resultados, pruebas estadísticas y comprobación de resultados; y finalmente en la quinta parte se detalla las conclusiones y recomendaciones

I EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sismos son manifestaciones naturales que han coexistido con nosotros desde el inicio de la historia y a pesar de todo el avance tecnológico estos desastres naturales son inevitables e impredecibles (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012). Por lo que es muy importante considerar a los eventos sísmicos al momento de diseñar cualquier edificación, debido a que estos movimientos telúricos pueden generar cuantiosos daños en la estructura de la edificación poniendo en alto riesgo a las personas que utilicen dichas edificaciones (Chiriboga, 2013).

La distribución de los eventos sísmicos no es equitativa en el mundo, hay zonas donde los movimientos telúricos son de mayor frecuencia e intensidad (Arriagada, 2005), el Perú se encuentra localizado en una las zonas sísmicas más activas del mundo, ya que nos situamos en el borde occidental de Sudamérica donde se produce la liberación de energía por la interacción convergente del fenómeno de subducción entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana (Carmona & Rosas, 2015).

El distrito de Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y departamento de Tacna, está localizada al extremo sur del Perú. Como se sabe el sur del Perú y el norte de Chile, específicamente la frontera Tacna-Arica, se encuentran en una zona de alto riesgo sísmico. La estadística histórica indica que en el año 1868 y 1877 se han producido movimientos telúricos de importancia en esta zona. De ahí la necesidad de que toda edificación construida en ese distrito debe contar con un diseño sismo-resistente para poder así resistir este tipo de solicitaciones. (Vera, 1996)

A lo largo del tiempo en el Perú han ocurrido diversos sismos muy destructores, los cuales detallamos a continuación:

Tabla 1:
Sismos en el Perú

Ítem	Año	Lugar	Descripción
1	1868	Arica	Ocasionó fuerte destrucción en Arica, Tacna, Moquegua, Ilo, Torata, Iquique y Arequipa, con magnitud de 8.6 en escala de Richter
2	1922	Arequipa	Fue sentido fuertemente en Chala, Acari, Puquio, Palpa, Ica.
3	1928	Puno	Destruyó Ayapata, y Tatua Ollachea.
4	1958	Arequipa	Por efectos del sismo, se desprendieron enormes bloques de rocas tanto del volcán Misti como de los cerros circunvecinos, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
5	1966	Lima y Callao	Se sintió en todo el Norte Chico y algunas localidades del Sur. Afectó numerosas poblaciones del interior.
6	1970	Piura y Tumbes	Se sintió en Ecuador donde hubo muertes y daños materiales, con magnitud de 7.2 en escala Richter.
7	1979	Arequipa	Ocasionó muertes y muchos heridos. Produjo severos daños en las localidades de Chuquibamba y pueblos del valle de Majes, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
8	1986	Cusco	Terremoto en Cusco destruyo casi todo, con magnitud de 5.8 en escala de Richter.
9	1991	Amazonas	Afectó San Martín, Amazonas y La Libertad, con magnitud de 6.2 en escala Richter.
10	1996	Nazca	Produjo un violento Terremoto en el Sur del país provincias de Ica, Pisco, Nazca y Palpa en el departamento de Ica, con magnitud de 6.4 en escala de Richter
11	2001	Arequipa, Moquegua y Tacna	Tuvo características importantes entre las que se destaca la complejidad de su registro y ocurrencia
12	2001	Pisco	Tsunami en Pisco, originado por un sismo con epicentro en el mar a 60 km al oeste de Pisco, de 7.9 escala Richter. Inundo la localidad de Lagunillas .Causo 3 muertos y muchos daños materiales.

Nota: Fuente (Huanca & Meléndez, 2016)

El propósito fundamental del diseño sismo-resistente es salvaguardar la vida, motivo por el cual realiza incesantes esfuerzos en el análisis y desarrollo de nuevas tecnologías que permitan optimizar el desempeño sísmico de las estructuras para disminuir su riesgo de colapso. En tal sentido, para optimizar el comportamiento de las edificaciones ante un movimiento telúrico e incluso poder diseñar a fin de evitar cualquier daño a la estructura y sus contenidos, conviene

considerar un sistema de aislamiento sísmico mediante asientos de apoyo, proporcionándonos un control pasivo de la vibración de la estructura, disminuyendo la transmisión de las fuerzas sísmicas (Carmona & Rosas, 2015).

El problema se presenta, ya que en la Norma Técnica de Edificación E-030 manifiesta que solo las nuevas edificaciones de categoría A1 (establecimientos de salud del Sector Salud) tendrán aislamiento sísmico en la base, no incluyendo su aplicación en las nuevas edificaciones de categoría A2 (instituciones educativas, institutos superiores, tecnológicos y universidades), las cuales son edificaciones esenciales que albergan gran población estudiantil y administrativa y su operatividad debe asegurarse pues deben de servir como refugio después de un movimiento telúrico severo; y a que existen profesionales que aún desconocen los procedimientos de diseño y las ventajas del uso y el funcionamiento de los Sistemas de Asientos de Apoyo en tema de estructura, en cuanto a los desplazamientos, distorsiones y esfuerzos que presenta su diseño ante un movimiento telúrico (Pino & Llerena, 2015).

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante Principal

¿En qué medida la respuesta sísmica de un centro educativo de la ciudad de Tacna, diseñado con aisladores sísmicos de péndulo friccional va a obtener un mejor comportamiento estructural frente a un diseño con el método convencional basado en la norma E-030 – en el año 2019?

1.2.2 Interrogantes Secundarias

- a) ¿Cuál es el resultado del diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basada en la Norma E-030?

- b) ¿Cuál es el resultado del diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos de péndulo friccional?
- c) ¿Cuál es el comportamiento sísmico obtenido del diseño estructural del centro educativo sin aisladores sísmicos frente al diseño estructural con aisladores sísmicos de péndulo friccional?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Como se mencionó en el planteamiento del problema, el distrito de Coronel Gregorio Albarracín Lanchipa de la ciudad de Tacna se encuentra ubicada en una zona que en cualquier momento podría acontecer un evento sísmico severo que podría hacer colapsar muchas estructuras; estos movimientos telúricos son impredecibles, pero sus consecuencias pueden ser disminuidas y muchas veces neutralizadas, debido al uso de diversos sistemas de protección sísmica, siendo uno de ellos los aisladores sísmicos en la base.

Las construcciones realizadas en el distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa de la provincia Tacna – Tacna en su gran mayoría son informales pues no se rigen bajo parámetros sísmicos, solo algunas son diseñadas bajo los criterios de la Norma Técnica E-030 pero ninguna de ellas incluye el uso de asientos de apoyo, dado que no existen muchos antecedentes en el análisis y diseño de estructuras con este sistema de aislamiento. Motivo por el cual se justifica la necesidad de realizar esta investigación y así comprender de una manera correcta el comportamiento, beneficios y limitaciones en el uso de un sistema de asientos de apoyo para mejorar el comportamiento sismorresistente de las edificaciones actuales evitando su colapso, las pérdidas económicas y sobre todo las pérdidas humanas.

Con esta investigación se pretende hacer un aporte llevando a cabo el desarrollo del análisis comparativo del comportamiento estructural de un centro

educativo con un diseño convencional basado en la norma E-030 frente a un diseño con aisladores sísmicos de péndulo friccional en ciudad de Tacna, indicando cuál de estos entregara un mejor comportamiento a través de la comparación de parámetros ante la presencia de un sismo; esperando que el edificio provisto de aisladores sísmicos mejore de forma excepcional su comportamiento, reduciéndose las derivas y fuerzas cortantes.

Al mismo tiempo en la actualidad no existen investigaciones ni antecedentes del uso y ventaja de los aisladores de péndulo friccional para la construcción de centros educativos en el distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa de la provincia de Tacna - Tacna.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.4.1 Objetivo General

Analizar y diseñar un centro educativo de la ciudad de Tacna, con aisladores sísmicos en la base de péndulo friccional y compararlo frente a diseño convencional basada en la norma E-030 – en el año 2019.

1.4.2 Objetivos Específicos

- a) Realizar un diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basado en la Norma E-030.
- b) Realizar un diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos de péndulo friccional.
- c) Comparar el comportamiento estructural de un centro educativo obtenido del diseño sin aisladores sísmicos frente al diseño con aisladores sísmicos de péndulo friccional.

II MARCO TEÓRICO

2.1 ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACION

2.1.1 Antecedentes Locales

En investigaciones realizadas a nivel local, se encontró a la Bach. Jhessenia Eveling Huanca Chambilla y Bach. Marienela Astrid Meléndez Limache (2016) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Tacna – Perú, buscaron identificar el mejor comportamiento estructural entre una edificación con asientos de apoyo a nivel intermedio de la estructura y otra con sistema convencional basada en la norma técnica E-030, para esto se analizó una edificación de 5 niveles con 2 sótanos. Se ejecutó un análisis comparativo entre ambos diseños estructurales, considerando sus fuerzas cortantes, desplazamientos derivas o distorsiones. En esta investigación se encontró que la estructura con asientos de apoyo obtiene una menor fuerza cortante, una mínima diferencia de desplazamiento entre el primer y quinto piso y una menor deriva. Se concluyó en que el desempeño del edificio aislado presenta un mejor comportamiento sismorresistente que una edificación construida convencionalmente.

En investigaciones realizadas a nivel local, se encontró a Luis Vera Abarca (1996) quien, en su investigación publicada por la Publicación mensual de Ciencia & Desarrollo de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, buscó detallar la microzonificación sísmica del casco urbano, para esto se analizó el suelo de la ciudad de Tacna – Perú. Se ejecutó la delimitación del área de estudio alrededor del centro urbano, división del área en sectores de similares características en fenómenos naturales violentos, calificación de cada área utilizando criterios simples de determinación. En esta investigación se encontró que los suelos de la ciudad de Tana – Perú, en su mayor parte corresponden a depósitos fluvio-aluviales del río Caplina, y algunas zonas del Cono Norte y distrito de Pocollay están en formaciones geológicas de características diferentes, existiendo tobas volcánicas y arenas, producto del intemperismo de los depósitos subyacentes. Se concluyó que,

considerando las características del suelo de la ciudad de Tacna, se recomienda que el crecimiento urbano se hacia el cono sur, evitando su crecimiento en las faldas de los cerros del cono norte.

En investigaciones realizadas a nivel local, se encontró al Bach. Elvis Meléndez Machaca y Bach. Miguel Ángel Gutiérrez Cáceres quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Tacna - Perú, buscó aportar con información técnica en el diseño y construcción de futuras construcciones que tengan un sistema con asientos de apoyo, para esto se analizó el bloque “A” Y “B” del nuevo Hospital Hipólito Unanue de Tacna. Se ejecutó un análisis comparativo de los resultados de periodos de vibración y desplazamientos de la edificación con y sin asientos de apoyo, también se diseñó el sistema de asiento de apoyo elastoméricos en la base y finalmente se describió las etapas del proceso constructivo de montaje e instalación de los asientos de apoyo. En esta investigación se encontró que al realizar el diseño de la edificación con asientos de apoyo vamos a obtener valores que cumplen con holgura las exigencias de la norma E.030. Se concluyó que la edificación con asientos de apoyo ante un evento sísmico severo, no sufriría daño en los elementos no estructurales o bien si existiría seria el mínimo.

2.1.2 Antecedentes Nacionales

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Pedro Carmona Ramírez y Bach. Angello Jesús Rosas Fetta (2015) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima; buscaron efectuar un diseño estructural y un análisis comparativo empleando asientos de apoyo en la base frente un sistema dual basado en el criterio normativo sismo resistente, para esto se analizó el Edificio de Oficinas SCHELL de seis pisos. Se ejecutó un análisis sísmico dinámico utilizando un espectro en ambos diseños estructurales, comparando los resultados alcanzados en los diversos análisis y modelamiento, considerando las deformaciones laterales por piso, periodos y frecuencia, fuerzas internas máximas

y los desplazamientos laterales de la estructura. En esta investigación se encontró que la edificación con el sistema dual muestra mayores desplazamientos relativos, pero no desplazamiento en la base, periodos menores, mayores fuerzas internas y mayores derivas. Se concluyó en que, al utilizar los sistemas de asiento de apoyo, se consiguen mayores periodos de la edificación, teniendo menores aceleraciones y por ende las fuerzas sísmicas disminuirán. Lo cual contribuirá a menores demandas de diseño.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Paul Alexander Korswagen Eguren, Bach. Julio César Arias Ricse y Bach. Pamela Grace Huaranga Huamani (2012) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscaron realizar una indagación bibliográfica de los tipos, comportamientos, consideraciones en el uso de asientos de apoyo en la base; comparar el comportamiento de varios modelos para determinar la influencia de los aisladores, rediseñar una estructura con el sistema de aisladores sísmicos y evaluar las diferencias en el diseño final, para esto se analizó la posibilidad estructural de incluir asientos de apoyo en estructuras en el Perú. Se ejecutó el análisis de modelos de estructuras aisladas, diseño de estructuras con aisladores y el uso de aisladores en estructuras peruanas. Se concluyó en que la aislación sísmica de edificaciones en el Perú es beneficiosa en gran parte de los casos, ya que las frecuencias predominantes de los sismos son altas, lo que implica que estructuras con periodos altos, como es el caso de las estructuras con asientos de apoyo.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Melanio Luque Ytusaca (2016) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Puno, buscó evaluar el desempeño estructural de una edificación existente con una propuesta de sistema estructural con aislación de la base, para esto se analizó un edificio de 15 pisos de la ciudad universitaria de Puno. Se ejecutó un análisis sísmico estructural del proyecto con un sistema convencional de base fija y un análisis estructural con aislación de la base de tipo HDR, LRB Y FPS. En esta investigación se encontró que la estructura con asientos de apoyo de péndulo friccional (FPS) presenta menores desplazamientos y menores aceleraciones. Se

concluyó en que el uso de asientos de apoyo de péndulo friccional, aporta mejores condiciones en la estructura del edificio de 15 niveles, obteniendo menores desplazamientos, menores aceleraciones.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Andrés Ignacio Martínez Colán y Bach. Carlos Jesús Melgar Cueva (2015) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscaron puntualizar la descripción, compresión y funcionamiento de los aisladores sísmicos deslizantes en edificaciones, enfocándose más en los asientos de apoyo de péndulo friccional simple, para esto se analizó un edificio de oficinas de 7 pisos y 5 sótanos bajo 2 alternativas. Se ejecutó el análisis del edificio con base fija y sistema estructural de muros de corte de concreto armado, el análisis del mismo edificio, pero con asientos de apoyo de péndulo friccional y el análisis comparativo entre el edificio de base fija y el aislado considerando las derivas, aceleraciones, desplazamientos y cortantes basales. En esta investigación se encontró que en la estructura con asientos de apoyo las aceleraciones espectrales disminuyen, las derivas de piso se logra reducir las derivas de entrepiso y reduciendo las cortantes de piso. Se concluyó que utilizando aisladores de péndulo friccional simple se puede resistir movimientos telúricos severos sin daños significativos en la estructura y sin daño extensivo en el contenido, dado que el uso de asientos de apoyo permitió mejorar notablemente el comportamiento.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Gerson Manuel Medina Mamani & Bach. Julia Tania Choque Ccallomamani (2017) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Arequipa, buscaron ejecutar el diseño y análisis de una estructura con asientos de apoyo de tipo elastoméricos con núcleo de plomo, para esto se analizó una edificación de 6 pisos con un sótano. Se ejecutó el predimensionamiento, la estructuración, metrado de cargas y el análisis sísmico, para la edificación con base con asientos de apoyo y con base fija, presentando argumentos para una futura normativa para edificios aislados en el Perú. En esta investigación se encontró que al adjuntar asientos de

apoyo a una edificación aumenta su periodo y se reduce las aceleraciones de piso, fuerzas cortantes de cada piso, derivas, daños a los elementos estructurales y no estructurales, pero se incrementan los desplazamientos. Se concluyó que al incluir asientos de apoyo en la edificación acrecienta su seguridad y saldrá más cara a corto plazo, pero más económico a largo plazo ya que se reduce los costos de reparaciones de los elementos estructurales y no estructurales cuando se presentan movimientos telúricos.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Ing. Arnold Ramsey Mendo Rodríguez (2015) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscó adecuar a la realidad peruana a las exigencias para el diseño y análisis de edificios con asientos de apoyo, indicados en las normas extranjeras, para esto se analizó una edificación de 5 niveles de concreto armado, con asientos de apoyo en la base. Se ejecutó un análisis comparativo de los requerimientos generales para edificaciones con asientos de apoyo en la base de las normas americanas NEHRP Recommended Seismic Provisions FEMA P-750 (2009) y ASCE/SEI 7-10 (2010), la norma chilena NCh2745-2003 y su actualización del 2013. En esta investigación se propuso un espectro de diseño para el análisis y diseño de una edificación con asientos de apoyo en la base en el Perú. Se recomendó las aceleraciones de diseño para el sismo máximo probable, límites de distorsión, requisitos de diseño, de tal manera, sentar las bases para el desarrollo de una norma nacional de este tipo de edificaciones con asientos de apoyo en el Perú.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Jorge Arturo Mestanza Acevedo (2015) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscó ver cuánto mejora la respuesta sísmica de una edificación al usar un sistema de aislamiento en la base, para esto se analizó una edificación aporticada de 5 piso con asientos de apoyo de péndulo friccional simple, destinado al tener un uso de oficinas. Se ejecutó un análisis comparativo entre la edificación con base fija y la edificación con asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional. En esta investigación se encontró que en la edificación con base fija los

desplazamientos, cortante basal y distorsiones son mayores. Se concluyó que la edificación que esta modelada con un asiento de apoyo de tipo péndulo friccional reduce en alto porcentaje las distorsiones a comparación de una edificación con base fija.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Eduardo Alfredo Pino Rodríguez & Bach. Jaime Frederick Llerena Urquiza (2015) quienes, en su investigación desarrollada en la ciudad de Arequipa, buscó realizar una comparación entre dos tipos de edificaciones con y sin asientos de apoyo en la base y verificar cual es el más beneficioso, para esto se analizó un edificio multifamiliar de Ocho Niveles y un Sótano. Se ejecutó un análisis estructural de ambos sistemas de estructuración para la misma edificación, considerando a dichas estructuras con base aislada los diferentes tipos de asientos de apoyo. En esta investigación se encontró que en la edificación con asientos de apoyo se logra reducir los problemas de torsión, es más eficiente el control de derivas, su desplazamiento relativo es mucho menor, sus aceleraciones absolutas tienen un mejor comportamiento, y su cortante basal es menor. Se concluyó en que los resultados mostraron que existen importantes mejoras en el comportamiento del diseño con asientos de apoyo con respecto al diseño convencional, tanto en esfuerzos como en desplazamientos que se desarrollan bajo la acción de un sismo.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. Paul William Ruiz (2017) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscó realizar un estudio de la conducta y la mecánica de los asientos de apoyo de péndulo de fricción y triple péndulo de fricción, para esto se analizó un hospital ubicado en la ciudad de Huancayo, Se calculó y comparó las fuerzas cortantes, aceleraciones, desplazamientos, amortiguamientos y derivas de los distintos métodos de análisis de un edificio diseñado con asientos de apoyo de péndulo de fricción doble, péndula de fricción triple y de base empotrada. En esta investigación se encontró que entre los asientos de apoyo de péndulo de fricción doble y los de péndulo de fricción triple, hay una gran diferencia en los valores de desplazamiento,

aceleración, cortante y amortiguamiento entre análisis elástico y tiempo. Se concluyó que los asientos de apoyo de péndulo de fricción triple los que obtienen una mejor respuesta estructural.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Bach. José Luis Soriano Cacho (2014) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Cajamarca, buscó realizar un análisis comparativo de la respuesta estructural de una edificación con y sin asientos de apoyo en la base, para esto se analizó el pabellón A de la Universidad Privada del Norte. Se ejecutó un análisis comparativo de los desplazamientos, derivas y esfuerzos de la estructura con y sin asientos de apoyo. En esta investigación se encontró que para la estructura con asientos de apoyo las derivas de entrepiso son menores, las fuerzas en la base son menores, sus desplazamientos muestran una mejor distribución vertical y son menores. Se concluyó en que la edificación que cuenta con asientos de apoyo tiene un mejor comportamiento estructural en comparación a la edificación convencional, debido a que las derivas y fuerzas en la base son minimizados, aunque los asientos de apoyo presentan un mayor desplazamiento a nivel de diafragmas y diferentes valores de desplazamientos absolutos para el análisis tiempo-historia.

En investigaciones realizadas a nivel nacional, se encontró al Ing. Diego Villagómez Molero (2015) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima, buscó ilustrar los lineamientos generales para elaborar el análisis y diseño de edificaciones con aislamiento en la base en el Perú, para esto se analizó uno de los bloques de una clínica privada de dos niveles ubicado en el distrito de San Borja de la ciudad de Lima. Se ejecutó distintos análisis dinámicos de estructuras con asientos de apoyo. En esta investigación se presentó un estudio de peligro sísmico para las ciudades más importantes del país, procedimiento para el análisis mediante la fuerza lateral equivalente, procedimiento para el análisis espectral y un procedimiento para el análisis Tiempo – Historia. Se concluyó que para realizar un proyecto de aislamiento sísmico es necesario conocer los diferentes tipos de asientos de apoyo que se utilizan en la actualidad, que sustituir algunos asientos de

apoyo de tipo elastoméricos por deslizadores disminuyen la rigidez del sistema de aislamiento y aumentan su amortiguamiento, que para edificaciones irregulares es conveniente combinar asientos de apoyo que tengan distintas rigideces para así disminuir las dificultades por torsión y que el uso de aislamiento en la base nos permitirá contar con estructuras flexibles usando menos acero y concreto.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Ing. Jacob Jonatan Valerio Zacarias (2015) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Lima - Perú, buscó realizar un análisis comparativo del comportamiento estructural con y sin aislamiento en la base, utilizando 4 tipos de asientos de apoyo, para esto se analizó un edificio destinado para viviendas, de 7 pisos con dos departamentos por nivel y un semisótano usado principalmente para estacionamiento. Se ejecutó el análisis y modelamiento de edificación con sistema tradicional a través de un análisis tiempo historia, también se realizó el análisis y diseño de los diferentes tipos de asientos de apoyo, también se ejecutó el análisis y modelamiento de la misma estructura, pero con un sistema de asientos de apoyo a través de un análisis tiempo historia y finalmente se realizó un análisis comparativo entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que la edificación con un sistema de asientos de apoyo de tipo Roll-N-Cage (RNC) es más efectivo ya que reduce el factor de desempeño de la deriva, aceleración, y fuerza cortante, e incrementa su factor de desempeño del desplazamiento. Se concluyó que el análisis tiempo indico que el uso de asientos de apoyo de tipo HDRB, LRB, FPS y RNC, en la edificación aislada, reducen el factor de desempeño de la deriva de piso, aceleración en el piso superior, fuerza cortante en la base y desplazamiento del edificio fijo en comparación a la edificación fija.

2.1.3 Antecedentes Internacionales

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Roberto Aguiar, Fernanda Vergara, Bach. Byron Guaygua & Bach. Juan Pablo Monge (2014) quienes, en su investigación desarrollada en la Revista Internacional

de Ingeniería de Estructuras, buscaron detallar el análisis sísmico de una estructura con asientos de apoyo de péndulo friccional de primera y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo, para esto se analizó una estructura de 3 pisos. Se ejecutó en forma detallada el análisis sísmico de una estructura con tres tipos de asientos de apoyo y se compararon los resultados. En esta investigación se presentó el marco teórico de los asientos de apoyo de primera y segunda generación con núcleo de plomo. Se concluyó que el uso de asientos de apoyo es una muy buena opción para estructuras ubicadas en zonas de alta peligrosidad sísmica.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Roberto Aguiar Falconí, Bach. José Luis Almazán, Bach. Peter Dechent & Bach. Vinicio Suárez (2008) quienes, en su investigación desarrollada en el Centro de Investigaciones Científicas - Escuela Politécnica del Ejército, buscaron exponer de forma amplia el marco teórico de los asientos de apoyo, para esto se analizó los asientos de apoyo elastoméricos y de péndulo friccional simple. Se ejecutó varios ejemplos que permiten entender la teoría y así facilitar el análisis sísmico de estructuras con aisladores de base elastoméricos y de péndulo friccional de primera generación, al mismo tiempo se ha incorporado una serie de programas de computación escritos en Matlab.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Jaime Andrés Arriagada Rosas (2005) quien, en su investigación desarrollada en Chile, buscó realizar un análisis comparativo de comportamiento y costos de un edificio tradicional con y sin asientos de apoyo, para esto se analizó un edificio de oficinas de siete pisos. Se ejecutó el análisis y diseño de la estructura convencional, el diseño y análisis del sistema con asientos de apoyo y el análisis comparativo de costos entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que, en el edificio con asientos de apoyos, los esfuerzos resultantes de sus elementos estructurales son claramente menores a los que presentó el edificio con sistema convencional, obteniendo una disminución de las secciones de los elementos estructurales y una

menor cantidad de acero. Se concluyó que el diseño del edificio Vanguardia con asientos de apoyo cumplió con todas las exigencias que solicita la norma.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Fabián Alfredo Cando Cando, Bach. Christian Mauricio Monroy Rocano, Bach. Juan Carlos Ortega Sarmiento & Bach. Oscar Andrés Puerres Guilcazo (2012) quienes, en su investigación desarrollada en el país de Ecuador, buscaron realizar el análisis comparativo del comportamiento estructural de un edificio con y sin asientos de apoyo, estudiando el beneficio de la implementación del aislamiento basal para un caso particular de un edificio, para esto se analizó un edificio HALL CENTRAL, de 7 niveles que tiene una tipología estructural de elementos de hormigón armado. Se ejecutó el análisis y diseño del edificio convencional apoyado por el programa computacional SAP2000, el análisis y diseño del edificio con asientos de apoyo elastoméricos convencionales, elastomérico con núcleo de plomo y de péndulo friccional. En esta investigación se encontró que los tres sistemas de asientos de apoyo cumplen con el objetivo de aislar el edificio, cada sistema tiene sus propias características y formas de actuar generando beneficiosos efectos, siendo un sistema mixto el que mejor cumple con los requerimientos técnicos, teniendo una ventaja desde el punto de vista estructural, de seguridad y económico. Se concluyó que el edificio Hall Central con un sistema aislado logra un comportamiento estructural muy superior respecto a su versión convencional, y además económicamente representa una opción bastante competitiva.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Ángel David Cango Puchaicela (2018) quien, en su investigación desarrollada en Cuenca - Ecuador, buscó diseñar los asientos apoyo para un edificio usando aisladores de triple péndulo, para esto se analizó un edificio de acero de 6 pisos (destinado para oficinas). Se ejecutó el diseño y análisis sísmico (estático y dinámico) de sistemas con asientos de apoyo de péndulo friccional. En esta investigación se encontró que las propiedades que más intervienen en el comportamiento de un asiento de apoyo de FPT son los coeficientes de fricción y

los radios de curvatura. Los coeficientes de fricción aumentan el amortiguamiento y los radios de curvatura incrementen el periodo. Se concluyó que en un edificio con asientos de apoyo de tipo triple péndulo de fricción logra reducir su demanda sísmica, lo que permite diseñar estructuras elásticas que no entran en el rango inelástico, asegurando de esta manera la integridad de la estructura y de sus ocupantes.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Esteban Enrique Chiriboga López (2013) quien, en su investigación desarrollada en Quito - Ecuador, buscó analizar y diseñar el edificio con o si asientos de apoyo, e identificar el beneficio de cada uno, independientemente de la implementación o no de una estructura aislada, para esto se analizó el edificio Bloque de Hospitalización “D” del Hospital Provincial de Ambato. Se ejecutó el diseño del edificio tradicional, se identificó las diferentes respuestas del edificio con asientos de apoyo elastomérico y de péndulo friccional. En esta investigación se encontró que en el diseño de los 3 tipos de aisladores el que mejor resultado dio fue el sistema mixto es decir aisladores HDR y LRB, obteniendo elevados niveles de seguridad y protección sísmica tanto de la edificación y de los elementos no estructurales y además económicamente representa una opción bastante competitiva, que inclusive a largo plazo podría ser menor. Se concluyó que, en la implementación de sistemas de asientos de apoyo para el caso particular del bloque “D” del Hospital provincial de Ambato, mejora el comportamiento de la edificación.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró a la Bach. Edith Pamela Lema Toapanta (2013) quien, en su investigación desarrollada en Quito - Ecuador, buscó comparar el comportamiento estructural de un edificio diseñado en forma tradicional versus el mismo diseñado con asientos de apoyo, a través de la utilización del programa de cálculo estructural ETABS 9.7.4, para esto se analizó el Bloque “E” del Hospital de Ambato. Se ejecutó el análisis y diseño de la estructura convencional, se ejecutó el análisis y diseño de diferentes asientos de apoyo, para posterior elegir la mejor opción y finalmente realizar un estudio de

costos para comparar el aspecto económico entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que el sistema de asientos de apoyo de péndulo friccional resulta ser el más provechoso para la superestructura, por su eficiencia al disipar la energía entregada por el sismo de diseño. Se concluyó que la implementación de un sistema de asientos de apoyo en el caso particular del Bloque “E” del Hospital de Ambato, mejora el comportamiento de la edificación, obteniendo elevados niveles de seguridad y protección sísmica tanto de la edificación y de los elementos no estructurales y además económicamente representa una opción bastante competitiva, que inclusive a largo plazo podría ser menor.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Róger Ivan Meza Blandón & Bach. Edgard Ezequiel Sánchez García (2010) quien, en su investigación desarrollada en la república de Nicaragua, buscó realizar un guía referente al análisis y diseño de estructuras con asientos de apoyo elastoméricos y de fricción, para esto se analizó y diseño los asientos de apoyo elastoméricos y de fricción para estructuras tipo edificios. Se ejecutó una pequeña reseña histórica y conceptos generales entorno a los asientos de apoyo, se dio una base del análisis dinámico detallando las características mecánicas de los distintos asientos de apoyo y finalmente se dieron varios ejemplos de aplicación. En esta investigación se encontró que el mayor problema al momento de diseñar los asientos de apoyo tanto elastoméricos como de fricción es sin duda la falta de conocimiento de las características de los materiales. Se concluyó que existe abundante información de conceptos de aislamiento sísmico y que hay varios tipos de asientos de apoyo, algunos en fases experimentales, su uso es apropiado en suelos que sean rígidos para evitar que los grandes desplazamientos que se dan en la base se puedan amplificar debido a grandes movimientos del terreno, anulando cualquier beneficio del aislamiento sísmico.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Juan Pablo Monge Romo (2014) quien, en su investigación desarrollada en Sangolquí - Ecuador, buscó efectuar un análisis sísmico de una edificación con

asientos de apoyo de péndulo friccional de primera y segunda generación, para esto se analizó una estructura de tres pisos. Se ejecutó el estudio del comportamiento de los asientos de apoyo de péndulo friccional de primera y segunda generación y se ejecutó el análisis del comportamiento de la edificación usando estos asientos de apoyo. En esta investigación se encontró que el principal beneficio de utilizar asientos de apoyo de la segunda generación es que poseen una capacidad mucho mayor de desplazamiento en relación con el asiento de apoyo de la primera generación y que además se mantienen prácticamente las mismas dimensiones. Se concluyó que la capacidad de desplazamiento en los asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional de segunda generación es aproximadamente el doble que el desplazamiento que posee un aislador convencional con una sola superficie esférica y que además el tamaño del aislador es el mismo.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró a la Bach. Clara Luz Mullo Pilamunga (2014) quien, en su investigación desarrollada en Quito - Ecuador, buscó analizar el comportamiento estructural de un edificio con y sin asientos de apoyo, para esto se analizó el bloque Hospitalización I del Hospital Regional de Ambato, de 7 plantas. Se ejecutó el análisis y diseño del edificio con sistema convencional, el análisis y diseño del mismo edificio con asientos de apoyo elastoméricos convencionales y de núcleo de plomo y finalmente se ejecutó un análisis comparativo entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que todos los modelos de asientos de apoyo cumplen de manera exitosa las condiciones de derivas de piso y participación modal. Se concluyó que el modelo de la edificación que tiene asientos de apoyo de tipo HDR y LBR son los que presentan mayores ventajas estructurales con los demás sistemas de aislación y con el diseño convencional; obteniendo valores más favorables de derivas, cortantes y participación modal.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Bach. Cristian Xavier Orbea León (2014) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Quito Ecuador, buscó analizar y comparar el comportamiento estructural

de una edificación con y sin asientos de apoyo, mediante el programa de cálculo estructural ETABS, para esto se analizó los Edificios: Hospitalización 2 de 7 niveles más subterráneo, C. Obstetricia y Quirúrgico de un nivel, los cuales se encuentran en el Hospital Regional de Ambato. Se ejecutó el análisis de la estructura empotrada con sistema tradicional, el análisis y diseño de los sistemas de asientos de apoyo elastoméricos y de núcleo de plomo y finalmente se ejecutó la comparación entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que la edificación con un sistema de asientos de apoyo sus derivas disminuyen en comparación a las que se obtienen en referencia al sistema tradicional. Se concluyó que la estructura Hospitalización 2 que cuenta con un sistema de aislación conformado con asientos de apoyo mixtos HDR+LRB obtienen un mejor comportamiento frente a los diferentes parámetros de análisis en deformaciones relativas, corte basal, derivas de piso, aceleraciones espectrales.

En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Ing. Evelyn Magali Tipanluisa Valdivieso (2017) quien, en su investigación desarrollada en Quito - Ecuador, buscó realizar el análisis sísmico no lineal de pórticos planos con asientos de apoyo, para esto se analizó los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción. Se ejecutó la descripción de las características, propiedades y funcionamiento de los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción, también se ejecutó el análisis de pórticos planos con este tipo de asientos de apoyo incluyendo métodos estáticos y dinámicos, lineales y no lineales y finalmente se realizaron observaciones de la influencia y el comportamiento del sistema de aislación en la edificación comparando los resultados que permitieron entender el comportamiento estructural. En esta investigación se encontró que en los pórticos analizados con asientos de apoyo los periodos se incrementan notablemente, la cortante basal se redujeron, el desplazamiento y derivas son mínimas. Se concluyó que cuando se aplica el método modal espectral de forma correcta se obtienen resultados muy parecidos a los obtenidos de un análisis no lineal tiempo historia o no lineal estático como es el caso del método espectro capacidad. Al mismo tiempo se concluye que el uso de los sistemas de asientos de

poyo reduce la cortante basal, las derivas y desplazamientos se concentran en el sistema de aislación, obteniendo derivas y desplazamientos mínimos en la superestructura.

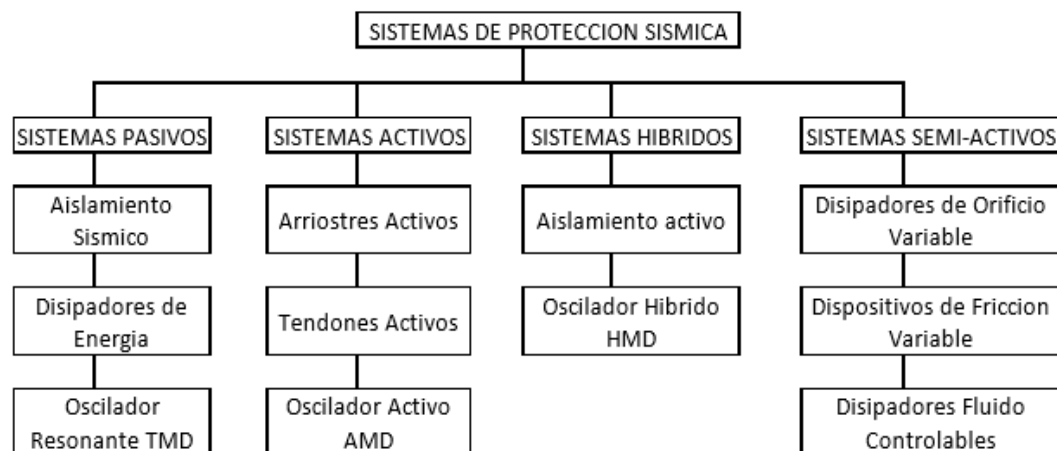
En investigaciones realizadas a nivel internacional, se encontró al Ing. Erik Gabriel Villavicencio Cedeño (2017) quien, en su investigación desarrollada en la ciudad de Quito - Ecuador, buscó demostrar las ventajas del análisis y diseño del sistema on asientos de apoyo de tipo elastoméricos de núcleo de plomo y de péndulo de fricción, para esto se analizó dos edificios de diez niveles, constituidos el primer edificio de pórticos y el segundo con muros de corte. Se ejecutó el análisis sísmico estructural de las dos edificaciones con sistema tradicional, luego se realizó el análisis sísmico estructural de las dos edificaciones con un sistema de asientos de apoyo, y finalmente se ejecutó un análisis comparativo entre ambos sistemas. En esta investigación se encontró que las dos edificaciones con un sistema de asientos de apoyo van a obtener un mejor resultado estructural en relación de periodos, cortantes de pisos, cortantes basales, desplazamientos y finalmente derivas. Se concluyó que entre los asientos de apoyo de tipo (LRB) y (FPS) el que mejor respuesta sísmica presenta son los aisladores de tipo elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) tanto en las edificaciones con sistema aporticado como para las edificaciones con un sistema de muros de corte, obteniendo disminución en las fuerzas cortantes de piso, cortantes basales, desplazamientos y derivas de pisos.

2.2 BASES TEÓRICAS

Desde la antigüedad la humanidad ha tenido la ambición de poder predecir y prevenir los eventos sísmicos, motivo por el cual al transcurrir el tiempo se han generado dos tipos de estudio, la sismología que abarca el tema desde el punto de vista de las ciencias de la tierra y la ingeniería civil que su objetivo es generar construcciones que garanticen la seguridad y el servicio de la misma. La ingeniería sísmica surge a inicios del siglo XX creando un vínculo entre la sismología y la ingeniería civil, teniendo como objetivo inicial atenuar la amenaza sísmica, para posteriormente desarrollar soluciones al problema sísmico englobando todos sus esfuerzos en minimizar y eventualmente eliminar la peligrosidad sísmica. (Arriagada, 2005)

Todo movimiento telúrico deja cuantiosas pérdidas humanas y materiales, debido a esto el hombre en los últimos años ha puesto su máximo esfuerzo en crear sistemas de protección que ayuden a minimizar los efectos destructivos de una estructura durante un evento sísmico, tales como los sistemas de disipación pasiva, sistemas de disipación activa, sistemas híbridos y sistemas semi-activos. (Aguar, Vergara, Guaygua, & Monge, 2014)

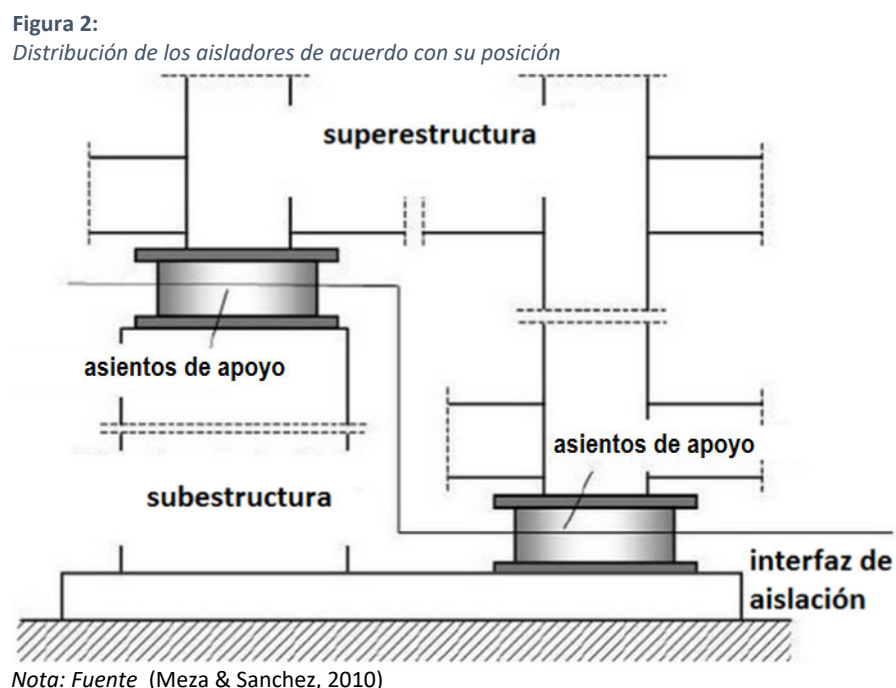
Figura 1:
Sistemas de Protección Sísmica



Nota: Fuente - (Aguar, Vergara, Guaygua, & Monge, 2014)

El aislamiento sísmico busca separar la super estructura del movimiento que se transmite en el suelo de fundación o sub estructura con el objetivo de proteger a la estructura de los efectos destructivos de los sismos ingresados por su cimentación; siendo esta hipótesis irreal pues es imposible aislar totalmente a la estructura de su fundación (Pino et al, 2015). Se han desarrollado dispositivos con el propósito de lograr esta meta, a través de elementos flexibles en la dirección horizontal, localizados entre la estructura y subestructura, reduciendo notablemente la rigidez del sistema estructural y aumentando el valor del periodo fundamental, llegando a ser tres veces más que el periodo de la estructura con un diseño sin sistema de aislamiento (Orbea, 2014).

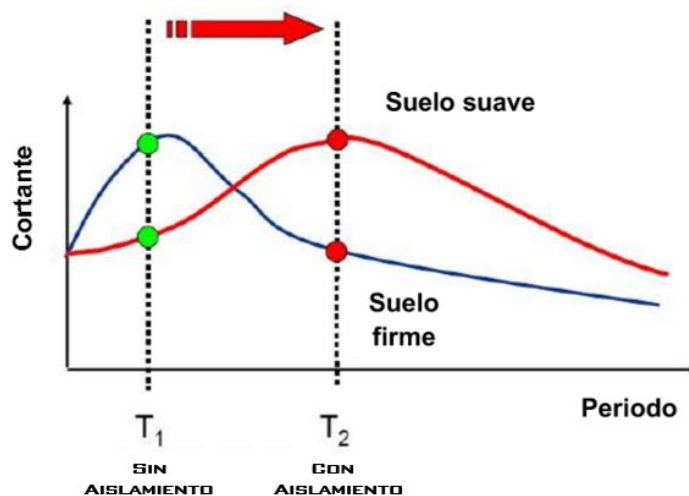
Entonces los asientos de apoyo o aisladores sísmicos son dispositivos estructurales sumamente rígidos en la dirección vertical y muy flexibles en la horizontal, consintiendo amplias deformaciones horizontales ante las solicitaciones sísmicas. Está formado por el conjunto de elementos estructurales que incluye a todos los aisladores, sus conexiones y a los elementos estructurales que transmiten fuerza entre el sistema de aislación, la superestructura y subestructura. En la figura 02 se muestra los componentes del sistema de aislación.



Los asientos de apoyo no pueden ser utilizados siempre, ya que depende de la rigidez de la estructura, de la forma del espectro de diseño y del tipo de suelo (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012).

- Las estructuras que son muy rígidas y no muy altas son las que obtienen mejores resultados al usar asientos de apoyo, ya que como sabemos el periodo natural de vibración de una estructura se incrementa con la altura de la edificación, es decir que los edificios altos alcanzarán mayores periodos. Motivo por el cual podemos indicar que la cantidad de niveles de la estructura va a ser una restricción para el uso de estos asientos de apoyo (Meza & Sanchez, 2010).
- No se recomienda el uso de asientos de apoyo en suelos tipo IV o peores, debido a que las características de estos suelos pueden transmitir las altas frecuencias causadas por el sismo y causar frecuencias que originen periodos largos. Estos periodos largos del suelo incrementarán de manera desfavorable los desplazamientos de las estructuras ya flexibles, las cuales a efecto de esto sufrirán daños severos y colapso (Meza & Sanchez, 2010).
- Entonces en el caso de suelos suaves, las estructuras flexibles estarán sometidas a mayores fuerzas cortantes. Esto se detalla de manera gráfica en la Figura 03, donde la línea azul la respuesta del suelo firme y la línea roja representa la respuesta del suelo suave. (Meza & Sanchez, 2010)

Figura 3:
Respuesta de la estructura en suelos suaves y firmes

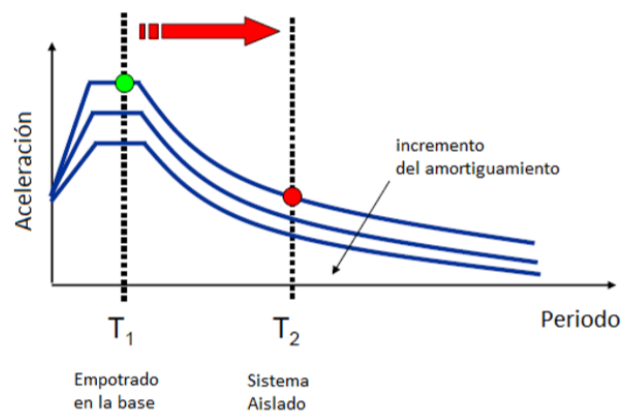


Nota: Fuente (Meza & Sanchez, 2010)

Los asientos de apoyo proveerán de flexibilidad la base de una estructura reduciéndose las fuerzas sísmicas, permitiendo de que el periodo de la estructura sea superior a los periodos predominantes del sismo. (Tipanluisa, 2017)

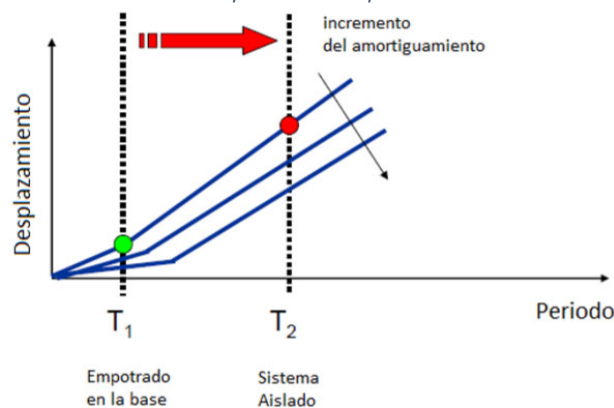
En la figura 04 se puede observar que cuando la estructura utiliza asientos de apoyo obtienen una flexibilidad adicional que reducirá la aceleración espectral y las fuerzas sísmicas sobre la estructura, alargando su periodo incrementado los desplazamientos absolutos ya que su base es menos rígida. Si obtenemos grandes desplazamientos relativos de entrepiso se producirán daños en elementos estructurales y no estructurales. En la figura 05 se muestra que el desplazamiento relativo se limita al incrementar el amortiguamiento (Carmona & Rosas, 2015).

Figura 4:
Reducción del cortante por el incremento del periodo



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

Figura 5:
Disminución de los desplazamientos por el incremento de amortiguamiento



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

Para que los asientos de apoyo tengan un buen comportamiento sísmico deben cumplir mínimamente con las siguientes demandas (Villavicencio, 2015):

- Flexibilidad horizontal que permita que el periodo de la edificación se alargue a una zona de menor aceleración espectral y así disminuir la fuerza sísmica actuante.
- Amortiguamiento que permita la disipación de energía, atenuando la demanda excesiva de deformación sobre el sistema de aislación.
- Evitar vibraciones dando rigidez para soportar las cargas de servicio, viento y frenado.

La edificación que cuente con un diseño con asientos de apoyo deberá cumplir con el siguiente comportamiento (Orbea, 2014):

- No se deberá producir daños en sus elementos estructurales, no estructurales y contenidos
- Deberán soportar movimientos telúricos pequeños y moderados sin que se generen deterioros en sus elementos estructurales, no estructurales ni en su contenido.
- Deberán soportar movimientos telúricos severos sin que:
 - El sistema de asientos de apoyo se dañe.*
 - Los elementos estructurales tengan daños significativos*
 - Los elementos no estructurales tengan daños masivos.*
 - La estructura tenga una interrupción de su operatividad.*

Al incorporar un sistema con asientos de apoyo en la base se logra: (Huanca et al, 2016)

- Debido al periodo fundamental se reducirá la respuesta sísmica.
- Debido a la capacidad de amortiguamiento de los asientos de apoyo y a la reducción de las fuerzas que se transmiten a la estructura, se reducirán los desplazamientos relativos.
- Reducir los daños en la estructura y preservar la vida humana

En la actualidad existen una gran cantidad de asientos de apoyo en la base, entre los principales tenemos los siguientes:

d) Aislador Elastomérico Convencional.

Aislador elastomérico de caucho de bajo amortiguamiento (LDRB).

Aislador elastomérico de alto amortiguamiento (HDRB).

e) Aislador Elastomérico con Núcleo De Plomo (LRB).

f) Aislador deslizante.

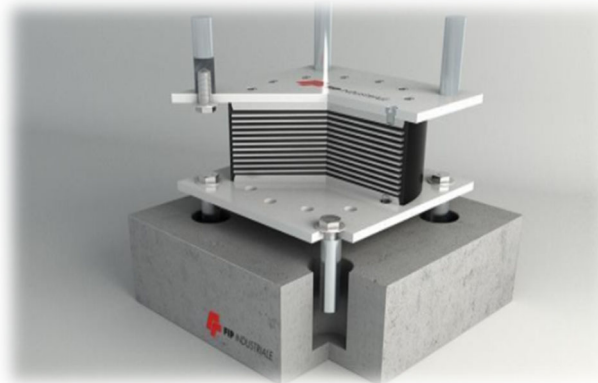
Aislador deslizante plano.

Aislador deslizante con superficie cóncava o de péndulo friccional (FPS).

Los aisladores elastoméricos de caucho natural o aisladores de caucho de bajo amortiguamiento (LDRB) son los más utilizados y simples en cuanto a los asientos de apoyo de tipo elastoméricos; están compuestos por un conjunto de capas intercaladas de goma y calces de acero adheridas entre sí por un proceso de vulcanización. (Chiriboga, 2013). La rigidez de estos asientos de apoyo es determinada por el espesor de las capas de goma entre más gruesas sean estas más flexibles será el apoyo en la dirección horizontal y su rigidez vertical es determinada por la alta rigidez en planta de los calces de acero que impide la expansión lateral de la goma que resulta de la presión vertical (Aguilar, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008). Cuentan con un bajo amortiguamiento que va entre el 2-5% y con una deformación máxima de corte del 100%, por lo que será necesario utilizar dispositivos de amortiguación adicionales (Villagómez, 2015).

Figura 6:

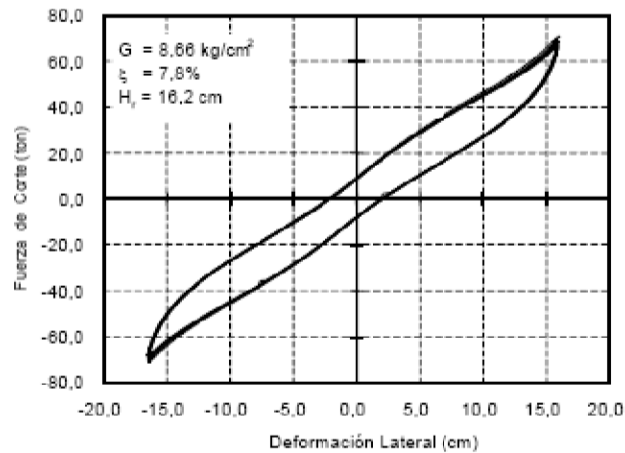
Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento



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

Figura 7:

Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador de bajo amortiguamiento

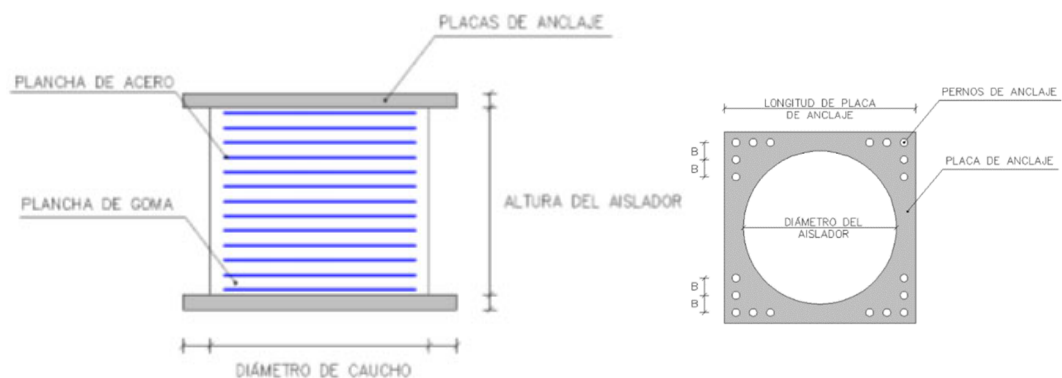


Nota: Fuente (Villagómez, 2015)

Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB) están formados por un conjunto de calces de goma y acero al igual que los asientos de apoyo de tipo elastoméricos de bajo rendimiento, pero se le han agregado compuestos químicos como carbón en polvo, aceites, resinas, polímeros u otros elementos al caucho que le dan mayor capacidad de amortiguamiento, rigidez, disipación y flexibilidad (Meza & Sanchez, 2010). Su amortiguamiento aumenta al 10-20% y su capacidad de deformación por corte llega hasta 200% o 350%, no necesitando el uso de otros dispositivos de amortiguamiento adicionales, pero presenta mayor deterioro debido al paso del tiempo, a los cambios de temperatura y frecuencia (Villagómez, 2015).

Figura 8:

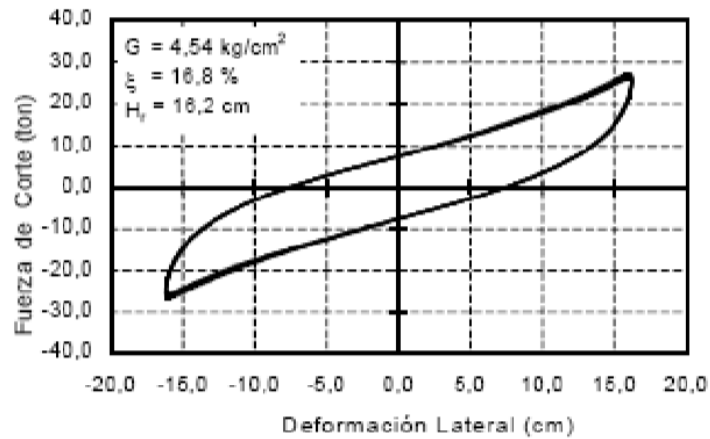
Detalles de aislador elastomérico en elevación y planta



Nota: Fuente (Soriano, 2014)

Figura 9:

Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador de alto amortiguamiento

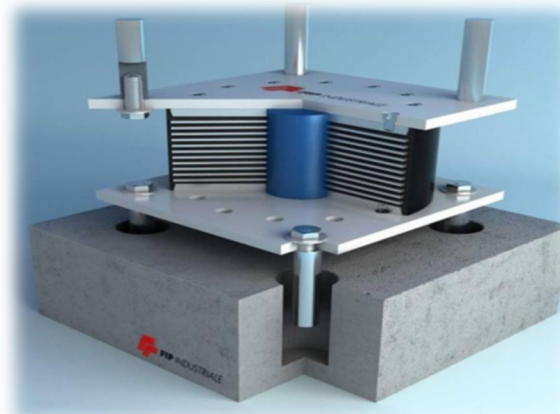


Nota: Fuente (Villagómez, 2015)

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) son elaborados a partir de los asientos de apoyo de tipo elastoméricos, pero se les incluye adicionalmente un núcleo o corazón de plomo que está ubicado generalmente en el centro del asiento de apoyo, lo cual produce que este asiento de apoyo aumente su rigidez inicial y aumente su amortiguamiento entre 25-30% de esta manera aumenta la capacidad de disipación de energía presentando una deformación máxima por corte de 125% o 200% y dada su composición son costosos (Medina & Choque, 2017).

Figura 10:

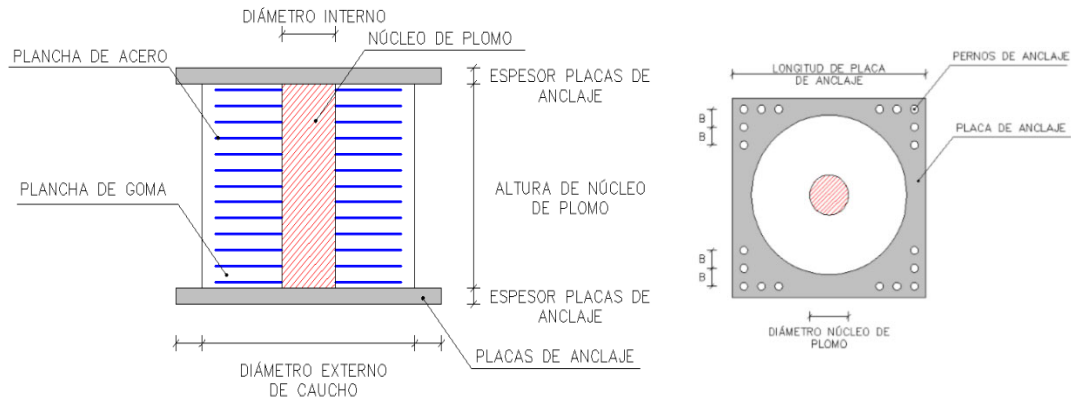
Componentes del aislador elastomérico con núcleo de plomo



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

Figura 11:

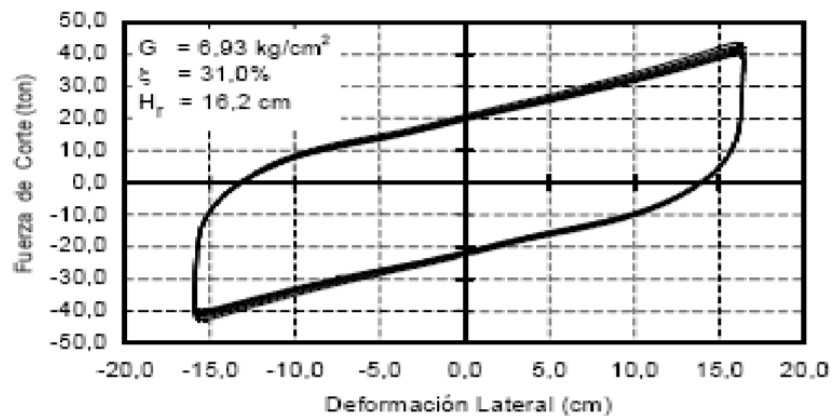
Detalles de aislador elastomérico con núcleo de plomo en elevación y planta



Nota: Fuente (Soriano, 2014)

Figura 12:

Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador con núcleo de plomo



Nota: Fuente (Villagómez, 2015)

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 (Medina & Choque, 2017). 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

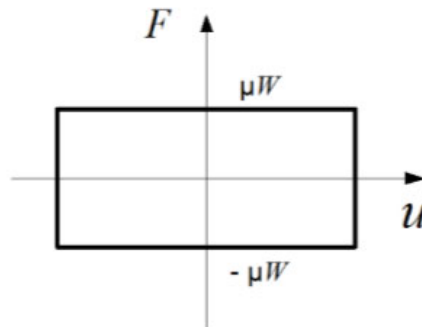
la propiedad de aislamiento de la estructura y no cuentan con un sistema restitutivo que le dé la capacidad de regresar a su posición inicial de forma independiente después de ocurrido el sismo; por lo que deberán ser usados en combinación con otros tipos de asientos de apoyo (Villagómez, 2015).

Figura 13:
Aislador deslizante plano



Nota: Fuente (Villagómez, 2015)

Figura 14:
Fuerza de corte vs deformación lateral de un aislador deslizante plano



Nota: Fuente (Villagómez, 2015)

2.2.1 Diseño Convencional

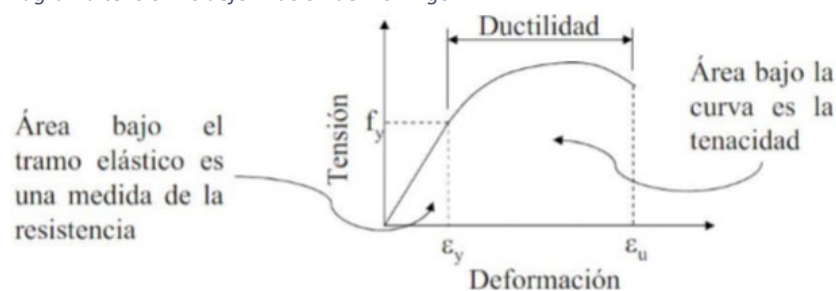
El diseño sísmico convencional tiene como principio trabajar disponiendo un control entre la capacidad de deformación y la resistencia de la edificación para que a través de la disipación de energía que produce esta, sus elementos

estructurales soporten los sismos; permitiéndose que la edificación sufra daños estructurales sin que se produzca su colapso en sismos severos (Arriagada, 2005). Los sismos producen en el suelo movimientos horizontales, mediante ondas que se propagan a la estructura a través de su base considerada fija, siendo estos movimientos el principal motivo de que se produzcan daños en las edificaciones, ya que están conectadas al suelo a través de las fundaciones (Tipanluisa, 2017).

El diseño sísmico convencional se fundamenta en la ductilidad y a 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 pues se fijan a la edificación ductilidades muy difíciles de comprobar y controlar, aparte de estar aceptando roturas parciales de la misma estructura que se debe proteger. (Arriagada, 2005)

La ductilidad es la propiedad de un sistema estructural de 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).

Figura 15:
Diagrama tensión vs deformación del hormigón



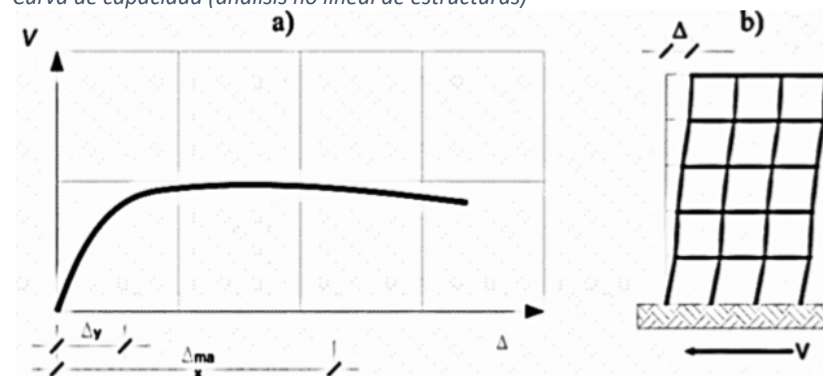
Nota: Fuente (Lema, 2013)

Para conseguir un desempeño sísmico resistente óptimo de la edificación, las normas de diseño sísmico se han orientado en reducir las aceleraciones de los pisos

y los desplazamientos de entrepisos, acogiendo un nivel de ductilidad para disipar energía, a través de la incursión de la estructura en el rango no lineal (Mendo, 2015). Este diseño denominado “convencional” tiene un gran inconveniente ya que va a controlar los daños ocasionados por las distorsiones de entrepiso rigidizando la estructura, pero esto viene a ser una solución cara y conduce a la amplificación de los movimientos de la base generando altas aceleraciones en los pisos, causando daños a los componentes no estructurales (Arriagada, 2005).

El diseño convencional utiliza el factor de ductilidad asociado al desplazamiento como criterio para establecer el espectro de respuesta inelástica para el diseño sismorresistente de los edificios. Teniendo como base ese espectro se estima la resistencia mínima requerida (capacidad de resistir fuerzas laterales) (Mendo, 2015). La curva de capacidad se consigue del análisis no lineal de estructuras sometidas a fuerzas estáticas horizontales, que relaciona el desplazamiento del nivel superior del edificio Δ , con el cortante en la base V (Lema, 2013).

Figura 16:
Curva de capacidad (análisis no lineal de estructuras)



Nota: Fuente (Lema, 2013)

Por tal motivo el diseño sísmico convencional se fundamenta en el concepto de ductilidad, pudiendo distinguirse entre un proyecto con base en la resistencia y otro con base en los desplazamientos (Luque, 2016).

El diseño sismorresistente con base en la resistencia, consiste en dimensionar las secciones de hormigón armado procurando evitar fallos frágiles de los elementos. El comportamiento global de la estructura debe ser tal, que se garantice al menos que su resistencia lateral sea igual a la resistencia elástica afectada por factores de reducción de respuesta (Luque, 2016).

El diseño sismorresistente con base en el desplazamiento, fija límites a los desplazamientos para poder garantizar que la estructura no sobrepase ciertos umbrales de deterioro, esto significa que la estructura se proyecta de acuerdo con criterios de comportamiento global (Luque, 2016).

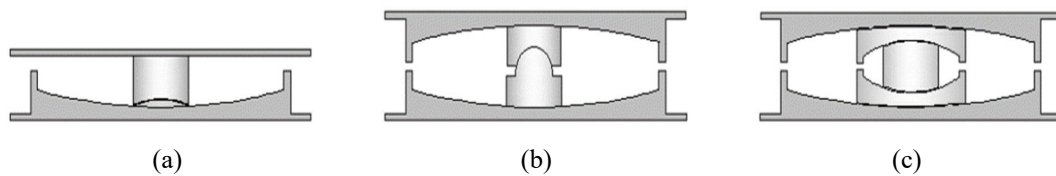
El concepto de redundancia estructural es de importancia, pues éste cumple una función nula mientras la estructura no sufra daños, sin embargo su función puede convertir de gran importancia una vez que alguno o varios de los elementos de esa estructura, ha sufrido daño tal que lo haga incapaz de seguir recibiendo incrementos de carga, o de mantener las cargas que le correspondía transmitir, lo cual provoca una redistribución de esas carga hacia el resto de los elementos de la estructura que permanecen intactos. La redundancia activa, implica que todos los elementos de un mismo tipo son capaces de recibir y distribuir cargas, mientras que la reserva de resistencia pasiva implica que ciertos componentes comienzan a funcionar una vez que ha ocurrido el fallo de otros elementos (Luque, 2016).

2.2.2 Aisladores de Péndulo de Fricción

Con relación a los asientos de apoyo de péndulo de fricción (PFS - , también conocidos como asientos de apoyo deslizantes con superficie cóncava, existen tres tipos de su clase: los de primera generación que tienen una superficie es cóncava, un deslizador y una superficie recta; los de segunda generación son de doble curvatura ya que tanto la placa inferior como la superior son cóncavas; y la tercera

generación, en que se tiene un aislador dentro de otro aislador: (Aguilar, Morales, Guaygua, & Rodríguez, 2017).

Figura 17:
Tipos de Aisladores de péndulo friccional

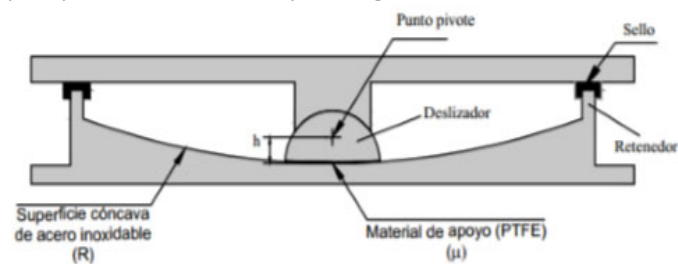


Nota: a) primera generación, b) segunda generación y c) tercera generación; fuente (Uliarte, Morandi, Bustos, & Uliarte, 2014)

2.2.2.1. Aislador de Péndulo de Fricción de Primera Generación

Los asientos de apoyo de péndulo de fricción simple (SFP, Single Friction Pendulum) o asientos de apoyo de péndulo de fricción con simple curvatura, están constituidos básicamente por dos calces; un calce superior adherida a la estructura y otra inferior adherida a la fundación. El calce inferior va a poseer una superficie cóncava, sobre la cual el calce superior se desliza ocasionando que la masa soportada se eleve con movimientos similares al de un péndulo invertido (Villagómez, 2015). Tiene la propiedad de ser autocentrantes pues sobre la superficie cóncava existe un deslizador que luego de un movimiento sísmico permite que la estructura regrese a su posición inicial debido a la geometría de la superficie y a la fuerza inducida por la gravedad (Mendo, 2015). La superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador, están cubiertos con un material que tiene un bajo coeficiente de fricción (aproximadamente 5 a 7%); y sus apoyos se encuentran sellados e instalados con la superficie deslizantes boca abajo, para evitar la contaminación de la interfaz de deslizamiento (Lema, 2013).

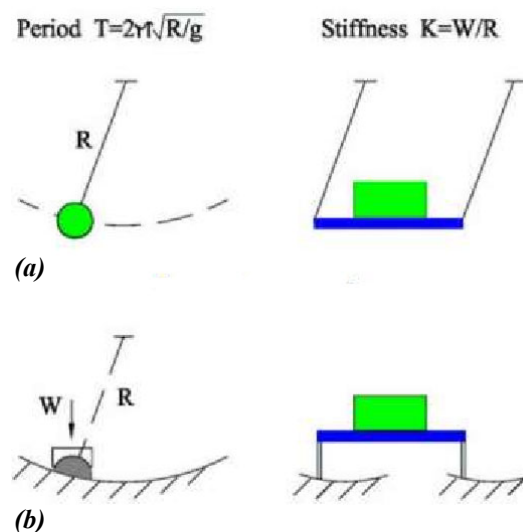
Figura 18:
Partes principales de un aislador de primera generación



Nota: Fuente (Cango, 2018)

Los asientos de apoyo de péndulo friccional simple alcanzan su propósito de aislación sísmica debido esencialmente a su configuración geométrica, la cual permite concentrar y liberar las deformaciones originadas por la acción sismo, esto ocurre cuando el deslizador se acciona y se mueve a lo largo de una superficie cóncava (ver Figura N°19-b). Siendo este movimiento comparable al movimiento de una masa suspendida (péndulo convencional), esto hace que el comportamiento de los aisladores de péndulo friccional se base en el principio de movimiento de un péndulo convencional. En la Figura N°19 se observa la similitud entre el movimiento de un péndulo convencional y del sistema de péndulo de fricción (Cango, 2018).

Figura 19:
Principio de funcionamiento de aisladores FPS



Nota: a) péndulo convencional y b) péndulo de fricción, fuente (Mestanza, 2015)

Los asientos de apoyo de péndulo friccional simple trabajan restringiendo la transmisión de corte a lo largo de la superficie de aislamiento, y cuanto menor sea el coeficiente de fricción menor será el corte transmitido. Entre una de las desventajas que tienen los asientos de apoyo de péndulo friccional es que no cuentan con ninguna fuerza efectiva de recuperación, pero pudiendo insertarlas combinando este tipo de dispositivo con los elastoméricos (Luque, 2016).

Los asientos de apoyo de péndulo friccional simple otorgan una rigidez relativa al desplazamiento lateral directamente proporcional al peso de la estructura e inversamente proporcional al radio de curvatura. Una de las propiedades de interés de este tipo de aislador es su facultad de otorgar períodos y desplazamientos largos, conservando su capacidad portante de utilidad ante la presencia de movimiento sísmicos de pulsos largos (Lema, 2013).

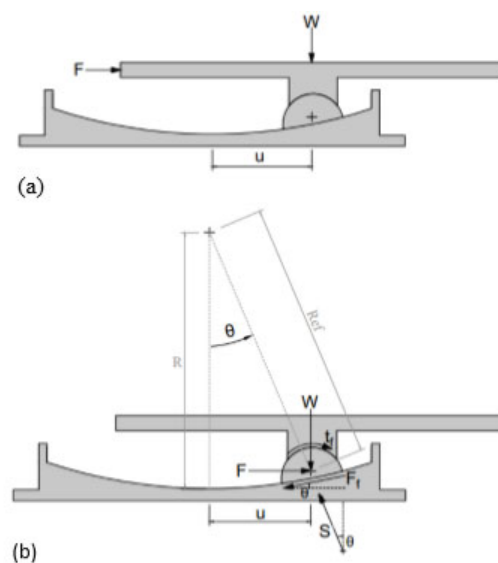
Los asientos de apoyo de péndulo friccional simple se activan solos, cuando la fuerza de corte sobre la interfaz de aislamiento ocasionada por las fuerzas sísmicas, sobrepasa a la fuerza de fricción estática. Cuando ya está en movimiento, el cursor articulado (deslizador) se mueve a lo largo de la superficie esférica cóncava, causando la elevación de la masa soportada. Durante la elevación a lo largo de la superficie esférica, este dispositivo genera una fuerza resistente lateral, equivalente a la combinación de la fuerza friccional movilizada y una fuerza de restauración provocada por la gravedad. Verdaderamente, esta última fuerza es la fuerza de restauración del sistema. Por lo mencionado anteriormente vemos que existen dos fases en el sistema de este tipo de aisladores, la primera denominada de agrupamiento en que el deslizador no se mueve y la segunda que corresponde al deslizador en movimiento (Luque, 2016).

En la Figura 20a observamos al aislador de péndulo de fricción simple en la posición deformada y en la Figura 20b observamos su diagrama de cuerpo libre, el cual se utiliza para graficar la relación fuerza-desplazamiento (Cango, 2018). Diagrama de cuerpo libre en donde se nombrará la siguiente nomenclatura:

- R** : Radio de curvatura de la superficie cóncava.
- h** : Altura desde la base del deslizador al punto pivote (ver Figura 18).
- R_{ef}** : Radio de curvatura efectivo de la superficie cóncava
 $R_{ef} = R - h$ (**)
- θ** : Angulo de rotación del deslizador.
- W** : Carga sobre el aislador.
- F** : Fuerza horizontal (fuerza sísmica).
- F_f** : Fuerza de fricción, $F_f = \mu W$.
- S** : Fuerza normal.
- tf** : Fuerza de tracción en la superficie de rotación del deslizador. Sus efectos son asumidos como parte de la fuerza de fricción, F_f .

** Hay la probabilidad de que el asiento de apoyo de péndulo friccional simple tenga el punto pivote fuera del límite de la superficie cóncava, si ocurre esto el radio efectivo debe ser calculado como $R_{ef} = R + h$. (Cango, 2018)

Figura 20:
 Aisladores de péndulo de fricción simple



Nota: a) posición deformada y b) diagrama de cuerpo libre, fuente (Cango, 2018)

Haciendo equilibrio tanto horizontal y vertical obtenemos la fuerza F:

$$\sum F_x = 0 \quad \rightarrow \quad F - S \cdot \text{sen}(\theta) - F_f \cdot \text{cos}(\theta) = 0 \quad (\text{Ec. N}^\circ 1a)$$

$$\sum F_y = 0 \quad \rightarrow \quad S \cdot \text{cos}(\theta) - W - F_f \cdot \text{sen}(\theta) = 0 \quad (\text{Ec. N}^\circ 1b)$$

Por geometría, el desplazamiento horizontal (u) viene dado por:

$$u = R_{ef} \cdot \text{sen}(\theta) \quad (\text{Ec. N}^\circ 2)$$

Despejando S de la Ec. N°1a

$$S = \frac{F - F_f \cdot \text{cos}(\theta)}{\text{sen}(\theta)} \quad (\text{Ec. N}^\circ 3)$$

Remplazando S en la Ec. N°3, en la Ec. N°1b y despejando F,

$$\begin{aligned} \frac{F - F_f \cdot \text{cos}(\theta)}{\text{sen}(\theta)} \cdot \text{cos}(\theta) - W - F_f \cdot \text{sen}(\theta) &= 0 \\ F &= W \cdot \frac{\text{sen}(\theta)}{\text{cos}(\theta)} + \frac{F_f}{\text{cos}(\theta)} = 0 \end{aligned} \quad (\text{Ec. N}^\circ 4)$$

Ahora se remplaza $\text{sen}(\theta) = u/R_{ef}$ de la Ec. N°2, en la Ec. N°4,

$$F = W \cdot \frac{u/R_{ef}}{\text{cos}(\theta)} + \frac{F_f}{\text{cos}(\theta)}$$

Comúnmente el radio de curvatura (R), es relativamente mayor al desplazamiento horizontal (u) por lo que se puede asumir que $\text{cos}(\theta) \approx 1$

$$F = \frac{W}{R_{ef}} u + F_f \quad (\text{Ec. N}^\circ 5)$$

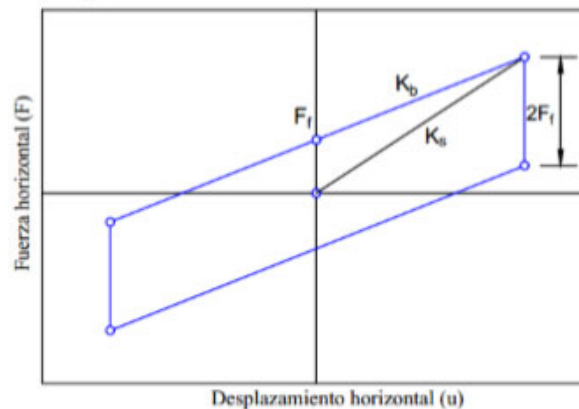
donde (W/R_{ef}) es la rigidez (Kb) del aislador de péndulo de fricción simple.

El primer término de la Ec. N°5, viene a ser la fuerza de restauración por efecto de la gravedad, y el segundo término es la componente de disipación de energía.

La rigidez (Kb) es directamente proporcional a la carga (W), esto significa que el centro de rigidez del sistema de aislación coincide con el centro de masa de la estructura y por ende permite que las estructuras puedan reducir sus movimientos torsionales. Esta propiedad solo se atribuye a los sistemas de péndulo de fricción simple (Cango, 2018).

De la Ec. N°5 se obtiene la curva de histéresis o relación fuerza-desplazamiento para el aislador de péndulo friccional simple; esto se muestra en la Figura N°20.

Figura 21:
Curva de histéresis del Aisladores de péndulo de fricción simple



Nota: Fuente (Cango, 2018)

El periodo de vibración se determina usando la ecuación de movimiento armónico simple:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi / \sqrt{\frac{K}{m}}$$

Remplazando la rigidez ($K = Kb$) y la masa ($m = W/g$) en la ecuación anterior vamos a obtener:

$$T_b = 2\pi \sqrt{\frac{R_{ef}}{g}} \quad (\text{Ec. N}^\circ 6)$$

Esto comprueba que el periodo de una estructura aislada con asientos de apoyo de péndulo de fricción simple va a depender del radio de curvatura efectivo, esto quiere decir que se puede ajustar el periodo objetivo eligiendo únicamente un radio efectivo. Por todo lo dicho anteriormente podemos concluir que el comportamiento de los sistemas con asientos de apoyo de péndulo de fricción simple no depende de la carga.

Dentro de las propiedades generales de los asientos de apoyo de péndulo de fricción simple tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

- Su rango de amortiguamiento estará entre 10% y 40% dependiendo del coeficiente de fricción.
- El periodo de la estructura es independiente de la masa de la estructura soportada, siendo una ventaja sobre los aisladores elastomérico, pues menos factores estarán implicados en la selección del aislador.
- Modificando el radio de la superficie cóncava se puede cambiar el periodo de asilamiento.
- Suministrara desplazamientos y periodos largos ante la presencia de sismos de pulsos largos.
- Sus propiedades mecánicas no serán alteradas por la temperatura o el envejecimiento.
- Tiene gran capacidad de desplazamiento, gran capacidad de carga axial y no tienen problemas de estabilidad.

Dentro de las principales ventajas de los asientos de apoyo de péndulo de fricción simple tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

- Son muy fáciles de instalar, reduciendo sus costos de instalación.
- Son de muy fácil mantenimiento, pues con una simple visualización se puede detectar cualquier anomalía.
- Han sido utilizados y probados en una gran cantidad y diversidad de estructuras.
- Su altura es mucho más baja que otros sistemas de aislación.

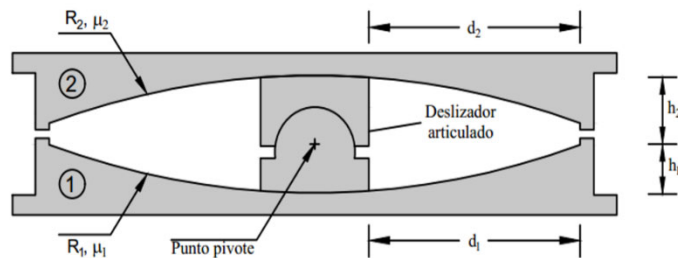
2.2.2.2. Aislador de Péndulo de Fricción de Segunda Generación

Los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción (DPF, Double Friction Pendulum) o asientos de apoyo de fricción de doble curvatura (DCFP, Double Concave Friction Pendulum), vienen a ser una adaptación de los asientos de apoyo de péndulo de fricción de primera generación por lo que van a tener un comportamiento mecánico similar a estos y al igual que ellos van a estar constituidos por un deslizador articulado, teniendo como única diferencia que los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción tienen dos superficies paralelas cóncavas de contacto (superior e inferior) (Ruiz, 2017). Sus superficies cóncavas son de acero inoxidable, sus superficies deslizantes esféricas se fabrican en acero inoxidable pulido y su deslizador o cojinete articulada se reviste con un material compuesto de alta capacidad de soporte, PTFE. (Monge, 2014).

Las dos superficies cóncavas que presentan los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción permitirán que el desplazamiento máximo del asiento de apoyo sea mayor en comparación a los de primera generación (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012). Tanto la superficie cóncava superior como la inferior poseen radios de curvatura R_1 y R_2 , respectivamente, los cuales pueden ser de diferentes longitudes y al mismo tiempo cada superficie cóncava posee su propio coeficiente de fricción μ_1 y μ_2 respectivamente, los que también pueden ser diferentes, en la Figura N°22 se muestra el corte de un asiento de apoyo de doble péndulo de fricción (Monge, 2014).

Las dos superficies cóncavas están separadas por un cojinete o deslizador articulado en el que sus caras de contacto tienen una lámina que se fabrica en PTFE. Este deslizador tiene que ser articulado para asegurar la distribución de presiones en el sistema de aislación y así mantener una correcta posición entre las dos superficies cóncavas al momento en que sufre desplazamientos (Monge, 2014).

Figura 22:
Corte de un aislador de doble péndulo de fricción



Nota: Fuente (Cango, 2018)

Dentro de las propiedades generales de los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

- Sus propiedades dinámicas son obtenidas por la acción de sus dos péndulos de fricción que son mecanismos independientes de la entrada sísmica.
- Su amortiguamiento y su rigidez se modificarán en proporción a las amplitudes del desplazamiento, lo que permitirá optimizar el rendimiento para los diferentes niveles de entrada de la fuerza sísmica.
- El momento $p - \Delta$ se divide entre sus dos superficies cóncavas.

Dentro de las principales ventajas de los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

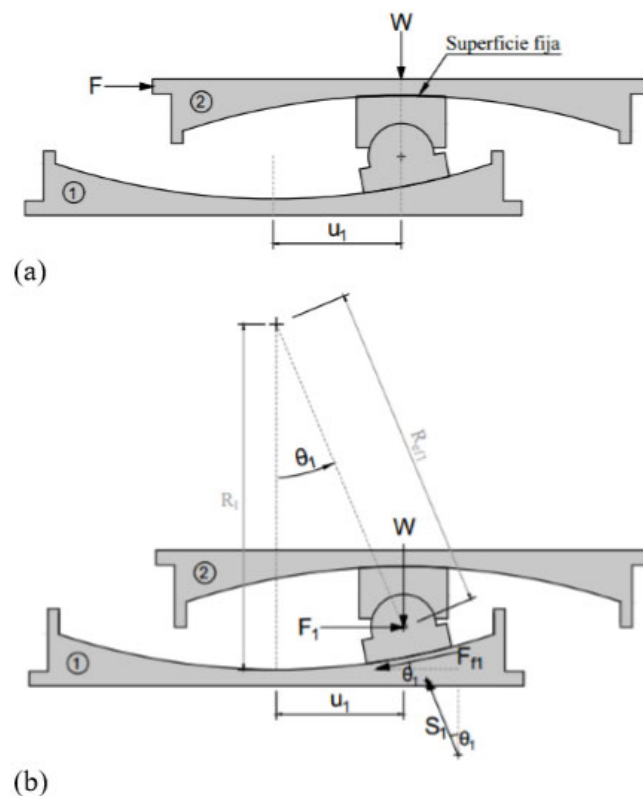
- La deformación lateral se va a dividir entre la superficie cóncava superior y la superficie cóncava inferior, motivo por el cual el diámetro requerido para los platos es mucho menor en comparación a los dispositivos de péndulo de fricción simple.
- Los momentos internos producidos por los desplazamientos laterales son distribuidos equitativamente entre la superficie cóncava superior y la superficie cóncava inferior, motivo por el cual las placas van a estar menos esforzadas en comparación a los dispositivos de péndulo de fricción simple.
- Los radios y los coeficientes de fricción del péndulo no necesariamente serán iguales para obtener el periodo deseado y un buen desempeño sísmico

Para que se active un asiento de apoyo de doble péndulo de fricción y obtenga su máximo desplazamiento pasa por diferentes etapas, en la primera etapa el deslizador se mueve únicamente a lo largo de la superficie 1 y en la segunda etapa el deslizador se mueve simultáneamente en las dos superficies. Esto se detalla a continuación:

a. Etapa de movimiento I:

La etapa I inicia cuando al estar sometido a una fuerza horizontal (F) esta supera la fuerza de fricción en la superficie 1 (F_{f1}). Por lo que el deslizador se va a deslizar solo en la superficie 1 (calce inferior), permaneciendo fijo en la superficie 2 (calce superior) (Cango, 2018).

Figura 23:
Fase I del Aislador de doble péndulo de fricción



Nota: a) posición deformada y b) diagrama de cuerpo libre, fuente (Cango, 2018)

De la Figura N°23 podemos identificar las siguientes nomenclaturas:

- R_{ef1} : Radio de curvatura efectivo de la superficie 1.
 θ_1 : Ángulo de rotación del deslizador respecto a la superficie 1.
 W : Carga sobre el aislador.
 F : Fuerza horizontal.
 F_{f1} : Fuerza de fricción en la superficie 1 ($F_{f1} = \mu_1 W$).
 S_1 : Fuerza normal en la superficie 1.

Al mirar la Figura N°20b y la Figura N°23b, nos podemos dar cuenta de que el diagrama de cuerpo libre del asiento de apoyo de doble péndulo de fricción es el mismo que del asiento de apoyo de péndulo de fricción simple. Motivo por el cual la ecuación que gobierna el comportamiento para la fase I del aislador de doble péndulo de fricción simple es el mismo que del asiento de apoyo de péndulo de fricción simple (Ec. N°5), pero con radio efectivo R_{ef1} y coeficiente de fricción μ_1 , esto nos da:

$$F = \frac{W}{R_{ef1}} u_1 + F_{f1} \quad (\text{Ec. N}^\circ 7)$$

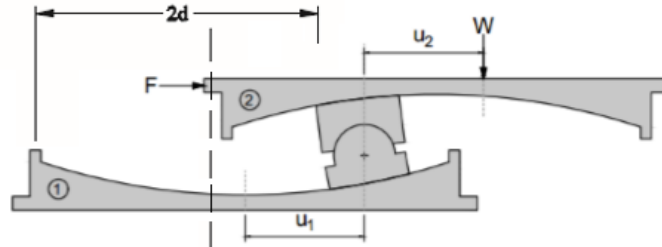
En donde:

$$u_1 = (R_{ef1}) \cdot \sin(\theta_1) \quad (\text{Ec. N}^\circ 8)$$

b. Etapa de movimiento II:

La etapa II inicia cuando al estar sometido a una fuerza (F) esta supera la fuerza de fricción en la superficie 2 (F_{f2}). En esta etapa se da el deslizamiento en la superficie 2 (calce superior), pero sin detenerse en la superficie 1 (calce inferior), ocasionando un deslizamiento simultáneo en las dos superficies cóncavas (Cango, 2018). Si las fuerzas laterales siguen aumentando se puede obtener un desplazamiento máximo de dos veces el diámetro de la superficie 2, como se observa en la Figura N°23 y como todo dispositivo de péndulo de fricción la gravedad es la fuerza restauradora del sistema (Villavicencio, 2015).

Figura 24:
Fase II del Aislador de doble péndulo de fricción (Desplazamiento máximo)



Nota: Fuente (Cango, 2018)

La ecuación que gobierna el comportamiento en esta fase, se obtiene combinando el movimiento de las dos superficies cóncavas, tal como se detalla a continuación:

- b.1. En la superficie 1 (calce inferior) la Ec. N°7 sigue gobernando, ya que el movimiento en esta superficie continúa igual que en la fase I.
- b.2. En la superficie 2 (calce superior) se obtendrá efectuando el correspondiente diagrama de cuerpo libre de la Figura N°24. Siendo este similar al diagrama de cuerpo libre mostrado en la Figura N°23b con la diferencia que estaría en posición invertida. Motivo por el cual se deduce que la ecuación para la superficie 2, es la siguiente:

$$F = \frac{W}{R_{ef2}} u_2 + F_{f2} \quad (\text{Ec. N}^\circ 9)$$

En donde:

$$u_2 = (R_{ef2}) \cdot \sin(\theta_2) \quad (\text{Ec. N}^\circ 10)$$

El deslizamiento se produce al mismo tiempo en las superficies 1 y 2, motivo por el cual el desplazamiento total viene dado por:

$$u = u_1 + u_2 \quad (\text{Ec. N}^\circ 11)$$

Despejando u_1 y u_2 de Ec. N°7 y Ec. N°9, respectivamente,

$$u_1 = (F - F_{f1}) \frac{R_{ef1}}{W} \quad (\text{Ec. N°12a})$$

$$u_2 = (F - F_{f2}) \frac{R_{ef2}}{W} \quad (\text{Ec. N°12b})$$

Remplazando u_1 y u_2 obtenidos de la Ec. N°12a y Ec. N°12b, en la Ec. N°11y dejando en función de F ,

$$F = \frac{W}{R_{ef1} + R_{ef2}} u + \frac{F_{f1}R_{ef1} + F_{f2}R_{ef2}}{R_{ef1} + R_{ef2}} \quad (\text{Ec. N°13})$$

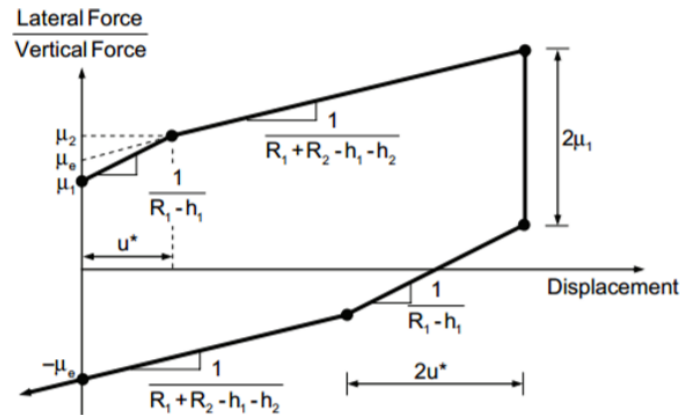
La Ec. N°13 representa la relación fuerza-desplazamiento para la segunda etapa de movimiento.

El límite de desplazamiento (u^*) entre la primera y la segunda fase ocurre cuando la fuerza horizontal (F) coincide con la fuerza de fricción (F_{f2}). Motivo por el cual este límite de desplazamiento puede ser definido haciendo $F = F_{f2}$ en la Ec. N°7 o en la Ec. N°13 (las dos ecuaciones contienen a F_{f2}), dando la siguiente igualdad:

$$u^* = (\mu_2 - \mu_1)R_{eff1} \quad (\text{Ec. N°14})$$

Teniendo las relaciones fuerza-desplazamiento de la etapa I y la etapa II (Ec. N°7 y Ec. N°13) se grafica la curva de histéresis del aislador de doble péndulo de fricción. Se debe notar que la fuerza horizontal (F) de la Figura N°24 ha sido normalizada a la carga (W) por lo que se visualiza μ_1 y μ_2 en vez de F_{f1} y F_{f2} , respectivamente, sabiendo que $F_{fi} = \mu_i W$.

Figura 25:
Curva de histéresis del Aislador de doble péndulo de fricción



Nota: Fuente (Cango, 2018)

En la Figura N°24, la primera pendiente representa la etapa de movimiento I y la segunda pendiente representa la etapa de movimiento II.

2.2.2.3. Aislador de Péndulo de Fricción de Tercera Generación

Los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción (FPT, Triple Friction Pendulum) o asientos de apoyo de fricción de triple curvatura es un avance tecnológico y última versión de sus sucesores, este sistema de asientos de apoyo está conformado de un deslizador rígido (Rigid Slider), tres mecanismos pendulares independientes y cuatro placas con superficies cóncavas (dos placas externas (placa 1 y 4) y dos placas internas (placa 2 y 3)). Este sistema de aislación cuenta en total con 4 propiedades mecánicas y 12 propiedades geométricas. Las propiedades mecánicas vienen a ser los coeficientes de fricción μ_1 , μ_2 , μ_3 y μ_4 que actúan en las superficies 1, 2, 3 y 4, respectivamente. Las propiedades geométricas vienen a ser los radios de curvatura R_1 , R_2 , R_3 y R_4 ; las capacidades de desplazamiento d_1 , d_2 , d_3 y d_4 ; y las alturas h_1 , h_2 , h_3 y h_4 (Cango, 2018).

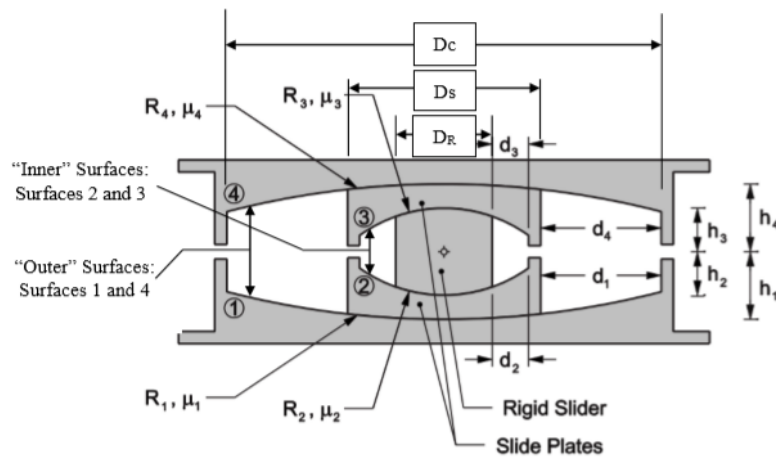
El radio efectivo para cada superficie cóncava es:

$$R_{efi} = R_i - h_i \quad (\text{para } i = 1, 2, 3 \text{ y } 4)$$

Las alturas (h_i , para $i = 1, 2, 3$ y 4) al punto pivote no son fijas en los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción, debido a la variación de la ubicación del punto pivote. Pero se puede asumir que la ubicación del punto pivote permanece fijo y ubicado en el centro del ensamblaje articulado formado por la placa 2, el deslizador rígido y la placa 3 o directamente ubicado en la parte central del deslizador rígido.

La nomenclatura de los diámetros del deslizador rígido, de las placas internas y de las placas externas son D_R , D_S y D_C , respectivamente.

Figura 26:
Partes principales del Aislador de triple péndulo de fricción



Nota: Fuente (Cango, 2018)

Dentro de las propiedades generales de los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

- El periodo no está sujeto de la masa estructural y este se elige seleccionando el radio de rodamiento, del coeficiente de fricción depende del grado de amortiguación y el núcleo central absorbe la carga axial.
- La longitud del péndulo se incrementará a mayor sea el desplazamiento, incrementándose el amortiguamiento lo que disminuye las fuerzas sísmicas.
- Las propiedades de cada uno de los tres péndulos son elegidas para activarse sucesivamente para diferentes esfuerzos sísmicos

Dentro de las principales ventajas de los asientos de apoyo de triple péndulo de fricción tenemos las siguientes (Villavicencio, 2015):

- Va a optimizar el rendimiento estructural a un menor costo.
- Tres aisladores sísmicos incorporados en un tripe péndulos.
- El triple péndulo trabaja a diferentes sollicitaciones sísmicas.

El comportamiento del asiento de apoyo de triple péndulo de fricción va a depender del valor que asuman cada una de las 16 propiedades descritas anteriormente. Pero en diseños de ingeniería, se consideran configuraciones estándar (al igual que para los asientos de apoyo de doble péndulo de fricción), los cuales reducen la cantidad de propiedades. Estas reducciones permiten determinar el comportamiento del aislador de triple péndulo de fricción, con más facilidad.

Para aplicaciones de ingeniería normalmente se usa una configuración estándar que va a tener las siguientes características.

- Radios de curvatura efectivos de las superficies externas: $R_{ef1} = R_{ef4}$
- Radios de curvatura efectivos de las superficies internas: $R_{ef2} = R_{ef3}$

En donde:

$$R_{ef2} = R_{ef3} \ll R_{ef1} = R_{ef4}$$

- Coeficientes de fricción que actúan en las superficies externas: $\mu_1 < \mu_4$
- Coeficientes de fricción que actúan en las superficies internas: $\mu_2 = \mu_3$

En donde:

$$\mu_2 = \mu_3 < \mu_1 < \mu_4$$

Se denomina como aislador de triple péndulo de fricción estándar a aquel aislador que cumpla con las características que se ha mencionado anteriormente.

Para el presente proyecto de investigación se va a considerar que el movimiento del asiento de apoyo de triple péndulo de fricción estándar se divide en 5 etapas, en donde cada fase es el resultado del deslizamiento en las diferentes superficies cóncavas. Fases que detallo a continuación:

a. Etapa de movimiento I:

Esta etapa de movimiento se activa cuando la fuerza sísmica (F), sobrepasa a la fuerza de fricción ($F_{f2} = F_{f3}$). Como la fricción en la superficie cóncava 2 es equivalente al de la superficie cóncava 3, entonces el deslizamiento se va a producir paralelamente en ambas superficies (Cango, 2018).

b. Etapa de movimiento II:

La etapa de movimiento II se activa una vez sobrepasado el límite de desplazamiento (u^*), cuando $u \geq u^*$ es similar a decir que $F \geq F_{f1}$. Aquí se da la primera flexibilización o aumento del periodo (Cango, 2018).

Respecto al deslizamiento, ocurre lo siguiente (Cango, 2018):

- En la superficie cóncava 1 su deslizamiento se inicia.
- En la superficie cóncava 2 su deslizamiento se paraliza.
- En la a superficie cóncava 3 su deslizamiento continúa.

c. Etapa de movimiento III:

La etapa de movimiento III se activa cuando el desplazamiento (u) sobrepasa el valor límite (u^{**}); cuando $u \geq u^{**}$ es similar a decir que $F \geq F_{f4}$ (Cango, 2018).

Respecto al deslizamiento, ocurre lo siguiente (Cango, 2018):

- En la a superficie cóncava 1 su deslizamiento continúa.
- En la superficie cóncava 2 su deslizamiento continúa paralizado.
- En la superficie cóncava 3 su deslizamiento se paraliza.
- En la superficie cóncava 4 su deslizamiento se inicia.

d. Etapa de movimiento IV:

La etapa de movimiento IV se activa cuando el desplazamiento (u) sobrepasa el valor límite (u_{dr1}); cuando $u \geq u_{dr1}$ es similar a decir que $F \geq F_{dr1}$ (Cango, 2018).

Respecto al deslizamiento, ocurre lo siguiente (Cango, 2018):

- En la superficie cóncava 1 su deslizamiento se paraliza (colisión de placa 2 con el anillo placa 1)
- En la superficie cóncava 2 su deslizamiento se re-inicia.
- En la superficie cóncava 3 su deslizamiento continúa paralizado.
- En la superficie cóncava 4 su deslizamiento continúa.

e. Etapa de movimiento V:

La etapa de movimiento IV se activa cuando el desplazamiento (u) sobrepasa el valor límite (u_{dr4}); cuando $u \geq u_{dr4}$ es similar a decir que $F \geq F_{dr4}$ (Cango, 2018).






Respecto al deslizamiento, ocurre lo siguiente (Cango, 2018):

- En la superficie cóncava 1 su deslizamiento se paraliza.
- En la superficie cóncava 2 su deslizamiento se re-inicia.
- En la superficie cóncava 3 su deslizamiento se re-inicia.
- En la superficie cóncava 4 su deslizamiento se paraliza.

En la Tabla N°2 se va a ilustrar un resumen de la activación de las superficies cóncavas en cada una de sus etapas de movimiento. También, se mostrará la ecuación para el cálculo de la rigidez, con el propósito de que se justifique que la rigidez en cada etapa de movimiento es función de las superficies activas. Esto es: $K = W/(R_{efi} + R_{efj})$, donde R_{efi} y R_{efj} son los radios efectivos de las superficies cóncavas activas (Cango, 2018).

Se debe advertir de que la rigidez de la etapa de movimiento I es igual a la rigidez de la etapa de movimiento IV, esto a razón de que $R_{ef2} = R_{ef3}$ y $R_{ef1} = R_{ef4}$, de igual manera ocurre con la rigidez de la etapa de movimiento I y la etapa de movimiento V. Por lo que, las cinco rigideces de la Tabla N°2, se reducen a tres.

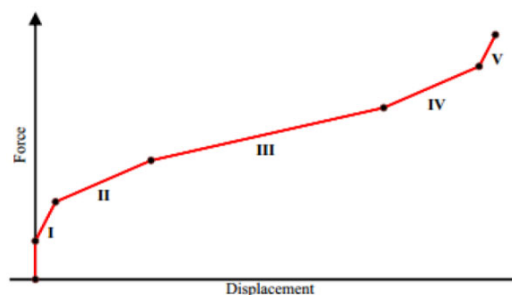
Tabla 2:
Etapas de movimiento del aislador de triple péndulo de fricción

Etapas	Gráfico	Superficies activadas	Rigidez
I		Deslizamiento en las superficies 2 y 3	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef3}}$
II		Deslizamiento en las superficies 1 y 3	$\frac{W}{R_{ef1} + R_{ef3}}$
III		Deslizamiento en las superficies 1 y 4	$\frac{W}{R_{ef1} + R_{ef4}}$
IV		Deslizamiento en las superficies 2 y 4	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef4}}$
V		Deslizamiento en las superficies 2 y 3	$\frac{W}{R_{ef2} + R_{ef3}}$

Nota: Fuente (Cango, 2018)

La relación fuerza-desplazamiento lógica de las 5 etapas de movimiento se detalla en la Figura N°27. En esta curva se observa que la rigidez disminuye progresivamente con el incremento del desplazamiento, esto es similar a decir que el periodo de vibración aumenta. Pero también se evidencian aumentos de rigidez en las etapas de movimiento IV y V, aumentos que ayuda disminuir los desplazamientos en sismos severos.

Figura 27:
Relación fuerza-desplazamiento del aislador de triple péndulo de fricción



Nota: Fuente (Cango, 2018)

2.2.3 Análisis Comparativo del comportamiento Estructural

La diferencia básica entre el diseño convencional y el uso de asientos de apoyo radica en que, en la estructura diseñada de manera convencional, la disipación de energía se obtiene a consecuencia de daños estructurales mientras que en la estructura con asientos de apoyo es suministrada por comportamiento histórico friccional o viscoso de los dispositivos de aislamiento. (Tipanluisa, 2017)

En la figura N°28 se muestra la comparación de la respuesta sísmica de un edificio sin y con asientos de apoyo. Observándose que en el edificio con diseño convencional sus deformaciones se dan principalmente en su estructura produciéndole daño; en cambio al edificio que cuenta un diseño con asientos de apoyo sus deformaciones son mínimas en la superestructura y casi en su totalidad se dan en los asientos de apoyo (Meza & Sanchez, 2010).

Figura 28:

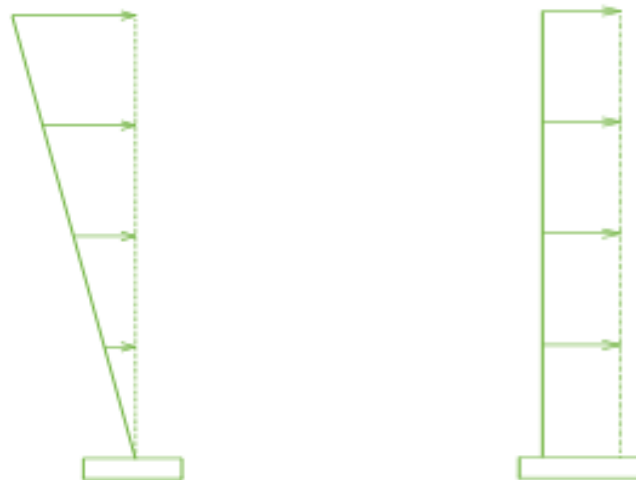
Comparación de la respuesta de un edificio sin y con aislación basal



Nota: Fuente (Orbea, 2014)

En la figura N°29 se muestra la comparación entre los diagramas de deformación de un edificio sin y con asientos de apoyo. En el edificio diseñado con el sistema convencional, podemos observar que su deformada es típicamente triangular y se da especialmente en los elementos estructurales, ya que el edificio sin asientos de apoyo manifiesta amplificaciones, en la aceleración y desplazamientos y según la altura del edificio va aumentando. Sin embargo, en el edificio diseñado con asientos de apoyo observamos que su deformada se aproxima a una forma rectangular pues la estructura se mueve como un cuerpo rígido y sus amplificaciones se dan casi en su totalidad en los asientos de apoyo y muy poco en la superestructura (Villavicencio, 2015).

Figura 29:
Diagramas de deformación de un edificio sin y con aislamiento basal



Nota: Fuente (Meza & Sanchez, 2010)

2.3 DEFINICIÓN DE CONCEPTOS BÁSICOS

- **Aislador:** Elemento estructural que conforma el sistema de aislamiento sísmico de una estructura (Villagómez, 2015).
- **Unidad de Aislamiento:** Es un elemento estructural muy flexible en la dirección horizontal y sumamente rígido en la dirección vertical que permite grandes deformaciones bajo carga sísmica. (Huanca & Meléndez, 2016)
- **Interfaz de Aislamiento:** Es el límite imaginario que existe entre la parte superior de la estructura, la cual está aislada, y la inferior que se mueve rígidamente con el terreno. (Huanca & Meléndez, 2016)
- **Sistema de Aislamiento:** Es el conjunto sistemas estructurales que incluye a: todas las unidades de aislamiento y sistemas de restricción de desplazamientos. (Huanca & Meléndez, 2016)
- **Fuerza de Inercia:** La fuerza de inercia es la generada por el movimiento sísmico que se transmite desde la cimentación a la superestructura. (Mullo, 2014, pág. 26)
- **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, pág. 26)
- **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)

- **Ductilidad:** Es la propiedad que tiene una estructura para sufrir deformaciones considerables producto de una carga constante sin padecer daños considerables. (Mullo, 2014)

- **Resistencia y Rigidez:** La resistencia y la rigidez, son los dos aspectos más importantes del diseño sísmico. El diseño por resistencia busca que las dimensiones de los elementos garanticen la integridad de la estructura sometida a todas las combinaciones de carga posibles. Y la rigidez relaciona la deformación de la estructura con las cargas aplicadas, este parámetro asegura que la estructura cumpla con las funciones impuestas.
La rigidez lateral, se refiere a la distorsión horizontal de piso a piso y previene así, que la estructura se salga del alineamiento vertical más allá de una cantidad máxima, ya especificada. (Mullo, 2014)

- **Distribución de las Fuerzas de Inercia:** Las fuerzas de inercia que se generan sobre una estructura son función de la masa, rigidez y amortiguamiento; pero conocer el punto de aplicación de la fuerza es primordial, ya que éstas se pueden amplificar. Para cuantificar la amplificación de la fuerza, se hace una simplificación de la distribución de las fuerzas, determinando la ubicación de las resultantes en cada piso a nivel de losa. (Mullo, 2014)

- **Centro de Masa:** Se define al Centro de Masa C.M., como el lugar geométrico en el cual se considera concentrada toda la masa. En una estructura completamente regular con distribución de cargas simétricas el C.M. coincide con el Centro de Gravedad C.G. de la planta. (Aguiar, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008) .

- **Centro de Rigidez:** El centro de rigidez de una estructura es el lugar geométrico donde al aplicar las fuerzas sísmicas, la estructura solamente se desplaza y no rota.
En estructuras de dos o más pisos, el centro de rigidez define el punto donde debe aplicarse la fuerza sísmica para que un nivel no rote con respecto al nivel anterior. (Aguiar, Almazán, Dechent, & Suárez, 2008)
- **Torsión en Planta:** Es originada por la situación dada al aplicar la fuerza cortante en el centro de masas, el edificio al moverse alrededor del centro de rigidez, hace que la estructura además de trasladarse, gire alrededor del mencionado punto. Ésta condición no es ideal para los elementos verticales (columnas y muros de corte), por ser los elementos que mantienen unidos los distintos entrepisos y deben soportar fuerzas muy grandes. (Mullo, 2014)
- **Desplazamiento de diseño (DD-D'D):** Es el 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):** Es el 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):** Es el 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):** Es el 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 (β_{eff}):** Es el 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_{eff}):** Es el 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):** Es el 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):** Es el 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).

III MARCO METODOLÓGICO

3.1 HIPÓTESIS

3.1.1 Hipótesis General

La estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, que está diseñada con aisladores sísmicos de péndulo friccional obtendrá un mejor comportamiento sísmico frente a un diseño utilizando el método convencional basado en la norma E-030.

3.1.2 Hipótesis Especificas

- a) Al realizar el diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basado en la Norma E-030 se obtienen valores permisibles de periodos naturales, desplazamientos máximos, derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y distorsiones.
- b) Al realizar el diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos de péndulo friccional se produce un aumento del periodo natural y una reducción notablemente de desplazamientos relativos, derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y distorsiones
- c) Al comparar ambos diseños se verificará que existen importantes mejoras en el comportamiento sísmico de una estructura con aisladores de péndulo friccional con respecto al diseño sin aisladores sísmicos.

3.2 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.2.1 Identificación de la Variable Independiente

- a) Diseño estructural convencional basado en la norma E-030.
- b) Diseño estructural con aisladores sísmicos de péndulo friccional.

3.2.1.1.Indicadores

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

3.2.1.2.Escala de medición de la variable

- Óptimos resultados de los parámetros de diseño, cumpliendo los requisitos mínimos que exigen las normativas vigentes.

3.2.2 Identificación de la Variable Dependiente

- a) Comportamiento estructural.

3.2.2.1.Indicadores

- Altura.
- Área.
- Tipo de suelo.
- Sistema estructural.

3.2.2.2.Escala de medición de la variable

- Óptima calidad de los procedimientos de diseño, garantizando un adecuado comportamiento estructural.

Tabla 3:
Variables e Indicadores

Descripción	Variable	Indicador	Unidad
Independiente	Diseño estructural convencional basado en la norma técnica E-030.	Periodo fundamental.	Seg
		Fuerza cortante en la base.	kg
	Diseño estructural con aisladores sísmicos de péndulo friccional.	Desplazamiento en la base.	m
		Deriva de la edificación.	m
Dependiente	Comportamiento estructural	Altura.	m
		Área.	m ²
		Tipo de Suelo	kg/cm ²
		Sistema de estructural.	Rx = 8
			Ry = 3

Nota: Fuente Propia

3.3 TIPO Y DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

La investigación tendrá un enfoque cuantitativo porque recolectará datos de las dos situaciones de comportamiento sísmico de un centro educativo con y sin aislador sísmico, con base en la medición numérica para establecer patrones de comportamiento y probar teorías.

3.4 NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es Descriptiva – Explicativa - Aprehensiva, porque busca observar, describir y comparar dos situaciones de comportamiento sísmico de un centro educativo con y sin aislador sísmico. Con la finalidad de cumplir con los objetivos trazados, se aplicará una metodología que permita explicar, comprender e interpretar debidamente las conclusiones.

3.5 DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño de la investigación es Pre-experimental, porque la selección de los sujetos no es aleatoria y se utilizan grupos de control.

3.6 ÁMBITO Y TIEMPO SOCIAL DE LA INVESTIGACIÓN

3.6.1 Ámbito Social

La investigación se realizó en el distrito de Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y departamento de Tacna.

3.6.2 Tiempo Social

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

3.7 POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1 Unidad de Estudio

La investigación comprende únicamente el distrito de Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y departamento de Tacna.

3.7.2 Población

Centros Educativos de Concreto Armado.

3.7.3 Muestra

Es el Pabellón B del C. E. Jorge Chávez, el tamaño de la muestra ha sido tomada a conveniencia del autor.

3.8 PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1 Procedimiento

- **En primer lugar;** se realizará el cálculo del comportamiento sísmico de un centro educativo, haciendo uso de los lineamientos de las normas establecidas en el Reglamento Nacional de Edificaciones.
- **En segundo lugar;** se realizará el cálculo del comportamiento sísmico del mismo centro educativo considerando asientos de apoyo de péndulo

friccional, seleccionando el más adecuado para el funcionamiento deseado de la estructura y haciendo uso del análisis tiempo – historia.

- **Por último**, se realizará el análisis comparativo del diseño estructural convencional basado en la norma E-030 y diseño con aisladores de péndulo friccional, para determinar el sistema más apropiado según los resultados obtenidos en su análisis independiente.

3.8.2 Técnica

- Como se basa en el análisis de un diseño estructural convencional basado en la norma E-030 y otro con asientos de apoyo de péndulo friccional de un centro educativo en la ciudad de Tacna, lo que se pretende es que a través de la técnica de la observación de resultados, verificar si el diseño con asientos de apoyo de péndulo friccional es estructuralmente más conveniente frente al mismo proyecto realizado en forma convencional, todo esto respaldado por un estudio estructural el cual muestre si existen bondades en el nuevo diseño, justificando la implementación del nuevo sistema con asientos de apoyo de péndulo friccional. Además, podremos establecer un procedimiento de análisis y diseño de este sistema de aislación, en base a las propiedades físicas y las características más importantes a considerar.

3.8.3 Instrumentos

- Se realizó una lista de cotejo de los resultados de ambos diseños estructurales aplicando su modelamiento a través del software de análisis y diseño ETABS.

IV RESULTADOS

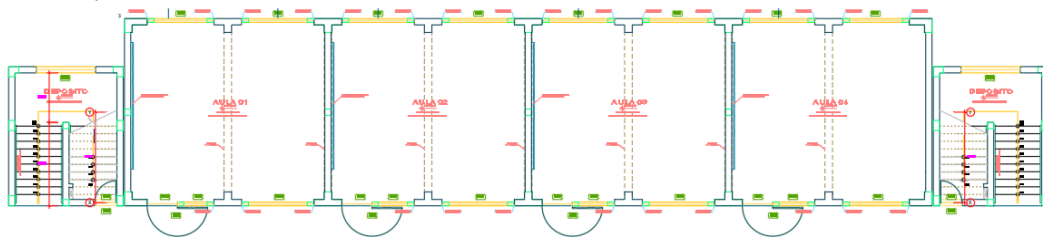
4.1 DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

La estructura a analizar es el pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, el cual se encuentra ubicado en el distrito de coronel Gregorio Albarracín Lanchipa, de la provincia y departamento de Tacna.

Este pabellón B, está destinado para infraestructura educativa tiene 3 pisos y consta de cuatro aulas por nivel; su área construida por piso es de 237.16 m² y su perímetro es 78.90 ml. Teniendo las siguientes medidas perimétricas: Por el frente 32.05 ml, por el fondo 32.05 ml, por el lado derecho 7.40 ml y por el lado izquierdo 7.40 ml.

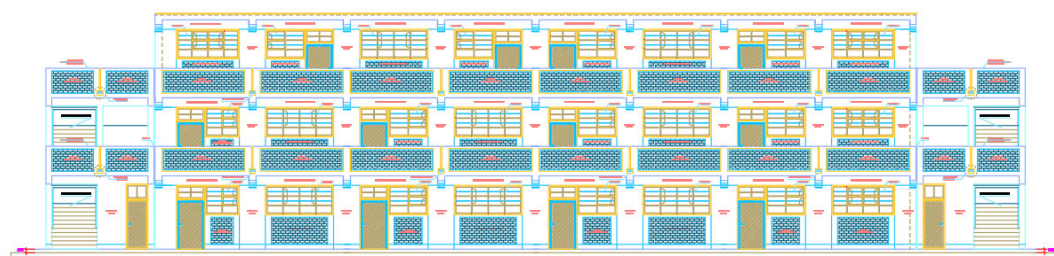
El acceso para los pisos superiores se realiza por dos escaleras independientes ubicadas en cada extremo de la edificación.

Figura 30:
Plano de planta



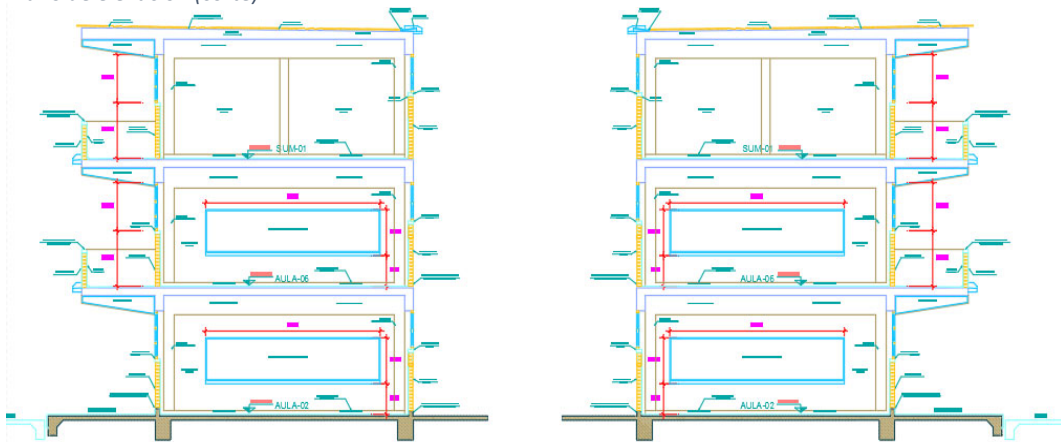
Nota: Fuente propia

Figura 31:
Plano de elevación principal



Nota: Fuente propia

Figura 32:
Plano de elevación (corte)



Nota: Fuente propia

4.1.1 Normas Empleadas

Los lineamientos empleados para el presente proyecto de investigación son los basados en los códigos y/o normativa del “Reglamento Nacional de Edificaciones” el cual al mismo tiempo se divide según la etapa de diseño, como se detalla a continuación:

- Norma técnica peruana NTE.020-2016 - CARGA.
- Norma técnica peruana NTE.030-2018 - DISEÑO SISMO RESISTENTE.
- Norma técnica peruana NTE.050-2018 - SUELO Y CIMENTACIONES.
- Norma técnica peruana NTE.060-2009 - CONCRETO ARMADO.
- Norma técnica peruana NTE.070-2006 - ALBAÑILERÍA.
- Norma técnica peruana NTE.090.2006 - ACERO ESTRUCTURAL.

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.

Se ha utilizado 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 Pontificia Universidad Católica del Perú.

TODOS LOS REGLAMENTOS Y NORMAS EMPLEADOS ESTÁN EN VIGENCIA Y 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 características de los materiales empleados en la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, para la realización de su análisis sísmico estructural, son obtenidas de los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCION Y REHABILITACION DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHAVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACIN”, las cuales detallo a continuación:

- Concreto:

$$\begin{aligned} \text{RESISTENCIA A LA COMPRESION} &= f'c \\ &= 210.00 \text{ kgf/cm}^2 \end{aligned}$$

MATERIAL WEIGHT AND MASS

$$\text{Densidad del Concreto} = 2,400.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 2.40 \text{ Tonf/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Masa del Concreto} &= \frac{\text{Densidad del Concreto}}{\text{Gravedad}} \\ &= 244.65 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.24 \text{ Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \end{aligned}$$

MECHANIL PROPERTY DATA

$$\begin{aligned}
 \text{Módulo de Elasticidad} &= \mathbf{E} \\
 &= 15,000.00 \sqrt{f'c} \\
 &= 217,370.65 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 2,173,706.51 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \\
 \text{Módulo Poisson's} &= \mathbf{U} \\
 &= 0.20 \\
 \\
 \text{Coeficiente de Expansion Termica} &= \mathbf{A} \\
 &= 9.9 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\
 &= 0.0000099 \text{ 1/C} \\
 \\
 \text{Módulo de Corte} &= \mathbf{G} \\
 \text{Módulo de Corte} &= \frac{E}{2 \times (1 + U)} \\
 &= 90,571.10 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 905,711.05 \text{ Tonf/m}^2
 \end{aligned}$$

DESIGNAR LA PROPIEDAD DEL MATERIAL

$$\begin{aligned}
 \text{Resistencia a la Compresion} &= \mathbf{f'c} \\
 &= 210.00 \text{ kgf/cm}^3 \longrightarrow 2,100.00 \text{ Tonf/m}^3
 \end{aligned}$$

- Albañilería:

$$\begin{aligned}
 \text{RESISTENCIA A LA COMPRESION} &= \mathbf{f'm} \\
 &= 55.00 \text{ kgf/cm}^2
 \end{aligned}$$

MATERIAL WEIGHT AND MASS

$$\begin{aligned}
 \text{Densidad de la Albañilería} &= 1,900.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 1.90 \text{ Tonf/m}^3 \\
 \\
 \text{Masa de la Albañilería} &= \frac{\text{Densidad de la Albañilería}}{\text{Gravedad}} \\
 &= 193.68 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.19 \text{ Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4
 \end{aligned}$$

MECHANIL PROPERTY DATA

$$\begin{aligned}
 \text{Módulo de Elasticidad} &= \mathbf{E} \\
 &= 500 \times f'c \\
 &= 27,500.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 275,000.00 \text{ Tonf/m}^2 \\
 \\
 \text{Módulo Poisson's} &= \mathbf{U} \\
 &= 0.25 \\
 \\
 \text{Coeficiente de Expansion Termica} &= \mathbf{A} \\
 &= 8.1 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\
 &= 0.0000081 \text{ 1/C} \\
 \\
 \text{Módulo de Corte} &= \mathbf{G} \\
 \text{Módulo de Corte} &= \frac{E}{2 \times (1 + U)} \\
 &= 11,000.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 110,000.00 \text{ Tonf/m}^2
 \end{aligned}$$

DESIGNAR LA PROPIEDAD DEL MATERIAL

$$\begin{aligned} \text{Resistencia a la Compresion} &= \frac{f' m}{55.00} \longrightarrow 550.00 \text{ Tonf/m}^3 \\ &= \end{aligned}$$

- Acero:

$$\begin{aligned} \text{FLUENCIA DEL ACERO} &= \frac{f' y}{4.200.00} \text{ kgf/cm}^2 \\ &= \end{aligned}$$

MATERIAL WEIGHT AND MASS

$$\text{Densidad del Acero} = 7,850.00 \text{ kgf/m}^3 \longrightarrow 7.85 \text{Tonf/m}^3$$

$$\begin{aligned} \text{Masa de la Albañileria} &= \frac{\text{Densidad del Acero}}{\text{Gravedad}} \\ &= 800.20 \text{ kgf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \longrightarrow 0.80 \text{Tonf} \cdot \text{s}^2/\text{m}^4 \end{aligned}$$

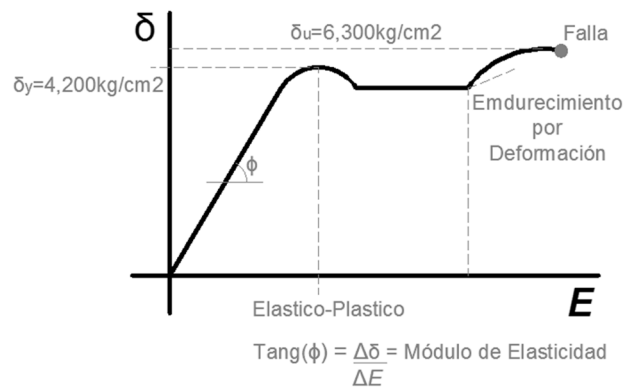
MECHANIL PROPERTY DATA

$$\begin{aligned} \text{Módulo de Elasticidad} &= E \\ &= 2 \times 10^6 \\ &= 2,000,000.00 \text{ kgf/m}^2 \longrightarrow 20,000,000.00 \text{ Tonf/m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Coeficiente de Expansion Termica} &= A \\ &= 12 \times 10^{-6} \text{ 1/C} \\ &= 0.000012 \text{ 1/C} \end{aligned}$$

PROPIEDADES DEL ACERO

Figura 33:
Curva de esfuerzo - deformación del acero



Nota: Fuente Propia

$$\begin{aligned} \text{Fluencia del Acero} &= \frac{\delta_y}{4.200.00} \text{ kgf/cm}^2 \longrightarrow 42,000.00 \text{ tonf/m}^2 \\ &= \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Esfuerzo Ultimo} &= \frac{\delta_u}{6.300.00} \text{ kgf/cm}^2 \longrightarrow 63,000.00 \text{ tonf/m}^2 \\ &= \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Fluencia Esperada del Acero} &= \delta_y + \delta_y \times 10\% \longrightarrow 46,200.00 \text{ tonf/m}^2 \\ \text{Esfuerzo Ultimo Esperado del Acero} &= \delta_u + \delta_u \times 10\% \longrightarrow 69,300.00 \text{ tonf/m}^2 \end{aligned}$$

4.2.1.2. Características del Suelo de Fundación:

Según el estudio de mecánica de suelos (EMS) obtenido de los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHÁVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN”, detallan las siguientes características y propiedades mecánicas del terreno de fundación:

- Nivel Freático : No encontrado.
- Tipo de Suelo : Suelo intermedio (S₂)
- Profundidad de Cimentación : 1.5 mts del N.T.N.
- Esfuerzo admisible del Terreno : 1.50 kg/cm².
- Asiento Máximo : 1.5”.

4.2.1.3. Elementos Estructurales Existentes:

Los elementos estructurales del pabellón B del centro educativo Jorge según los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHÁVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN” Chávez, presentan las siguientes características:

- Losa aligerada:

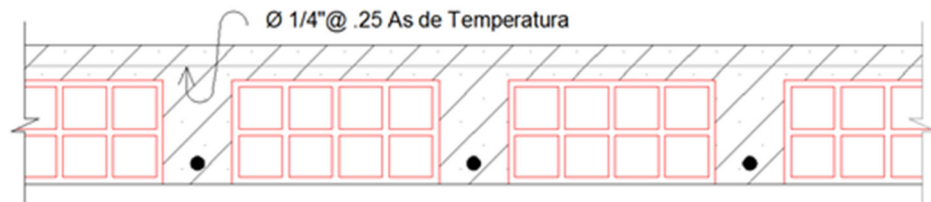
El tipo de losa empleada en nuestra edificación es una losa aligerada en sentido unidireccional.

Para calcular el espesor de la losa aligerada de la edificación dividimos su luz libre entre 25. La edificación presenta una luz de 3.70m, por lo que tendrá un espesor de la losa aligerada de 0.20m.

Para nuestra edificación usaremos una losa membrana tipo nervada o canaleta, la cual tendrá las siguientes propiedades:

Figura 34:

Losas membrana tipo nervada o canaleta



Nota: Fuente propia

Figura 35:

Propiedades de losa aligerada

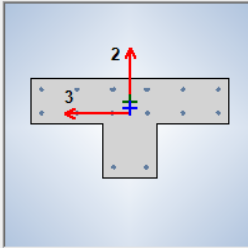
General Data	
Property Name	LOSA ALIGERADA
Slab Material	CONCRETO F'c=210kg/cm2 ...
Modeling Type	Membrane
Property Data	
Type	Ribbed
Overall Depth	0.2 m
Slab Thickness	0.05 m
Stem Width at Top	0.1 m
Stem Width at Bottom	0.1 m
Rib Spacing (Perpendicular to Rib Direction)	0.4 m
Rib Direction is Parallel to	Local 1 Axis

Nota: Fuente propia

- Columnas:

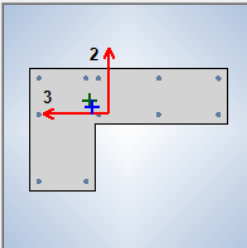
Las columnas existentes que soportan simultáneamente la carga axial y el momento flector de la edificación, son de concreto armado y sus dimensiones son de 03 tipos:

Figura 36:
Dimensión de columna existente C-1

General Data	
Property Name	C-1
Material	FC210
	
Section Dimensions	
Total Depth	0.55 m
Total Width	1.1 m
Flange Thickness	0.25 m
Web Thickness At Flange	0.3 m
Web Thickness At Tip	0.3 m

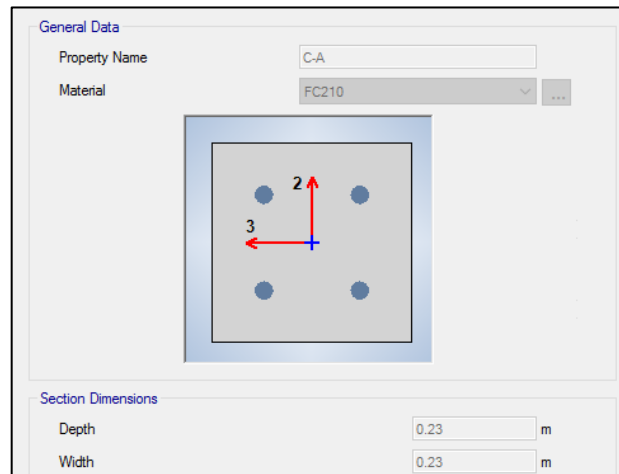
Nota: Fuente propia

Figura 37:
Dimensión de columna existente C-2

General Data	
Property Name	C-2
Material	FC210
	
Section Dimensions	
Total Depth	0.55 m
Total Width	0.9 m
Horizontal Leg Thickness	0.25 m
Vertical Leg Thickness At Corner	0.3 m
Vertical Leg Thickness At Tip	0.3 m

Nota: Fuente propia

Figura 38:
Dimensión de columna existente C-A

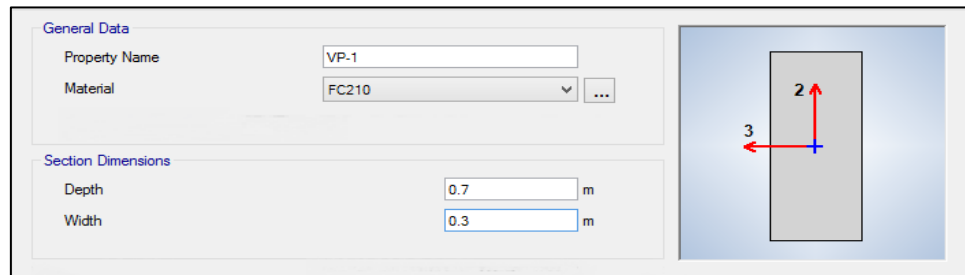


Nota: Fuente Etabs.2016

- Vigas:

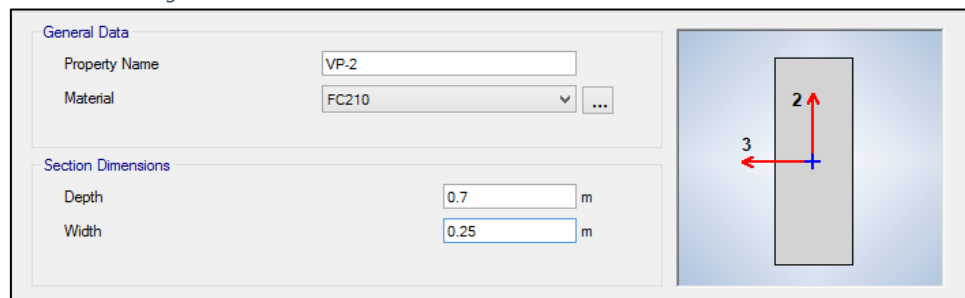
Las vigas estructurales existentes son de concreto armado; en la edificación existen vigas peraltadas perimetrales e interiores, cuyas dimensiones son de 02 tipos:

Figura 39:
Dimensión de viga existente VP-1



Nota: Fuente Etabs.2016

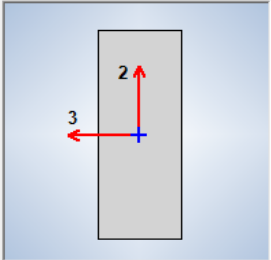
Figura 40:
Dimensión de viga existente VP-2



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 41:
Dimensión de viga existente VS-1

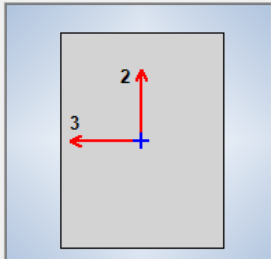
General Data	
Property Name	VS-1
Material	FC210
Section Dimensions	
Depth	0.65 m
Width	0.25 m



Nota: Fuente Etabs.2016


Figura 42:
Dimensión de viga existente VB

General Data	
Property Name	VB
Material	FC210
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Section Dimensions	
Depth	0.2 m
Width	0.15 m



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 43:
Dimensión de vigas acarteladas existentes VL-1 y VL-2

Nonprismatic Section Segments						
						
General Data						
Property Name: VL-1(acartelada)						
Start Section	End Section	Length Type	Length, m	EI33 Variation	EI22 Variation	
VP-1-SEC	VP-1	Proportional	1	Cubic	Linear	
General Data						
Property Name: VL-2(acartelada)						
Start Section	End Section	Length Type	Length, m	EI33 Variation	EI22 Variation	
VP-2-SEC	VP-2	Proportional	1	Cubic	Linear	

Nota: Fuente Etabs.2016

4.2.1.4. Asignación de Cargas

El diseño está hecho en concordancia con las normas vigentes de cargas (NTE.020) y según los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHÁVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN”, las cuales se detallan a continuación:

- 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
CARGA MUERTA	=	0.55	Ton.F/m²

- Carga Viva:

STORY 01

Zona 01: CENTROS EDUCATIVOS - Aulas = 0.25 (Ton.F)/m²

Zona 02: CENTRO EDUCATIVOS - Corredores y Escaleras = 0.40 (Ton.F)/m²

STORY 02

Zona 01: CENTROS EDUCATIVOS - Aulas = 0.25 (Ton.F)/m²

Zona 02: CENTRO EDUCATIVOS - Corredores y Escaleras = 0.40 (Ton.F)/m²

AZOTEA

Zona 01: CENTROS EDUCATIVOS - Aulas = 0.13 (Ton.F)/m²


Zona 02: CENTRO EDUCATIVOS - Corredores y Escaleras = 0.20 (Ton.F)/m²

- Carga en Parapetos:

$$W_{PP} = h \times t \times \gamma \rightarrow \left[\frac{\text{Carga}}{\text{Longitud}} \right]$$

Donde:

W _{pp}	=	Peso Propio
t	=	Altura de Muro
h	=	Espesor de Muro


PARAPETO 01 :  (Ladr. King Kong con tarrajeo)

$$t = 0.15$$

$$h = 1.00$$

$$\gamma = 1.90 \text{ Ton.F/m}^3$$

$$W_{pp1} = 0.29 \text{ Ton.F/m}$$


PARAPETO 02 :  (Ladr. King Kong con tarrajeo)

$$t = 0.15$$

$$h = 1.45$$

$$\gamma = 1.90 \text{ Ton.F/m}^3$$

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

PARAPETO 03 :  (Ladr. King Kong con tarrajeo)

$$t = 0.15$$

$$h = 1.80$$

$$\gamma = 1.90 \text{ Ton.F/m}^3$$

$$W_{pp2} = 0.51 \text{ Ton.F/m}$$

- Resistencias Requeridas:

La resistencia requerida para cargas muertas (CM) y cargas vivas (CV) será como mínimo:

$$U = 1.4 \text{ CM} + 1.7 \text{ CV}$$

Si en el diseño se tuvieran que considerar cargas de sismo (CS), la resistencia requerida será como mínimo:

$$U = 1.25 \text{ CM} + 1.25 \text{ CV} + \text{CS}_x$$

$$U = 0,9 \text{ CM} + \text{CS}_x$$

$$U = 1.25 \text{ CM} + 1.25 \text{ CV} + \text{CS}_y$$

$$U = 0,9 \text{ CM} + \text{CS}_y$$

4.2.1.5. Estructuración

En función a los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHÁVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN”, veremos que:

- El edificio tiene como destino el uso de Local Educativo (Categoría A2).
- La distribución arquitectónica del edificio no presenta irregularidad en planta y en elevación.
- Los sistemas estructurales estimados para el edificio son del sistema “dual de Concreto Armado” con $R=7$ en el sentido X-X y “Albañilería confinada” con $R=3$ en el sentido Y-Y, por ser Zona sísmica severa, se consideró en el

diseño, los requerimientos mínimos establecidos en la norma E.030-2018 para garantizar la estabilidad estructural luego de un evento sísmico.

- La estructuración del edificio se basa en tender la distribución simétrica de la rigidez de los elementos verticales de soporte, generando la correcta distribución de los 03 primeros modos de vibración.
- Los elementos áreas como columnas de concreto y albañilería son subdivididos y/o discretizados, con el fin de realizar el análisis de elementos finitos y obtener resultados confiables.

4.2.1.6. Parámetros Sísmicos

Los parámetros sísmicos considerados de acuerdo a las características del terreno de fundación, ubicación y propios del edificio son provistos de la NTP E.030-2019 de diseño SISMORESISTENTE del Reglamento Nacional de edificaciones vigentes y el estudio de mecánica de suelos obtenido de los estudios definitivos a nivel de Expediente Técnico del proyecto denominado “SUSTITUCIÓN Y REHABILITACIÓN DE INFRAESTRUCTURA EDUCATIVA EN EL C.E. JORGE CHÁVEZ DEL DISTRITO GREGORIO ALBARRACÍN”.

- Zonificación:

Figura 44:
Zonificación



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

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

Tabla 4:
Factor de zona

Zona	Z
4	0.45
3	0.35
2	0.25
1	0.10

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

Entonces si: zona = 4

$$\longrightarrow \boxed{Z = 0.45}$$

- Tipo de Perfil de Suelo: (Condiciones Geotécnicas)

Tabla 5:
Clasificación de perfiles de suelo

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

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

Tabla 6:
Factor de suelo "S"

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

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

Tabla 7:
Periodos "TP" y "TL"

Periodo	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
TP (S)	0.30	0.40	0.60	1.00
TL (S)	3.00	2.50	2.00	1.60

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

Entonces si:

$$\begin{aligned} \text{Factor de Zona} &= Z_4 \\ \text{Perfil de suelo} &= S_2 \end{aligned}$$

$$\longrightarrow \boxed{\begin{aligned} S &= 1.05 \\ TP &= 0.60 \\ TL &= 2.00 \end{aligned}}$$

Donde:

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

- Categoría de la Edificación:

Tabla 8:
Categorías de las edificaciones

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

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.

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 9:
Coeficiente para estimar el periodo predominante de un edificio

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)

$$\begin{aligned} H_n &= 12.10 \\ C_{t_x} &= 60 \\ C_{t_y} &= 60 \end{aligned}$$

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

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

$$T_x = \frac{12.1}{60}$$

$$T_y = \frac{12.1}{60}$$

$$T_x = 0.20$$

$$T_y = 0.20$$

$$\longrightarrow \boxed{T = 0.20}$$

- Factor de Amplificación Sísmica:

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

Si:

$$\begin{aligned} T &= 0.20 \\ T_P &= 0.60 \\ T_L &= 2.00 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{a)} \quad T &< T_P \\ 0.20 &< 0.60 \end{aligned}$$

$$C = 2.5$$

$$\begin{aligned} \text{b)} \quad T_P &< T < T_L \\ 0.60 &< 0.20 < 2.00 \end{aligned}$$

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

$$\begin{aligned} \text{c)} \quad T &> T_L \\ 0.20 &> 2.00 \end{aligned}$$

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

$$\longrightarrow \boxed{C = 2.50}$$

- Sistemas Estructurales:

Tabla 10:
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
		4.00
	Albañilería Armada o Confinada	3.00
	Madera (Por Escuerzos admisibles)	7.00

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

R	=	Coficiente de reducción de solicitaciones sísmicas
R ₀	=	Coficiente 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 _{x0}	=	7.00
S. Estructural en "Y"	:	Albañilería Confinada	=	R _{y0}	=	3.00

IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA	=	NO
IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA	=	NO

COEFICIENTE DE REDUCCION DE LAS FUERAS SISMICAS

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

R _x	=	7.00
R _y	=	3.00

4.2.1.7. Análisis Estático

El análisis estático consiste en el desplazamiento de un sistema de un grado de libertad con una rigidez efectiva y se aconseja su realización para un diseño preliminar y no para un diseño final (Carmona & Rosas, 2015). Su utilización es muy limitada pues existen muchos requisitos que restringen su uso en todas las estructuras; pero el análisis dinámico puede ser aplicado en cualquier estructura. (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012)

El análisis estático solo podrá ser realizado 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).

El programa Etabs.2016 va a ordenar el Análisis Estático con respecto a la carga estática, la cual tiene un grupo de cargas de inicio similar y que actúan juntamente con los objetos del modelo.

- 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

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

$$C = 2.50$$

$$S = 1.05$$

$$R_x = 7.00$$

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

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

$$V_x = \mathbf{0.25} .P$$

CORTANTE DE DISEÑO EN Y

$$Z = 0.45$$

$$U = 1.50$$

$$C = 2.50$$

$$S = 1.05$$

$$R_y = 3.00$$

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

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

$$V_y = \mathbf{0.59} .P$$

$$\text{CORTANTE BASAL ESPERADO} = Z.U.C.S.P$$

$$\longrightarrow \boxed{V_B = 1.77 .P}$$

4.2.1.8. Análisis Dinámico

Una estructura a la cual se le aplica solicitaciones dinámicas externas va a experimentar respuestas que varían con el tiempo. Si se conocen las solicitaciones externas se logrará prever el comportamiento de la estructura, ya que sus modos de vibrar y sus respectivas frecuencias o periodos dependerán de las características geométricas, de la rigidez y de la masa de la estructura (Pino & Llerena, 2015).

El análisis dinámico por combinación modal espectral, es un método que nos permitirá estimar los periodos de vibración, los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. Este método de análisis debe ser aplicado a la estructura ya sea por diseño o verificación de comportamiento (Huanca & Meléndez, 2016).

El análisis dinámico por combinación modal espectral utiliza un espectro inelástico de pseudoaceleraciones. (N.T.E.030, 2018)

El análisis dinámico para el diseño convencional en la presente investigación se realizó mediante el programa Etabs.2016; considerando los criterios referentes al comportamiento de cada tipo de elemento estructural, las cargas actuantes y los materiales de la edificación existente. Este programa permite de una manera sencilla ingresar cualquier tipo de espectro y realiza tres tipos de análisis dinámicos elásticos para estructuras que son: el Análisis de Modos y Frecuencias, el Análisis Tiempo – Historia y el Análisis de Respuesta Espectral.

- Aceleración Espectral:

- S_a = 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_x	=	7.00
R_y	=	3.00
TP	=	0.60
g	=	9.81

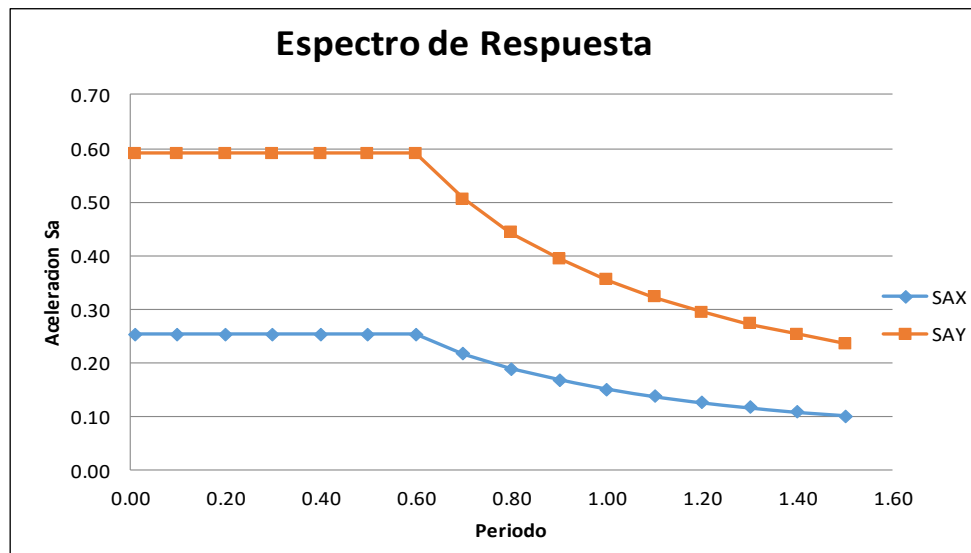
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g$$

Tabla 11:
Aceleración Espectral

T	C	$\frac{ZUCS}{R_X} G$	$\frac{ZUCS}{R_Y} G$	Sax	Say
0.01	2.50	0.25	0.59	0.01	0.253
0.10	2.50	0.25	0.59	0.1	0.253
0.20	2.50	0.25	0.59	0.2	0.253
0.30	2.50	0.25	0.59	0.3	0.253
0.40	2.50	0.25	0.59	0.4	0.253
0.50	2.50	0.25	0.59	0.5	0.253
0.60	2.50	0.25	0.59	0.6	0.253
0.70	2.14	0.22	0.51	0.7	0.217
0.80	1.88	0.19	0.44	0.8	0.19
0.90	1.67	0.17	0.39	0.9	0.169
1.00	1.50	0.15	0.35	1	0.152
1.10	1.36	0.14	0.32	1.1	0.138
1.20	1.25	0.13	0.30	1.2	0.127
1.30	1.15	0.12	0.27	1.3	0.117
1.40	1.07	0.11	0.25	1.4	0.108
1.50	1.00	0.10	0.24	1.5	0.101

Nota: Fuente Propia

Figura 45:
Espectro de Respuesta



Nota: Fuente Propia

4.2.2 Diseño Estructural del Edificio Aislado

4.2.2.1. Estructuración del Edificio Aislado

En el predimensionamiento de la superestructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, se consideraron las mismas dimensiones y características de los elementos estructurales descritos en la edificación con diseño convencional; la única modificación es que ahora tendremos un sistema de asientos apoyo de tipo de péndulo friccional simple, por lo que se hizo algunas mínimas alteraciones incluyéndose unas vigas de conexión en la base de la súper estructura. El objetivo de mantener las mismas secciones en ambos diseños es para que, al realizar el respectivo análisis comparativo se obtengan parámetros de respuesta que sean factibles de cotejo y si muestran los resultados esperados, se demostrará que es factible disminuir las secciones de los elementos estructurales, reduciéndose la cuantía de acero y obteniendo ventajas desde el punto de vista económico.

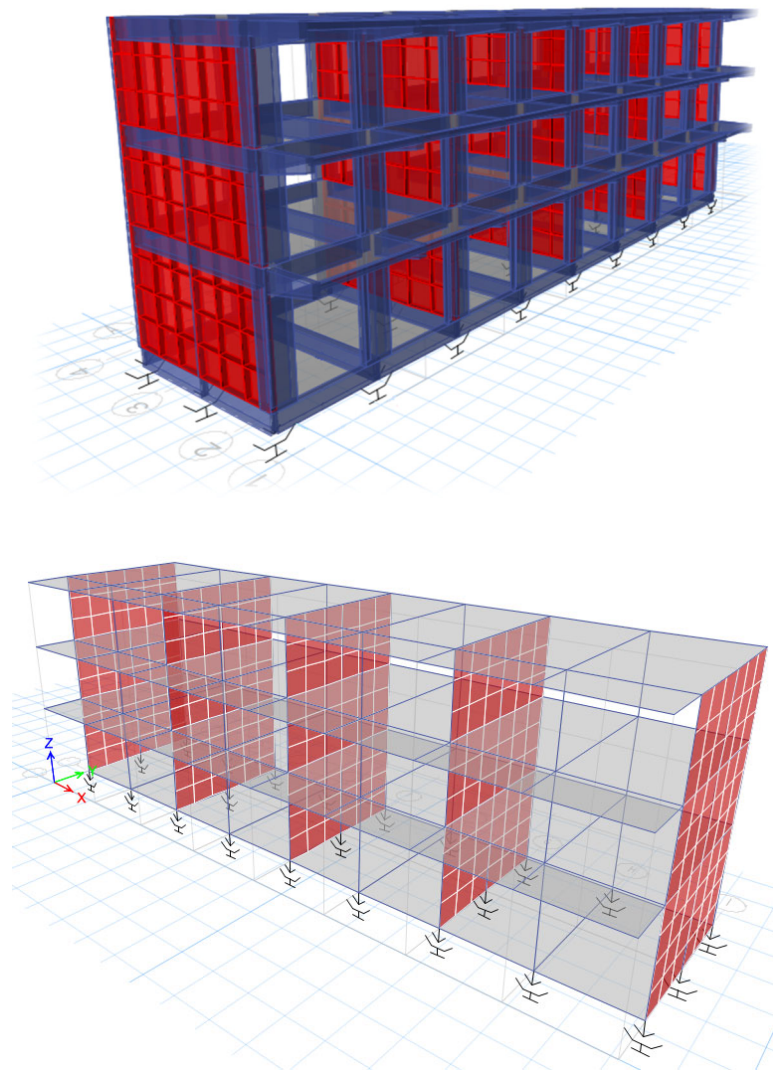
Para efecto de nuestra investigación, la edificación contara con un sistema de aislamiento con 23 asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional de primera generación; estos estarán ubicados de tal manera que encajen en los elementos que transmiten la carga de la superestructura a la subestructura, ocupando la zona perimetral del edificio para así evitar y contrarrestar la torsión que se pueda presentar y entregar una mayor rigidez inicial (Arriagada, 2005); será vital bajar a 1.00 metro el nivel de cimentación, de manera tal que los aisladores sean visibles y sea posible su acceso, con el fin de permitir el mantenimiento y/o recambio de estos, según sea el caso.

Cabe indicar que el predimensionamiento de la subestructura en este proyecto de investigación, no se considera por conveniente, ya que se enfocara esencialmente en el análisis del cotejo de los resultados obtenidos en la superestructura. Una vez logrado el diseño definitivo del sistema de aislación y la superestructura, recién se deberá proceder al diseño de subestructura, lo cual no forma parte del objetivo de la presente investigación.

Las vigas que se ubican en la base de la superestructura conectando los asientos de apoyos, son vigas de tipo VP-1, VP-2 y VS-1 respectivamente.

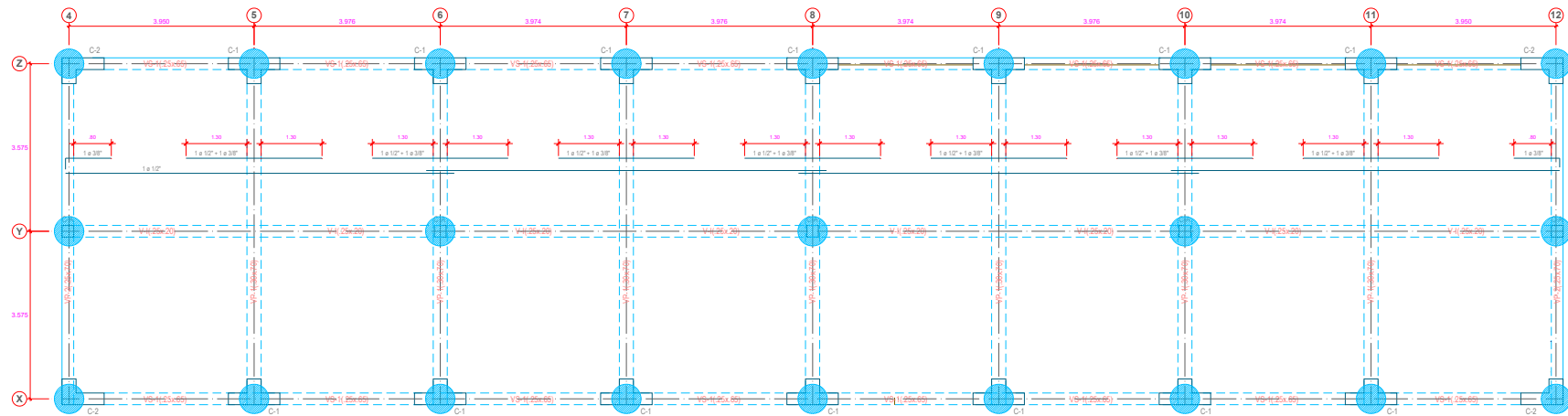
La losa que servirá de piso para el primer nivel de la superestructura es una losa aligerada en sentido unidireccional de espesor de 0.20m.

Figura 46:
Estructuración de Edificación Aislada – Vista 3D



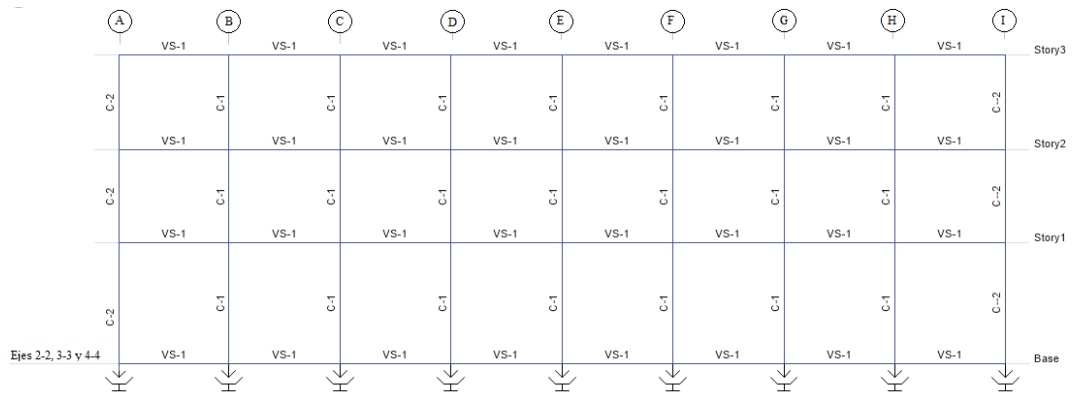
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 47:
 Estructuración de Edificación Aislada – Ubicación de Aisladores en la base de Superestructura



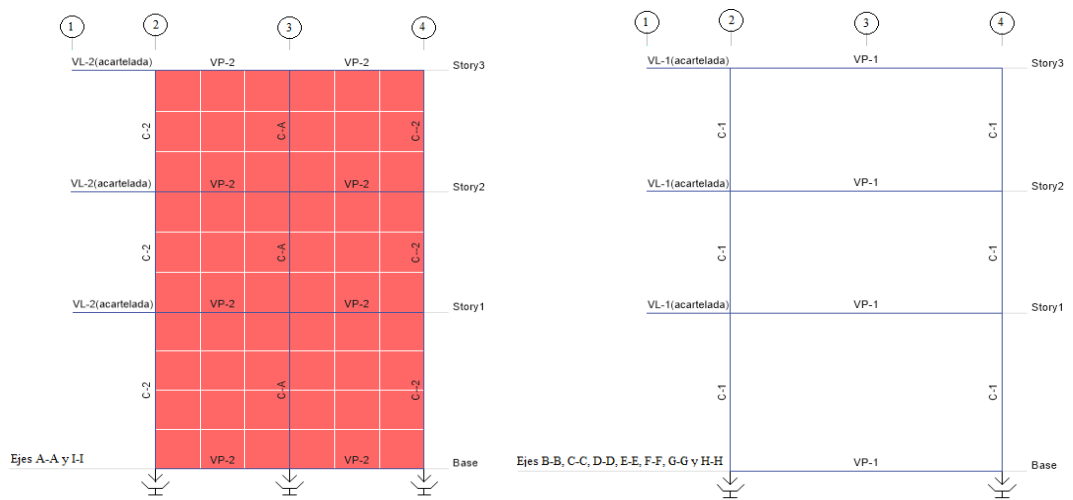
Nota: Fuente Propia

Figura 48:
Estructuración de Edificación Aislada – Vista Frontal



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 49:
Estructuración de Edificación Aislada – Vista Lateral



Nota: Fuente Etabs.2016

4.2.2.2. Diseño de Aislador

El diseño de los aisladores sísmicos, pueden realizarse a través de dos métodos: el primero realizando nuestro propio modelo de aislador y el segundo es usando las propiedades geométricas y dinámicas de los dispositivos obtenidos de un Catálogo de fabricación aisladores; para nuestro proyecto de investigación utilizaremos catálogos de proveedores que están en el rubro de la producción de asientos de apoyo de tipo péndulo friccional (EPS-Earthquake Protection Systems, Maurer, etc.). Además, se proporciona consideraciones iniciales para el diseño de estos asientos apoyo de tipo péndulo friccional, los cuales detallo a continuación:

- Establecer el número y la ubicación de de los asientos de apoyo a utilizar.
- Determinar el peso total de la superestructura según RNE.
- Determinar la carga axial mínima y máxima en cada asiento de apoyo, dato según catálogo del proveedor.
- Indicar las propiedades geométricas y dinámicas del asiento de apoyo, datos según catálogo del proveedor.
- Determinar el rango de intervalo de los asientos de apoyo a usar y utilizar un número en ese rango.
- Fijar periodo fundamental sin aislación.
- Fijar periodo objetivo
- Coeficiente de fricción, dato del fabricante. Ensayo a baja frecuencia, el c_f es bajo.
- Determinar la resistencia a teflón a tensión, dato según catálogo del proveedor.
- Determinar el coeficiente de amortiguación, dato inicial; pero se debe recalcular.
- Por dato teórico, un amortiguamiento de 20% para aisladores FPS.
- Determinar la densidad del material, dato según catálogo del proveedor.
- Cálculo de la rigidez lateral de cada asiento de apoyo, rigidez inicial.
- Cálculo del factor de amortiguamiento.
- Determinar parámetros de aceleración espectral $SM1$ y $Sd1$.

Como se indicó anteriormente las dimensiones de los asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional, utilizados deberán sujetarse a su disponibilidad en el mercado, concertando previamente con los fabricantes si es que suministran aisladores que cuenten con propiedades similares a la del diseño preliminar, fundamentalmente a lo que se refiere a los coeficientes de fricción y a los radios de curvatura del calce cóncavo (Martínez & Melgar, 2015).

Para el diseño de los asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional, se empleará el catálogo de la empresa EPS- Earthquake Protection Systems; y se realizará en los siguientes pasos:

Paso N°01:

Aplicando los lineamientos del código ASCE/SEI 7, Norma Americana, obtenemos los parámetros del movimiento del terreno, los cuales se detalla en la Tabla 12.

Tabla 12:
Parámetros del movimiento del Terreno

MOVIMIENTO DEL TERRENO			
Aceleración espectral del sismo considerado máximo (MCE)	S_S	1.00	g
Aceleración espectral MCE en un periodo de 1 segundo	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	3,123.92	klb
Factor de importancia sísmico en estructuras aisladas sísmicamente	Ie	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	-

Nota: Fuente propia

Paso N°02:

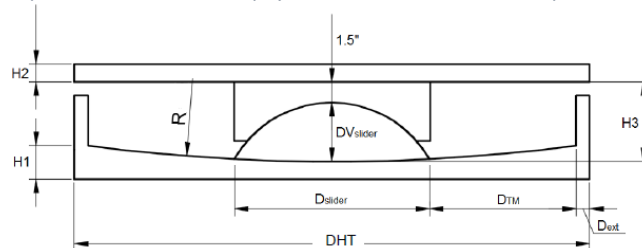
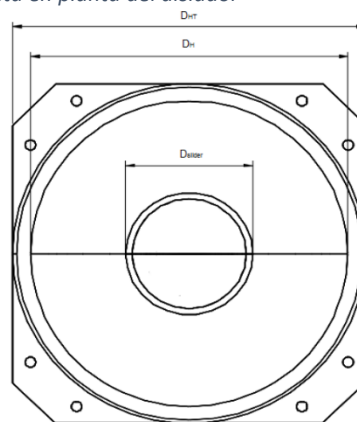
Se debe realizar un proceso iterativo, modificando los periodos (T_P y T_M) y los amortiguamientos ($\beta_{\text{eff},D}$ y $\beta_{\text{eff},M}$), hasta lograr un valor de convergencia próximo a

1, de esta manera se logrará optimizar las unidades del aislador que se obtienen en el catálogo de fabricante de asientos de apoyo de tipo de péndulo friccional simple (EPS - Earthquake Protection Systems), unidades que se detallan en el cuadro N°

Tabla 13:
Unidades de Aislador Optimizadas

UNIDADES DEL AISLADOR	FP SIMPLE		und
	DBE	MCE	
Total de Aisladores a Usar	23.00		-
Peso Sísmico Total	13,895.95		kN
Masa Sísmica Total			kN-s ² /m
Masa por cada Aislador (por Tipo)	61.59		kN-s ² /m
Peso del Aislador	5.00		kN
Área Efectiva en el Plano, A	72,965.88		mm ²
Altura Total	403.20		mm
Diámetro de la Superficie Cóncava Exterior de Acero Inoxidable, DC	φ = 1118 mm (44 plg), R = 2235 mm (88 plg)		-
DC	1,118.00		mm
Radio de Curvatura para DC	2,235.00		mm
Diámetro de la Superficie Cóncava Interior de Acero Inoxidable, DS	φ = 406.4 mm (16 plg)		-
DS	406.40		mm
Radio de Curvatura para DS	406.40		mm
Diámetro del Deslizador de Acero Inoxidable, DR	φ = 304.8 mm (12 plg)		-
DR	304.80		mm
Altura del Deslizador en Péndulo de Fricción Simple, h	203.20		mm
Desplazamiento Nominal en Péndulo de Fricción Simple	406.60		mm
Radio de Curvatura Efectivo para DC	2,133.40		mm
Capacidad de Desplazamiento Real en Péndulo de Fricción Simple	388.12		mm
Estabilidad del Deslizador (<1, OK)	0.67		-
Desplazamientos Totales, DD y DM	73.32	168.82	mm
Desplazamientos Totales, DTD y DTM	94.96	218.65	mm
Relación de Amortiguamiento Equivalente, Heq(Y) o β	0.53	0.45	N/mm ²
Rigidez Equivalente al Corte, Keq	924.32	481.56	kN/m
Rigidez Postfluencia, K2 en Péndulo Simple		141.60	kN/m
Rigidez Inicial, K1		57,534.12	kN/m
Esfuerzo a Compresión en Péndulo Simple		8.28	N/mm ²
Coefficiente de Fricción Bajas Velocidades Pendulo Simple		0.09	-
Coefficiente de Fricción Altas Velocidades Pendulo Simple		0.11	-
Resistencia Característica, Qd		57.39	kN
Energía por Ciclo, ΔW	16,603.40	38,526.81	kN-mm
Desplazamiento de Fluencia, Dy		1.00	mm
Fuerza de Fluencia, Fy		57.53	kN
Fuerza en el Asiento de Apoyo	67.78	81.30	kN
Factor B	2.46	2.22	-
Aporte a la Rigidez Total	21,259.46	11,075.83	kN/m
Aporte a la Energía por Ciclo	381,878.21	886,116.60	kN-mm
Módulo de Young, E		187,500.00	N/mm ²
Rigidez a Compresión Vertical, KV		67,328,257.56	kN/m
Masa por cada Aislador (por Tipo)		61.59	kN-s ² /m
Periodo Efectivo	1.62	2.25	s
Amortiguamiento	229.88	136.66	kN-s/m
Revisión por Fuerza Restauradora Suficiente (Debe ser mayor el Periodo Efectivo)	2.35	3.56	-

Nota: Fuente Propia

Figura 50:*Esquema del Asiento de Apoyo de Péndulo Friccional Simple**Nota: Fuente (Martínez & Melgar, 2015)***Figura 51:***Vista en planta del aislador**Nota: Fuente COSAPI S.A.*

4.2.2.3. Análisis Estático No Lineal

El método del análisis estático no lineal también llamado método de la fuerza lateral equivalente es una técnica basada en el desplazamiento que emplea sencillas ecuaciones para calcular la respuesta de una edificación con asientos de apoyo, asumiendo que la estructura es rígida y los desplazamientos laterales ocurren principalmente en el sistema aislamiento. Este método lo hacemos a nivel del sismo de diseño (SD), utilizando un modelo de un grado de libertad.

Aplicando las unidades optimizadas del aislador del catálogo de la empresa EPS- Earthquake Protection Systems y los lineamientos del código ASCE/SEI; vamos a obtener los siguientes parámetros para el diseño estático no lineal, los cuales se detallan en la Tabla 14.

Tabla 14:

Diseño Preliminar estático no lineal

DISEÑO PRELIMINAR			
Amortiguamiento efectivo inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$\beta_{\text{eff},D} =$	52.90	%
Amortiguamiento efectivo inicial asumido para el desplazamiento máximo	$\beta_{\text{eff},M} =$	44.50	%
Coefficiente de amortiguamiento inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$\beta_D = \frac{1}{2\pi} \left(\frac{\sum E_D}{k_{D\max} D_D^2} \right)$	2.45	
Coefficiente de amortiguamiento inicial asumido para el desplazamiento máximo	$B_M =$	2.22	
Periodo efectivo inicial asumido para el desplazamiento de diseño	$T_D = 2\pi \sqrt{\frac{W}{k_{D\min} g}}$	1.61	s
Periodo efectivo inicial asumido para el desplazamiento máximo	$T_M =$	2.24	s
Dimensión en planta más larga de la estructura	d	105.15	pie
Dimensión en planta más corta de la estructura medida perpendicular a "d"	b	24.28	pie
Excentricidad real medida en planta entre el centro de masas de la estructura por encima de la interfase de aislación y el centro de rigidez del sistema de aislación	$e_{\text{real}} =$	0.19	pie
Excentricidad accidental (5 por ciento de la dimensión en planta más larga)	$e_{\text{accidental}} =$	5.26	pie
Excentricidad real medida en planta entre el centro de masas de la estructura por encima de la interfase de aislación y el centro de rigidez del sistema de aislación, más la excentricidad accidental	$e = e_{\text{real}} + e_{\text{accidental}} =$	5.45	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	52.58	pie
Desplazamiento de diseño del sistema de aislación	$D_D = \frac{g S_{D1} T_D}{4\pi^2 B_D}$	2.89	plg
Desplazamiento máximo del sistema de aislación	$D_M = \frac{g S_{M1} T_M}{4\pi^2 B_M}$	6.65	plg
Desplazamiento total del sistema de aislación	$D_{TD} = D_D \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$	3.74	plg
Desplazamiento máximo total del sistema de aislación	$D_{TM} = D_M \left[1 + y \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right]$	8.61	plg
	$D_{TD} / D_D =$	1.30	
	$D_{TM} / D_M =$	1.30	
Rigidez mínima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento de diseño	$k_{D\min} = \frac{4\pi^2 W}{T_D^2 g}$	122.52	klb/plg
Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento de diseño	$k_{D\max} = 1.1 \frac{k_{D\min}}{0.90}$	176.98	klb/plg
Rigidez mínima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento máximo de diseño	$k_{M\max} = 1.1 \frac{k_{M\min}}{0.90}$	91.88	klb/plg
Rigidez máxima efectiva del sistema de aislación en el desplazamiento máximo de diseño	$k_{M\min} = \frac{4\pi^2 W}{T_M^2 g}$	63.61	klb/plg
Cortante en la base del sismo de diseño	$V_{DE} = D_D \times k_{D\max}$	510.89	klb
Coefficiente del sismo de diseño	$\text{Coef}_{DE} = V_{DE} / \text{Peso}$	0.16	
Cortante en la base del sismo de diseño reducida por el factor R_I	$V_s = \frac{V_b}{R_I} = \frac{k_{D\max} D_D}{R_I}$	255.45	klb
Coefficiente del sismo de diseño reducida por el factor R_I	$\text{Coef}_s = V_s / \text{Peso}$	0.08	
Fuerza lateral requerida para verificar la estabilidad y la capacidad última de los elementos del sistema de aislación	$V_{MCE} = k_{D\max} D_M$	1,176.28	klb
Coefficiente para verificar la estabilidad y la capacidad última de los elementos del sistema de aislación	$\text{Coef}_{MCE} = V_{MCE} / \text{Peso}$	0.38	
La cortante de diseño en la base para una estructura con base fija con el mismo peso	$V = C_s W = \frac{S_{D1}}{T} \left(\frac{R}{T} \right) W$	433.55	

Nota: Fuente Propia

El método del análisis estático lineal también llamado método de la fuerza lateral equivalente va a tener varias limitaciones, y solo se recomienda su utilización para hacer un análisis preliminar y para obtener datos que servirán para comparar con el método modal espectral y el método de análisis de respuesta en el tiempo.

Motivo por el cual los datos obtenidos por este método no serán considerados en el análisis de cotejo de resultados de nuestro proyecto de investigación, ya que se busca realizar un análisis comparativo entre el diseño convencional y el diseño definitivo obtenido a través de un análisis dinámico no lineal tiempo – historia.

4.2.2.4. Análisis Dinámico No Lineal

Existen diversas y significativas razones para realizar un análisis dinámico no lineal en el pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, razones que fueron mencionadas anteriormente.

Para el análisis dinámico en una estructura aislada se recomienda realizar el análisis tiempo – historia, ya que puede ser usada en las ocasiones en que la estructura no acate con las normas y exigencias señaladas para el análisis estático y espectral y a la vez este análisis va a mostrar un resultado más real del comportamiento estructural de la edificación frente un sismo; pudiendo ser empleada en el diseño de cualquier estructura que tenga un sistema de asientos de apoyo (Huanca & Meléndez, 2016). Este análisis puede ejecutarse con un modelo lineal similar o con un modelo no lineal, siendo una mejor opción ejecutarlo con un modelo no lineal ya que brinda de forma más real el comportamiento del sistema con asientos de apoyo (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012).

El análisis tiempo – historia debe ejecutarse empleando las dos magnitudes horizontales de registros de acelerogramas debidamente seleccionados y escalados de como mínimo tres registros de eventos sísmicos reales o artificiales (Korswagen,

Arias, & Huaranga, 2012); esto implica 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. Para efecto de nuestra investigación los registros de eventos sísmicos que se usaron fueron:

- Registro de evento sísmico de Lima del 03/10/1974.
- Registro de evento sísmico de Moquegua del 23/06/2001.
- Registro de evento sísmico de Ica del 15/08/2007.

Figura 52:

Registro de Evento Sísmico - Lima 03/10/1974

```

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 53:

Registro de Evento 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 54:

Registro de Evento 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. Programa Computacional

Para ejecutar el modelamiento y análisis estructural con asientos de apoyo se empleó el programa Etabs.2016, donde se ingresó todos los criterios referentes al comportamiento de cada tipo de elemento estructural, las cargas actuantes, las características geométricas y de los materiales considerados en el sistema convencional.

Actualmente el programa Etabs.2016 permite realizar el modelamiento de una estructura con asientos de apoyo, ya que permite que sus datos de entrada contengan propiedades bilineales para efectuar un análisis no lineal de tiempo – historia. Se deberán ingresar al programa Etabs.2016 lo siguientes datos:

- Espectro de diseño.

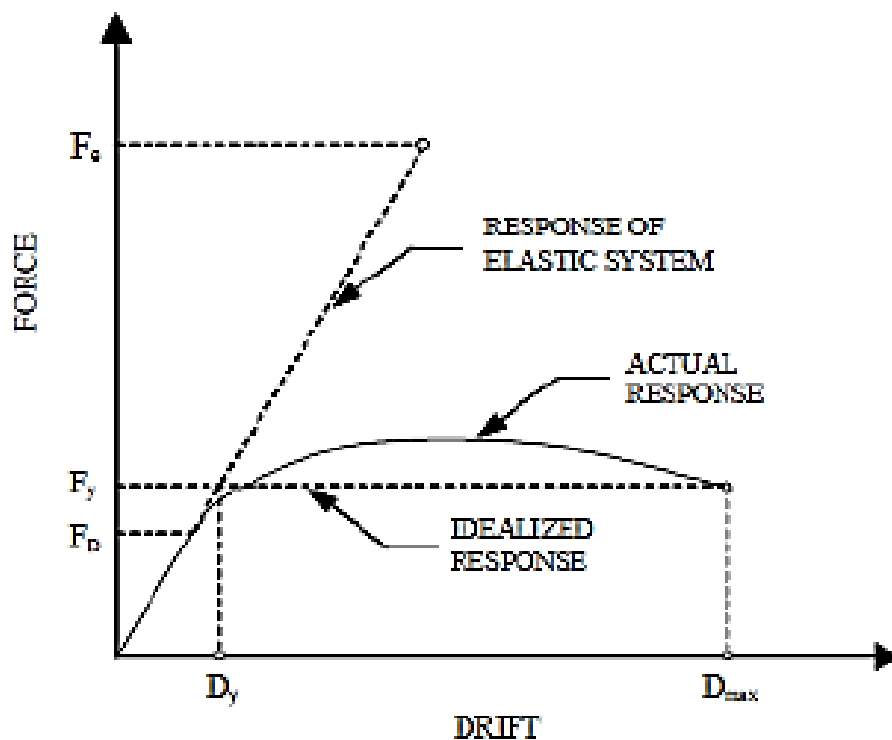
Para realizar el análisis dinámico de la estructura con asientos de apoyo, primero se deberá definir un espectro de diseño utilizando los parámetros sísmicos indicados en la Norma Técnica Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 y que serán idénticos a los que se emplearon en el análisis de la misma estructura pero con un sistema convencional a excepción de los factores de uso o importancia, de verificación de irregularidad y de reducción sísmica (Medina & Choque, 2017).

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

El control de la irregularidad de la superestructura se efectuará del mismo modo que se realizó en la estructura con sistema convencional, obteniendo una irregularidad estructural en altura = 1 ($I_a=1.00$) y una irregularidad estructural en planta = 1 ($I_p=1.00$).

Sabemos que el factor de reducción sísmica es utilizado para estimar el valor de la fuerza de diseño (F_d) a partir de la fuerza elástica (F_e). Este factor está directamente influenciado por el grado de ductilidad que se otorga a la estructura es decir que a mayor sea el factor de reducción sísmica mayor será la ductilidad y a menor sea su valor se obtendrá una falla menos dúctil (Ruiz, 2017).

Figura 55:
Factor de Reducción Sísmico (R)



Nota: Fuente (Ruiz, 2017)

El valor del factor de reducción sísmica está sujeto al tipo de sistema estructural y son el resultado de datos empíricos, teniendo un valor próximo a la relación entre la fuerza elástica y la fuerza de fluencia (F_e/F_y). La diferencia entre la fuerza de diseño y la fuerza de fluencia depende de la sobre resistencia proporcionada por las características exclusivas de la estructura como la redundancia y de los materiales. (Ruiz, 2017)

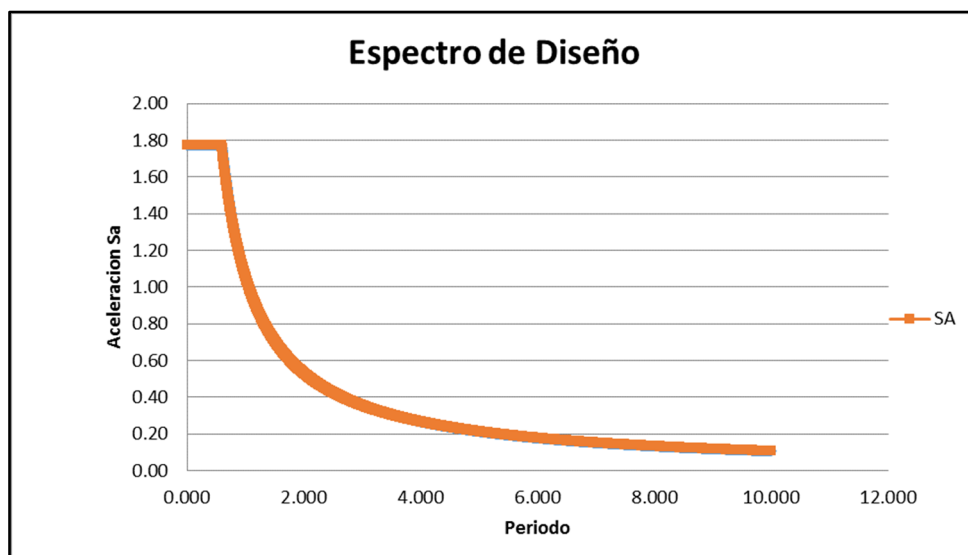
Las estructuras con asientos de apoyo usaran un factor de reducción sísmico igual a $3/8R$, por lo que su valor no deberá ser menor a 1 ni mayor a 2. Para nuestro análisis utilizaremos un factor de reducción sísmico igual a 1, esta condición es suficiente para garantizar que no existan fallas en las conexiones (Ruiz, 2017).

Entonces obtendremos nuestro espectro de diseño con los parámetros descritos anteriormente, los cuales detallamos a continuación:

Z	=	0.45
U	=	1.50
S	=	1.05
C	=	2.50
T _p	=	0.60
g	=	9.81
R	=	1.00

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

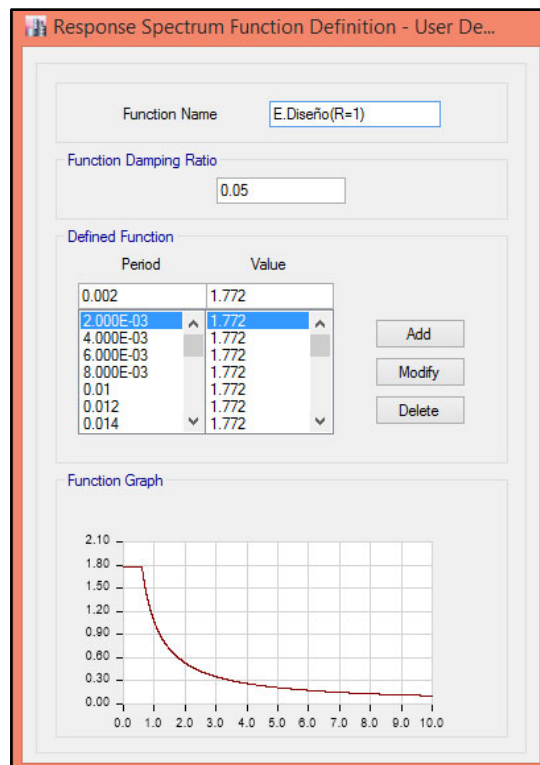
Figura 56:
Espectro de Diseño con R=1



Nota: Fuente (Ruiz, 2017)

Se deberá ingresar este espectro de diseño (R=1) en el software integrado de diseño de edificios Etabs.2016, como se muestra a continuación:

Figura 57:
Espectro de diseño con $R=1$ en Etabs.2016



Nota: Fuente Etabs.2016

- Registro de eventos sísmicos

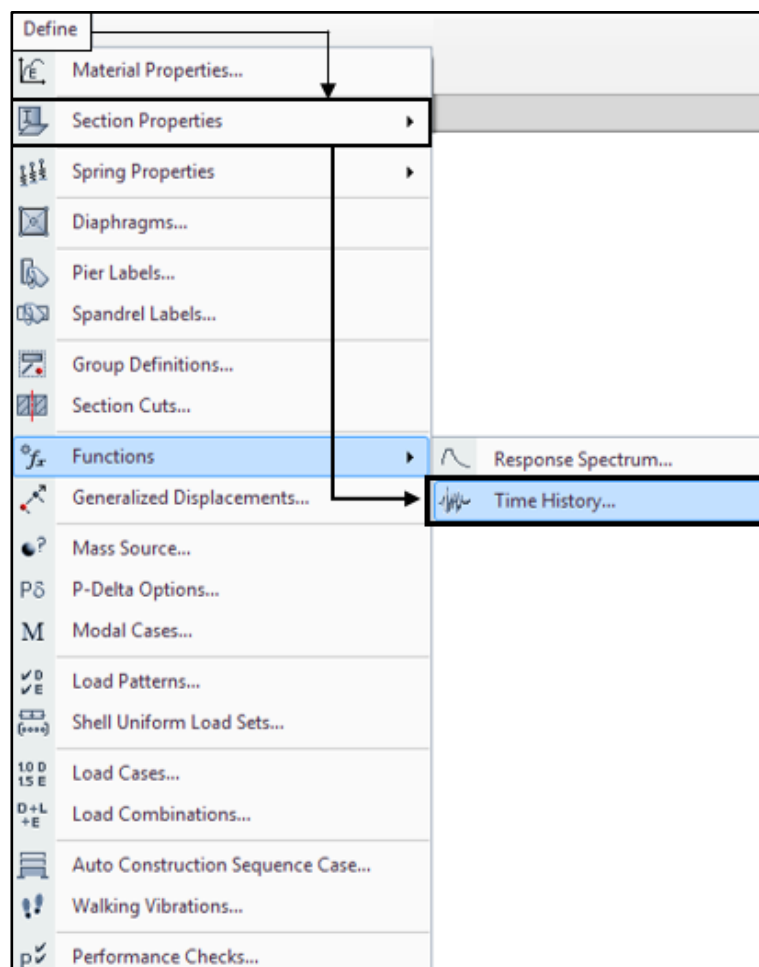
Los acelerogramas son graficas que describen la magnitud de las aceleraciones que va experimentando el suelo frente a un determinado tiempo desde el inicio de un movimiento telúrico (Korswagen, Arias, & Huaranga, 2012).

Los datos de la aceleración se hallarán con un artefacto llamado acelerógrafo, el cual registra la aceleración del suelo en tres direcciones perpendiculares; una vertical y dos horizontales. La toma de datos se desarrollará en intervalos de tiempo de 0.01 o 0.02 segundos como máximo debido a que la variación de la aceleración es muy irregular en el tiempo (Chiriboga, 2013).

Para el análisis tiempo - historia se deberá ingresar al software integrado de diseño de edificios Etabs.2016, los acelerogramas de 03 registros de eventos sísmicos que sucedieron cerca al lugar de interés (Cando, Monrroy, Ortega, & Puerres, 2012). Registros que fueron detallados en el capítulo 4.2.2.3. y se seguirá el procedimiento que se detalla a continuación:

Paso 01: En la barra de menús del Etabs.2016 seleccionamos el icono Define, luego entramos en Functions y por ultimo hacemos click en Time History.

Figura 58:
Paso 01 modelamiento de acelerogramas

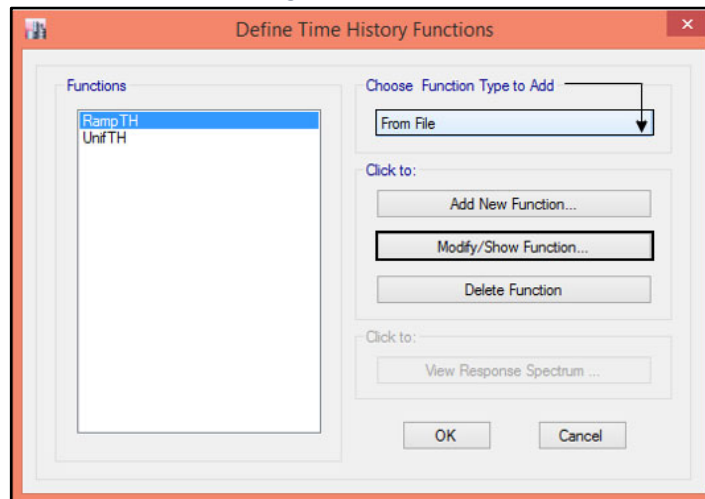


Nota: Fuente Etabs.2016

Paso 02: Saldrá una ventana, buscamos en la barra de menús de *Choose Function Type to Add* y seleccionamos la opción *from file* y finalmente haremos click en *Add New Function*.

Figura 59:

Paso 02 modelamiento de acelerogramas

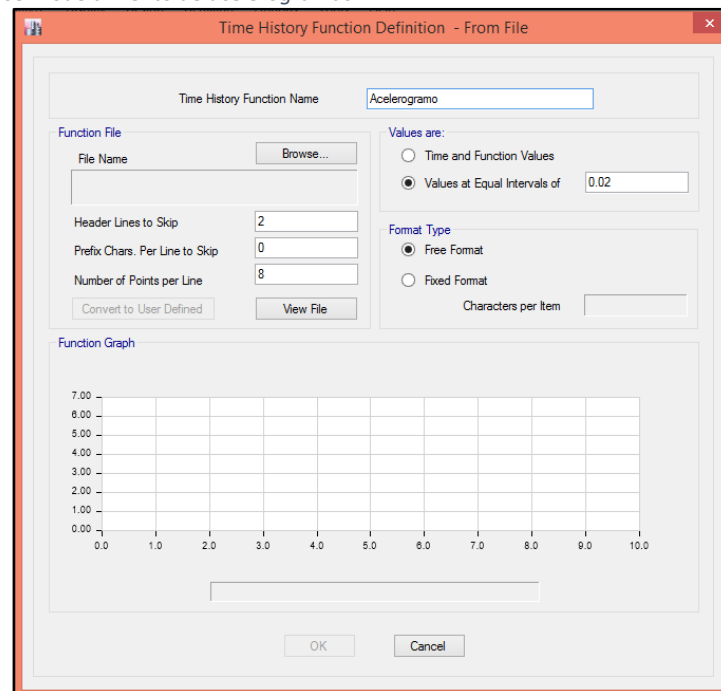


Nota: Fuente Etabs.2016

Paso 03: Saldrá una sub ventana donde se ingresará los registros sísmicos.

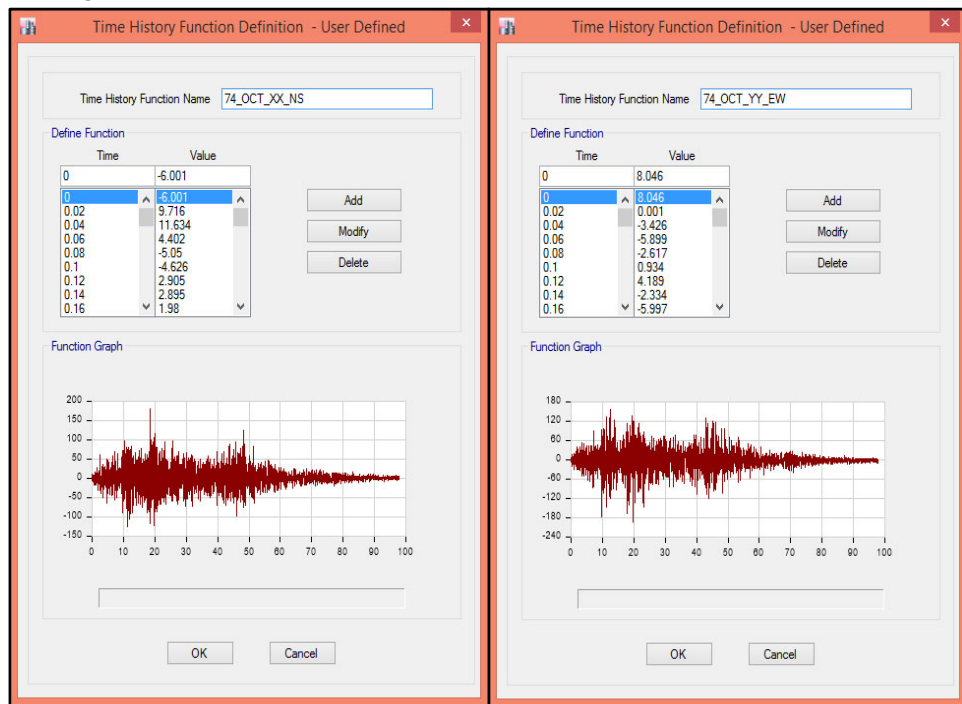
Figura 60:

Paso 03 modelamiento de acelerogramas



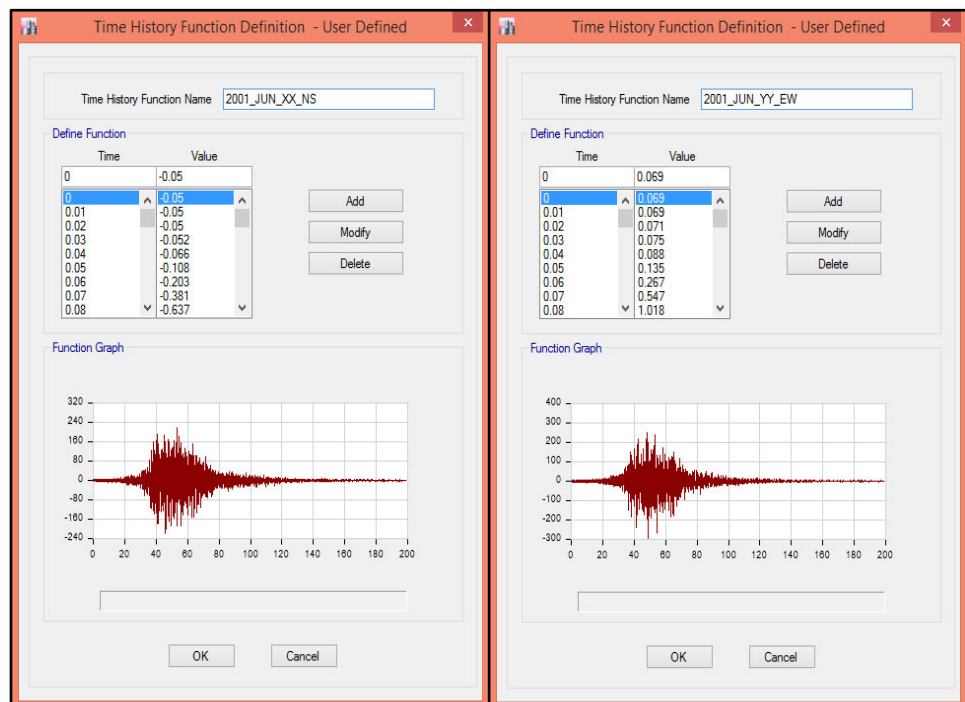
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 61:
Acelerograma – Lima 03/10/1974



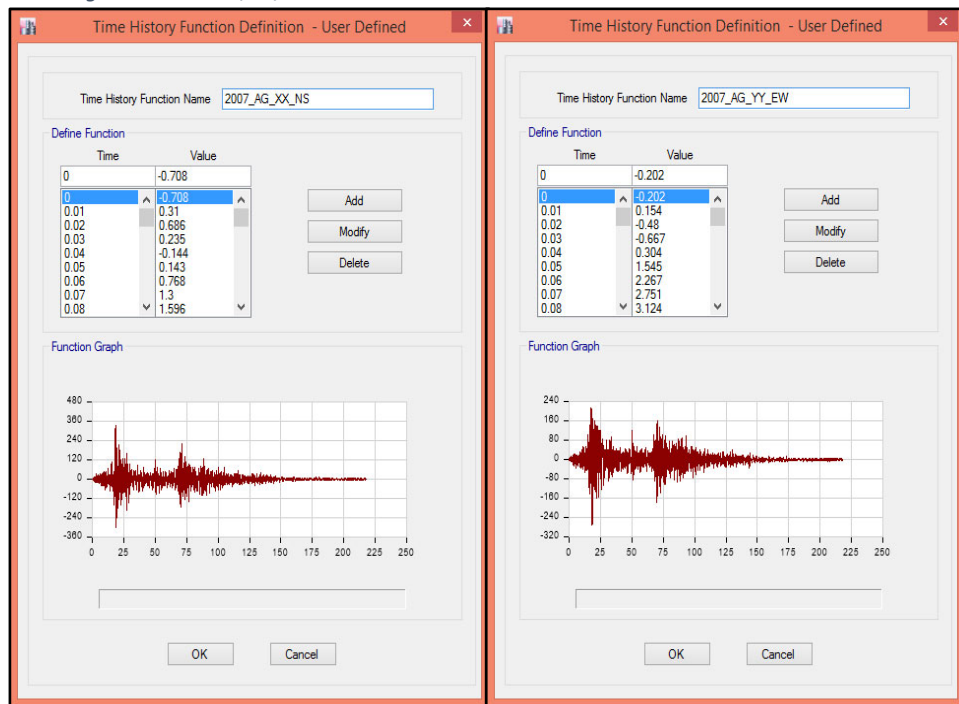
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 62:
Acelerograma – Moquegua 23/06/2001



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 63:
Acelerograma – Ica 15/08/2007



Nota: Fuente Etabs.2016

- Escalado.

Los acelerogramas se distinguen por ser muy variables, altamente irregulares y oscilatorios; muestran inicialmente mínimas amplitudes que aumentan velozmente hasta alcanzar valores máximos y de la misma forma disminuyen rápidamente hasta que se detiene el movimiento, obteniéndose diferentes respuestas dependiendo del lugar en donde fueron tomados, el tipo de terreno existente en el lugar, la configuración del acelerograma, etcétera (Chiriboga, 2013).

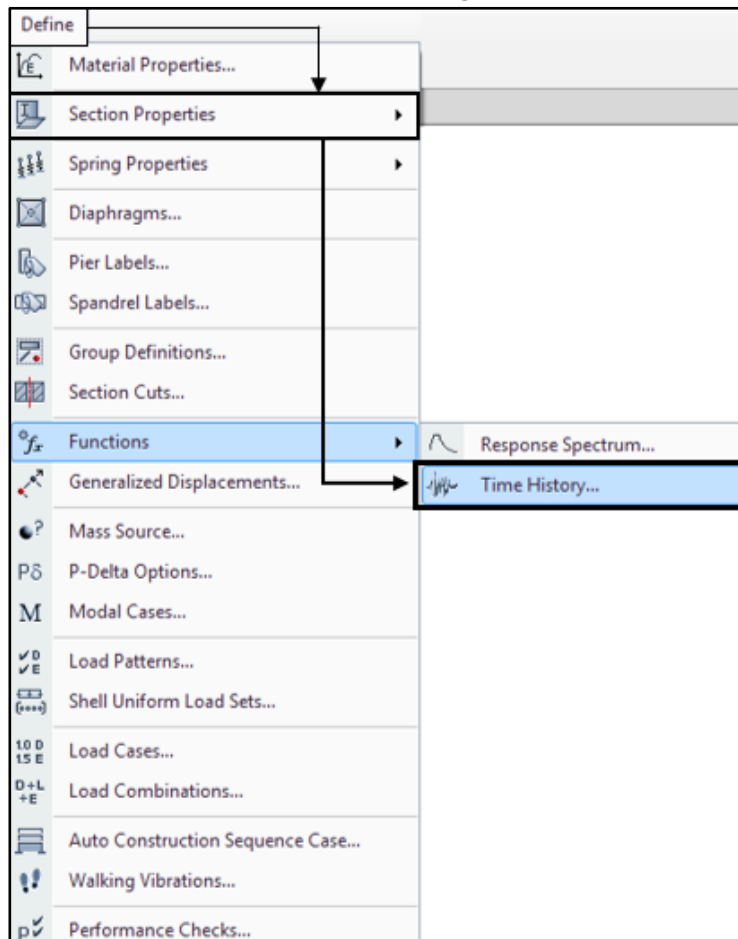
Por lo mencionado en el párrafo anterior es que debemos hacer el análisis tiempo – historia utilizando un espectro sísmico de respuesta obtenido al ajustar los acelerogramas al espectro de diseño con un $R=1$.

El software integrado de diseño de edificios Etabs.2016 va a permitir realizar el escalado de acelerogramas de una forma sencilla; para efectuarlo se deberá seguir el procedimiento que se detalla a continuación:

Paso 01: En la barra de menús del Etabs.2016 seleccionamos el icono Define, luego entramos en Functions y por ultimo hacemos click en Time History.

Figura 64:

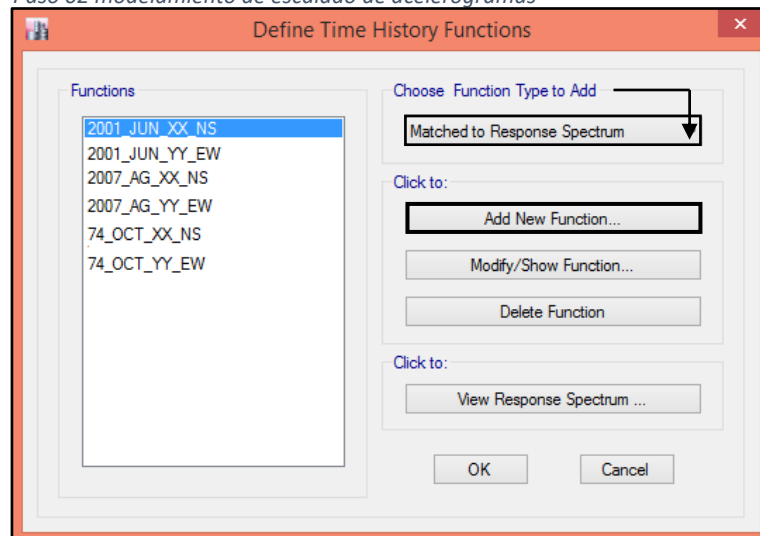
Paso 01 modelamiento de escalado de acelerogramas



Nota: Fuente Etabs.2016

Paso 02: Saldrá una ventana, buscamos en la barra de menús de *Choose Function Type to Add* y seleccionamos la opción *Matched to Response Spectrum* finalmente haremos click en *Add New Function*.

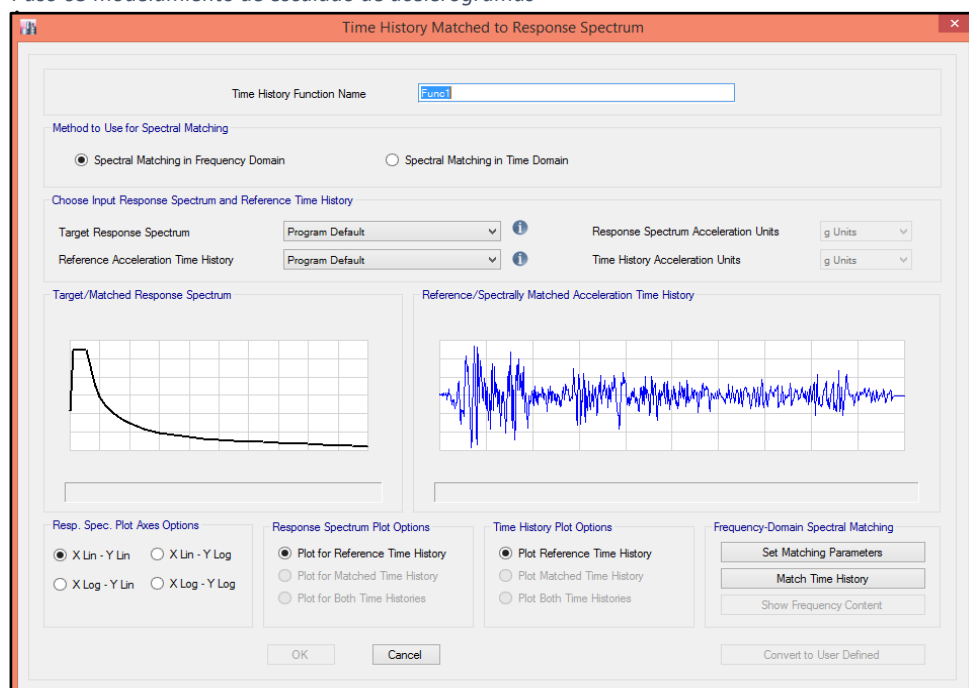
Figura 65:
Paso 02 modelamiento de escalado de acelerogramas



Nota: Fuente Etabs.2016

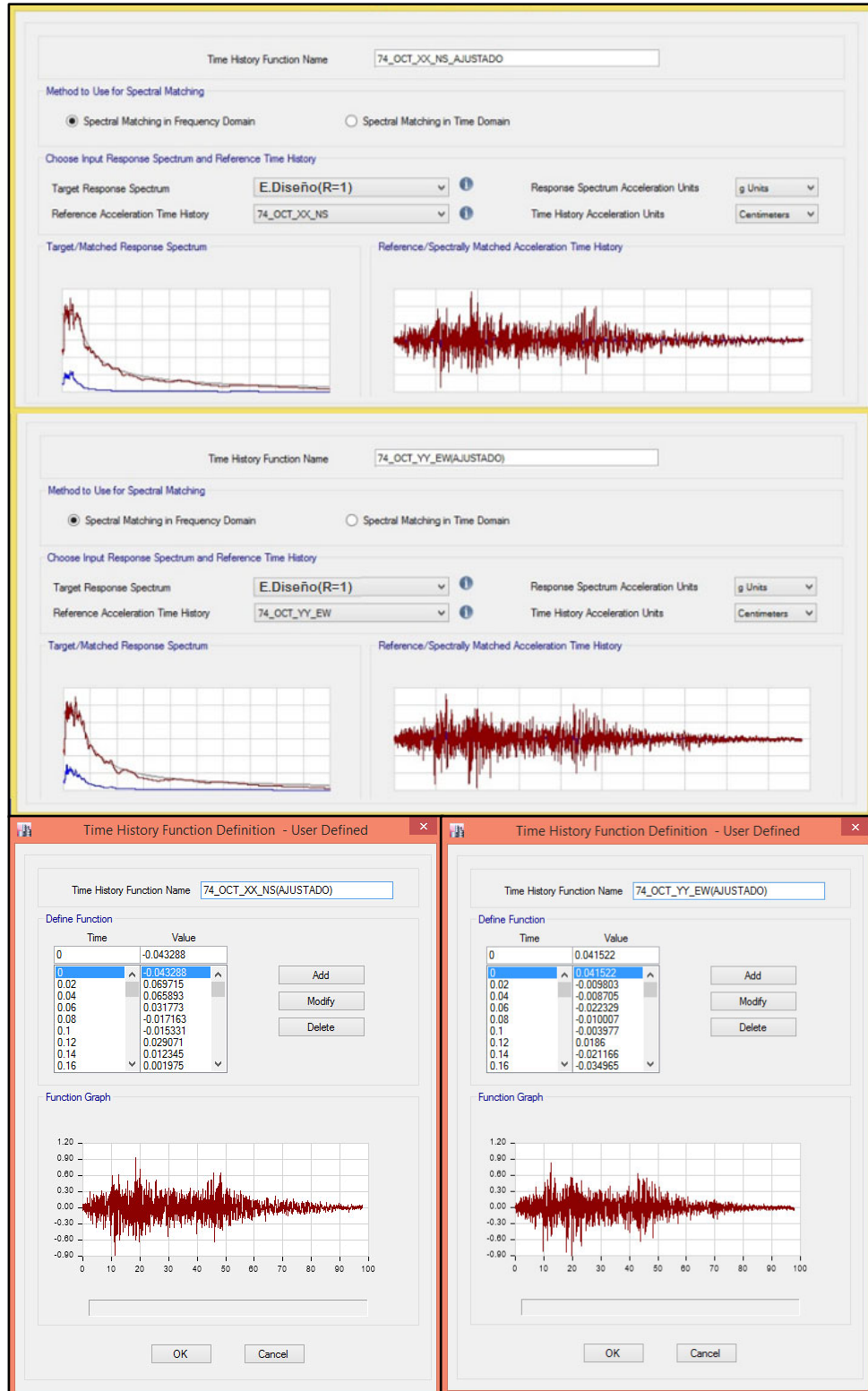
Paso 03: Saldrá una sub ventana donde se ingresará el espectro de diseño (R=1) y los registros sísmicos a ajustar

Figura 66:
Paso 03 modelamiento de escalado de acelerogramas



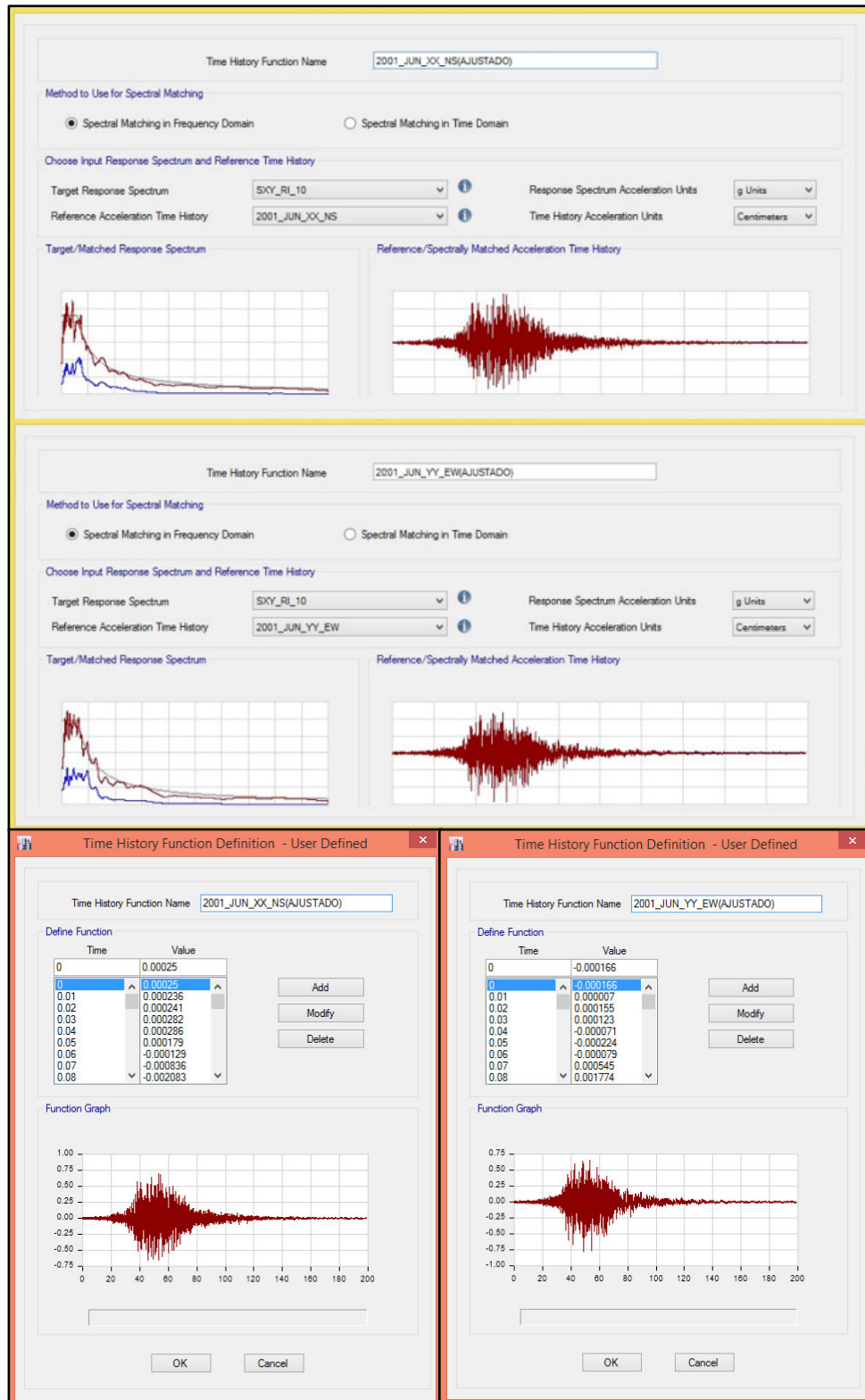
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 67:
Acelerograma Escalado – Lima 03/10/1974



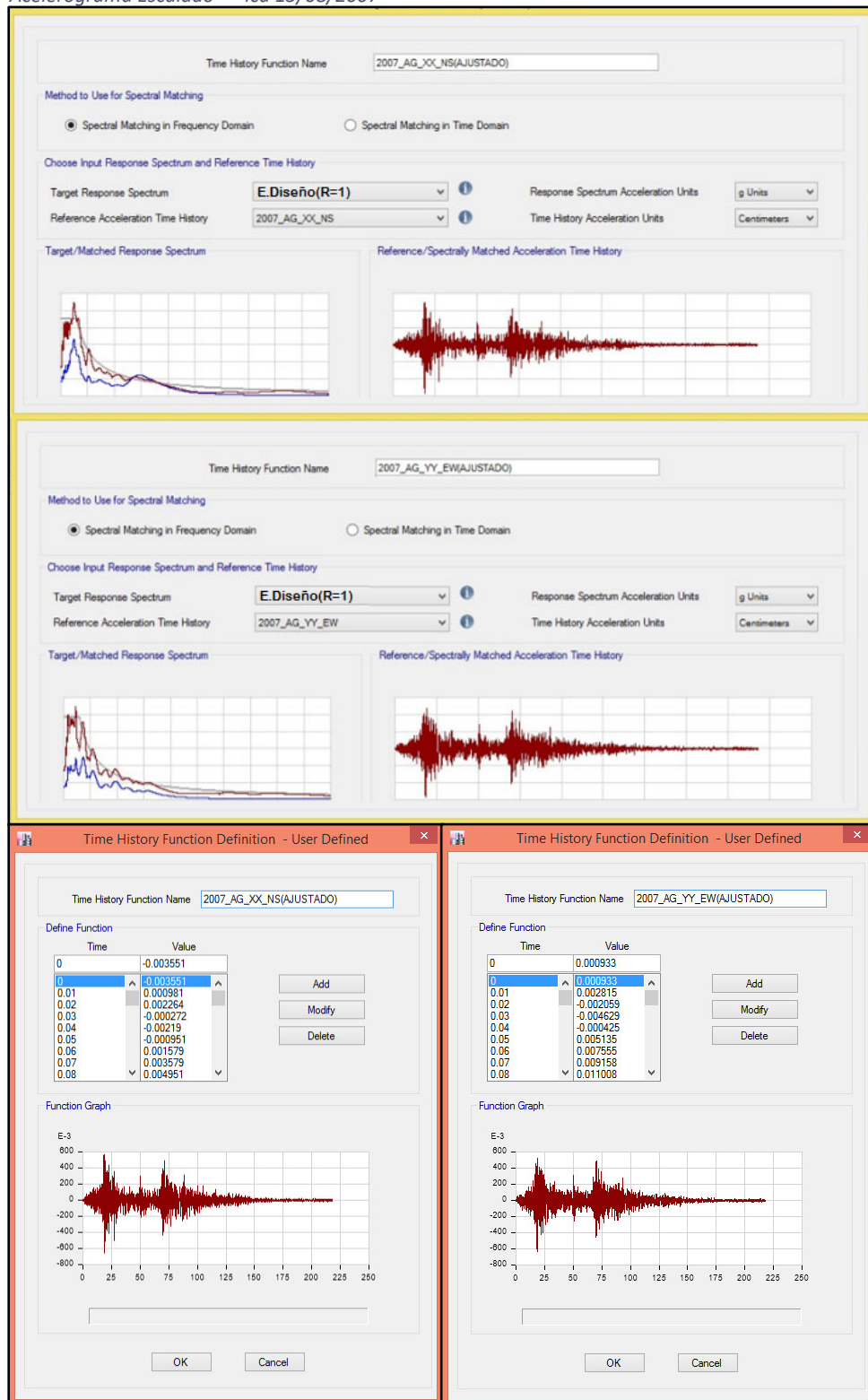
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 68:
Acelerograma Escalado – Moquegua 23/06/2001



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 69:
Acelerograma Escalado – Ica 15/08/2007



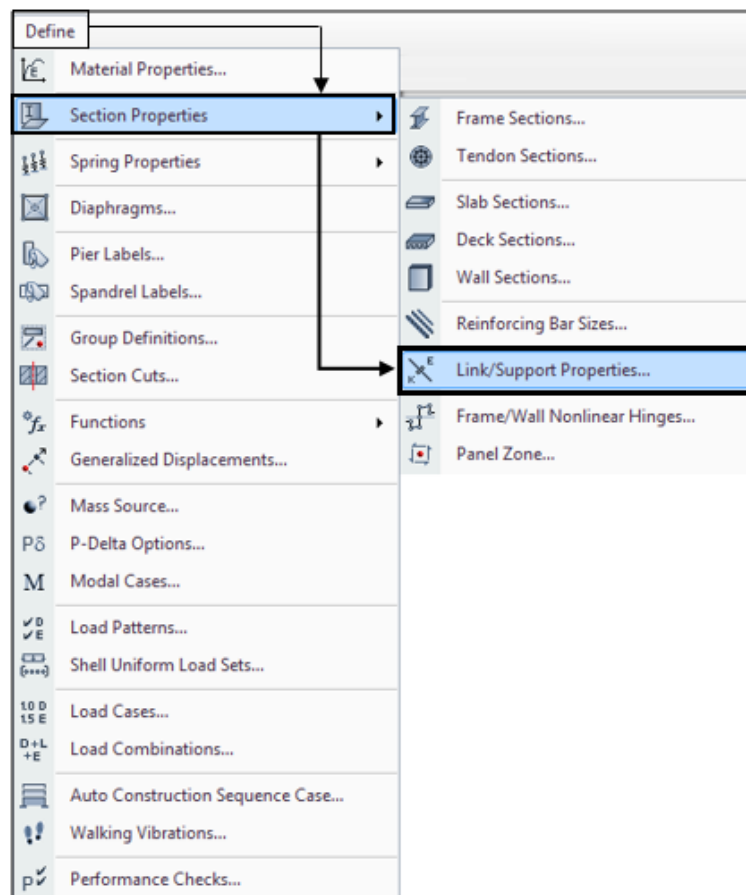
Fuente Etabs.2016

- Modelamiento de aislador

Para ingresar las propiedades del asiento de apoyo de péndulo friccional simple en el software integrado de diseño de edificios Etabs.2016, se seguirá el procedimiento que se detalla a continuación:

Paso 01: En la barra de menús del Etabs.2016 seleccionamos el icono Define, luego entramos en Section Properties y por ultimo hacemos click en Link/Support Properties.

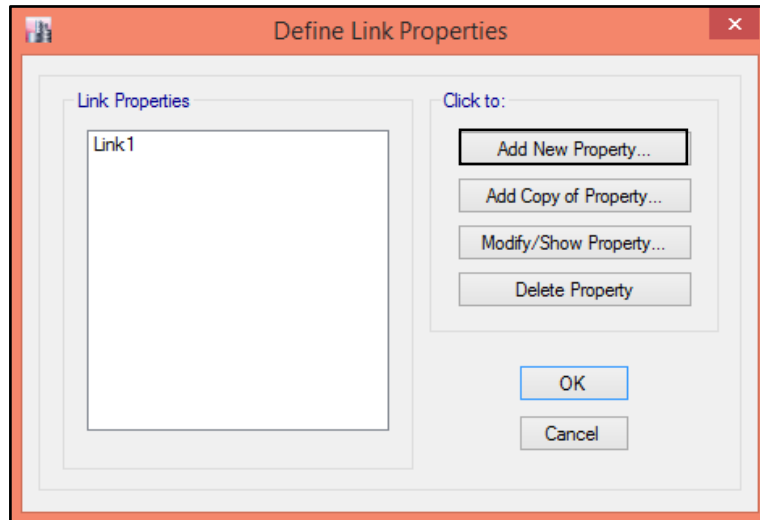
Figura 70:
Paso 01 modelamiento de aislador FPS



Fuente Etabs.2016

Paso 02: Saldrá una ventana donde seleccionaremos en el comando *Add New Property*.

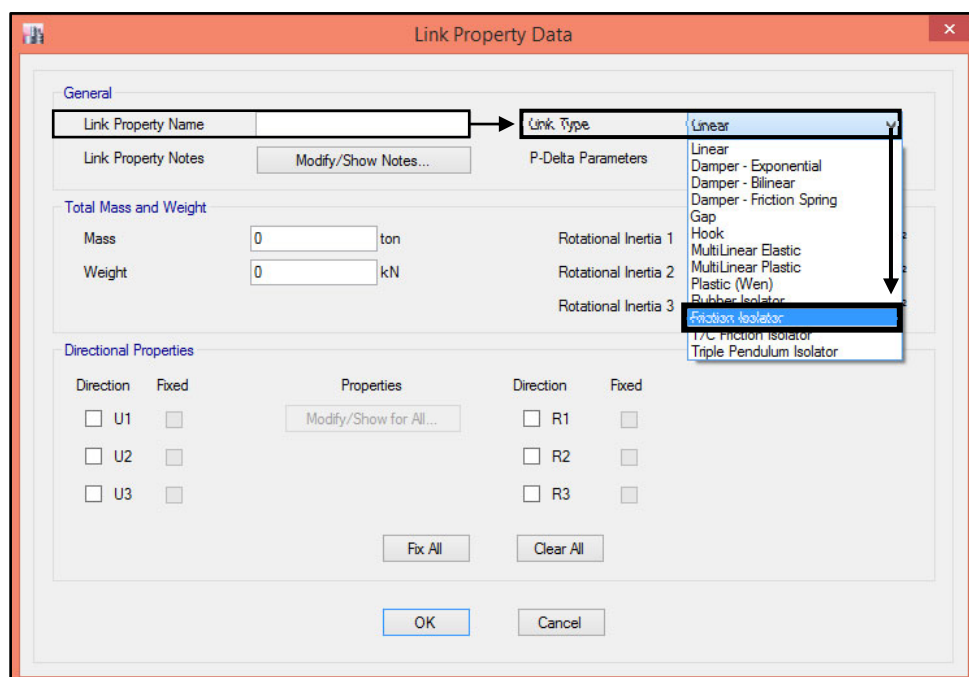
Figura 71:
Paso 02 modelamiento de aislador FPS



Nota: Fuente Etabs.2016

Paso 03: Saldrá una sub-ventana donde colocaremos el nombre y tipo de aislador del aislador a modelar.

Figura 72:
Paso 03 modelamiento de aislador FPS



Nota: Fuente Etabs.2016

Paso 04: A continuación, se detalla los parámetros que se deberán colocar en la subventana *Link Property Data*.

Tabla 15:
Propiedades del Aislador FPS

DESCRIPCION	FP Simple		UND
	DBE	MCE	
Número Total de Aisladores por Tipo =	23		
Masa =	0.510		ton
Peso =	5.000		kN
Rigidez Efectiva (U2, U3) =	924.325	481.558	kN/m
Amortiguamiento Efectivo (U2, U3) =	229.881	136.657	kN-s/m
Rigidez (U2, U3) =	57534.121	57534.121	kN/m
Coefficiente de Fricción Slow (U2, U3) =	0.095		-
Coefficiente de Fricción Fast (U2, U3) =	0.114		-
Parámetro de Velocidad =	100.000		seg/m
Radio de la Superficie de Curvatura	2.235		mm
Rigidez Efectiva Vertical (U1) =	67328257.557		kN/m
Rigidez No Lineal (U1) =	67328257.557		kN/m

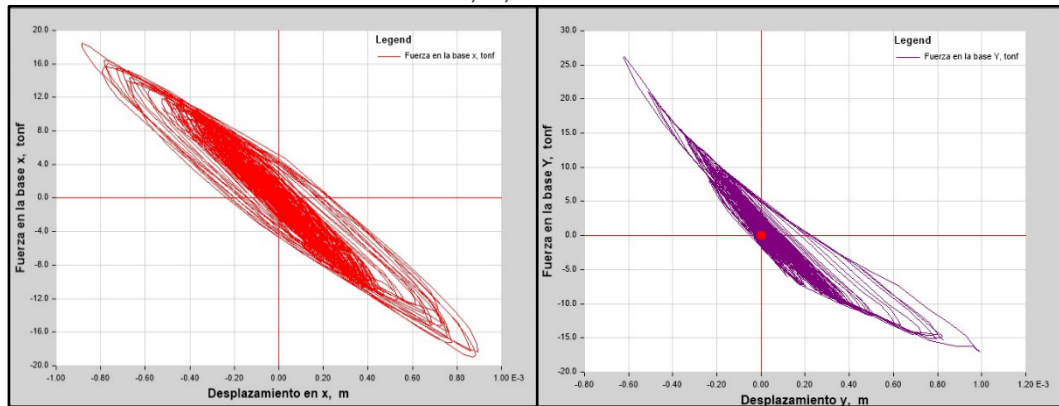
Nota: Fuente propia

Paso 05: Finalmente hacemos click en OK.

Figura 73:
Paso 05 modelamiento de aislador FPS

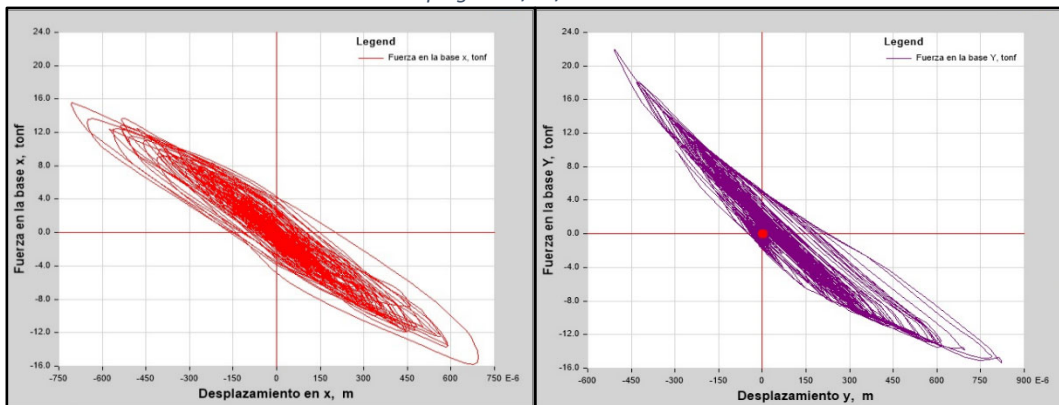
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 74:
 Curva de histéresis del aislador de FPS - Lima 03/10/1974



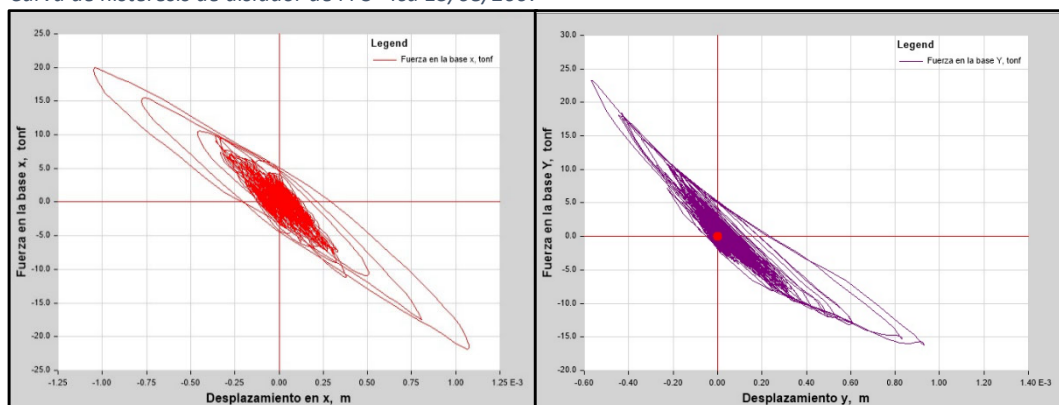
Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 75:
 Curva de histéresis de aislador de FPS - Moquegua 23/06/2001



Nota: Fuente Etabs.2016

Figura 76:
 Curva de histéresis de aislador de FPS - Ica 15/08/2007



Nota: Fuente Etabs.2016

4.3 RESULTADOS

4.3.1 Estructura sin Aislamiento

4.3.1.1 Periodo natural

El periodo fundamental o periodo máximo para la estructura es 0.34 y su periodo natural es de 0.28 segundos.

Tabla 16:
Periodos de la estructura sin aislamiento

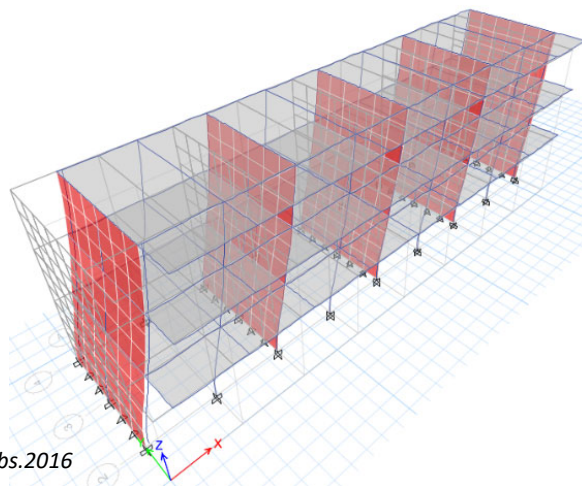
CASE	MODE	PERIODO seg	<	PERIODO maximo	CONTROL
Modal	1	0.28	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	2	0.17	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	3	0.16	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	4	0.08	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	5	0.06	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	6	0.05	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	7	0.04	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	8	0.04	<	0.34	<i>Admisible</i>
Modal	9	0.03	<	0.34	<i>Admisible</i>

Nota: Fuente Propia

4.3.1.2 Modos de vibración:

- **Primer modo de vibración:** $T_1 = 0.28$ segundos, nos muestra una traslación en el eje X.

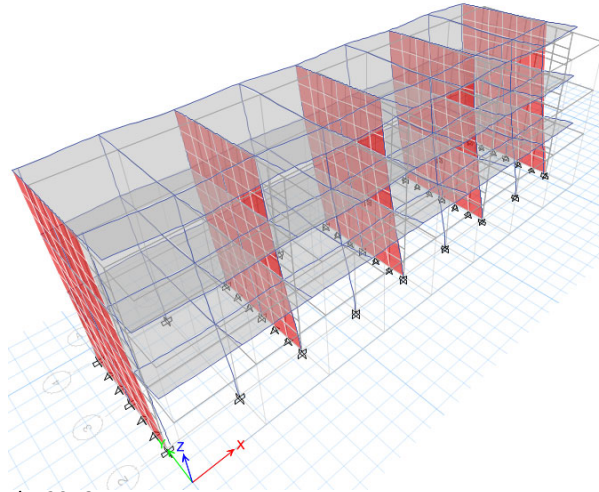
Figura 77:
Primer modo de vibración sin aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

- **Segundo modo de vibración:** $T_2 = 0.17$ segundos, nos muestra una traslación en el eje Y.

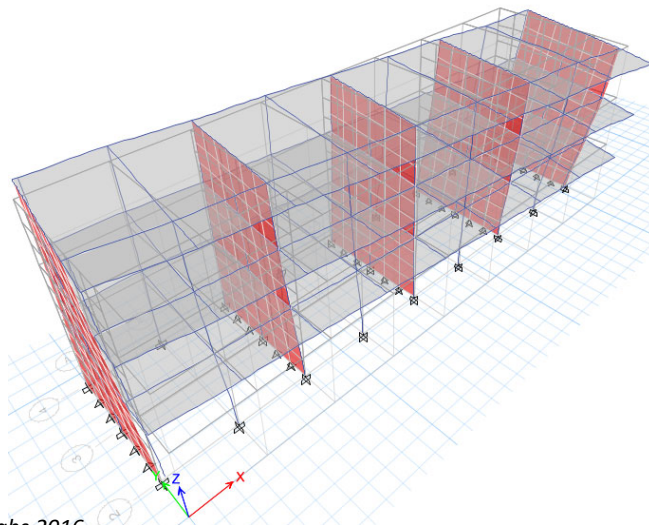
Figura 78:
Segundo modo de vibración sin aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

- **Tercer modo de vibración:** $T = 0.16$ segundos, nos muestra rotación, lo cual nos lleva a considerar la estructura como irregular.

Figura 79:
Tercer modo de vibración sin aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

4.3.1.3 Desplazamientos

- **Desplazamiento en X:** El material predominante es de concreto armado en el eje X-X, siendo 0.63 cm su desplazamiento máximo en esta dirección.

Tabla 17:
Desplazamientos en eje X-X (sin aislamiento)

Story	Load Case / Combo	D cm
Story3	S DIN X Max	0.63
Story2	S DIN X Max	0.50
Story1	S DIN X Max	0.28

Nota: Fuente Propia

- **Desplazamiento en Y:** El material predominante es de albañilería en el eje Y-Y, siendo 0.57 cm su desplazamiento máximo en esta dirección.

Tabla 18:
Desplazamientos en eje Y-Y (sin aislamiento)

Story	Load Case / Combo	D cm
Story3	S DIN Y Max	0.57
Story2	S DIN Y Max	0.44
Story1	S DIN Y Max	0.26

Nota: Fuente Propia

4.3.1.4 Derivas de Entrepiso:

- Teniendo los siguientes parámetros del diseño convencional, sabemos que:

D = Desplazamiento de centro de masa

D_R = Desplazamiento Relativo

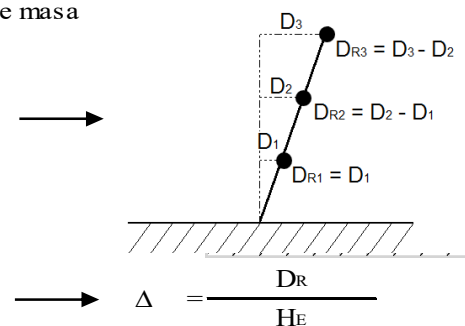
H_E = Altura de Entrepiso

Δ = Deriva

$R_x = 7.00$

$R_y = 3.00$

$F_s = 0.75$ = Factor de Seg Estructura Regular



- Y siendo los límites para la distorsión de entrepiso de acuerdo a la norma técnica E-030:

Tabla 19:*Límites para la distorsión del entrepiso*

Material Predominante	Δ
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)

- Obtenemos como resultado las derivas máximas:

Deriva máxima en X: $0.003414 \leq 0.007$, cumple condición de norma.

Tabla 20:*Derivas en eje X-X (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	S DIN X Max	0.00632	0.001364	3.39	0.000402	0.002112
Story2	S DIN X Max	0.00496	0.002172	3.34	0.000650	0.003414
Story1	S DIN X Max	0.00279	0.002785	4.35	0.000640	0.003361

Nota: Fuente Propia

Deriva máxima en Y: $0.001333 \leq 0.005$, cumple condición de norma.

Tabla 21:*Derivas en eje Y-Y (sin aislamiento)*

Story	Load Case / Combo	D	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	S DIN Y Max	0.00568	0.001261	3.39	0.000372	0.000837
Story2	S DIN Y Max	0.00442	0.001843	3.34	0.000552	0.001242
Story1	S DIN Y Max	0.00258	0.002578	4.35	0.000593	0.001333

Nota: Fuente Propia

4.3.1.5 Cortantes 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 254.66 ton su cortante en la base.

Tabla 22:
Fuerza cortante en eje X-X (sin aislamiento)

Story	Load	Location		Vx
	Case/Combo			
Story3	S DIN X Max	Top	Bottom	97.63
Story2	S DIN X Max	Top	Bottom	195.98
Story1	S DIN X Max	Top	Bottom	254.66

Nota: Fuente Propia

- **Cortante de piso y cortante basal en Y:** El material que predomina en el eje X-X es de albañilería, siendo 598.96 ton su cortante en la base.

Tabla 23:
Fuerza cortante en eje Y-Y (sin aislamiento)

Story	Load	Location		Vy
	Case/Combo			
Story3	S DIN Y Max	Top	Bottom	228.19
Story2	S DIN Y Max	Top	Bottom	456.11
Story1	S DIN Y Max	Top	Bottom	598.96

Nota: Fuente Propia

4.3.2 Estructura con Aislamiento (Asientos de apoyo)

4.3.2.1 Periodo natural

El periodo natural de la estructura con asientos de apoyo de péndulo friccional simple es de 1.58 segundos.

Tabla 24:
Periodos de la estructura con aislamiento

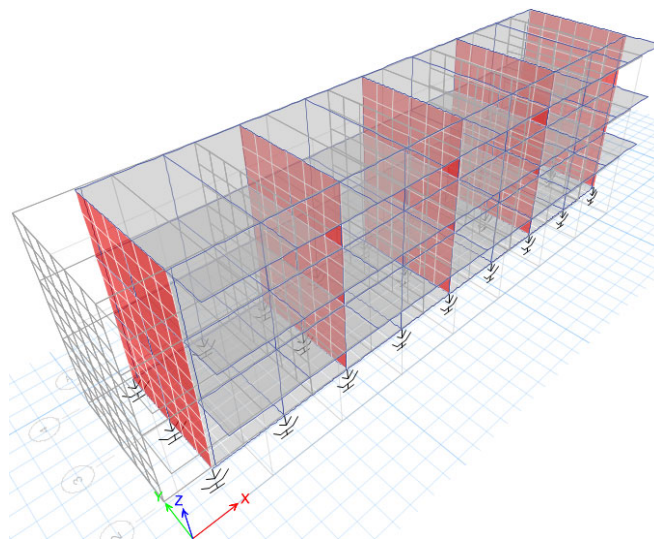
Case	Mode	Periodo seg
Modal	1	1.58
Modal	2	1.54
Modal	3	1.44
Modal	4	0.14
Modal	5	0.09
Modal	6	0.08
Modal	7	0.07
Modal	8	0.04
Modal	9	0.04

Nota: Fuente Propia

4.3.2.2 Modos de vibración:

- **Primer modo de vibración:** $T_1 = 1.58$ segundos, nos muestra una traslación en el eje X-X.

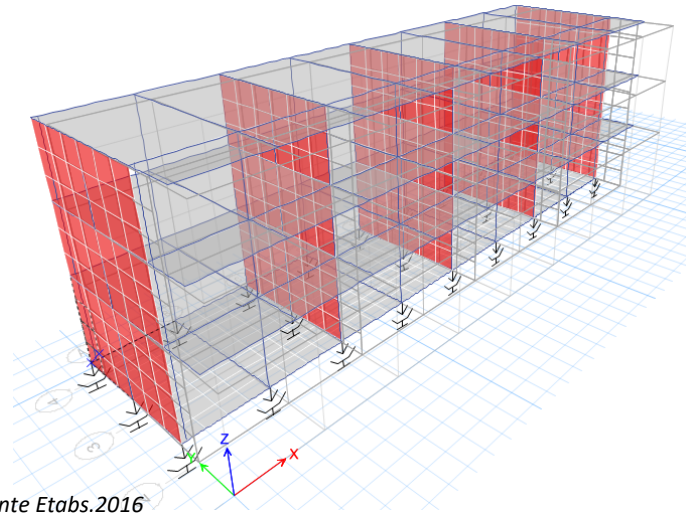
Figura 80:
Primer modo de vibración con aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

- **Segundo modo de vibración:** $T_2 = 1.54$ segundos, nos muestra una traslación en el eje Y-Y.

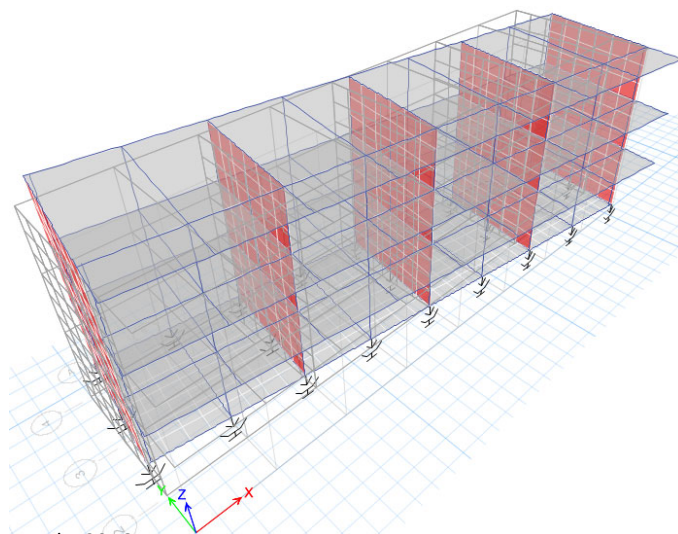
Figura 81:
Segundo modo de vibración con aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

- **Tercer modo de vibración:** $T = 1.44$ segundos, nos muestra rotación, lo cual nos lleva a considerar la estructura como irregular.

Figura 82:
Tercer modo de vibración con aislamiento



Nota: Fuente Etabs.2016

4.3.2.3 Desplazamientos

- **Desplazamiento en X:** El concreto armado es el material predominante en esta dirección; y sabiendo que la mayor traslación se obtiene del Registro Sísmico de la de ciudad de Ica del 15/Agosto/2007, nos dará un máximo desplazamiento absoluto de 11.10 cm y un máximo desplazamiento general de 0.46 cm.

Tabla 25:
Desplazamientos en eje X-X (sismo de Lima del 03/10/1974)

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	10.50	0.41
Story2	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	10.37	0.29
Story1	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	10.17	0.08
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	10.09	10.09

Nota: Fuente Propia

Tabla 26:
Desplazamientos en eje X-X (Sismo de Moquegua del 23/06/2001)

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	9.90	0.37
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	9.78	0.25
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	9.58	0.06
Base	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	9.53	9.53

Nota: Fuente Propia

Tabla 27:
Desplazamientos en eje X-X (Sismo de Ica del 15/08/2007)

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	11.10	0.46
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	10.97	0.32
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	10.75	0.11
Base	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	10.65	10.65

Nota: Fuente Propia

- **Desplazamiento en Y:** La albañilería es el material predominante en esta dirección; y sabiendo que la mayor traslación se obtiene del registro sísmico de la ciudad de Lima del 03/10/1974, nos dará un máximo desplazamiento absoluto de 14.69 cm y un máximo desplazamiento general de 0.19 cm.

Tabla 28:*Desplazamientos en eje Y-Y (Sismo de Lima del 03/10/1974)*

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_74_OCT_YY Max	14.69	0.19
Story2	DIN_Modal_74_OC_YYMax	14.60	0.11
Story1	DIN_Modal_74_OC_YY Max	14.50	0.01
Aislador	DIN_Modal_74_OC_YY Max	14.50	14.50

*Nota: Fuente Propia***Tabla 29:***Desplazamientos en eje Y-Y (Sismo de Moquegua del 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	13.16	0.18
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	13.08	0.11
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	12.99	0.02
Base	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	12.97	12.97

*Nota: Fuente Propia***Tabla 30:***Desplazamientos en eje Y-Y (Sismo de Ica del 15/08/2007)*

Story	Load Case / Combo	D cm	Dg cm
Story3	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	13.92	0.19
Story2	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	13.84	0.11
Story1	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	13.75	0.01
Base	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	13.74	13.74

Nota: Fuente Propia

4.3.2.4 Derivas de Entrepiso:

- Teniendo los siguientes parámetros del diseño con asientos de apoyo, sabemos que:

D = Desplazamiento de centro de masa

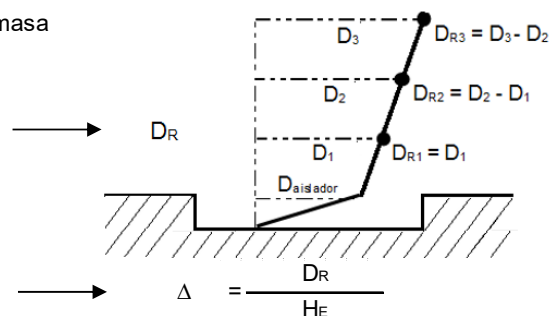
D_R = Desplazamiento Relativo

H_E = Altura de Entrepiso

Δ = Deriva

$R_x = 1.00$

$R_y = 1.00$



- Y siendo los límites para la distorsión de entrepiso de acuerdo a la norma técnica E-030 (ver Tabla 16).
- Obtenemos como resultado las derivas máximas:

La deriva máxima en la dirección X-X que da la estructura con asientos de apoyo es obtenida del Registro Sísmico de la ciudad de Ica del 15/Agosto/2007, dándonos una deriva máxima en la dirección X-X: $0.000488 \leq 0.007$, cumpliendo con lo estipulado en la norma técnica E-0.30.

Tabla 31:

Derivas en eje X-X (Sismo de Lima del 03/10/1974)

Story	Load Case / Combo	D m	D_R (a)	H_E (b)	Δ (a/b)	(Fs)(Rx)(Δ)
Story3	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	0.104998	0.0012598	3.39	0.000372	0.000279
Story2	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	0.103738	0.0020567	3.34	0.000616	0.000462
Story1	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	0.101681	0.0008201	4.35	0.000189	0.000141
Aislador	DIN_Modal_74_OCT_XX Max	0.100861	-	-	-	-

Nota: Fuente Propia

Tabla 32:*Derivas en eje X-X (Sismo de Moquegua del 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D m	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.100170	0.0012018	3.39	0.000355	0.000266
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.098968	0.0019621	3.34	0.000587	0.000441
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.097006	0.0017485	4.35	0.000402	0.000301
Base	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	0.095258	-	-	-	-

*Nota: Fuente Propia***Tabla 33:***Derivas en eje X-X (Sismo de Ica del 15/Agosto/2007)*

Story	Load Case / Combo	D m	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.111032	0.0013322	3.39	0.000393	0.000295
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.109700	0.0021749	3.34	0.000651	0.000488
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.107525	0.0010604	4.35	0.000244	0.000183
Base	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	0.106465	-	-	-	-

Nota: Fuente Propia

La deriva máxima en la dirección Y-Y que da la estructura con asientos de apoyo es obtenida del Registro Sísmico de la ciudad de Lima del 03/octubre/1974, dándonos una deriva máxima Y-Y: $0.000223 \leq 0.005$, cumple condición de norma.

Tabla 34:*Derivas en eje Y-Y (Sismo de Lima del 03/10/1974)*

Story	Load Case / Combo	D m	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	DIN_Modal_74_OCT_YY Max	0.146863	0.0008197	3.39	0.000242	0.000181
Story2	DIN_Modal_74_OC_YYMax	0.146043	0.0009936	3.34	0.000297	0.000223
Story1	DIN_Modal_74_OC_YY Max	0.145050	0.0000624	4.35	0.000014	0.000011
Aislador	DIN_Modal_74_OC_YY Max	0.144987	-	-	-	-

Nota: Fuente Propia

Tabla 35:*Derivas en eje Y-Y (sismo de Moquegua del 23/06/2001)*

Story	Load Case / Combo	D m	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.131552	0.0007342	3.39	0.000217	0.000162
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.130817	0.0008900	3.34	0.000266	0.000200
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.129927	0.0002020	4.35	0.000046	0.000035
Base	DIN_Modal_2001_JUN_YY Max	0.129725	-	-	-	-

*Nota: Fuente Propia***Tabla 36:***Derivas en eje Y-Y (sismo de Ica del 15/Agosto/2007)*

Story	Load Case / Combo	D cm	D _R (a)	H _E (b)	Δ (a/b)	(F _s)(R _x)(Δ)
Story3	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	0.139207	0.0007770	3.39	0.000229	0.000172
Story2	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	0.138430	0.0009418	3.34	0.000282	0.000211
Story1	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	0.137488	0.0001322	4.35	0.000030	0.000023
Base	DIN_Modal_2007_AG_YY Max	0.137356	-	-	-	-

Nota: Fuente Propia

4.3.2.5 Cortantes 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 de ciudad de Ica del 15/Agosto/2007, dándonos una fuerza cortante máxima 121.54 ton.

Tabla 37:*Fuerza cortante en eje X-X (sismo de Lima del 03/10/1974)*

Story	Load Case/Combo	Location		VX tonf
Story3	DIN_Modal_1974_OCT_XX_NS Max	Top	Bottom	43.72
Story2	DIN_Modal_1974_OCT_XX_NS Max	Top	Bottom	85.10
Story1	DIN_Modal_1974_OCT_XX_NS Max	Top	Bottom	109.39

Nota: Fuente Propia

Tabla 38:*Fuerza cortante en eje X-X (sismo de Moquegua del 23/06/2001)*

Story	Load Case/Combo	Location		VX tonf
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	Top	Bottom	38.86
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	Top	Bottom	75.64
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_XX Max	Top	Bottom	97.23

*Nota: Fuente Propia***Tabla 39:***Fuerza cortante en eje X-X (sismo de Ica del 15/Agosto/2007)*

Story	Load Case/Combo	Location		VX tonf
Story3	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	Top	Bottom	48.58
Story2	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	Top	Bottom	94.55
Story1	DIN_Modal_2007_AGO_XX Max	Top	Bottom	121.54

Nota: Fuente Propia

- La cortante máxima en la dirección Y-Y que da la estructura con asientos de apoyo es obtenida del Registro Sísmico de la de ciudad de Lima del 03/10/1974, nos dará una fuerza cortante máxima 165.74 ton.

Tabla 40:*Fuerza cortante en eje Y-Y (sismo de Lima del 03/10/1974)*

Story	Load Case/Combo	Location		VY tonf
Story3	DIN_Modal_1974_OC_YY_EW Max	Top	Bottom	66.24
Story2	DIN_Modal_1974_OC_YY_EW Max	Top	Bottom	128.93
Story1	DIN_Modal_1974_OC_YY_EW Max	Top	Bottom	165.74

*Nota: Fuente Propia***Tabla 41:***Fuerza cortante en eje Y-Y (sismo de Moquegua del 23/06/2001)*

Story	Load Case/Combo	Location		VY tonf
Story3	DIN_Modal_2001_JUN_YY_EW Max	Top	Bottom	52.99
Story2	DIN_Modal_2001_JUN_YY_EW Max	Top	Bottom	103.15
Story1	DIN_Modal_2001_JUN_YY_EW Max	Top	Bottom	132.59

Nota: Fuente Propia

Tabla 42:
Fuerza cortante en eje Y-Y (sismo de Ica del 15/Agosto/2007)

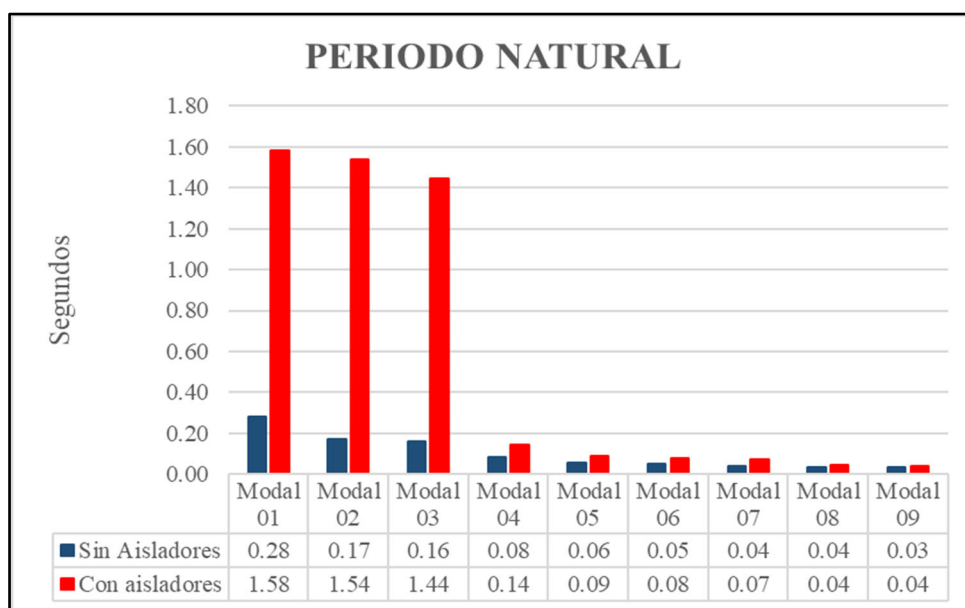
Story	Load Case/Combo	Location		VY tonf
Story3	DIN_Modal_2007_AG_YY_EW Max	Top	Bottom	59.62
Story2	DIN_Modal_2007_AG_YY_EW Max	Top	Bottom	116.04
Story1	DIN_Modal_2007_AG_YY_EW Max	Top	Bottom	149.17

Nota: Fuente Propia

4.4 PRUEBA ESTADISTICA

4.4.1 Relación de Periodos Naturales

Figura 83:
Diagrama comparativo entre modos de vibración



Nota: Fuente Propia

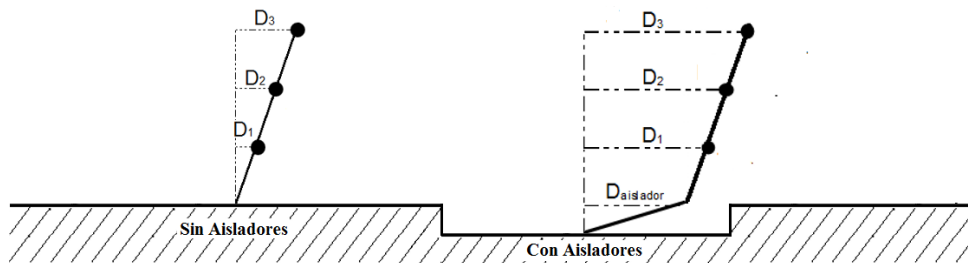
En los tres primeros modos de vibración, la relación del periodo natural obtenidos entre el sistema con asientos de apoyo y el sistema convencional, son como se detalla a continuación:

Tabla 43:
Relación de periodos naturales en modos de vibración

CASE	MODE	SISTEMA		RELACIÓN
		CONVENCIONAL	AISLADO	
		Periodo sec	Periodo sec	
Modal	1	0.28	1.58	5.63
Modal	2	0.17	1.54	8.85
Modal	3	0.16	1.44	9.14

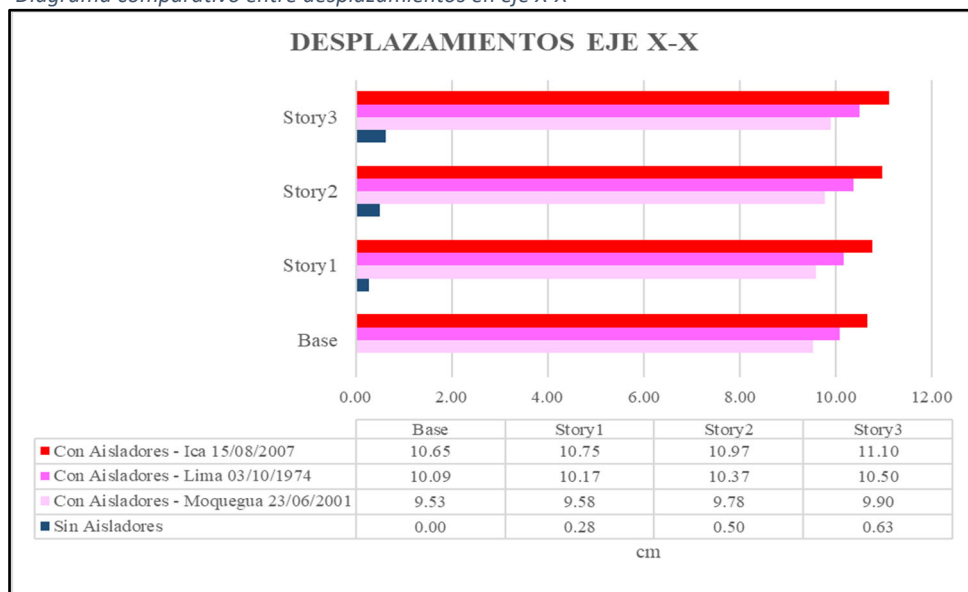
Nota: Fuente Propia

4.4.2 Desplazamientos Máximos



- Desplazamientos máximos en el eje X-X

Figura 84:
Diagrama comparativo entre desplazamientos en eje X-X



Nota: Fuente Propia

La mayor traslación en la dirección X-X, se obtiene de la estructura con asientos de apoyo sometida al sismo de la ciudad de Ica del 15/08/2007, dándonos un desplazamiento del aislador de 10.65 cm y una reducción máxima de desplazamiento general de -61.92%.

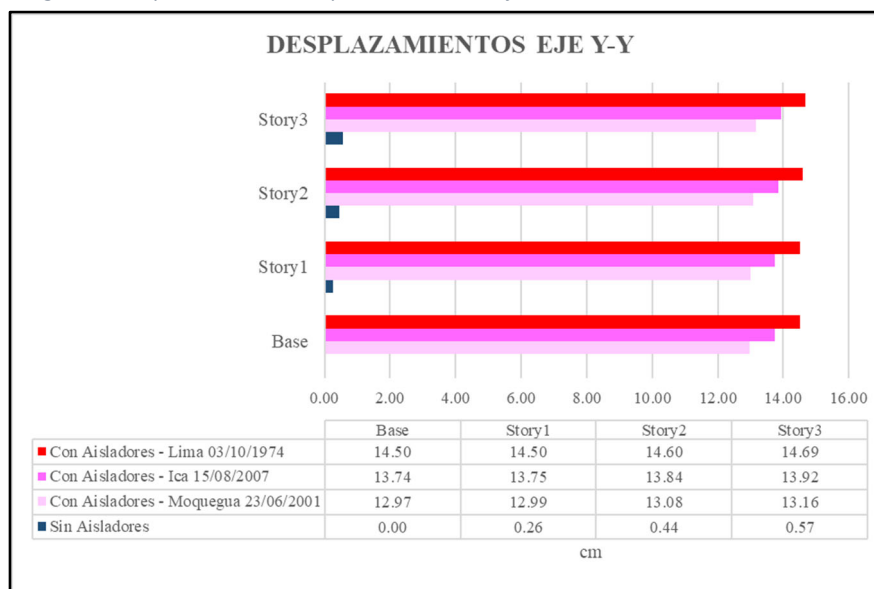
Tabla 44:
Reducción máxima de desplazamiento general en eje X-X

STORY	SISTEMA CONVENCIO	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	Desplazamiento cm	Desplazamiento cm	
Story3	0.63	0.46	-27.74%
Story2	0.50	0.32	-34.73%
Story1	0.28	0.11	-61.92%
Aislador	-	10.65	-

Nota: Fuente Propia

- Desplazamientos máximos en el eje Y-Y:

Figura 85:
Diagrama comparativo entre desplazamientos en eje Y-Y



Nota: Fuente Propia

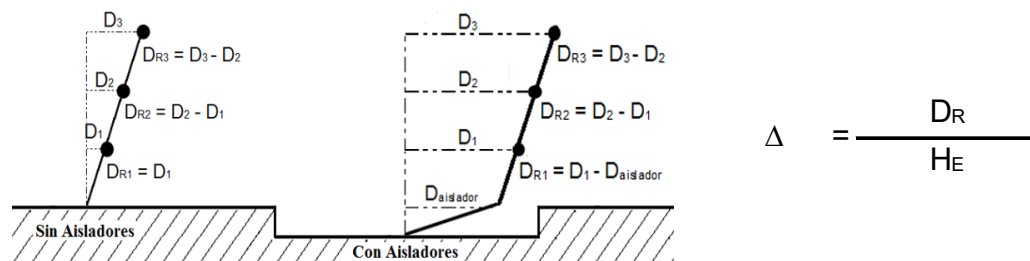
La mayor traslación en la dirección Y-Y, se obtiene de la estructura con asientos de apoyo sometida al sismo de la ciudad de Lima del 03/10/1974, nos dará un desplazamiento del asiento de apoyo de 14.50cm y una reducción máxima de desplazamiento general de -97.58%.

Tabla 45:
Reducción máxima de desplazamiento general en eje Y-Y

STORY	SISTEMA CONVENCIONO	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	Desplazamiento cm	Desplazamiento cm	
Story3	0.57	0.19	-66.99%
Story2	0.44	0.11	-76.11%
Story1	0.26	0.01	-97.58%
Aislador	-	14.50	-

Nota: Fuente Propia

4.4.3 Derivas Máximas de Entrepiso

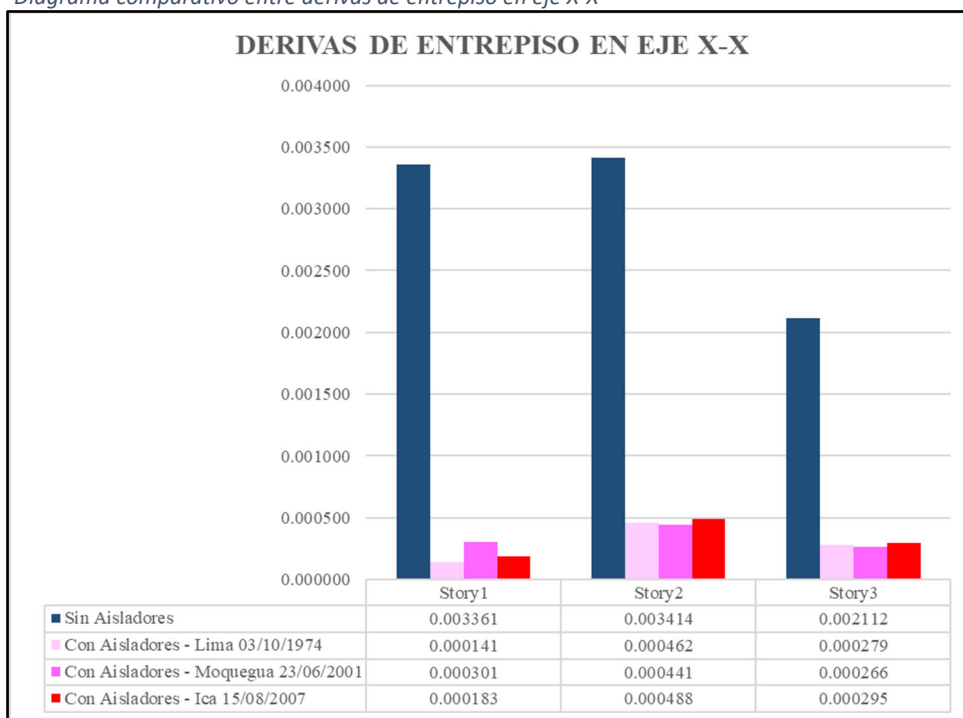


- Derivas máximas de entrepiso en el eje X-X:

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 Ica del 15/agosto/2007, dándonos una reducción máxima de deriva de 94.56%.

Figura 86:

Diagrama comparativo entre derivas de entrepiso en eje X-X



Nota: Fuente Propia

Tabla 46:

Reducción máxima de deriva de entrepiso en eje X-X

STORY	SISTEMA CONVENCION	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	Deriva	Deriva	
Story3	0.0021124	0.0002947	-86.05%
Story2	0.0034141	0.0004884	-85.70%
Story1	0.0033612	0.0001828	-94.56%

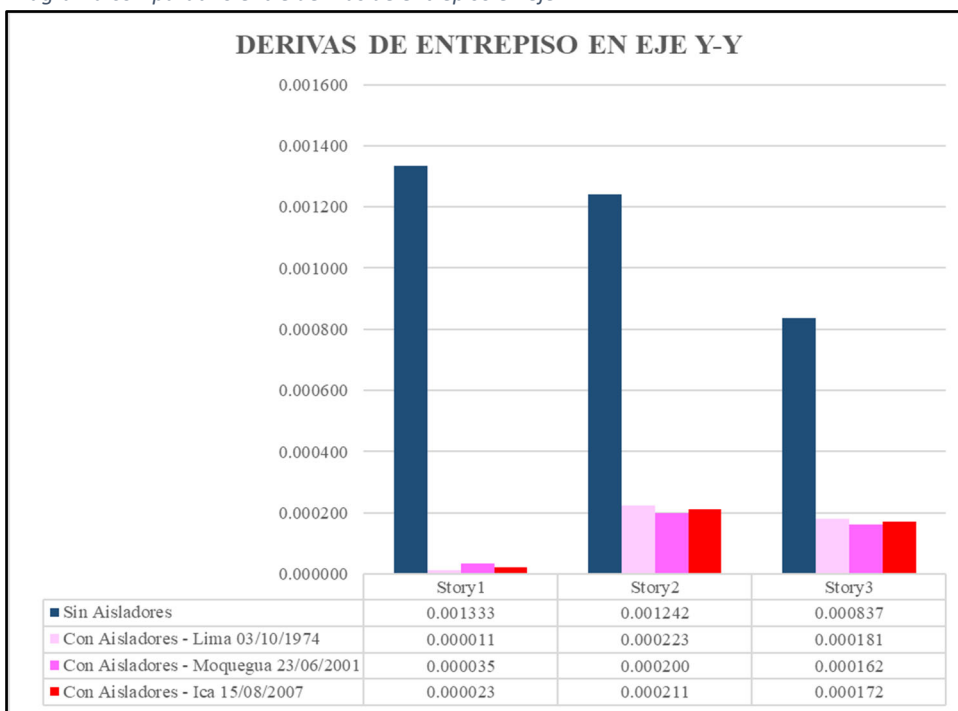
Nota: Fuente Propia

- Derivas máximas de entrepisos 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 del 03/Octubre/1974, nos dará una reducción máxima de deriva de 99.19%.

Figura 87:

Diagrama comparativo entre derivas de entrepiso en eje Y-Y



Nota: Fuente Propia

Tabla 47:

Reducción máxima de deriva de entrepiso en eje Y-Y

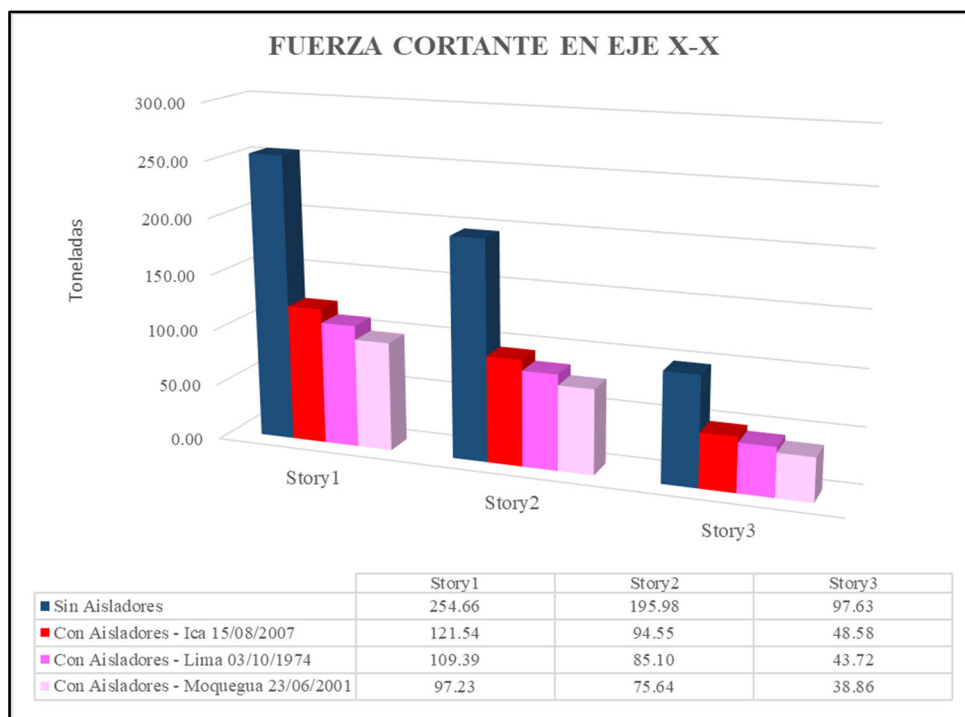
STORY	SISTEMA CONVENCIO	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	Deriva	Deriva	
Story3	0.0008369	0.0001813	-78.33%
Story2	0.0012415	0.0002231	-82.03%
Story1	0.0013334	0.0000108	-99.19%

Nota: Fuente Propia

4.4.4 Cortantes de Piso y Cortante Basal Máximas

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

Figura 88:
Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en eje X-X



Nota: Fuente Propia

La mayor fuerza cortante en la dirección X-X en las estructuras con asientos de apoyo, se obtiene del sismo de la ciudad de Ica del 15/Agosto/2007, nos dará una reducción máxima de la fuerza cortantes de 52.27%.

Tabla 48:
Reducción máxima de fuerzas cortantes en eje X-X

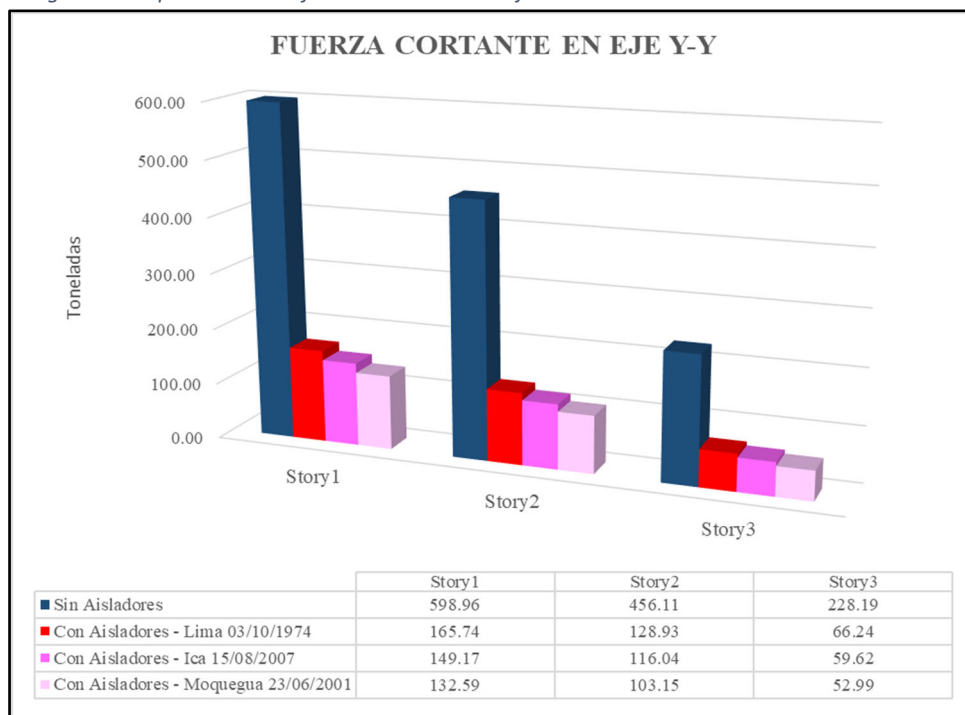
STORY	SISTEMA CONVENCIO	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	F.Cortante tn	F.Cortante tn	
Story3	97.63	48.58	-50.24%
Story2	195.98	94.55	-51.76%
Story1	254.66	121.54	-52.27%

Fuente Propia

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

Figura 89:

Diagrama comparativo entre fuerzas cortantes en eje Y-Y



Nota: Fuente Propia

La mayor fuerza cortante en la dirección Y-Y en las estructuras con asientos de apoyo, se obtiene del sismo de la ciudad de Lima del 03/Octubre/1974, nos dará una reducción máxima de la fuerza cortante de -72.33%.

Tabla 49:

Reducción máxima de fuerzas cortantes en eje Y-Y

STORY	SISTEMA CONVENCIO	SISTEMA AISLADO	% DE REDUCCIÓN
	F.Cortante tn	F.Cortante tn	
Story3	228.19	66.24	-70.97%
Story2	456.11	128.93	-71.73%
Story1	598.96	165.74	-72.33%

Nota: Fuente Propia

4.5 COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

- RELACIÓN DE PERIODOS NATURALES

El período natural de una edificación va a obedecer a las propiedades físicas, geométricas, del tipo de material de los elementos estructurales por lo que al cambiar y variar secciones podemos obtener períodos de vibración deseados. En estructuras rígidas se tendrán periodos cortos y en estructuras flexibles se tendrán periodos largos, en las que habrá inconvenientes ante cargas dinámicas como las de un sismo.

En la tabla 40 podemos verificar que el periodo obtenido en la estructura con asientos de apoyo es mayor, debido a que estos asientos de apoyo actúan amortiguando el movimiento reduciendo la aceleración de la edificación pues absorben una cantidad de las fuerzas sísmicas, motivo por el cual la edificación tardara más tiempo en volver a su estado inicial; deduciendo que al colocar asientos de apoyo en el pabellón B del centro educativo Jorge Chávez, obtendremos disminuir de manera significativa las dificultades de torsión que pudo presentar el sistema estructural.

- DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS

Los desplazamientos máximos de la estructura son provocados por fuerzas laterales externas, siendo una medida representativa para el diseño sísmico, ya que los daños de los elementos estructurales y no estructurales son influenciados directamente por estos desplazamientos máximos, motivo por el cual la eficiencia en esta medida va a reflejarse en una mayor protección sobre la edificación.

En la tabla 41 y 42 vamos a verificar que los valores de los desplazamientos máximos en la dirección X-X son los más críticos.

Al comparar ambos sistemas estructurales observaremos que, en la estructura con asientos de apoyo, ocurre un incremento en los desplazamientos laterales absolutos y una reducción de sus desplazamientos relativos, debido a que este sistema va a presentar su mayor desplazamiento en la interfaz de aislación porque la absorción de energía se produce especialmente en la subestructura, disminuyendo los desplazamientos relativos en los pisos superiores de la superestructura actuando prácticamente como si fuera un solo bloque, lo que demuestra de que el sistema como asientos de apoyo va a tener un buen comportamiento estructural frente una acción sísmica; lo contrario ocurre en los edificios que cuentan con un sistema convencional pues estos no presentan desplazamientos a nivel de subestructura, aumentando sus desplazamientos a medida que aumenta su altura, lo que es un conducta propia de la estructuras sin asientos de apoyo.

- **DERIVAS MÁXIMAS DE ENTREPISO.**

Las derivas máximas son factores de ductilidad de los entrepisos y se expresan como la relación del máximo desplazamiento en el cual se muestra la primera fluencia en alguna sección; esta medida es vital para lograr una adecuada comparación del comportamiento estructural entre el sistema convencional y el sistema con asientos de apoyo.

Esta medida nos permitirá determinar si una estructura cumple con un correcto diseño sísmico, ya que uno de los objetivos del diseño sísmico es evitar los daños en elementos no estructurales ocasionados por un evento telúrico moderado, durante la vida útil de la edificación; motivo por el cual la norma técnica peruana de edificación E-030, rige un valor máximo de distorsión o deriva de entrepiso para el sismo de diseño (ver Tabla 16).

En la tabla 43 y 44 podemos observar que las derivas máximas de la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez que cuenta con un sistema con asientos de apoyo, presenta claramente una disminución en el valor de las derivas de entrepiso en comparación a la estructura con sistema convencional y están mucho más alejadas del valor máximo admisible, especificado por la Norma E-0.30.

Al mismo tiempo podemos verificar que la mayor deriva de entrepiso de la estructura con asientos de apoyo se produce en la interfaz de aislación, reduciéndose considerablemente en los pisos superiores, donde se obtiene medidas menores que en la estructura con sistema convencional; entonces verificamos que el control de derivas de entrepiso es más eficiente en la estructura con asientos de apoyo, teniendo un mejor desempeño con respecto a la estructura con un sistema convencional.

- **CORTANTES DE PISO Y CORTANTE BASAL MÁXIMAS**

Las cortantes de piso y cortante basal máximas en una estructura, son una medida primordial para el diseño sísmico ya que nos permitirá calcular de manera directa la intensidad de los esfuerzos en los elementos estructurales por piso, la plasticidad de estos elementos y por ende también podremos deducir el nivel daño que van a sufrir; siendo una de las causas directas, nos permitirá controlar los daños en los elementos no estructurales.

Siendo una medida infaltable para determinar la efectividad del uso de sistemas con asientos de apoyo, pues podremos saber la intensidad y el efecto que tiene la cortante basal sometida en la estructura y cómo será su distribución en los pisos superiores.

En la Figura 88 y 89 se detalla la comparación de las fuerzas cortantes por piso y cortante basal, para cada dirección del sismo y tanto para el sistema

convencional y el sistema con asientos de apoyo; y en la tabla 45 y 46 verificamos que las fuerzas que actúan en la estructura convencional son ampliamente superiores que las fuerzas que actúan en la estructura con asientos de apoyo. Comprobándose la efectividad del sistema con asientos de apoyo ya que los valores de la fuerza cortante se disminuyen considerablemente debido al aumento del período fundamental, porque el aislador disipa la mayor parte de la aceleración que el suelo transmite a la estructura.

De tal modo que es innegable que la conducta de las cortantes de piso y cortante basal de la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez con asientos de apoyo tiene más ventajas sobre la misma pero con diseño convencional, con la significativa disminución de estas fuerzas la estructura obtiene una mayor protección y un menor costos por daños, pues los elementos estructurales se mantendrán en el rango elástico y permitirá la reducción de las secciones y sus armaduras, lo que conlleva a una disminución de costos en la edificación de la estructura.

4.6 DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

Para la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez con asientos de apoyo de péndulo friccional simple frente a la misma estructura, pero con un diseño convencional basado en la norma técnica peruana E.030, sus desplazamientos máximos revelan una mejor distribución vertical, y sus valores varían con respecto a cada uno de los tres registros sísmicos mostrados. Se verifico que, en la edificación con sistema convencional, sus desplazamientos generales son mayores; mientras que en las edificaciones con asientos de apoyo los desplazamientos absolutos son mayores. En la dirección X-X, tenemos como registro sísmico critico al generado por el

movimiento telúrico de la ciudad de Ica del 15/agosto/2007, el desplazamiento general en promedio se ha disminuido en un 41.47%, teniendo una reducción máxima del 61.92% y una mínima del 27.74%; y en la dirección Y-Y, tenemos como registro sísmico crítico al generado por el movimiento telúrico de la ciudad de Lima del 03/noviembre/1974, el desplazamiento general en promedio se ha disminuido en un 80.23%, teniendo una reducción máxima del 97.58% y una mínima del 66.99%.

Para la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez con asientos de apoyo de péndulo friccional simple frente a la misma estructura, pero con un diseño convencional basado en la norma técnica peruana E.030, las derivas máximas de entrepiso se han disminuido en varios porcentajes. En la dirección X-X, tenemos como registro sísmico crítico al generado por el movimiento telúrico de la ciudad de Ica del 15/agosto/2007, en promedio se ha disminuido en un 88.77%, teniendo como máximo una reducción de 94.56% y un mínimo del 86.05%; y en la dirección Y-Y, tenemos como registro sísmico crítico al generado por el movimiento telúrico de la ciudad de Lima del 03/octubre/1974, en promedio se ha disminuido en un 86.52%, teniendo como máximo una reducción del 99.19% y una mínima del 78.33%.

Para la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez con asientos de apoyo de péndulo friccional simple frente a la misma estructura, pero con un diseño convencional basado en la norma técnica peruana E.030, las fuerzas cortantes máximas de piso y cortante basal se han disminuido en varios porcentajes. En la dirección X-X, tenemos como registro sísmico crítico al generado por el movimiento telúrico de la ciudad de Ica del 15/agosto/, en promedio las cortantes se ha disminuido en un 51.42%, teniendo como máximo una reducción del 52.27% y una mínima del 50.24%; y en la dirección Y-Y, tenemos como registro sísmico crítico al generado por el movimiento telúrico de la ciudad de Lima del

03/octubre/1974, en promedio las cortantes se han disminuido en un 71.68%, teniendo como máximo una reducción del 72.33% y una mínima del 70.97%.

Con todo lo manifestado anteriormente y de acuerdo al análisis de los periodos naturales, desplazamientos máximos, derivas máximas de entrepisos y finalmente el análisis de cortantes de piso y cortante basal máximas; los resultados de estos análisis, sin descartar la posibilidad de realizar estudios con otras medidas de investigación, se demuestra que el uso del sistema con asientos de poyo garantiza un mejor comportamiento sísmico de la estructura, logrando de este modo la disminución de la demanda sísmica, permitiendo controlar los daños en los elementos estructurales y no estructurales, manteniendo su funcionalidad después del evento telúrico e inclusive salvaguardar vidas humanas.

V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- En la presente investigación se contrastó que los parámetros de control obtenidos del diseño sismo-resistente aplicando la Norma Técnica Peruana E.030 fueron satisfactorios, por lo que la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez mostro resultados de periodo natural, de desplazamiento relativo y de corte basal se encuentran dentro de los rangos, cumpliendo lo establecido en el marco conceptual y filosofía del diseño convencional basado en la Norma Técnica E.030. Cabe indicar que las derivas de entrepiso obtenidas del análisis convencional de la estructura educativa, son óptimas a lo recomendado en la Norma Técnica E.030, mostrando su mayor deriva de entrepiso en el sentido X piso dos, con un valor de 0.003408 como se detalla en la tabla 17, cumpliendo la condición establecida en la Norma Técnica Peruana E.03.
- Se comprobó que utilizando asientos de apoyo de péndulo friccional simple es posible cumplir con los requisitos esenciales del aislamiento sísmico; al mismo tiempo se ha esclarecido conceptos esenciales que permitirán corroborar algunas propiedades de los asientos de apoyo de péndulo friccional simple, los cuales mejorarán el comportamiento de la estructura frente a un movimiento telúrico. El primer concepto, es la autonomía entre la carga soportada y el periodo fundamental de vibración, permitiéndonos efectuar un prediseño de los asientos de apoyo sin saber de las cargas de la estructura. El segundo concepto, es la facultad de disminuir considerablemente la torsión en planta en estructuras irregulares, debido a que el centro de masa de la estructura aislada coincide con el centro de rigidez del sistema de asientos de apoyo.

- Para la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez con asientos de apoyo de péndulo friccional, los resultados demostraron que la respuesta estructural tiene un mejor comportamiento en comparación a la misma estructura pero con un diseño convencional basado en la norma técnica peruana E.030, debido a que las derivas y fuerzas en la base son minimizados, aunque los aisladores presentan un mayor desplazamiento absoluto con diferentes para cada registro sísmico aplicado en el análisis tiempo-historia.
- Como conclusión final podemos afirmar que al incluir un sistema de asientos de apoyo de péndulo friccional simple en la estructura del pabellón B del centro educativo Jorge Chávez obtendremos un mejor comportamiento estructural frente al diseño convencional, en cuanto a derivas y esfuerzos; cumpliendo ampliamente con los parámetros de desempeño establecidos en la norma técnica peruana E.030. también conseguiremos altos niveles de seguridad y protección sísmica en los elementos estructurales y no estructurales, continuando la operatividad post-sismo; permitiendo reducir las secciones de la estructura.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se recomienda a los profesionales especialistas incorporar a la Norma Técnica de Edificación E-030 el uso de sistemas de asientos de apoyo en las edificaciones de categoría A2 (instituciones educativas, institutos superiores, tecnológicos y universidades); ya que son edificaciones esenciales en la que residen gran población estudiantil y personal administrativo, y a la vez son edificaciones que deben de servir de refugio después de un desastre, y a que al usar este sistema de aislación, la estructura obtendrá una funcionabilidad optima frente a situaciones críticas de sismos severos salvaguardando la vida humana y asegurando la operatividad de la edificación después de un movimiento telúrico severo.
- Se recomienda a los proyectistas de la especialidad de estructuras efectuar los diseños con sistemas de asientos de apoyo, mediante el análisis tiempo historia, considerando como mínimo los acelerogramas de tres registros sísmicos representativos, cercanos a la zona de interés; e indicar que su uso es limitado en zonas con buena capacidad portante del suelo y no es recomendado su aplicación en edificios altos y esbeltos.
- Se recomienda a los futuros tesisistas realizar proyectos de investigación, donde se realicen un análisis comparativo, de un diseño convencional frente a un diseño con asientos de apoyo, pero a partir de valores obtenidos económicamente en la ciudad de Tacna; indicando sus costos directos e indirectos, con el objetivo de verificar las ventajas económicas a corto y a largo.
- Se recomienda a los docentes de los cursos de diseño sismo resistente en edificaciones, dictados en la ciudad de Tacna, incluyan el diseño estructural con aisladores sísmicos empleando los diferentes tipos de asientos de apoyo; realizando un análisis comparativo entre este, frente a un diseño estructural convencional basado norma E-030.

VI REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguiar, R., Almazán, Dechent, P., & Suárez, V. (2008). Aisladores de base elastoméricos y FPS. Quito - Ecuador: Centro de Investigaciones Científicas - Escuela Politécnica del Ejército.
- Aguiar, R., Morales, E., Guaygua, B., & Rodríguez, M. (2017). Método simplificado para el análisis sísmico de estructuras con aisladores FPS de tercera generación. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para cálculo y Diseño en Ingeniería*, 1-7.
- Aguiar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2014). Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de primera y segunda generación y elastoméricos con núcleo de plomo. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 35-89.
- 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.
- 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.
- Cango, A. (2018). Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT. Cuenca - Ecuador: Universidad de Cuenca - Facultad de Ingeniería .
- 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 de seis. Lima - Perú: Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.
- Chiriboga, E. (2013). Aislación sísmica del edificio bloque de hospitalización D (análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional). Quito - Ecuador: Facultad de Ingeniería Ciencias Físicas y Matemática.

- Huanca, J., & Meléndez, M. (2016). Análisis dinámico modal espectral de una edificación convencional y otra con aisladores sísmicos a nivel intermedio de la estructura en la ciudad de Tacna. Tacna - Perú: Universidad Privada de Tacna.
- Korswagen, P., Arias, J., & Huaranga, P. (2012). Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú. Lima - Perú: 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.
- 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.
- Martínez, A., & Melgar, C. (2015). Análisis, comportamiento y diseño de edificaciones con aisladores de péndulo friccional. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Medina, G., & Choque, J. (2017). Análisis, comportamiento y diseño en concreto armado de un edificio de 6 niveles con un sótano con aisladores elastoméricos con núcleo de plomo. Arequipa - Perú.: Universidad Nacional de San Agustín.
- Mendo, A. (2015). Bases para la implementación de la norma peruana de análisis y diseño de edificios con aislación sísmica. Lima - Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mestanza, A. (2015). Análisis de una edificación mediante un sistema propuesto de aislamiento sísmico del tipo péndulo friccional. Lima - Perú: Universidad Ricardo Palma.
- Meza, R., & Sanchez, E. (2010). Guía de diseño sísmico de aisladores elastoméricos y de fricción para la republica de Nicaragua. Managua - Nicaragua: Universidad Nacional de Ingeniería - Recinto Universitario Pedro Arauz Palacios.

- Monge, J. (2014). Análisis sísmico de una estructura con aisladores FPS de la primera y segunda generación. . Sangolquí - Ecuador: Universidad de las Fuerzas Armadas.
- Mullo, C. (2014). Análisis y diseño de un edificio con aisladores sísmicos, modelamiento en etabs. Quito - Ecuador: Universidad Central de Ecuador.
- N.T.E.030. (2018). Norma Técnica E.030 Diseño SISMORRESISTENTE. Perú: Reglamento Nacional de Edificaciones.
- Orbea, C. (2014). Análisis comparativo de comportamiento estructural en los edificios: Hospitalización 2, C. obstetricia, C. quirúrgico, método tradicional (NEC-11, CEC 2002) VS método con aislación sísmica de base (NCH-2745). Quito - Ecuador: Universidad Central del Ecuador.
- Pino, E., & Llerena, J. (2015). Análisis comparativo y diseño estructural de una edificación de ocho niveles y un sotano con y sin el uso de una base sísmicamente aislada. Arequipa - Perú: Universidad Nacional de San Agustín.
- Ruiz, P. (2017). Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmicos de péndulo friccional doble y triple. Lima - Perú: 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.
- Tipanluisa, E. (2017). Análisis sísmico no lineal de pórticos planos con aisladores sísmicos triple péndulo de fricción (TPF). Quito - Ecuador: Escuela Politécnica Nacional.
- Uliarte, R., Morandi, J., Bustos, E., & Uliarte, J. (2014). Diseño estructural de un puente carretero con aisladores sísmicos tipo péndulo friccional, ubicado en la provincia de San Juan. 23 Jornadas Argentinas de Ingeniería Estructural, 1-17.
- Valerio, J. (2015). Análisis comparativo de un edificio fijo en la base VS un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmico. Barcelona - España: Escola de Camins.

- Vera, L. (1996). Microzonificación sísmica de la ciudad de Tacna. Publicacion mensual Ciencia & Desarrollo (Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann), 1 -14.
- Villagómez, D. (2015). Lineamientos para el análisis y diseño de edificaciones sísmicamente aisladas en el Perú. Lima, Perú: 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 suelo del Ecuador. Quito - Ecuador: Escuela Politécnica en Ingeniería y Ciencias.

VII ANEXOS

MATRIZ DE CONSISTENCIA DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN				
PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE INDICADORES	E METODOLOGÍA
<p>1. INTERROGANTE PRINCIPAL ¿En qué medida la respuesta sísmica de un centro educativo de la ciudad de Tacna, diseñado con aisladores sísmicos de péndulo friccional va a obtener un mejor comportamiento estructural frente a un diseño con el método convencional basado en la norma E-030 – en el año 2019?</p> <p>2. INTERROGANTES ESPECIFICAS</p> <p>a) ¿Cuál es el resultado del diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basada en la Norma E-030?</p> <p>b) ¿Cuál es el resultado del diseño estructural de un centro educativo con aisladores</p>	<p>1. OBJETIVO GENERAL Analizar y diseñar un centro educativo de la ciudad de Tacna, con aisladores sísmicos en la base de péndulo friccional y compararlo frente a diseño convencional basada en la norma E-030 – en el año 2019.</p> <p>2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS</p> <p>a) Realizar un diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basado en la Norma E-030.</p> <p>b) Realizar un diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos de péndulo friccional.</p> <p>c) Comparar el comportamiento estructural obtenido de un centro educativo con un diseño sin aisladores sísmicos frente al diseño</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL El centro educativo diseñado con aisladores sísmicos de péndulo friccional obtendrá un mejor comportamiento sísmico frente al diseño con el método convencional basado en la norma E-030.</p> <p>2. HIPÓTESIS ESPECÍFICAS</p> <p>a) Al realizar el diseño estructural de un centro educativo sin aisladores sísmicos basada en la Norma E-030 se obtienen valores permisibles de desplazamientos y distorsiones.</p> <p>b) Al realizar el diseño estructural de un centro educativo con aisladores sísmicos de péndulo friccional se reduce notablemente los desplazamientos y distorsiones</p>	<p>1. HIPÓTESIS GENERAL Variable Independiente -Diseño estructural convencional -Diseño con aisladores sísmicos de péndulo friccional.</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Periodo fundamental - Fuerza cortante en la base - Desplazamiento en la base - Deriva de la edificación <p>Variable Dependiente Comportamiento estructural.</p> <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> - Altura - Área - Tipo de suelo - Sistema estructural 	<ul style="list-style-type: none"> - Tipo de Investigación Investigación Cuantitativa - Nivel de Investigación Descriptiva – explicativa – aprehensiva. - Diseño de Investigación Pre – Experimental. - Ámbito de Estudio Distrito Cnel. Gregorio Albarracín Lanchipa, provincia y departamento de Tacna. - Población Centros Educativos de concreto armado. - Muestra Pabellón B del C. E. Jorge Chávez., muestra obtenida a conveniencia del autor. - Tamaño de la Muestra A conveniencia del autor. - Técnica de recolección de datos *cálculo del comportamiento sismorresistente del edificio convencional. * cálculo del sistema aislado de péndulo friccional

<p>sísmicos de péndulo friccional?</p> <p>c) ¿Cuál es el comportamiento sísmico obtenido del diseño estructural del centro educativo sin aisladores sísmicos frente al diseño estructural con aisladores sísmicos de péndulo friccional?</p>	<p>con aisladores sísmicos de péndulo friccional.</p>	<p>c) Al comparar ambos diseños se verificará que existen importantes mejoras en el comportamiento sísmico de una estructura con aisladores de péndulo friccional con respecto al diseño sin aisladores sísmicos</p>		<p>* Realizar el análisis comparativo del comportamiento sísmico de la edificación convencional y la edificación aislada respecto a sus cortantes, momentos, periodos y deflexiones.</p> <p>Instrumentos.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Programa computacional ETABS. - Lista de cotejo de resultados (hojas de cálculo y fichas de datos)
--	---	--	--	--