

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS:

**INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO EN
EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CONSIDERANDO
SISMOS TIPO SUBDUCCIÓN EN EL HOSPITAL SANTO TOMÁS,
PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, DEPARTAMENTO
DEL CUSCO - 2024**

PRESENTADO POR:

Br. JOAQUIN ELORRIETA OLIVO

Br. CRISTHIAN OCON MENDOZA

**PARA OPTAR AL TÍTULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

ASESOR:

Mgt. Ing. JUAN CARLOS MALPARTIDA
LINARES

CUSCO-PERÚ

2026



Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco

INFORME DE SIMILITUD

(Aprobado por Resolución Nro.CU-321-2025-UNSAAC)

El que suscribe, el Asesor M.Sc. Ing. Juan Carlos Macpartida Linares, quien aplica el software de detección de similitud al trabajo de investigación/tesis titulada: "INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CONSIDERANDO SISMOS TIPO SUBDUCCIÓN EN EL HOSPITAL SANTO TOMÁS, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2024"

Presentado por: Joaquín Florrieta Olivo DNI N° 72654181;
presentado por: Cristhian Quen Mendoza DNI N°: 73081103
Para optar el título Profesional/Grado Académico de INGENIERO CIVIL

Informo que el trabajo de investigación ha sido sometido a revisión por 01 veces, mediante el Software de Similitud, conforme al Art. 6° del **Reglamento para Uso del Sistema Detección de Similitud en la UNSAAC** y de la evaluación de originalidad se tiene un porcentaje de 9%.

Evaluación y acciones del reporte de coincidencia para trabajos de investigación conducentes a grado académico o título profesional, tesis

Porcentaje	Evaluación y Acciones	Marque con una (X)
Del 1 al 10%	No sobrepasa el porcentaje aceptado de similitud.	☒
Del 11 al 30 %	Devolver al usuario para las subsanaciones.	☐
Mayor a 31%	El responsable de la revisión del documento emite un informe al inmediato jerárquico, conforme al reglamento, quien a su vez eleva el informe al Vicerrectorado de Investigación para que tome las acciones correspondientes; Sin perjuicio de las sanciones administrativas que correspondan de acuerdo a Ley.	☐

Por tanto, en mi condición de Asesor, firmo el presente informe en señal de conformidad y adjunto las primeras páginas del reporte del Sistema de Detección de Similitud.

Cusco, 09 de JUNIO de 2026

Firma

Post firma: JUAN CARLOS MACPARTIDA LINARES

Nro. de DNI: 40622040

ORCID del Asesor: 0000-0002-0653-0905

Se adjunta:

- Reporte generado por el Sistema Antiplagio.
- Enlace del Reporte Generado por el Sistema de Detección de Similitud: oid: 27259:598499313

TESIS FINAL ELORRIETA - OCON 2026.pdf

 Universidad Nacional San Antonio Abad del Cusco

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid:::27259:598499313

Fecha de entrega

8 jun 2026, 3:08 p.m. GMT-5

Fecha de descarga

8 jun 2026, 3:13 p.m. GMT-5

Nombre del archivo

TESIS FINAL ELORRIETA - OCON 2026.pdf

Tamaño del archivo

12.7 MB

331 páginas

57.496 palabras

286.624 caracteres

9% Similitud general

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para ca...

Filtrado desde el informe

- Bibliografía
- Texto citado
- Texto mencionado
- Coincidencias menores (menos de 12 palabras)

Fuentes principales

- 6%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 7%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)

Marcas de integridad

N.º de alertas de integridad para revisión

No se han detectado manipulaciones de texto sospechosas.

Los algoritmos de nuestro sistema analizan un documento en profundidad para buscar inconsistencias que permitirían distinguirlo de una entrega normal. Si advertimos algo extraño, lo marcamos como una alerta para que pueda revisarlo.

Una marca de alerta no es necesariamente un indicador de problemas. Sin embargo, recomendamos que preste atención y la revise.

Dedicatoria

A Dios, por darme la oportunidad de cumplir un propósito más en mi vida, y darme claridad en momentos de adversidad.

A mis amados padres, Alberto Elorrieta y Yolanda Olivo, por sacrificar sus sueños y cumplir los míos, por su amor incondicional y ser mi mayor inspiración para realizar todo lo que me proponga. A mi tío Hebert por sus valiosos consejos y ejemplo de fortaleza. A mis hermanos Christopher y Guillermo, por su apoyo inquebrantable y ser mis guías en toda esta aventura llamada vida.

A mi mejor amigo y compañero de tesis, por su compromiso en el desarrollo de esta investigación, por el crecimiento académico y personal alcanzado en conjunto.

Joaquin Elorrieta Olivo

Dedicatoria

A Dios, por guiar mis pasos, darme fortaleza en los momentos difíciles y bendecirme con la oportunidad de alcanzar una meta más en mi vida.

A mis queridos padres, por ser el pilar fundamental de mi vida, en especial a mi madre, por su amor incondicional, por ser mi mayor motivación, ejemplo de fortaleza, por cada esfuerzo silencioso, por sus desvelos, consejos y por nunca dejar de creer en mí aun en los momentos más difíciles, y ser un apoyo constante en cada etapa de mi camino.

A mi mejor amigo y compañero de tesis, por caminar conmigo en este desafío, por su apoyo, paciencia, motivación y por compartir cada esfuerzo hasta culminar esta importante etapa. Gracias por ser más que un amigo, un verdadero hermano.

Christian Ocón Mendoza

Agradecimiento

Al Ing. Federico Vilca por sembrar en nosotros la idea por la investigación, motivándonos desde el inicio de este camino. Al Ing. Carlos Malpartida, por confiar en nuestro trabajo desde sus primeras etapas y brindar respaldo a lo largo de todo el proceso. Al Ing. Julio Sucasaca, por su paciencia y vocación al orientarnos, resolviendo cada una de nuestras dudas con dedicación.

Asimismo, extendemos nuestro reconocimiento al Ing. Holger Lovón y al Ing. Gorki Ascue, por sus valiosos aportes y observaciones, que permitieron fortalecer y perfeccionar la presente investigación. Finalmente, expresamos nuestro más profundo agradecimiento al Ing. Jaime Terrazas, por ser un gran mentor e inspirarnos a valorar y apasionarnos por esta noble profesión.

Índice General

Dedicatoria	2
Agradecimiento	4
Resumen	16
Abstract	17
Introducción	18
1. Aspectos Generales.....	19
1.1. Situación problemática	19
1.2. Formulación de problemas	21
1.2.1 Problema general	21
1.2.2 Problemas específicos.....	21
1.3. Justificación e importancia de la investigación.....	21
1.3.1 Justificación social.....	21
1.3.2 Justificación técnica.....	22
1.3.3 Justificación por relevancia.....	23
1.3.4 Justificación metodológica.....	23
1.4. Objetivos de la investigación	24
1.4.1 Objetivos generales.....	24
1.4.2 Objetivos específicos	24
1.5. Alcances y limitaciones.....	24
1.5.1 Alcances.....	24
1.5.2 Limitaciones de la investigación.....	25
1.5.2.1. Limitación Espacial	25
1.5.2.2. Limitación temporal	25
1.5.2.3. Limitación informativa	25
1.5.2.4. Limitación de materiales	26
2. Marco Teórico Conceptual	27
2.1. Antecedentes de la investigación	27
2.1.1 Antecedentes de la investigación a nivel internacional	27
2.1.2 Antecedentes de la investigación a nivel nacional.....	27
2.2. Bases teóricas	29
2.2.1 Categorías de establecimientos del sector salud	29
2.2.1.1. Centros de Salud.....	29

2.2.1.2.	Rol de los sistemas de aislamiento en la protección de equipos médicos sensibles	30
2.2.1.3.	Comportamiento de estructuras hospitalarias bajo cargas extremas	30
2.2.2	Terremotos	31
2.2.2.1.	Hipocentro	32
2.2.2.2.	Epicentro.....	32
2.2.3	Tipos de sismos según la respuesta sísmica.....	33
2.2.3.1.	Sismos tipo subducción	33
2.2.4	Dinámica Estructural	33
2.2.4.1.	Masa y Peso	33
2.2.4.2.	Rigidez.....	34
2.2.4.3.	Amortiguamiento.....	34
2.2.4.4.	Periodo y frecuencia	35
2.2.4.5.	Ductilidad	35
2.2.4.6.	Ecuaciones de Movimiento	36
2.2.4.7.	Vibración Libre amortiguado	38
2.2.4.8.	Vibración forzada	41
2.2.5	Sistemas de protección sísmica.....	41
2.2.5.1.	Sistemas activos.....	42
2.2.5.2.	Sistemas pasivos	43
2.2.6	Principio de aislamiento en la base	43
2.2.6.1.	Disipación de energía	44
2.2.7	Ley de histéresis.....	46
2.2.7.1.	Tipos de leyes histeréticas	47
2.2.8	Análisis modal	50
2.2.8.1.	Análisis dinámico modal espectral.....	51
2.2.8.2.	Análisis tiempo historia	52
2.2.9	Aisladores sísmicos.....	54
2.2.10	Aisladores de tipo Elastoméricos.....	54
2.2.10.1.	Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB.....	57
2.2.11	Aisladores de tipo péndulo de fricción	62
2.2.11.1.	Aislador de triple péndulo de fricción (TPF).....	64
2.2.12	Modelos para el análisis y estimación del peso	77

2.2.12.1.	Modelo para el análisis	77
2.2.12.2.	Estimación del peso	77
2.2.12.3.	Control de desplazamientos laterales	77
3.	Hipótesis y Variables	78
3.1.	Hipótesis de la investigación.....	78
3.1.1	Hipótesis generales	78
3.1.2	Hipótesis específicas.....	78
3.2.	Variables de la investigación.....	78
3.2.1	Variables	78
3.3.	Operacionalización de variable	79
4.	Metodología de Investigación.....	80
4.1.	Ámbito de estudio	80
4.1.1	Ubicación del área de estudio	80
4.1.2	Vías de acceso.....	81
4.2.	Tipo y nivel de investigación	83
4.2.1	Tipo de investigación.....	83
4.2.2	Diseño de investigación	83
4.3.	Población y Muestra.....	84
4.3.1	Población de estudio	84
4.3.2	Muestra	84
4.4.	Técnicas e instrumentos de recolección de información.....	84
4.4.1	Técnicas de investigación	84
4.4.2	Instrumentos de recolección de información	84
4.4.3	Procedimiento para recolección de datos.....	84
4.4.3.1.	Consideraciones generales para la investigación.....	85
5.	Resultados y Discusión.....	93
5.1.	Análisis de modelos de estructuras de bases fijas	93
5.1.1	Condiciones generales	93
5.1.1.1.	Estructuración.....	93
5.1.1.2.	Pre dimensionamiento	93
5.1.1.3.	Modelamiento.....	96
5.1.1.4.	Asignación de cargas y definición de la masa	98
5.1.1.5.	Condiciones geotécnicas.....	100
5.1.2	Diseño sísmico E.030, Estructura aporticado	101

5.1.2.1.	Modelo y Parámetros final	101
5.1.2.2.	Análisis estático	102
5.1.2.3.	Análisis dinámico modal espectral	107
5.1.2.4.	Irregularidades	111
5.2.	Análisis de modelo de estructura de base aislada	117
5.2.1	Análisis y diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo -LRB	117
5.2.1.1.	Cálculos preliminares para el diseño de los aisladores elastomérico con núcleo de plomo	117
5.2.1.2.	Diseño de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo	136
5.2.1.3.	Análisis estático del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo - LRB	139
5.2.1.4.	Análisis dinámico del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo	162
5.2.1.5.	Análisis dinámico tiempo - historia del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo	159
5.2.1.6.	Irregularidades	181
5.2.2	Análisis y diseño de aisladores triple péndulo friccional.....	211
5.2.2.1.	Análisis dinámico del sistema de aislamiento triple péndulo friccional	232
5.2.2.2.	Irregularidades	239
5.2.2.3.	Análisis dinámico tiempo - historia del sistema de aislamiento triple péndulo friccional	244
5.2.3	Presentación de resultados	269
5.2.3.1.	Base fija	269
5.2.3.2.	Base aislada aislador elastomérico con núcleo de plomo.....	274
5.2.3.3.	Base aislada aislador triple péndulo friccional	279
5.2.4	Discusión de resultados.....	284
5.2.4.1.	Derivas.....	285
5.2.4.2.	Fuerzas Cortantes.	285
5.2.4.3.	Aceleraciones.....	285
Conclusiones		286
Recomendaciones		287
Bibliografía		289
Anexos		292

Índice de Figuras

Figura 1 Hipocentro y epicentro.	32
Figura 2 Sistema de 1 Grado de Libertad	36
Figura 3 Estructura con sistemas de control activo..	43
Figura 4 Aceleración espectral (s_a) vs periodo (t) con y sin amortiguamiento.	45
Figura 5 Desplazamiento espectral (S_d) vs periodo (t) con y sin amortiguamiento.	46
Figura 6 Definición de las propiedades de enlace en el software ETABS.	48
Figura 7 Diagrama de histéresis de un aislador LRB.	49
Figura 8 Diagrama de histéresis de un aislador TPF.	50
Figura 9 Aisladores LDRB.	55
Figura 10 Aisladores LRB.	56
Figura 11 Aisladores HDRB.	57
Figura 12 Comportamiento cíclico de los aisladores LRB y sus principales características.	58
Figura 13 Aislador elastomérico con núcleo de plomo.	58
Figura 14 Lazo de histéresis.	60
Figura 15 Aisladores SFP.	62
Figura 16 Aisladores DFP.	63
Figura 17 Aisladores FPT.	63
Figura 18 Vista del aislador de triple péndulo de fricción FPT.	64
Figura 19 Curva monótonica de fuerza-desplazamiento par un aisl-ador de triple péndulo de fricción FPT.	66
Figura 20 Regímenes del comportamiento cíclico de un aislador de triple péndulo de fricción..	67
Figura 21 Regímenes de un aislador de triple péndulo de fricción.	69
Figura 22 Regímenes de comportamiento del aislador de triple péndulo friccional..	69
Figura 23 Flujograma Del diseño y selección de un aislador LRB	75
Figura 24 Flujograma del diseño y selección de un aislador FPT.	76
Figura 25 Ubicación del Hospital de Santo Tomas	80
Figura 26 Vía de Acceso desde la ciudad del Cusco a el Hospital Santo Tomas.	82
Figura 27 Plano de Ubicación del Hospital Santo Tomas.	86
Figura 28 Esquema de bloques.	89
Figura 29 Distribución de ejes.	93
Figura 30 Características del concreto $F'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$	96
Figura 31 Característica de la columna.	97
Figura 32 Característica de viga.	97
Figura 33 Característica de losa maciza.	98
Figura 34 Estimación del peso.	100
Figura 35 Distribución de vigas y columnas principales losa 1.	101
Figura 36 Modelo final.	102
Figura 37 Coeficientes del sismo estático X.	105
Figura 38 Coeficientes del sismo estático Y.	106
Figura 39 Espectro de respuesta.	107
Figura 40 Derivas de entrepiso "X".	110
Figura 41 Derivas de entrepiso "Y".	111
Figura 42 Área tributaria de una columna céntrica.	132
Figura 43 Área tributaria de una columna excéntrica.	132
Figura 44 Área tributaria de una columna esquinada.	133

Figura 45 Área total de la edificación.....	133
Figura 46 Distribución de las cargas recibidas a cada columna.	135
Figura 47 Factor de amortiguamiento BM.....	140
Figura 48 Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación calculado para el aislador I.....	155
Figura 49 Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación calculado para el aislador II.....	156
Figura 50 Factores extremos modificatorios de las propiedades.....	157
Figura 51 Espectro de pseudo-aceleraciones para el SMC.....	169
Figura 52 Máximo desplazamiento por nivel en dirección X para propiedades nominales..	176
Figura 53 Máximo desplazamiento por nivel en dirección Y para propiedades nominales..	177
Figura 54 Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades nominales.....	180
Figura 55 Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades nominales.....	181
Figura 56 Corrección por línea base.....	190
Figura 57 Parámetros del archivo de entrada.....	191
Figura 58 Aplicación del filtrado de datos para los registros acelerométricos	192
Figura 59 Registro acelerométrico original y escalado de acuerdo a nuestro espectro objetivo de nuestra edificación..	193
Figura 60 Comparativa de los registros acelerométricos sin escalar y el espectro objetivo.....	194
Figura 61 Comparativa de los registros acelerométricos escalados al espectro objetivo.	195
Figura 62 Diagrama de histéresis del dispositivo k12 producida por el sismo Lima 1974_XX	207
Figura 63 Dimensiones estándar para placas cóncavas de aisladores FTP para propiedades nominales.	222
Figura 64 Máximo desplazamiento por nivel en dirección X para propiedades nominales.	237
Figura 65 Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades nominales.....	240
Figura 66 Diagrama de histéresis del dispositivo k12 producida por el sismo Lima 1974_XX.	253
Figura 67 Espectro de demanda para los diferentes periodos de retorno.	257
Figura 68 Objetivos de diseño sísmico basados en desempeño.....	257

Índice de Tablas

Tabla 1 Tipo de material predominantes en las paredes del distrito de Santo Tomas.	22
Tabla 2 Operacionalización de variables.	79
Tabla 3 Coordenadas del área del Hospital Santo Tomas.	81
Tabla 4 Área construida de bloque principal.	89
Tabla 5 Descripción de carga muerta.	91
Tabla 6 Descripción de carga viva.	92
Tabla 7 Parámetros de diseño.	102
Tabla 8 Cuadro de periodos y masas participativas.	103
Tabla 9 Parámetros X-X.	104
Tabla 10 Parámetros Y-Y.	105
Tabla 11 Cortante basal en X y Y.	106
Tabla 12 Espectro Pseudoaceleracion.	108
Tabla 13 Derivas de entrepiso en “X” según normativa E.030.	110
Tabla 14 Derivas de entrepiso en “Y” según normativa E.030.	111
Tabla 15 Irregularidad de rigidez en X.	112
Tabla 16 Irregularidad de rigidez en Y.	112
Tabla 17 Irregularidad de rigidez en X.	113
Tabla 18 Irregularidad de rigidez en Y.	113
Tabla 19 Irregularidad de masa o peso.	114
Tabla 20 Irregularidad torsional X.	115
Tabla 21 Irregularidad torsional Y.	115
Tabla 22 Irregularidad torsional extrema X.	116
Tabla 23 Irregularidad torsional extrema Y.	116
Tabla 24 Metrado de Capiteles - nivel piso técnico.	117
Tabla 25 Metrado de Vigas de Aislamiento - nivel piso técnico.	118
Tabla 26 Metrado de Losa Maciza - Nivel piso técnico.	118
Tabla 27 Altura de entrepiso de la edificación.	118
Tabla 28 Metrado de Columnas – todos los niveles.	119
Tabla 29 Metrado de Vigas – todos los niveles.	119
Tabla 30 Metrado de Losas Macizas – todos los niveles.	121
Tabla 31 Metrado de Escalera – todos los niveles.	121
Tabla 32 Metrado de Losa Maciza de los Descansos – todos los niveles.	121
Tabla 33 Metrado Total de Losas – todos los niveles.	123
Tabla 34 Carga Muerta considerado en la losa de aislamiento.	123
Tabla 35 Carga Viva considerado en la losa de aislamiento.	125
Tabla 36 Resumen de los pesos por cada nivel considerando interfaz de aislamiento, calculo manual.	125
Tabla 37 Peso por nivel considerando interfaz de aislamiento, modelado en ETABS v. 20.03.00.	125
Tabla 38 Resumen de los pesos por cada nivel sin considerar el interfaz de aislamiento, calculo manual.	126
Tabla 39 Peso por nivel sin considerar interfaz de aislamiento, modelado en ETABS v. 20.03.00.	126
Tabla 40 Resumen de carga muerta, carga viva y peso sísmico considerando base fija de acuerdo al software ETABS v. 20.03.00.	127

Tabla 41 Resumen de carga muerta, carga viva y peso sísmico considerando interfaz de aislamiento de acuerdo al software ETABS v. 20.03.00.	128
Tabla 42 Parámetros de diseño.	129
Tabla 43 Resumen de las propiedades calculadas para los aisladores LRB.	151
Tabla 44 Propiedades del catálogo DIS para un aislador elastomérico con núcleo de plomo....	153
Tabla 45 Propiedades del catálogo BRIDGESTONE para un aislador elastomérico con núcleo de plomo.	154
Tabla 46 Propiedades que se insertaran en el software etabs..	155
Tabla 47 Factores de modificación para Límite Inferior y Superior.	158
Tabla 48 Propiedades de límite inferior y límite superior.	159
Tabla 49 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades nominales.	171
Tabla 50 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades nominales.	171
Tabla 51 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite inferior.....	172
Tabla 52 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior.....	173
Tabla 53 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite superior.	173
Tabla 54 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior.....	174
Tabla 55 Masa participativa – Propiedades Nominales.....	174
Tabla 56 Masa participativa – Propiedades límite inferior.....	175
Tabla 57 Masa participativa – Propiedades límite superior.....	175
Tabla 58 Desplazamiento SMC propiedades nominales en dirección X, Y.	175
Tabla 59 Cortante SMC $R=1$ propiedades nominales en dirección X, Y.....	179
Tabla 60 Irregularidad de rigidez en X.	182
Tabla 61 Irregularidad de rigidez en Y.	182
Tabla 62 Irregularidad de rigidez en X.	182
Tabla 63 Irregularidad de rigidez en Y.	183
Tabla 64 Irregularidad de masa o peso.	183
Tabla 65 Irregularidad torsional X.....	184
Tabla 66 Irregularidad torsional Y.....	184
Tabla 67 Irregularidad torsional extrema X.....	185
Tabla 68 Irregularidad torsional extrema Y.....	185
Tabla 69 Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva en el Cercado de Lima.	186
Tabla 70 Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva PRQ.....	187
Tabla 71 Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva en el Cercado de Lima..	187
Tabla 72 Registro acelerométrico de la estación Cesar Vizcarra Vargas en Moquegua..	188
Tabla 73 Registro acelerométrico de la estación de la Universidad San Luis Gonzaga en Ica..	188
Tabla 74 Registro acelerométrico de la estación Ancón en Lima..	189
Tabla 75 Registro acelerométrico de la estación Scaya ubicada en Ayacucho..	189
Tabla 76 Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X.	198
Tabla 77 Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y.	198

Tabla 78 Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección X.	200
Tabla 79 Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección Y.	199
Tabla 80 Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección X.	200
Tabla 81 Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección Y.	200
Tabla 82 Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección X.	201
Tabla 83 Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección Y.	201
Tabla 84 Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección X.	202
Tabla 85 Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección Y.	202
Tabla 86 Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección X.	203
Tabla 87 Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección Y.	203
Tabla 88 Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección X.	204
Tabla 89 Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección Y.	204
Tabla 90 Fuerza máxima recibida para el aislador más crítico.	205
Tabla 91 Porcentaje de disipación de energía de los sismos.	207
Tabla 92 Aceleraciones de entrepiso Lima_66.	208
Tabla 93 Aceleraciones de entrepiso Ancash_70.	208
Tabla 94 Aceleraciones de entrepiso Lima_74.	208
Tabla 95 Aceleraciones de entrepiso Arequipa_01.	209
Tabla 96 Aceleraciones de entrepiso Ica_07.	209
Tabla 97 Aceleraciones de entrepiso Lomas_18.	209
Tabla 98 Aceleraciones de entrepiso Amazonas_21.	209
Tabla 99 Desplazamiento residual de los sismos utilizados.	210
Tabla 100 Dimensiones estándar para placas cóncavas de aisladores FPS.	217
Tabla 101 Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 1.	226
Tabla 102 Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 2.	226
Tabla 103 Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 3.	226
Tabla 104 Coeficiente de fricción para límite inferior y límite superior.	229
Tabla 105 Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 1.	230
Tabla 106 Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 2.	230
Tabla 107 Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 3.	230
Tabla 108 Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 1.	231
Tabla 109 Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 2.	231
Tabla 110 Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 3.	231
Tabla 111 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades nominales.	232
Tabla 112 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades nominales.	232
Tabla 113 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite inferior.	233
Tabla 114 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior.	233
Tabla 115 Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite superior.	234
Tabla 116 Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite superior.	234
Tabla 117 Masa participativa – Propiedades Nominales.	235

Tabla 118 Masa participativa – Propiedades límite inferior.....	235
Tabla 119 Masa participativa – Propiedades límite superior.....	235
Tabla 120 Desplazamiento SMC propiedades nominales en dirección X, Y.....	236
Tabla 121 Cortante SMC $R=1$ propiedades nominales en dirección X, Y.....	238
Tabla 122 Irregularidad de rigidez en X.....	240
Tabla 123 Irregularidad de rigidez en Y.....	240
Tabla 124 Irregularidad de rigidez en X.....	240
Tabla 125 Irregularidad de rigidez en Y.....	241
Tabla 126 Irregularidad de masa o peso.....	241
Tabla 127 Irregularidad torsional X.....	242
Tabla 128 Irregularidad torsional Y.....	242
Tabla 129 Irregularidad torsional extrema.....	243
Tabla 130 Irregularidad torsional extrema Y.....	243
Tabla 131 Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X.....	244
Tabla 132 Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y.....	244
Tabla 133 Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección X.....	245
Tabla 134 Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección Y.....	245
Tabla 135 Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección X.....	246
Tabla 136 Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección Y.....	246
Tabla 137 Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección X.....	247
Tabla 138 Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección Y.....	247
Tabla 139 Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección X.....	248
Tabla 140 Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección Y.....	248
Tabla 141 Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección X.....	249
Tabla 142 Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección Y.....	249
Tabla 143 Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección X.....	250
Tabla 144 Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección Y.....	250
Tabla 145 Fuerzas máximas para ambos tipos de aisladores.....	251
Tabla 146 Porcentaje de Balance energético.....	253
Tabla 147 Aceleraciones de entrepiso Lima_66.....	254
Tabla 148 Aceleraciones de entrepiso Ancash_70.....	254
Tabla 149 Aceleraciones de entrepiso Lima_74.....	254
Tabla 150 Aceleraciones de entrepiso Arequipa_01.....	255
Tabla 151 Aceleraciones de entrepiso Ica_07.....	255
Tabla 152 Aceleraciones de entrepiso Lomas_18.....	255
Tabla 153 Aceleraciones de entrepiso Amazonas_21.....	256
Tabla 154 Desplazamiento residual.....	258
Tabla 155 Desplazamiento residual.....	259
Tabla 156 Desplazamiento residual.....	260
Tabla 157 Desplazamiento residual.....	260
Tabla 158 Régimen activado $T = 2475$ años.....	261
Tabla 159 Régimen activado $T = 474$ años.....	262
Tabla 160 Régimen activado $T = 225$ años.....	263
Tabla 161 Régimen activado $T = 72$ años.....	264
Tabla 162 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX.....	269
Tabla 163 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY.....	269

Tabla 164 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX.....	270
Tabla 165 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY.....	270
Tabla 166 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	271
Tabla 167 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	271
Tabla 168 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.	272
Tabla 169 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.	272
Tabla 170 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	273
Tabla 171 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	273
Tabla 172 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX.	274
Tabla 173 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY.	274
Tabla 174 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX.....	275
Tabla 175 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY.....	275
Tabla 176 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	276
Tabla 177 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	276
Tabla 178 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.	277
Tabla 179 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.	277
Tabla 180 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	278
Tabla 181 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	278
Tabla 182 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX.	279
Tabla 183 Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY.	279
Tabla 184 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX.....	280
Tabla 185 Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY.....	280
Tabla 186 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	281
Tabla 187 Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	281
Tabla 188 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.	282
Tabla 189 Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.	282
Tabla 190 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX.....	283
Tabla 191 Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY.....	283

Resumen

La presente investigación tuvo como objetivo analizar la influencia de los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural del Hospital Santo Tomás, ubicado en la provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco, correspondiente a la zona sísmica 3. El estudio se desarrolló en una edificación hospitalaria de cuatro niveles y 3346.2 m², evaluada en condición de base fija y con sistemas de aislamiento sísmico mediante aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y aisladores de triple péndulo friccional (TPF). La metodología se basó en los criterios establecidos en las Normas Técnicas E.030 Diseño Sismorresistente y E.031 Aislamiento Sísmico, desarrollándose análisis dinámico modal espectral y análisis dinámico tiempo-historia. Para ello, se emplearon siete registros acelerométricos reales de sismos de subducción, previamente filtrados y escalados al espectro objetivo. Asimismo, se realizó un análisis de desempeño para verificar el adecuado funcionamiento de los sistemas de aislamiento después de la ocurrencia de eventos sísmicos. Los resultados evidenciaron que los aisladores LRB redujeron, en promedio, las fuerzas cortantes en 83%, las derivas de entrepiso en 85% y las aceleraciones en 75%. Por su parte, los aisladores TPF alcanzaron reducciones aproximadas de 90%, 87% y 85%, respectivamente. Además, el periodo fundamental se incrementó de 0.86 s en base fija a 3.016 s con LRB y 3.125 s con TPF. Se concluye que ambos sistemas mejoran significativamente el comportamiento estructural frente a sismos de subducción, siendo el sistema TPF la alternativa de mejor desempeño para optimizar la respuesta sísmica y preservar la operatividad de la edificación hospitalaria.

Palabras clave: Aislamiento sísmico, Subducción, Análisis tiempo-historia, TPF, LRB

Abstract

The objective of this research was to analyze the influence of seismic isolation systems on the structural behavior of Santo Tomás Hospital, located in the province of Chumbivilcas, Cusco Region, within Seismic Zone 3 of Peru. The study was conducted on a four-story hospital building with a total area of 3,346.2 m², evaluated under fixed-base conditions and with seismic isolation systems using Lead Rubber Bearings (LRB) and Triple Friction Pendulum (TFP) isolators. The methodology was based on the criteria established in the Peruvian Technical Standards E.030 Seismic-Resistant Design and E.031 Seismic Isolation. Modal response spectrum and nonlinear time-history analyses were performed. Seven real subduction earthquake ground motion records were selected, filtered, and scaled to match the target response spectrum. In addition, a performance assessment was carried out to verify the proper behavior of the isolation systems after seismic events. The results showed that LRB isolators reduced base shear forces by an average of 83%, interstory drifts by 85%, and floor accelerations by 75%. Likewise, the TFP system achieved average reductions of approximately 90%, 87%, and 85%, respectively. Furthermore, the fundamental period increased from 0.86 s for the fixed-base structure to 3.016 s and 3.125 s for the LRB and TFP systems, respectively. It is concluded that both seismic isolation systems significantly improve the structural performance of the hospital building under subduction earthquakes. However, the TFP system exhibited slightly superior performance, making it the most effective alternative for enhancing seismic response and preserving the operational functionality of the healthcare facility.

Keywords: Seismic isolation; Subduction; Time-history analysis; TFP, LRB

Introducción

La presente tesis titulada “Influencia de los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural considerando sismos tipo subducción en el Hospital Santo Tomás, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco – 2024” se desarrolla en un contexto de alta sismicidad, donde la protección de infraestructuras esenciales, como los establecimientos de salud, constituye una prioridad para la ingeniería sismorresistente.

El Hospital Santo Tomás, ubicado en la región del Cusco, provincia de Chumbivilcas, cumple un rol fundamental en la atención de la población local, por lo que resulta indispensable garantizar su operatividad y seguridad estructural frente a eventos sísmicos severos. Bajo este enfoque, la investigación examina la incorporación de sistemas de aislamiento sísmico como una alternativa técnicamente eficaz para mejorar la respuesta estructural de edificaciones hospitalarias sometidas a sismos de tipo subducción

El estudio se orienta al análisis cuantitativo del comportamiento estructural de la edificación, evaluando la influencia de los sistemas de aislamiento en parámetros estructurales relevantes. Para ello, se emplean modelos estructurales y análisis dinámicos mediante herramientas computacionales especializadas, permitiendo comparar el desempeño de la estructura bajo diferentes configuraciones de aislamiento sísmico.

La investigación se encuentra estructurada en Aspectos Generales, donde se desarrolla la situación problemática, la formulación del problema, la justificación, los objetivos, los alcances y las limitaciones de la investigación. Posteriormente, en el Marco Teórico Conceptual, se presentan los antecedentes y fundamentos teóricos relacionados con los sismos de subducción, la dinámica estructural, los sistemas de protección sísmica, el aislamiento en la base, los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y los aisladores de triple péndulo friccional. En Hipótesis y Variables, se formulan las hipótesis de investigación y se definen las variables de estudio. En Metodología de Investigación, se describe el ámbito de estudio, el tipo y diseño de investigación, la población y muestra, así como las técnicas e instrumentos empleados para la recolección y procesamiento de la información. En Resultados y Discusión, se presenta el modelamiento y análisis de la estructura en base fija y base aislada, el diseño de los sistemas LRB y TPF, la evaluación de los resultados obtenidos y su interpretación técnica. Finalmente, se desarrollan las Conclusiones, Recomendaciones, Bibliografía y Anexos correspondientes.

1. Aspectos Generales

1.1. Situación problemática

Los sistemas de salud enfrentan una variedad de desastres que afectan la efectividad y calidad de los servicios que brindan. Por esta razón, es fundamental contar con recursos y tecnologías innovadoras que aseguren una infraestructura adecuada y una operatividad eficiente posterior al momento del siniestro. Esto también permite ofrecer respuestas rápidas ante situaciones de emergencia. La ocurrencia de desastres nos lleva a reflexionar sobre la forma en que debemos responder, considerando si disponemos de los recursos estructurales e infraestructurales necesarios. En particular, los hospitales deben estar integrados en un sistema de prevención ante desastres naturales, como los sismos, ya que su ausencia podría restringir los servicios que pueden ofrecer (Arboleya et al., 2018).

Ante la eventualidad de grandes terremotos que impactan directamente al sector salud, se destaca la necesidad crucial de establecer una infraestructura operativa en las primeras 72 horas. Esto implica definir responsabilidades y acciones necesarias para la alerta, asegurando así la continuidad de los centros de salud. Estos centros son responsables de brindar servicios esenciales, con el objetivo de proteger la vida y salud de la población, garantizando atención adecuada durante y después de un sismo significativo (MINSA, 2011).

Para garantizar la protección sísmica tanto de las estructuras como de su contenido, se han desarrollado e implementado diversas tecnologías a nivel global, siendo el aislamiento sísmico una de ellas.

Se tiene uno de los primeros vestigios donde se aplicó estos conceptos iniciales de aislar la estructura hace más de 528 años a.C en relación a la tumba de Ciro en Irán; pero no fue hasta 1974 donde el Dr. Bill Robinson (Nueva Zelanda) realiza la invención de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) donde combina la flexibilidad y disipación de energía siendo un hito

y punto de partida a la tecnología actual de la aplicación de estos sistemas. Es así que en el año 1980 el Ing. Víctor Zayas (EE. UU) diseña un aislador de péndulo friccional (FPS) basado en una superficie curva que permite deslizamiento controlado y retorno a la posición inicial ideal para estructuras con grandes deslizamientos.

Para la década de 1980 llega a América Latina la implementación de estos sistemas de aislamiento, siendo Chile el primer país donde se comienzan a explorar, impulsados por la necesidad de proteger infraestructuras críticas de un país perteneciente al cinturón de fuego, donde su incorporación fue limitada debido a los costos y falta de experiencia local.

En Perú, no fue hasta el año 2012 donde la UPCA inauguró su campus en Chorrillos donde se convirtió en el primer edificio en incorporar un sistema de aislamiento sísmico. Es así que para el año 2016 se inaugura el primer hospital implementado un sistema de aislamiento sísmico moderno en la región de Moquegua, contando con un aproximado de 113 aisladores. El uso de estas tecnologías ya es una realidad en nuestro país, con aproximadamente 200 estructuras equipadas con aislamiento sísmico. Por lo tanto, es vital investigar y fomentar su conocimiento para asegurar su correcta aplicación en la construcción.

Según la Norma Técnica E.030 MVCS (2018), la región del Cusco está mayormente clasificada en la zona sísmica 2 según su zonificación, aunque hay excepciones como la provincia de Chumbivilcas, el distrito de Santo Tomás el cual se encuentra en la zona sísmica 3, indicando un alto riesgo sísmico. Así, la incorporación de sistemas sobre aislamiento sísmico permitirá que las estructuras, equipos y elementos no estructurales tengan un rendimiento óptimo y comprendan su comportamiento estructural ante eventos sísmicos.

1.2. Formulación de problemas

1.2.1 Problema general

PG: ¿De qué manera influyen los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural, considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomás?

1.2.2 Problemas específicos

PE1: ¿Cuál es la variación en las derivas de entrepiso incorporando los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en el comportamiento estructural?

PE2: ¿Cuál es la incidencia de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural?

PE3: ¿Cuál es el efecto de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural?

1.3. Justificación e importancia de la investigación

1.3.1 Justificación social

Se centra en un crecimiento integral desde la aplicación de tecnologías no muy usadas en nuestra región, permitiendo brindar mejores proyectos como las del presente centro de salud la cual dará acceso de calidad y protección a las más de 21728 habitantes que posee solo el distrito de Santo Tomas de acuerdo al (Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI], 2018)

Según los informes del INEI (2018), se indica que el distrito de Santo Tomás comprende 6.990 residencias, de las cuales 4.659 utilizan predominantemente adobe como material de construcción principal. Además, el 66,65% de estas viviendas están construidas con ladrillos o bloques de cemento, mientras que el 7,34% tiene paredes hechas de otros materiales, lo que representa el 0,06%.

Tabla 1.

Tipo de material predominantes en las paredes del distrito de Santo Tomas

Material Predominante en Paredes	Viviendas	Porcentaje (%)
Ladrillo o bloque de cemento	513	7,34
Adobe	4659	66,65
Madera (pona, tornillo, etc.)	9	0,13
Quincha (caña con barro)	5	0,07
Triplay/calamina/estera	3	0,04
Piedra con barro	933	13,35
Piedra o sillar con cal o cemento	863	12,35
Tapia	4	0,06
Otro material	1	0,01
Total	6990	100

Nota: Porcentaje de viviendas en Santo Tomas. Fuente: (Adaptado Perfil Técnico, 2024)

Como se muestra en la tabla es predominante las construcciones con materiales de baja resiliencia ante un evento sísmico, las cuales no opondrán resistencia cuando el movimiento telúrico se presente; es así que incorporar los aisladores en construcciones emblemáticas como el centro de salud permitirá ser un lugar seguro para las personas que se encuentren fuera de sus viviendas.

1.3.2 Justificación técnica

El conocer la relevancia y los beneficios que permite el incorporar aisladores sísmicos en las edificaciones abrirá las posibilidades de ejecutar el proyecto, dándole variedad en el diseño constructivo de la misma, priorizando desde un inicio hasta su puesta en operación el bienestar y la protección social, así como asegurar la continuidad y funcionamiento del centro de salud durante y posteriormente al evento sísmico.

La implementación de estos sistemas puede disminuir considerablemente los costos relacionados con la reparación y reconstrucción de estructuras, instalaciones y equipos que resultan dañados tras un sismo, contribuyendo así a la sostenibilidad de los hospitales y optimizando la inversión en seguridad estructural. Para ciertos edificios, la seguridad es la principal preocupación ante grandes terremotos; sin embargo, para otros, como aquellos que albergan actividades comerciales y servicios de salud donde el tiempo es crítico, es esencial realizar reparaciones rápidas debido a su significativa inversión financiera (Federal Emergency Management Agency [FEMA], 2018).

1.3.3 Justificación por relevancia

Esta investigación lograra ampliar los conocimientos para poder incorporar a nuestras construcciones opciones de aislamiento sísmico, permitiendo al ingeniero que ejecutara elegir la opción más viable para el de-sarrollo del proyecto.

En el año 2019, Perú adoptó la Norma Técnica E.031 (MVCS, 2019) con el objetivo principal de mejorar la resiliencia sísmica de los edificios, salvaguardando así su integridad estructural y su contenido para garantizar una funcionalidad ininterrumpida.

1.3.4 Justificación metodológica

La aplicación de métodos de análisis no lineal permitirá evaluar el desempeño dinámico del sistema, mientras que se utilizarán métodos lineales para evaluar la estructura. La implementación de modelos matemáticos aproximados y el análisis del rendimiento del sistema de aislamiento y la estructura en diferentes escenarios sísmicos (subducción) busca proporcionar información útil para el análisis de estructuras resilientes a terremotos. Esta investigación aborda tanto la seguridad como la funcionalidad de las instalaciones hospitalarias y su contenido, aspectos críticos durante emergencias por eventos sísmicos. Al realizar un análisis comparativo entre dos sistemas específicos de aislamiento, se pretende demostrar que ambos son efectivos ante diferentes

tipos de sismos; los beneficios resultantes se traducirán en una reducción significativa en costos asociados con daños y pérdidas, así como en la preservación del bienestar tanto del personal médico como del estado general del servicio sanitario.

1.4. Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivos generales

OG: Evaluar la influencia de los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomas.

1.4.2 Objetivos específicos

OG1: Determinar la variación de las derivas de entrepiso en el comportamiento estructural al incorporar sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional.

OG2: Analizar la incidencia de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural.

OG3: Definir el efecto de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural.

1.5. Delimitación

1.5.1 Alcances

Se basa en proporcionar un análisis destinado a comprender el impacto de los sistemas de aislamiento sísmico en la respuesta dinámica del Hospital Santo Tomás, teniendo en cuenta tanto los terremotos de tipo subducción. Además, el estudio se esfuerza por establecer parámetros entre varios factores, incluido el tipo de sistema de aislamiento empleado (triple péndulo friccional y elastomérico con núcleo de plomo) y las respuestas estructurales correspondientes durante los eventos sísmicos antes mencionados. Esta investigación posee una dimensión aplicada, ya que los hallazgos facilitarán la formulación de soluciones prácticas destinadas a mejorar en una región caracterizada por una alta actividad sísmica, con la perspectiva de adaptarse para su uso en otros

centros de salud de categoría II-1 en Cusco. Mediante procesamiento de datos y análisis no lineales, se busca comprender cómo cada sistema influye el desempeño estructural bajo diferentes tipos de eventos sísmicos.

1.5.2 Limitaciones de la investigación

1.5.2.1. Limitación Espacial

El estudio se limita al análisis del comportamiento estructural del centro de salud Santo Tomas de categoría II-1, correspondiente al "MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS SERVICIOS DE SALUD DEL HOSPITAL SANTO TOMÁS, DISTRITO DE SANTO TOMÁS, PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS, DEPARTAMENTO DE CUSCO”.

1.5.2.2. Limitación temporal

La investigación se desarrolla dentro del periodo correspondiente a las etapas de formulación y evaluación del proyecto, por lo que no contempla la etapa de construcción, puesta en servicio, mantenimiento ni monitoreo estructural real posterior a la ejecución de la edificación. En consecuencia, los resultados se limitan al comportamiento previsto mediante análisis computacional, considerando las condiciones de diseño y modelamiento definidas para la presente investigación.

1.5.2.3. Limitación informativa y modelamiento

La investigación depende de simulaciones computacionales para evaluar el desempeño, lo que implica que los resultados estarán condicionados a los supuestos, algoritmos y precisión de los programas. Otro aspecto limitante es la disponibilidad de datos específicos sobre los sismos en la región, como registros detallados de eventos telúricos de tipo subducción.

La Norma Técnica E.030 MVCS (2018), sirvió de base para realizar análisis sísmicos estáticos y dinámicos.

La Norma Técnica E.031 MVCS (2019), se empleó para el desarrollo de sistemas de aislamiento.

En la presente investigación no se desarrolla el diseño de los elementos estructurales, debido a que se centra en la respuesta dinámica y la influencia de los sistemas de aislamiento frente a los sismos de subducción.

En la actual investigación, la adquisición de verificaciones de laboratorio para los aisladores utilizados en el análisis ha resultado inviable. No se ha podido acceder a los resultados de las pruebas de carga axial y cizallamiento de los aisladores LRB. Además, la incapacidad de comprobar y autenticar el rendimiento de los aisladores TPF se atribuye a la falta de laboratorios especializados, por lo que dichos aisladores requieren ser evaluados en instalaciones en el extranjero, lo que supone importantes gastos financieros.

1.5.2.4. *Limitación de materiales*

Esta investigación se basa en el empleo de las propiedades físicas y mecánicas de los materiales delineados en la documentación técnica:

- Resistencia a la fractura por compresión del concreto $f'_c = 280$ y 350 kg/cm^2 , esta resistencia de concreto fue diseñada para: solados; escaleras, viguetas y columnas de confinamiento; columnas, placas, vigas y losas; zapatas y vigas de conexión; respectivamente.

2. Marco Teórico Conceptual

2.1. Antecedentes de la investigación

2.1.1 *Antecedentes de la investigación a nivel internacional*

En la investigación "Diseño y análisis de edificios con aisladores de base tipo TPF", el tesista expone un sistema de aislamiento de TPF en una edificación, donde concluye que hay una disociación entre el período de vibrar y la carga que recibe. Esta propiedad facilita la elaboración inicial de aisladores sin requerir un entendimiento previo de las cargas estructurales. Adicionalmente, el sistema tiene la habilidad de disminuir o suprimir completamente la torsión plana en estructuras no homogéneas, lo que se debe a la sincronización. Las características clave que afectan la eficiencia operativa de un aislante TPF, lo que se consigue mediante un aumento del período inherente y una mejora de la amortiguación. En consecuencia, se deduce que los aisladores TPF son realmente eficaces para reducir la demanda sísmica, lo que permite diseñar estructuras elásticas sin necesidad de ingresar al rango inelástico (Cango, 2018).

2.1.2 *Antecedentes de la investigación a nivel nacional*

En la investigación "Diseño de sistema de aislamiento sísmico en la base con dispositivos LRB para un hospital aporticado en la ciudad de Trujillo" después del análisis dinámico se determinó el incremento de las secciones de los elementos estructurales con el fin de manejar el efecto de torsión en planta, generándoles desplazamiento en cada aislador de 24.02 cm; se identificó como principal ventaja del sistema de aislamiento la reducción de las derivas en comparación con la estructura de base fija lo que permite mantener una operación adecuada antes y después de un evento sísmico, reduciendo las fuerzas sísmicas transmitidas al interior de la edificación y favorecer la protección del equipamiento interno. Como aspecto final, se indica que el aislador de tipo LRB permite elevar la capacidad de

amortiguamiento debido a que el núcleo de plomo disipa energía en forma térmica. Al término del evento sísmico, el caucho del aislador favorece la restitución de la estructura a su posición original, en tanto que el núcleo de plomo se recristaliza. (Mendoza & Sánchez, 2020)

En el estudio intitulado “Análisis Comparativo de la Respuesta Sísmica del Colegio San Francisco de Asís con Base Fija y con Aisladores LRB y TPF Cusco-2022”, la incorporación de un sistema de aislamiento LRB con deslizador y TPF produjo una mejora significativa en la respuesta sísmica de la estructura respecto a su condición original de base fija. Los resultados evidenciaron una reducción de las máximas distorsiones laterales horizontales, de la fuerza cortante máxima y de las aceleraciones máximas de piso. Del mismo modo, se observó un incremento en el periodo fundamental del sistema estructural. En conjunto, estos hallazgos respaldan que el empleo de aisladores constituye una alternativa viable para optimizar el comportamiento sísmico de la edificación. Además, con base en los análisis dinámicos efectuados, se concluyó que el aislador de núcleo de plomo con deslizador presentó el mejor desempeño sísmico, aunque con resultados muy próximos a los obtenidos por el aislador de TPF (Follana & Cusipaucar, 2023).

En el estudio intitulado “Análisis sísmico comparativo del diseño del hospital de Pacasmayo que emplea aislamiento LRB y aislamiento TPF”, ambos diseños arquitectónicos se sometieron a evaluación mediante Time-History FNA utilizando siete (07) registros sísmicos dentro del marco del software ETABS, a partir de estos resultados, se analizó el comportamiento inelástico de los elementos del sistema de aislamiento y la respuesta elástica de la superestructura. Los hallazgos mostraron que la superestructura del diseño inicial fue calibrada para presentar una respuesta estática no lineal; en cambio, para el segundo diseño se proyectó una respuesta de carácter elástico. También se confirmó en ambos escenarios que

la respuesta estructural durante el terremoto máximo considerado (MCE) fue notablemente análoga a la respuesta durante el terremoto de diseño (DE); en consecuencia, en esta investigación solo se utilizaron los valores asociados al DE para fines de comparación (Korafi, 2019).

2.2. Bases teóricas

2.2.1 Categorías de establecimientos del sector salud

2.2.1.1. Centros de Salud.

Instalación de atención médica integral que integra servicios de atención de primera necesidad con atención hospitalaria especializada para brindar cuidados de salud completos y adaptados. Según el Ministerio de Salud.

Niveles de atención

Según la Norma Técnica MINSA (2011)

Nivel primero

- I-1. Puesto de salud con profesionales de salud no médicos.
- I-2. Puesto de salud (con médico).
- I-3. Centros médicos.
- I-4. Centros médicos para internamiento.

Nivel segundo

- II-1. Centros de salud de atención general.
- II-2. Centros de salud con mayor especialización.
- II-E. Establecimientos de salud con servicios médicos especializados.

Nivel tercero

- III-1. Establecimientos de salud con mayor oferta de servicios.
- III-E. Establecimientos de salud con servicios generales y complementarios.
- III-2. Instituciones dedicadas a la atención especializada.

2.2.1.2. ***Rol de los sistemas de aislamiento en la protección de equipos médicos sensibles***

Los sistemas de aislamiento sísmico son importantes, como resonadores magnéticos, quirófanos y laboratorios, al limitar las aceleraciones y desplazamientos generados durante un evento sísmico. Equipos sensibles son especialmente vulnerables a daños debido a sus mecanismos internos de alta precisión y sensibilidad a vibraciones. Los dispositivos elastoméricos con núcleo de plomo (LRB) y los sistemas de triple péndulo friccional (TPF) pueden reducir las aceleraciones transmitidas hasta en un 50%, según estudios de implementación en hospitales de Japón y Estados Unidos (NCN Nuevo Control, n.d.).

Los hospitales en zonas sísmicas deben diseñarse para mantener la funcionalidad operativa inmediatamente después de un sismo, dado su papel crítico en la respuesta a desastres. Estrategias sismorresistentes incluyen el uso de sistemas estructurales flexibles, como pórticos y muros reforzados, que absorben mejor las cargas dinámicas.

Los sistemas de aislamiento sísmico son fundamentales para desacoplar la estructura, reduciendo las fuerzas de corte y desplazamientos en los niveles superiores. Además, es común implementar redundancias en sistemas estructurales y no estructurales para evitar colapsos locales. Normas internacionales como FEMA (2018) enfatizan la importancia de limitar las derivas inter piso y proteger componentes no estructurales esenciales, como sistemas de tuberías y energía eléctrica (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

2.2.1.3. ***Comportamiento de estructuras hospitalarias bajo cargas extremas***

El comportamiento de hospitales durante un terremoto se analiza mediante indicadores como períodos de vibración, deformaciones y aceleraciones máximas. Un diseño eficiente busca minimizar el impacto de cargas extremas manteniendo los niveles de deformación dentro de rangos seguros.

Dicha implementación permite que los hospitales se comporten como estructuras de un solo grado de libertad, reduciendo la amplificación de las fuerzas sísmicas y asegurando la operatividad estructural y funcional. En Japón, estudios han demostrado que hospitales con sistemas de aislamiento en la base registraron hasta un 70% menos de fuerzas sísmicas en la superestructura en comparación con aquellos sin aislamiento (Organización Panamericana de la Salud, 2000).

2.2.2 Terremotos

Para comprender los principios operativos de los sistemas de aislamiento sísmico, es beneficioso considerar los mecanismos subyacentes a los fenómenos sísmicos. Un terremoto se caracteriza por el desplazamiento brusco de la corteza terrestre, que se debe a la liberación repentina de la energía acumulada durante un período prolongado. La litosfera terrestre está formada por varias placas tectónicas, cada una de aproximadamente 70 kilómetros de espesor, que presentan distintos atributos físicos y químicos. Están en continuo movimiento, un fenómeno que se desarrolla a lo largo de los años y que ha desempeñado un papel decisivo en la configuración de los continentes y las características topográficas actuales, un proceso que sigue en curso. (Mendoza & Sanchez, 2020).

Un terremoto se produce cuando las tensiones y deformaciones acumuladas alcanzan una magnitud que conduce a una ruptura repentina a lo largo de una línea de falla. La liberación posterior de la energía acumulada durante un sismo genera desplazamientos en las zonas de contacto, lo que da lugar a un reajuste entre las placas tectónicas. En consecuencia, los terremotos pueden entenderse como las manifestaciones de fracturas dentro de la corteza terrestre provocadas por la ruptura de fallas geológicas, la fricción a lo largo de los límites de las placas tectónicas o la actividad volcánica. Además, algunos eventos sísmicos pueden ser provocados por actividades antropogénicas, incluidas las detonaciones nucleares o el

establecimiento de importantes reservas de agua. Cabe destacar que tan solo el 10% de los terremotos se producen más allá de los límites de las placas tectónicas (Mendoza & Sanchez, 2020).

2.2.2.1. ***Hipocentro***

Es el punto de liberación de energía en un terremoto se encuentra en el interior de la Tierra. Si esta liberación ocurre en la corteza (hasta 70 km de profundidad), se clasifica como sismo superficial; si sucede entre 70 y 300 km, se denomina sismo intermedio, y si se produce a mayor profundidad, se considera sismo profundo, teniendo en cuenta que el centro de la Tierra se halla a aproximadamente 6.370 km (Tarbuck & Lutgens, 2005)

2.2.2.2. ***Epicentro***

Es el punto de la superficie de la Tierra directamente sobre el hipocentro, desde luego donde la intensidad del terremoto es mayor (Fig.1) (Tarbuck & Lutgens, 2005).

Figura 1.

Hipocentro y epicentro



Nota: Propagación de los frentes de onda sísmica. Fuente: (Tarbuck & Lutgens, 2005)

2.2.3 Tipos de sismos según la respuesta sísmica

2.2.3.1. Sismos tipo subducción

Durante la subducción, la placa descendente se introduce en el manto terrestre, lo que puede generar tensiones significativas que, eventualmente, se liberan en forma de un terremoto. Estos sismos son característicos de las zonas de convergencia de placas, donde una placa litosférica se mueve hacia la otra y se produce una colisión o subducción.

Presente en el borde occidental de Perú y es originado por la convergencia de las placas de Nazca (oceánica) y Sudamericana (continental) (Instituto Geofísico del Perú [IGP], 2014).

2.2.4 Dinámica Estructural

Este subcampo de la mecánica se encarga de analizar la respuesta de los sistemas estructurales frente a cargas externas, en particular aquellas cuya magnitud o dirección varía con el tiempo. Para su estudio, dichas acciones deben definirse de manera clara y precisa. (Villarreal, 2006).

2.2.4.1. Masa y Peso

Si bien los conceptos de masa y peso guardan relación entre sí, presentan diferencias fundamentales. La masa cuantifica la cantidad de materia de un cuerpo, en tanto que el peso representa la fuerza gravitacional ejercida sobre esa masa. Por esta razón, la masa se mantiene constante con independencia de la ubicación, mientras que el peso varía según la aceleración de la gravedad existente en el lugar (García, 1998).

Un caso representativo de ello es que una persona puede conservar la misma masa tanto en la Tierra como en la Luna, aunque su peso varía debido a la diferencia en la intensidad del campo gravitatorio. En consecuencia, el peso puede entenderse como el

producto de la masa por la aceleración de la gravedad. Aplicado a los sistemas estructurales, la masa constituye una propiedad propia del sistema, susceptible de modificarse cuando se agregan o eliminan componentes.

No obstante, aun cuando la masa es independiente del campo gravitatorio, en la práctica el peso ha sido tradicionalmente la magnitud más sencilla de determinar. De este modo, la atracción ejercida por la Tierra sobre un cuerpo puede cuantificarse mediante el peso del sistema estructural que lo contiene (García, 1998).

$$W = M \times g \quad (1)$$

Donde: M: masa (kg)

g: aceleración de la gravedad (m/s²)

2.2.4.2. ***Rigidez***

Se define como la relación entre las fuerzas externas aplicadas y la deformación que estas generan en un cuerpo; por ello, sus unidades se expresan como fuerza por unidad de longitud (Follana & Cusipaucar, 2023).

$$K = \frac{F}{u} \quad (2)$$

Donde: F = fuerza excitadora (kN)

u = desplazamiento (cm)

2.2.4.3. ***Amortiguamiento***

Se define como la fuerza que contrarresta el movimiento de un cuerpo, generando una disminución gradual de este a lo largo del tiempo por efecto de la pérdida de energía mecánica, la misma que se disipa y se convierte en otras manifestaciones energéticas, como

calor o ruido. En términos dimensionales, sus unidades se representan como fuerza dividida entre velocidad (García, 1998).

$$C = \frac{f_D}{u} \quad (3)$$

Donde: f_D = fuerza de amortiguamiento (kN)

u = velocidad a través del amortiguador viscoso lineal (m/s)

2.2.4.4. ***Periodo y frecuencia***

Cuando un sistema oscila libremente, el tiempo necesario para desarrollar un ciclo completo recibe el nombre de periodo natural de vibración. En cambio, la frecuencia representa la repetición de un evento periódico por unidad de tiempo y se expresa comúnmente en hercios o ciclos por segundo. Esta magnitud resulta útil para describir una amplia variedad de fenómenos, tanto en sistemas biológicos como en procesos físicos, entre ellos las ondas electromagnéticas (Chopra, 2014).

2.2.4.5. ***Ductilidad***

La ductilidad estructural se entiende como la capacidad de un sistema para desarrollar deformaciones superiores a su límite elástico sin perder su estabilidad resistente. De manera convencional, se cuantifica mediante el cociente entre el desplazamiento máximo del sistema y el desplazamiento asociado al inicio de la fluencia. Al tratarse de una relación entre magnitudes equivalentes, esta propiedad no posee unidades y, por tanto, es adimensional (García, 1998).

$$U = \frac{u_{Dmax}}{u_y} \quad (4)$$

Donde: U_{Dmax} = desplazamiento máximo alcanzado por la estructura (cm)

u_y = desplazamiento de fluencia o desplazamiento (cm)

2.2.4.6. Ecuaciones de Movimiento

2.2.4.6.1. Grado de Libertad

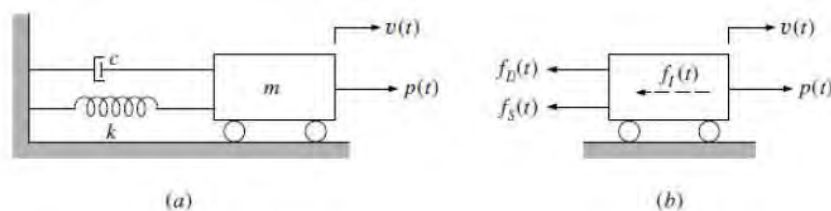
El número de grados de libertad de un sistema estructural corresponde a la cantidad de vectores linealmente independientes necesarios para describir de manera completa su configuración y movimiento en el espacio y en el tiempo (Follana & Cusipaucar, 2023).

2.2.4.6.2. Equilibrio dinámico

En un sistema estructural de un grado de libertad (Fig. 2), el equilibrio dinámico corresponde al estado en el que, en cada instante de la respuesta, la fuerza externa aplicada es equilibrada por la suma de la fuerza de inercia, la fuerza de amortiguamiento y la fuerza elástica restitutiva. Este principio permite formular la ecuación de movimiento y describir la respuesta dinámica del sistema frente a acciones variables en el tiempo (Chopra, 2014).

Figura 2.

Sistema de 1 Grado de Libertad



Nota: Masa – resorte sometido a fuerzas externas. Fuente: (Clough, 1995)

Aplicando el principio de D'Alembert, la ecuación se establece a partir del equilibrio entre las fuerzas que actúan sobre la masa. En la dirección correspondiente al grado de libertad del desplazamiento intervienen la carga externa $p(t)$, y las fuerzas resistentes originadas por el movimiento, entre ellas la fuerza de inercia $f_I(t)$, la fuerza de amortiguamiento $f_D(t)$ y la fuerza del resorte $f_S(t)$. De este modo, la ecuación de movimiento queda definida a partir del equilibrio de estas acciones, de la forma siguiente:

$$fI(t) + fD(t) + fS(t) = p(t) \quad (5)$$

Las fuerzas ubicadas en el lado izquierdo de la ecuación dependen del desplazamiento $v(t)$ o de alguna de sus derivadas respecto al tiempo. Asimismo, su signo positivo se adopta de manera intencional para que actúen en sentido opuesto a un desplazamiento positivo y, por tanto, contrarresten una carga aplicada positiva (Chopra, 2014).

Bajo el principio de D'Alembert, y considerando la presencia de amortiguamiento viscoso, la fuerza de inercia queda definida por la masa multiplicada por la aceleración; la fuerza de amortiguamiento, por el coeficiente de amortiguamiento c multiplicado por la velocidad; y la fuerza elástica, por la rigidez del resorte multiplicada por el desplazamiento

$$fI(t) = mv(t) \quad (6)$$

$$fD(t) = cv(t) \quad (7)$$

$$fS(t) = kv(t) \quad (8)$$

a continuación, se muestra la ecuación de movimiento para un sistema con un grado de libertad:

$$mv(t) + cv(t) + kv(t) = p(t) \quad (9)$$

2.2.4.6.3. *Vibración Libre*

a) Para un grado de libertad

La vibración libre de un sistema estructural tiene lugar una vez que cesan las acciones externas que provocaron el movimiento, dando inicio a las oscilaciones naturales propias del

sistema. En función de las ecuaciones de movimiento antes presentadas, se tiene la siguiente expresión:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = 0 \quad (10)$$

En el análisis de la vibración libre, habitualmente se prescinde del término de amortiguamiento, ya que por lo general su influencia es pequeña, dando lugar a la siguiente ecuación diferencial:

$$M\ddot{x} + Kx = 0 \quad (11)$$

$$\ddot{x} + \omega^2 x = 0 \quad (12)$$

2.2.4.7. *Vibración Libre amortiguado*

a) Vibración Libre en varios grados de libertad

Cuando varios osciladores mecánicos se encuentran vinculados entre sí mediante elementos con rigidez, el sistema resultante constituye una extensión del modelo de un grado de libertad y pasa a representarse como un sistema de múltiples grados de libertad (Chopra, 2014). A continuación, este tipo de sistema se expresa mediante un conjunto de ecuaciones diferenciales.

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = -Ja_g \quad (13)$$

Donde;

M: Es la matriz de masas del sistema

C: Es la matriz de coeficiente de amortiguamiento

K: Es la matriz de rigidez del sistema.

ag: Es el vector de aceleraciones del terreno.

J: Es la matriz de correspondencia

El comportamiento dinámico del sistema puede analizarse y estimarse a partir del sistema de ecuaciones diferenciales que lo representa, considerando como excitación el conjunto de aceleraciones del terreno expresado mediante su vector asociado. En caso de estudiar un sistema sin fuerzas externas, la expresión se simplifica al conjunto de ecuaciones diferenciales que rige el movimiento libre

b) Sistemas sin Amortiguamiento

Es posible realizar una simplificación adicional del sistema al asumir que, durante la vibración libre y en periodos cortos de tiempo, la influencia del amortiguamiento resulta despreciable, lo que conduce al sistema de ecuaciones de vibración libre.

c) Frecuencias y modos de vibración naturales

Para abordar el problema vinculado a los valores y vectores propios, es necesario resolver inicialmente el sistema de ecuaciones diferenciales de primer orden que gobierna la vibración libre, según se muestra seguidamente.

$$M\ddot{x} + Kx = 0$$

$$x = A \sin(\omega t + \delta) \quad (14)$$

Se tiene:

$$MA\omega^2 \sin(\omega t + \delta) + KA \sin(\omega t + \delta) = 0 \quad (15)$$

$$(M\omega^2 + K)A = 0 \quad (16)$$

A partir de la solución de este sistema se obtienen los autovalores y los vectores propios del sistema, que describen los distintos modos de vibración que puede presentar la estructura en estudio.

d) Matriz Modal

El ordenamiento espacial de los vectores modales da lugar a la matriz de modos del sistema, también denominada matriz modal, la cual se representa de la forma siguiente:

$$\begin{pmatrix} F_{11} & F_{12} & \cdots & F_{1n} \\ F_{21} & F_{22} & \cdots & F_{2n} \\ \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ F_{n1} & F_{n2} & \cdots & F_{nn} \end{pmatrix} \quad (17)$$

e) Ortogonalidad en los modos

La propiedad de ortogonalidad de las formas modales establece que el producto entre dos modos resulta nulo cuando corresponden a índices diferentes; expresado de otro modo:

$$F_i \times T M \times F_j = 1 \quad (18)$$

$$F_i \times T M \times F_j = 0 \quad (19)$$

f) Interpretación de la ortogonalidad modal

La propiedad de ortogonalidad de los modos de vibración se entiende en función de la independencia lineal existente entre las formas modales; por ello, este sistema de vectores puede utilizarse como base para realizar la transformación y el desacoplamiento del sistema de ecuaciones diferenciales

g) Sistemas con amortiguamiento

Para sistemas más generales, en los cuales está presente el amortiguamiento estructural, este debe ser considerado en la estimación de la respuesta dinámica. La resolución de tales sistemas puede realizarse a través de la matriz exponencial; no obstante, los desarrollos asociados no se incluyen en este trabajo, debido a que exceden el alcance de la investigación.

2.2.4.8. *Vibración forzada*

a) Vibración forzada amortiguada

A continuación, se presenta el sistema de ecuaciones diferenciales que rige la vibración forzada de un sistema estructural, cuyos términos ya fueron establecidos con anterioridad (Chopra, 2014).

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f(t) \quad (20)$$

Para un grado de libertad

En un sistema oscilatorio con un solo grado de libertad, la respuesta queda descrita por una ecuación diferencial de segundo orden, tal como se presenta seguidamente:

$$M\ddot{x} + C\dot{x} + Kx = f \quad (21)$$

Para varios grados de libertad

Considerando que las ecuaciones de movimiento correspondientes a un sistema de un grado de libertad ya fueron presentadas previamente, no se reproducen en este apartado. Sin embargo, en el análisis de sistemas con múltiples grados de libertad es fundamental considerar el amortiguamiento, puesto que este no puede ser expresado de forma directa solo en función de la geometría o de las características dinámicas del sistema estructural.

2.2.5 *Sistemas de protección sísmica*

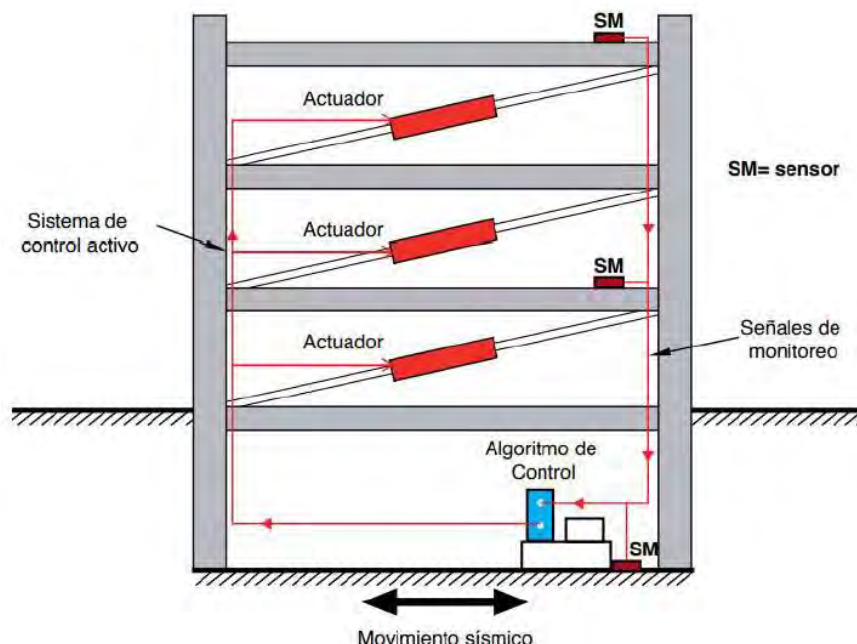
Los mecanismos contemporáneos de protección sísmica empleados para los edificios varían desde configuraciones relativamente sencillas hasta sistemas sofisticados y totalmente automatizados. Se clasifican en tres tipos distintos: sistemas activos, sistemas pasivos y sistemas híbridos que incorporan elementos de ambos; este documento hace hincapié en la protección de sismos de forma pasiva.

2.2.5.1. *Sistemas activos*

Estos sistemas constituyen mecanismos complejos integrados por dispositivos de detección de movimiento, unidades de regulación y procesamiento de datos, así como actuadores dinámicos (Fig. 3). Su funcionamiento permite supervisar en tiempo real la respuesta sísmica de la estructura, reconocer el movimiento desarrollado por la edificación y generar fuerzas de control orientadas a atenuar los efectos de la excitación sísmica. Para ello, se apoyan en la medición de las perturbaciones externas y de la respuesta estructural a través de sensores, principalmente acelerómetros, dispuestos en puntos estratégicos. Posteriormente, un algoritmo de control interpreta de manera instantánea la información obtenida y calcula las fuerzas que los actuadores deben aplicar con el fin de estabilizar la estructura. Por lo general, estas fuerzas se administran a través de actuadores que interactúan con las masas, los componentes de refuerzo. Sumado a sus significativas implicancias financieras, estos sistemas dependen de un suministro externo y continuo de energía para garantizar un funcionamiento eficiente durante la ocurrencia de sismos. Sin embargo, estos sistemas representan la opción óptima para proteger las estructuras, ya que permiten ajustar en tiempo real las respuestas de los dispositivos, mejorando así el rendimiento estructural durante un terremoto. Los sistemas de protección sísmica activa se desarrollaron principalmente en los Estados Unidos y Japón, y su implementación se ha observado principalmente en Japón, donde las limitaciones del espacio urbano en las principales ciudades han obligado a construir edificios altos (Corporación de Desarrollo Tecnológico [CDT], 2011)

Figura 3.

Estructura con sistemas de control activo.



Nota: Sensores monitoreando la respuesta sísmica. Fuente: (CDT, 2011)

2.2.5.2. **Sistemas pasivos**

Entre los mecanismos de protección sísmica empleados actualmente, los sistemas pasivos constituyen la alternativa de mayor difusión. Esta categoría comprende los sistemas de aislamiento sísmico de base y los dispositivos disipadores de energía. Su aporte radica en disminuir la respuesta dinámica estructural mediante elementos mecánicos diseñados para disipar energía, principalmente en forma de calor. Su amplia implementación, en comparación con los sistemas activos y semiactivos, ha permitido que se posicionen como una solución de uso predominante (CDT, 2011).

2.2.6 **Principio de aislamiento en la base**

El aislamiento sísmico constituye una de las alternativas de mayor proyección en el Perú para el control estructural de edificaciones futuras, en comparación con los enfoques tradicionales de diseño. En vista de la aceptación que viene alcanzando entre los proyectistas,

resulta indispensable precisar los conceptos vinculados al empleo de estos sistemas avanzados de ingeniería sísmica; en ese sentido, el primer término que corresponde desarrollar es el de aislamiento sísmico (MVCS, 2019). En la actualidad, la tecnología de aislamiento se implementa ampliamente en las estructuras de ingeniería civil y su eficacia, si bien es encomiable, se ha validado a través de escenarios prácticos y experimentales. En esencia, el aislamiento sísmico se refiere a la separación de una estructura del suelo que la sustenta, a través de la colocación de un mecanismo entre los cimientos. Este dispositivo se caracteriza por una gran flexibilidad en el plano horizontal, pero presenta una rigidez considerable en la dirección vertical (Naeim & Kelly, 1999).

2.2.6.1. *Disipación de energía*

Por su diseño, los sistemas estructurales tradicionales poseen capacidades limitadas para la disipación de la energía sísmica. Esta disipación de energía se debe a los desplazamientos estructurales inducidos por las deformaciones elásticas características de los materiales utilizados o, en última instancia, por la degradación de la estructura a lo largo del tiempo. Por el contrario, el aislamiento sísmico sirve como mecanismo auxiliar para la disipación de energía (CDT, 2011).

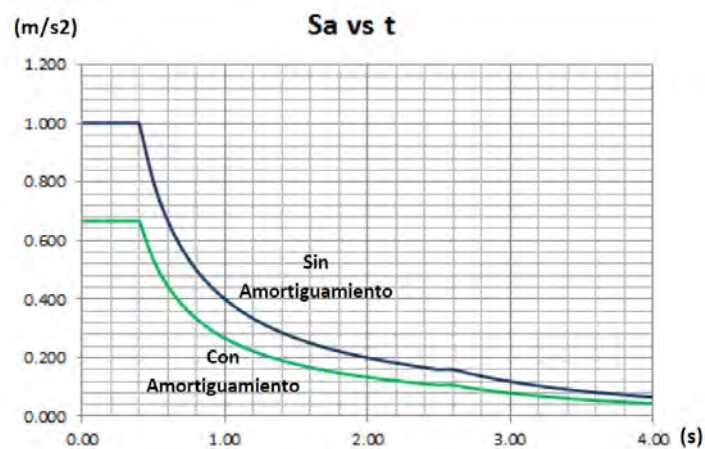
Los aisladores están diseñados para sufrir deformaciones laterales en respuesta a los movimientos oscilatorios generados por los eventos sísmicos. Las pruebas empíricas realizadas en el laboratorio evidencian que, en este contexto, estos aparatos ingresan al dominio inelástico y disipan de manera eficiente cantidades significativas de energía mediante múltiples ciclos de histéresis. Este procedimiento permite una disminución notable de la energía que se transmite, lo que se traduce en una mayor atenuación del movimiento (Naeim & Kelly, 1999).

La amortiguación efectiva ocupa un papel relevante en la ingeniería estructural debido a que cuantifica, en términos relativos, cómo la energía disipada se asocia con el desplazamiento del sistema. Su expresión se realiza como un porcentaje de la amortiguación crítica y, en la práctica del diseño sísmico, su valor se incorpora mediante un coeficiente de reducción aplicado al espectro de aceleraciones.

La Fig.4 es un gráfico que da la relación entre la aceleración espectral (S_a) y el período (T), que representa el mencionado efecto para un cierto valor de amortiguamiento.

Figura 4.

Aceleración espectral (s_a) vs periodo (t) con y sin amortiguamiento

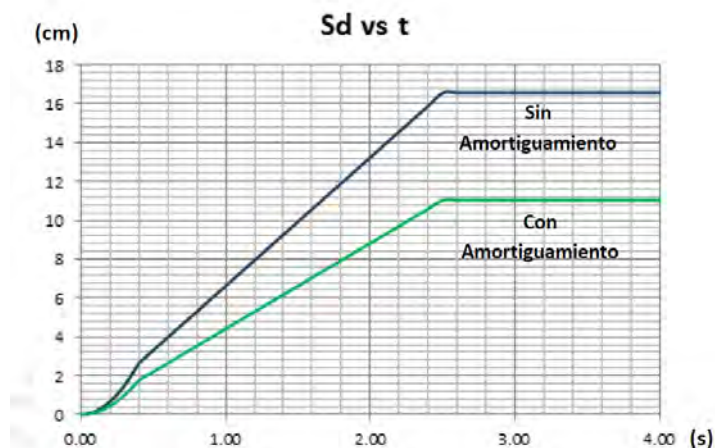


Nota: Comparación entre espectros de aceleración. Fuente: (Leyton, 2017)

El efecto de amortiguamiento representa una reducción importante del desplazamiento obtenido por los espectros de las normas de diseño, el cual es más importante en estructuras flexibles, tal como lo demuestra la Fig.5 (Leyton, 2017).

Figura 5.

Desplazamiento espectral (S_d) vs periodo (t) con y sin amortiguamiento



Nota: Comparación entre espectros de desplazamiento Fuente: (Leyton, 2017)

2.2.7 Ley de histéresis

Describe como los dispositivos disipan energía sísmica o se comportan a través de ciclos de carga y descarga formando ciclos de histéresis, básicamente traza el camino de la fuerza versus el desplazamiento cuando el sistema se mueve de un lado a otro repetidamente. Este comportamiento permite que los aisladores, al deformarse plásticamente o por fricción reduzcan las aceleraciones en la estructura (Naeim & Kelly, 1999).

Existen diversas formulaciones de leyes histeréticas, las cuales pueden agruparse según el mecanismo físico de disipación de energía. En la presente investigación se emplean modelos bilineales para aisladores LRB y modelos friccional–pendulares para aisladores de triple péndulo, por ser los que representan de forma más adecuada el comportamiento real de dichos dispositivos (Constantinou et al., 2011).

2.2.7.1. *Tipos de leyes histeréticas*

Histéresis Bilineal: Es un modelo no lineal que representa el comportamiento cíclico del sistema mediante dos rigideces diferenciadas: una rigidez inicial elástica y una rigidez post-fluencia. Este modelo permite describir adecuadamente la disipación de energía a través de bucles histeréticos estables y simétricos, siendo ampliamente utilizado en la modelación de aisladores LRB (Naeim & Kelly, 1999).

Histéresis Cinemática: Corresponde a un modelo no lineal en el cual la superficie de fluencia se desplaza conforme avanza la deformación plástica, permitiendo la reducción de resistencia en ciclos de carga reversibles.

Modelo Takeda: Es una formulación no lineal que describe el comportamiento cíclico de elementos de concreto armado, incorporando reglas de descarga y recarga dependientes de la máxima deformación previa, lo que permite representar la degradación progresiva de rigidez y resistencia asociada al daño acumulativo del material (Takeda et al., 1971).

Modelo Bouc–Wen: Es una formulación que describe el comportamiento no lineal bajo cargas cíclicas mediante una variable interna que evoluciona con el desplazamiento. Su flexibilidad paramétrica permite reproducir una amplia variedad de bucles histeréticos, por lo que es ampliamente utilizado en investigación para modelar sistemas de disipación de energía y aislamiento sísmico (Wen & Baber, 1976).

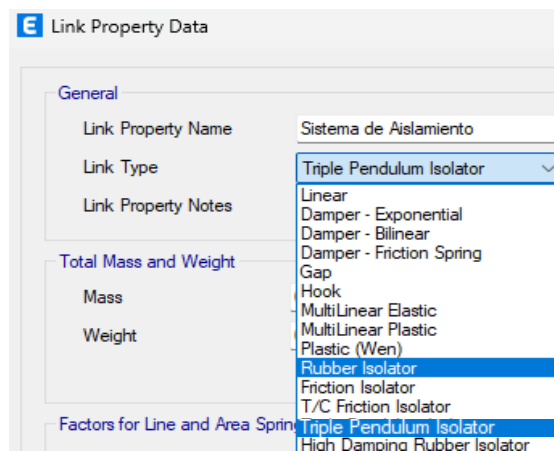
Histéresis tipo friccional-pendular: La disipación de energía se produce por deslizamiento controlado en las superficies de fricción, mientras que la fuerza restauradora es proporcionada por la geometría cóncava del sistema. Este modelo genera bucles histeréticos estables, con elevada capacidad de volver a su punto central, siendo adecuado para el análisis de estructuras sometidas a sismos severos y de larga duración (Constantinou et al., 2011).

2.2.7.1.1. *Leyes histeréticas usados en el software ETABS.*

De acuerdo a lo ofrecido en el software se usarán dos “links” de forma particular el “rubber isolator” para el modelado de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo y el de “triple pendulum isolator”, tal como se muestra en la Fig.6

Figura 6.

Definición de las propiedades de enlace en el software ETABS



Rubber Isolator: Traducido al castellano como aislador de goma, este tipo de “link” demuestra un comportamiento bilineal que es lo que representa el núcleo de plomo: rigidez inicial, fuerza de fluencia y rigidez post fluencia.

En esta opción de link, el software idealiza la dirección vertical U1 como un resorte lineal de muy alta rigidez axial, lo que implica deformaciones verticales casi nulas y la transmisión esencial de la carga gravitacional, con escasa participación del caucho frente a compresión. En contraste, la respuesta lateral en las direcciones U2 y U3 se modela a partir de la rigidez inicial, la fuerza de fluencia y la rigidez postfluencia. Esta formulación permite obtener un ciclo fuerza-desplazamiento que representa adecuadamente el mecanismo de disipación de energía propio de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo.

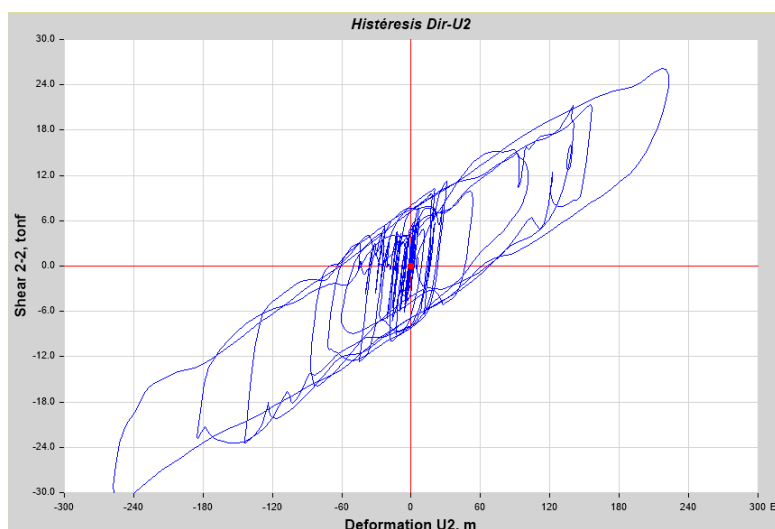
Triple Pendulum Isolator: En esta opción el software no usa un resorte ni una ley bilineal, ya que el modelo es netamente friccional más restauración geométrica por péndulo. El programa calcula la rigidez desde la geometría planteada, usa la fricción calculada activa múltiples etapas automáticamente y finalmente genera histéresis.

2.2.7.1.2. *Curva Histerética*

La respuesta de un aislador sísmico sometido a ciclos de carga y descarga puede describirse mediante una curva fuerza-desplazamiento, conocida como curva histerética (Fig. 7 y Fig. 8). Su carácter histerético radica en que la trayectoria de carga difiere de la trayectoria de descarga. La principal relevancia de esta representación gráfica reside en el área delimitada por el lazo, debido a que esta expresa la energía disipada durante cada ciclo de sollicitación. Dicha disipación corresponde a la energía sísmica que el dispositivo absorbe y transforma en calor y deformaciones internas, contribuyendo a reducir la demanda que finalmente alcanza a la superestructura. (Naeim & Kelly, 1999).

Figura 7.

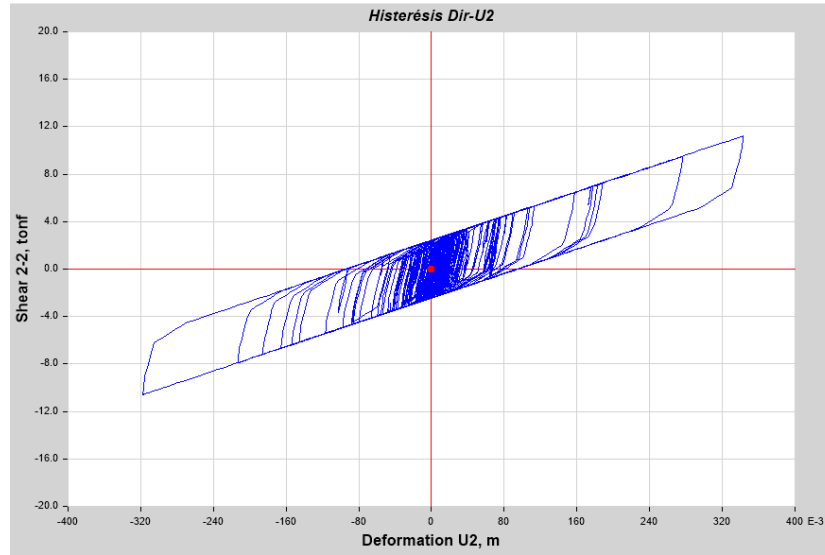
Diagrama de histéresis de un aislador LRB



Nota: Curva de histéresis fuerza – deformación de un LRB.. Fuente: (Korafi, 2019)

Figura 8.

Diagrama de histéresis de un aislador TPF



Nota: Curva de histéresis fuerza – deformación de un TPF. Fuente: (Korafî, 2019)

2.2.8 Análisis modal

El análisis modal constituye un procedimiento numérico fundamentado en la representación del sistema estructural mediante coordenadas modales. Esta metodología permite transformar y desacoplar las ecuaciones diferenciales que describen el movimiento dinámico de la estructura (Chopra, 2014).

$$x = \sum_{i=1}^n \xi_i \theta_i$$

En este contexto, la respuesta sísmica puede expresarse como una superposición lineal de los distintos modos de vibración. Asimismo, mediante el uso de las propiedades de orto-normalidad de las formas modales, es posible lograr el desacoplamiento de las ecuaciones de movimiento, facilitando así su resolución (Chopra, 2014).

$$\begin{aligned} \theta_i^T M \theta_i &= m_i \\ \theta_i^T K \theta_i &= k_i \\ \theta_i^T C \theta_i &= c_i \end{aligned}$$

2.2.8.1. *Análisis dinámico modal espectral*

El análisis dinámico modal espectral se basa en la separación de la respuesta estructural en modos de vibración desacoplados, lo que permite tratar cada una de las ecuaciones diferenciales de forma independiente en relación con los espectros de aceleración sísmica. Este procedimiento tiene por objeto determinar las respuestas máximas de la estructura. Posteriormente, los resultados modales obtenidos se combinan mediante métodos de re-acoplamiento, tales como la suma de valores absolutos (ABS), la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) o la combinación cuadrática completa (CQC) (Chopra, 2014).

2.2.8.1.1. *Espectros de aceleración*

Los espectros de aceleración son funciones que establecen la relación entre las máximas aceleraciones que puede alcanzar un sistema oscilatorio de un solo grado de libertad y un registro de aceleración sísmica determinado. En este sentido, el espectro de aceleración representa una característica propia de dicho registro, ya que describe su capacidad de generar respuesta dinámica en función de las propiedades del sistema (Clough & Penzien, 2003).

2.2.8.1.2. *Espectros de diseño*

El espectro de diseño se construye con base en el análisis de varios espectros de aceleración asociados a una fuente sismogénica específica. En este sentido, se define como una función que expresa la relación entre la acción sísmica y las aceleraciones laterales máximas que se inducen en un oscilador de un solo grado de libertad.

Este tipo de espectro, por sus características, resulta más representativo de un sitio específico que de un sismo en particular. Su definición se encuentra directamente relacionada con un análisis estadístico, para el cual es necesario reunir numerosos espectros de

aceleración obtenidos durante un periodo prolongado de observación. Con base en esta información se construye un espectro medio, generalmente asociado a una probabilidad del 50 % de excedencia dentro del periodo de exposición. Del mismo modo, al considerar un espectro incrementado en dos desviaciones estándar, se representa una demanda sísmica con una probabilidad cercana al 10 % de ser excedida en dicho intervalo, entre otros niveles posibles de evaluación (MVCS, 2018).

En el caso del Perú, la normativa de diseño sísmico establece espectros de aceleración de diseño definidos en función de diversos factores, tales como la zonificación sísmica, el uso de la edificación, las características del suelo y el sistema estructural predominante.

2.2.8.2. *Análisis dinámico tiempo historia*

El análisis tiempo historia permite determinar la evolución temporal de la respuesta de una estructura sometida a una acción sísmica, a partir de la integración paso a paso de las ecuaciones diferenciales que gobiernan su movimiento (Bonilla, 2012).

Dicha integración se realiza comúnmente mediante métodos como el de aceleración constante, aceleración lineal y el método β de Newmark. En la actualidad, se dispone de algoritmos avanzados que permiten efectuar este proceso de manera eficiente, incluso considerando el comportamiento no lineal de la estructura. Un ejemplo de ello es el algoritmo *Faster Nonlinear* implementado en el software ETABS, el cual permite integrar las ecuaciones de movimiento paso a paso, incluyendo la presencia de no linealidades concentradas (Mamani, 2017).

2.2.8.2.1. *Registros de aceleración*

Los registros de aceleración corresponden a conjuntos de datos conformados por pares de valores, los cuales representan el tiempo respecto a una referencia determinada y las

aceleraciones del terreno registradas en dichos instantes. Estas aceleraciones pueden expresarse en diversas unidades, siendo las más utilizadas m/s^2 , cm/s^2 y fracciones de la aceleración de la gravedad (g). Asimismo, una característica relevante de los registros acelerométricos es que generalmente se presentan en tres componentes, las cuales describen el vector de aceleración del movimiento del terreno: componente norte-sur (NS), componente este-oeste (EW) y componente vertical (V) (Clough & Penzien, 2003).

2.2.8.2.2. *Niveles de peligro sísmico*

El peligro sísmico se define a partir de una estimación de las máximas aceleraciones esperadas en un lugar específico. Usualmente, su determinación se desarrolla mediante enfoques probabilísticos basados en conjuntos de registros de aceleraciones máximas generadas en ese emplazamiento. De esta manera, el nivel de peligro sísmico se representa mediante un valor asociado a una probabilidad determinada de excedencia en un periodo de exposición de m años

En el caso del Perú, la normativa vigente de diseño sismorresistente establece valores de aceleración de referencia en función de la zonificación sísmica. Para la zona costera, se considera un valor de $0,45\text{ g}$, el cual corresponde a una probabilidad del 10% de ser excedido en un periodo de 50 años (MVCS, 2018).

2.2.8.2.3. *Escalamiento de registros de aceleración*

Por lo general, los registros de aceleración derivados de eventos sísmicos reales contienen valores máximos de aceleración del terreno, expresados en términos de PGA (peak ground acceleration), que no necesariamente guardan correspondencia con los niveles de aceleración determinados en los estudios de peligro sísmico, encargados de definir la demanda sísmica esperada en un sitio determinado. Ante esta discrepancia, se recurre a un

procedimiento matemático denominado escalamiento de registros de aceleración. Este proceso consiste en modificar el registro sísmico de manera que sus niveles de aceleración sean compatibles con los valores establecidos por el estudio de peligro sísmico. Una forma común de realizarlo es mediante el escalamiento del pga, ajustando proporcionalmente todas las ordenadas del registro, de modo que la aceleración máxima del registro coincida con la aceleración de diseño correspondiente al sitio de estudio (MVCS, 2019).

2.2.9 Aisladores sísmicos

Un aislador sísmico representa un componente estructural crítico diseñado para mitigar la transmisión de fuerzas sísmicas a edificios o infraestructuras. Su tarea primordial consiste en desconectar el movimiento del suelo del movimiento de la estructura, extendiendo de esta manera el intervalo de vibración del edificio y disipando la energía producida por las actividades sísmicas. Este sistema disminuye de manera efectiva las aceleraciones y fuerzas internas en la estructura, lo que favorece la optimización del rendimiento y la reducción de daños estructurales y no estructurales. Los aisladores elastoméricos y los aisladores de péndulo de fricción son algunos de los más relevantes (CDT, 2011).

2.2.10 Aisladores de tipo Elastoméricos

Los aisladores elastoméricos se componen de láminas de caucho dispuestas de manera alternada con placas de acero, adheridas entre sí a través de un proceso de vulcanización, lo que origina un sistema estructural cuya configuración suele ser predominantemente circular (CDT, 2011). Esta configuración confiere al aislante la flexibilidad lateral necesaria para facilitar el movimiento relativo en el plano horizontal entre la estructura aislada y el sustrato; existen:

- a) Aisladores Elastoméricos de bajo amortiguamiento (LDRB): Representan la forma más elemental de aisladores elastoméricos; presentan una amortiguación mínima (normalmente oscila entre el 2 y el 5%), por lo que es necesario aplicarlos junto con aisladores suplementarios que mejoran la amortiguación del sistema (Korswagen et al., 2012). Una ventaja notable de estos dispositivos reside en su facilidad de fabricación. La característica que define a estos dispositivos es la naturaleza sencilla de su metodología de producción (Fig.9)

Figura 9.

Aisladores LDRB



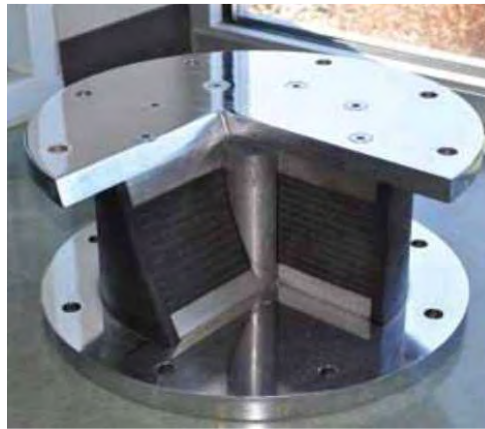
Nota: Aislador LDRB anclado en capitel estructural. Fuente: (CDT, 2011)

- b) Aisladores Elastoméricos con núcleo de plomo (LRB): De núcleo de plomo (LRB) son dispositivos elastoméricos que comparten las mismas propiedades de los LDRB, pero con un núcleo de plomo en el centro. Este elemento tiene el propósito de incrementar el grado de amortiguamiento del sistema, alcanzando un valor de alrededor del 25-30%. Durante un sismo, al momento de la deformación lateral del aislador, el núcleo de plomo experimenta deformaciones plásticas, disipando energía

en forma de calor (Korswagen et al., 2012). Una vez finalizado el movimiento sísmico, el aislador regresa su estructura a la posición inicial (Fig.10).

Figura 10.

Aisladores LRB



Nota: Aislador LRB seccionado. Fuente: (CDT, 2011)

- c) Aisladores Elastoméricos de alto amortiguamiento (HDRB): La configuración de los aisladores HDRB comprende capas de caucho elaboradas con aditivos tales como carbón, aceites y resinas, empleados para aumentar la capacidad de amortiguamiento de la goma hasta rangos del orden de 10 % a 15 %. Estos aisladores se caracterizan por ser más sensibles a los cambios de temperatura y frecuencia que los dispositivos LDRB y LRB. De igual manera, desarrollan una mayor rigidez en los ciclos iniciales de carga, comportamiento que usualmente se estabiliza después del tercer ciclo (Korswagen et al., 2012). De manera similar a los aisladores LRB, los HDRB combinan en un único elemento la flexibilidad estructural y la disipación de energía (Fig.11).

Figura 11.*Aisladores HDRB*

Nota: Aislador HDRB instalado entre un pedestal y la superestructura. Fuente: (CDT, 2011)

2.2.10.1. *Aisladores elastoméricos con núcleo de plomo LRB*

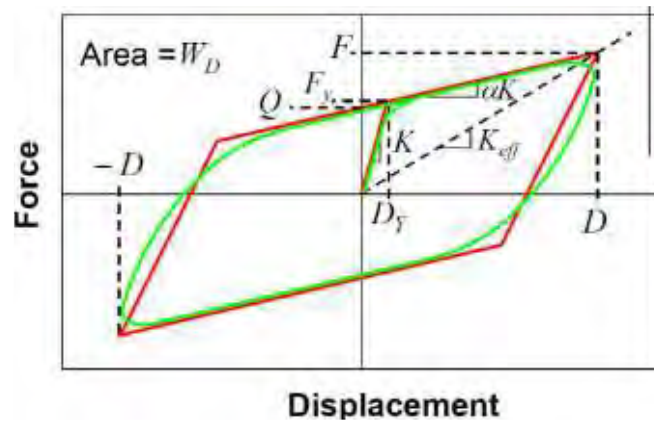
El comportamiento histerético de los aisladores LRB, mostrado en la Fig. 12, se caracteriza por su capacidad de disipar y amortiguar energía a lo largo de los ciclos de trabajo. Esta propiedad contribuye a reducir de manera progresiva los efectos producidos por las variaciones de la carga axial, favoreciendo así la protección del equipamiento durante su funcionamiento. (Korswagen et al., 2012).

Para representar el comportamiento histerético de los aisladores de caucho puede emplearse un modelo bilineal (Fig. 12). Esta formulación matemática idealiza la respuesta del material mediante dos etapas con diferente pendiente, permitiendo describir de manera simplificada su comportamiento frente a la carga aplicada. El modelo resulta útil para predecir la respuesta de los aisladores bajo solicitaciones, al reflejar los cambios de rigidez que experimenta el dispositivo durante los procesos de carga y descarga. En este enfoque, la histéresis se representa a través de curvas fuerza-deformación, las cuales permiten

caracterizar el desempeño mecánico del aislador en distintas condiciones de servicio.(Korswagen et al., 2012).

Figura 12.

Comportamiento cíclico de los aisladores LRB y sus principales características



Nota: Modelo bilineal fuerza – desplazamiento. Fuente: (Symans, 2013)

En la Figura N° 13 se muestra la colocación del sistema de asilamiento de núcleo de plomo para una edificación.

Figura 13.

Aislador elastomérico con núcleo de plomo



Nota: Esquema del funcionamiento de un aislador LRB. Fuente: (Buildings Can Be Designed to Withstand Earthquakes, n.d.)

Las características de la curva de capacidad envolvente (Figura N° 14) de un aislador elastomérico, específicamente del tipo LRB, según (Naeim & Kelly, 1999) indican los siguientes parámetros:

- La rigidez elástica k_i o k_1 es la pendiente inicial antes de la fluencia, incluye el efecto combinado del caucho y la contribución del núcleo de plomo antes de rendir, determina cual rígido se ve el aislador al inicio, el valor de este parámetro está condicionado por las dimensiones del núcleo de plomo y resulta relevante para controlar la respuesta estructural ante cargas operativas, tales como las producidas por el viento.
- La rigidez post fluencia k_d o k_2 es la pendiente de la curva fuerza - desplazamiento después de que fluye el núcleo de plomo, este tramo está dominado principalmente por la rigidez a corte del caucho y es la rigidez que controla la restitución cuando ya está en grandes desplazamientos.
- La fuerza característica o fuerza de histéresis Q_d es la fuerza casi constante asociada a la fluencia del plomo, representa la porción de resistencia que aporta el núcleo por comportamiento plástico y es la principal fuente de disipación de energía. Indica el punto en el que el bucle de histéresis intersepta el eje de fuerza; este parámetro indica la respuesta a la amortiguación y aislador a las cargas operativas
- Fuerza de fluencia F_y es el punto en el modelo donde la rigidez inicial k_i cambia a la rigidez post fluencia k_d .
- Rigidez efectiva, K_{eff} se define como la pendiente secante que interconecta los valores máximos del bucle histeréticos, que disminuye progresivamente a

medida que aumenta el desplazamiento. Esta es la fuerza del aislador dividida por el desplazamiento.

- Energía disipada por ciclo EDC, es el área del lazo histerético en un ciclo completo a amplitud D_M , representa cuanta energía sísmica disipa el aislador por histéresis del plomo.
- Desplazamiento último, corresponde al máximo desplazamiento lateral que el dispositivo puede experimentar en corte manteniendo su estabilidad mecánica y capacidad portante vertical, sin presentar inestabilidad por pandeo, falla del caucho, desprendimiento de placas de acero ni degradación excesiva de sus propiedades histeréticas.

Figura 14.

Lazo de histéresis



Nota: Lazo histerético de fuerza – desplazamiento. Fuente: (Dynamic Isolation Systems, 2007)

De acuerdo a (Naeim & Kelly, 1999)

La rigidez post fluencia K_d o K_2

$$K_d = A_g \times \frac{G}{T_r} \quad (22)$$

La rigidez elástica o inicial K_1 es:

$$K_1 = 10 \times K_d \quad (23)$$

La fuerza característica Q_d o Q es:

$$Q_d = A_p \times \tau_{py} \quad (24)$$

La fuerza de fluencia es:

$$F_y = \frac{Q_d \times K_1}{K_1 - K_d} \quad (25)$$

El desplazamiento fluencia es:

$$D_y = \frac{F_y}{K_1} \quad (26)$$

La rigidez efectiva es:

$$K_{eff} = \frac{Q_d + K_d \times D_M}{2 \times \pi^2 \times D_M^2} \quad (27)$$

La energía disipada por ciclo es:

$$EDC = 4 \times Q_d \times (D_M - D_y) \quad (28)$$

El coeficiente de amortiguamiento horizontal es:

$$C_h = \frac{EDC \times T_M}{2 \times \pi^2 \times D_M^2} \quad (29)$$

Para entender de mejor forma el diseño de los aisladores LRB se presentó un flujograma del desarrollo de la misma (Fig.23).

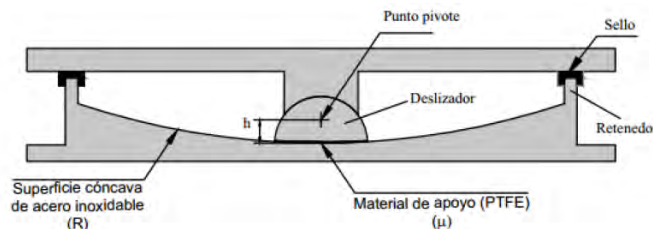
2.2.11 Aisladores de tipo péndulo de fricción

Están diseñados para mitigar y disipar las deformaciones generadas por la actividad sísmica. Funcionan mediante un deslizador que atraviesa una superficie cóncava y convierte el movimiento sísmico en un movimiento oscilatorio similar al de un péndulo. Este mecanismo no solo disminuye las aceleraciones transmitidas a la estructura, sino que también facilita su retorno a la posición de equilibrio tras la conclusión del evento sísmico; existen:

- a) Aisladores de simple péndulo de fricción (SFP): Se compone de un deslizador articulado que se sitúa en una superficie cóncava de acero inoxidable en su base (Fig.15). En esta, el deslizador lleva un recubrimiento de material PTFE (teflón) de bajo coeficiente de fricción, y está bordeada por un anillo de retención. El sellado envuelve los componentes internos del aislante, protegiéndolos así de la contaminación y la degradación debidas a factores ambientales. Los parámetros de interés incluyen: la fricción presente en la corredera y el radio de curvatura, donde uno facilita la disipación de energía y el otro prolonga el período de vibración, respectivamente (CDT, 2011).

Figura 15.

Aisladores SFP



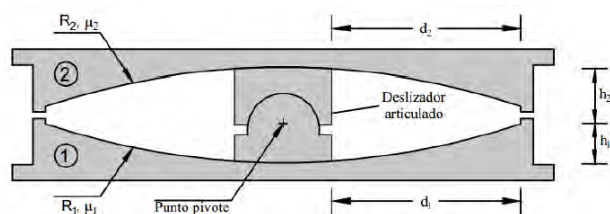
Nota: Componentes del aislador de péndulo friccional simple. Fuente: (Aguiar, 2015)

- b) Aisladores de doble péndulo de fricción (DFP): Constituye un deslizador articulado que se apoya en dos superficies cóncavas de acero inoxidable en su base (Fig.16). La

diferencia con el aislante SPF está relacionada principalmente con el desplazamiento; debido a sus superficies duales, mejora el diseño para adaptarse a las demandas sísmicas durante sus dos fases de movimiento. Entre los parámetros clave que hay que tener en cuenta se encuentran: la fuerza de fricción en la corredera, los radios de curvatura, la capacidad de movimiento y las distancias verticales (*Constantinou et al., 2011*).

Figura 16.

Aisladores DFP

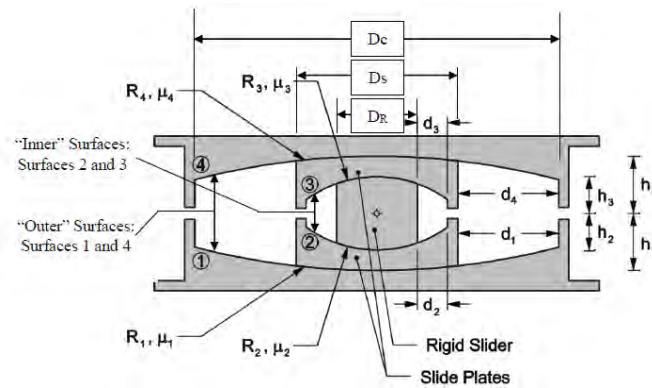


Nota: Componentes del aislador de doble péndulo de fricción. Fuente: (Constantinou et al., 2011)

- c) Aisladores de triple péndulo de fricción (TPF): El aislador de triple péndulo de fricción (TFP, Triple Friction Pendulum), representado en la Fig. 17, constituye la versión más desarrollada de los aisladores de tipo friccional. Su configuración incluye un deslizador rígido y cuatro placas con superficies cóncavas de acero inoxidable, de las cuales dos son internas y dos externas. Entre los parámetros fundamentales para su evaluación se encuentran la fricción en el deslizador, los radios de curvatura, la capacidad de desplazamiento y las alturas medidas desde el punto pivote hasta las superficies de contacto presentes en el dispositivo. (*Constantinou et al., 2011*).

Figura 17.

Aisladores TPF



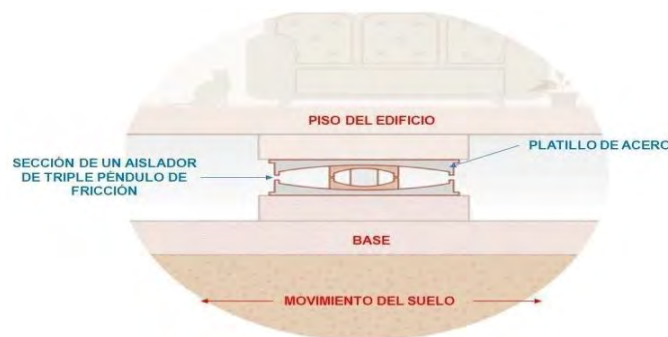
Nota: Componentes del aislador de triple péndulo de fricción. Fuente: (Fenz & Constantinou, 2008)

2.2.11.1. Aislador de triple péndulo de fricción (TPF)

El aislador de triple péndulo por fricción (Figura N° 18) funciona mediante la activación secuencial de tres mecanismos de péndulo en función de la magnitud de los eventos sísmicos. A medida que aumenta la intensidad de la actividad sísmica, también aumentan los desplazamientos del aislador, lo que mejora tanto la longitud efectiva del péndulo como las características de amortiguamiento efectivas. Este mecanismo sirve para disminuir las fuerzas sísmicas y los desplazamientos relativos observados entre los diferentes pisos (*Constantinou et al., 2011*).

Figura 18.

Vista del aislador de triple péndulo de fricción TPF



Nota: Esquema del funcionamiento de un aislador TPF. Fuente: (Buildings Can Be

Designed to Withstand Earthquakes, n.d.)

El péndulo interno del aislante de triple péndulo (TPF) consiste en un deslizador interno rígido que atraviesa dos superficies esféricas cóncavas. Sus características están diseñadas específicamente para mitigar las fuerzas sísmicas durante los eventos sísmicos a nivel de servicio. Los dos péndulos (Figura N° 12) restantes están constituidos por deslizadores cóncavos que se deslizan a lo largo de las principales superficies cóncavas. El segundo péndulo está diseñado meticulosamente para disminuir las fuerzas de cizallamiento que se producen durante el terremoto de diseño base (BDE), mientras que el tercer péndulo tiene por objeto aliviar las fuerzas que se producen durante el terremoto de máximo valor considerado (MCE).

La curva carga – desplazamiento de los aisladores sísmicos de TPF describen su respuesta ante acciones de distinta intensidad. En niveles de carga reducidos, el dispositivo presenta un comportamiento aproximadamente lineal, de modo que el desplazamiento varía de forma proporcional a la fuerza aplicada. En cambio, cuando la sollicitación aumenta, el crecimiento del desplazamiento se ve limitado debido a la fricción entre sus superficies de contacto, la cual actúa como mecanismo de disipación y control del movimiento. Asimismo, estas curvas evidencian la alta capacidad resistente del sistema, ya que permite soportar cargas elevadas sin generar daños en la estructura (*Fenz & Constantinou, 2008*).

El aislador de triple péndulo experimenta su movimiento a lo largo de cinco (05) fases Figura N° 19, las cuales dependen del nivel de demanda sísmica. La curva monótonica de fuerza-desplazamiento de un aislador TPF ilustra estas cinco (05) fases de movimiento. En dicha curva, se observa que la rigidez disminuye progresivamente a medida que el desplazamiento aumenta, hasta alcanzar la transición entre la fase III y la fase IV. A partir de este punto, el aislador entra en una etapa de endurecimiento, donde la rigidez comienza a incrementarse, lo que contribuye a limitar los desplazamientos en caso de sismos severos.

Figura 19.

Curva monótonica de fuerza-desplazamiento par un aislador de triple péndulo de fricción TPF

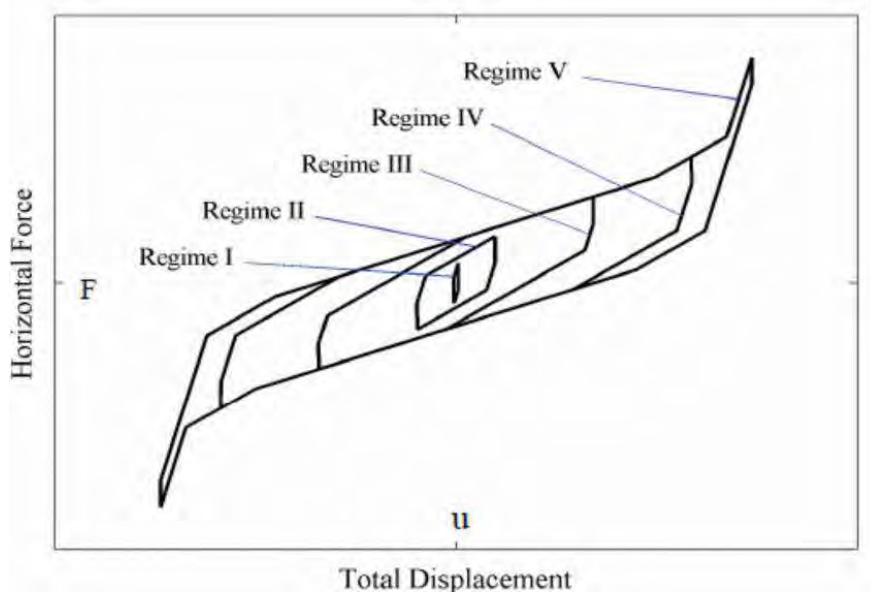


Nota: Relación fuerza-desplazamiento de las etapas del aislador de TPF. Fuente: (Cango, 2018)

El Régimen I representa la primera fase de funcionamiento del aislador triple péndulo friccional, en la que los niveles de fuerza lateral inducen un movimiento relativo entre las superficies 2 y 3, correspondientes a las superficies internas de menor dimensión del dispositivo, conforme se observa en la Figura N.º 20. Durante esta etapa, la respuesta del sistema está determinada principalmente por el deslizamiento inicial y por las fuerzas de fricción movilizadas en dichas superficies de contacto. En consecuencia, este régimen se caracteriza por una mayor rigidez efectiva para desplazamientos reducidos y por una disipación de energía asociada al mecanismo friccional del aislador. (Constantinou et al., 2011).

Figura 20.

Regímenes del comportamiento cíclico de un aislador de triple péndulo de fricción



Nota: Curva histerética de fuerza horizontal-desplazamiento. Fuente: (Constantinou et al., 2011)

El segundo régimen de comportamiento se inicia una vez que la fuerza cortante alcanza la magnitud necesaria para transferir el deslizamiento hacia una nueva superficie de contacto, generándose así un desplazamiento relativo entre las superficies 1 y 2 del dispositivo. Este cambio de régimen altera la participación mecánica de los componentes internos del aislador. Más adelante, cuando el desplazamiento relativo deja de desarrollarse en una de las interfaces y el mecanismo de deslizamiento se moviliza hacia las superficies 3 y 4, se configura el tercer régimen de respuesta. Bajo estas condiciones, el movimiento relativo entre la parte superior y la inferior del dispositivo pasa a estar controlado, principalmente, por las superficies extremas 1 y 4 (Constantinou et al., 2011).

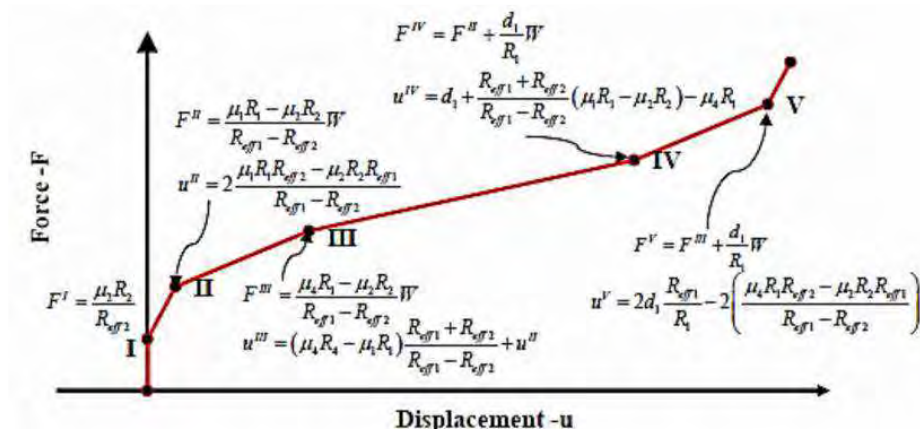
El cuarto régimen de funcionamiento se inicia cuando el movimiento relativo en la superficie 1 alcanza su valor máximo permitido. Para este estado, el desplazamiento asociado

a la superficie 3 se ha anulado por completo, mientras que las superficies 2 y 4 aún continúan movilizándose. Finalmente, el quinto régimen se presenta una vez que se alcanzan los límites de desplazamiento de las superficies 1 y 4, habiéndose producido previamente el deslizamiento en las superficies 2 y 3, con lo cual queda definida la etapa final del comportamiento del dispositivo (Constantinou et al., 2011).

Cuando el dispositivo alcanza sus límites máximos de desplazamiento, la generación de desplazamientos adicionales exige incrementos significativos en la fuerza lateral aplicada, como se muestra en la Figura N° 21. Ello se debe a que los cinco regímenes de comportamiento poseen características propias asociadas al movimiento relativo entre las superficies de contacto, por lo que no resultan equivalentes entre sí. Como consecuencia, el sistema desarrolla respuestas diferenciadas y demanda distintos niveles de fuerza lateral en función del régimen de funcionamiento y del desplazamiento requerido (Constantinou et al., 2011).

Figura 21.

Regímenes de un aislador de triple péndulo de fricción

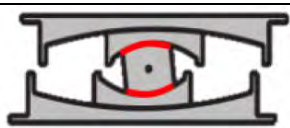
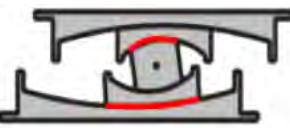
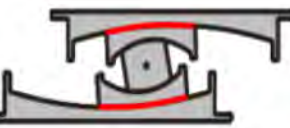


Nota: Relación fuerza - desplazamiento. Fuente: (Constantinou et al., 2011)

Entre las propiedades más relevantes de los aisladores FPT se encuentra su capacidad de exigir niveles crecientes de fuerza lateral para desarrollar iguales desplazamientos cuando la estructura es sometida a sismos cuya magnitud supera la contemplada en el diseño. Bajo estas condiciones, el dispositivo requiere mayores fuerzas laterales para generar el mismo nivel de desplazamiento (*Constantinou et al., 2011*). La Figura N° 22, nos permiten entender mejor cómo funciona los distintos regímenes.

Figura 22.

Regímenes de comportamiento del aislador de triple péndulo friccional.

	Regímenes	Descripción
I		Deslizamiento únicamente de las superficies 2 y 3.
II		El movimiento se detiene en la superficie 2. Deslizamiento sobre las superficies 1 y 3.
III		El movimiento se detiene en la superficie 2 y 3. Deslizamiento sobre las superficies 1 y 4.
IV		Contacto con retenedor en la superficie 1. El movimiento permanece detenido en la superficie 3. Deslizamiento en las superficies 2 y 4
V		Contacto con retenedor en la superficie 1 y 4. Deslizamiento en las superficies 2 y 3

Nota: Superficies de deslizamiento activadas en cada régimen. Fuente: (Fenz & Constantinou, 2008)

Para el cálculo de las 3 fases de respuesta del aislador TPF, se adoptó el procedimiento presentado en la investigación de (Follana Peralta & Cusipaucar Cardenas, 2023).

a) 1° Fase:

$$D'_{u1} = 2 \times (\mu_1 - \mu_2) \times R_{eff2} \quad (30)$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 \times R_{eff2}} \times D'_{u1} + F_{f2} \quad (31)$$

$$K_{eff1} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} \quad (32)$$

$$E_{D1} = F_{m1} \times 2 \times D'_{u1} \quad (33)$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} \times D'_{u1}}{2} \quad (34)$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 \times \pi \times E_{E1}} \quad (35)$$

Donde:

D'_{u1} : Desplazamiento limite fase 1 (cm)

μ_1, μ_2 : Coeficiente de fricción

R_{eff2} : Radio de curvatura efectivo (cm)

P_u : Carga axial (tonf)

F_{m1} : Fuerza máxima restauradora alcanzada cuando el desplazamiento llega a D'_{u1} (tonf)

F_{f2} : Fuerza de fricción (tonf)

K_{eff1} : Rigidez efectiva (tonf/m)

E_{D1} : Energía disipada por ciclo en la fase proveniente principalmente de la fricción.

(tonf.m)

E_{E1} : Energía elástica almacenada en la fase (tonf.m)

β_{r1} : Amortiguamiento de la fase, comparando lo que se disipa vs lo que almacena en el ciclo (%)

b) 2° Fase:

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 \times d'_{1} \quad (36)$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 \times R_{eff1}} \times (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \quad (37)$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} \quad (38)$$

$$E_{D2} = 4 \times (D'_{u1} \times F_{f2} - D'_{u1} \times F_{m2} + D'_{u2} \times F_{f1}) \quad (39)$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} \times D'_{u2}}{2} \quad (40)$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 \times \pi \times E_{E2}} \quad (41)$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} \quad (42)$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} \times D'_{u1} \quad (43)$$

Donde:

D'_{u2} : Desplazamiento limite fase 2 (cm)

d'_{1} : Capacidad de desplazamiento nominal (cm)

F_{m2} : Fuerza máxima restauradora alcanzada cuando el desplazamiento llega a D'_{u2} (tonf)

K_{eff2} : Rigidez efectiva global que ve la estructura para una amplitud de desplazamiento especifica D'_{u2} (tonf/m)

E_{D2} : Energía disipada por ciclo en la fase proveniente principalmente de la fricción.
(tonf.m)

K_{d2} : Rigidez propia de la fase 2, viene a ser el componente restaurador por curvatura lo permite retornar al centro (tonf/m).

Q_{d2} : Fuerza característica de fricción, viene a ser el nivel de fuerza asociada a la fricción cuando se activa la fase (tonf).

3° Fase:

$$D'_{u3} = 2 \times d'_{1} + 2 \times d'_{2} \quad (44)$$

$$F_{m3} = \frac{P_u}{2 \times R_{eff2}} \times (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 \times R_{eff1}} \times (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \quad (45)$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} \quad (46)$$

$$E_{D3} = 2 \times E_{D1} + E_{D2} \quad (47)$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} \times D'_{u3}}{2} \quad (48)$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 \times \pi \times E_{E3}} \quad (49)$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} + D'_{u1}} \quad (50)$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} \times D'_{u1} \quad (51)$$

Donde:

D'_{u3} : Desplazamiento limite fase 3 (cm)

d'_2 : Capacidad de desplazamiento nominal (cm)

F_{m3} : Fuerza máxima restauradora alcanzada cuando el desplazamiento llega a D'_{u3} (tonf)

K_{eff3} : Rigidez efectiva global que ve la estructura para una amplitud de desplazamiento específica D'_{u3} (tonf/m)

E_{D3} : Energía disipada por ciclo en el régimen proveniente principalmente de la fricción (tonf.m).

E_{E3} : Energía elástica almacenada en el régimen a la amplitud de D'_{u3} (tonf.m)

K_{d3} : Rigidez propia de la fase 3, viene a ser el componente restaurador por curvatura lo permite retornar al centro (tonf.m)

Q_{d3} : Fuerza característica de fricción, viene a ser el nivel de fuerza asociada a la fricción cuando se activa la fase (tonf)

2.2.11.1.1. *Relación entre los regímenes y las fases del triple péndulo friccional*

En un aislador de triple péndulo friccional, la respuesta física del dispositivo se describe mediante cinco regímenes de comportamiento, definidos por la activación progresiva de sus superficies de deslizamiento conforme aumenta el desplazamiento lateral. En el régimen I predomina el deslizamiento en las superficies internas 2–3; en el régimen II se movilizan superficies combinadas 1–3; en el régimen III el movimiento se desarrolla principalmente en las superficies extremas 1–4; mientras que en los regímenes IV y V se presentan estados posteriores asociados a mayores desplazamientos y restricciones geométricas del dispositivo, con participación de las superficies 2–4 y nuevamente 2–3.

Sin embargo, para fines de cálculo y modelación, esta respuesta puede idealizarse en tres fases equivalentes, las cuales representan los principales tramos de la curva fuerza–desplazamiento del aislador. Estas fases permiten determinar parámetros globales como el desplazamiento límite, fuerza restauradora, rigidez efectiva, energía disipada, energía elástica almacenada y amortiguamiento equivalente. Por tanto, las tres fases no reemplazan físicamente a los cinco regímenes, sino que constituyen una simplificación analítica del comportamiento real del TPF.

Se reporta tres conjuntos de propiedades D'_u , F_m , K_{eff} , E_D , E_E , β_r , las que definen por tramos de respuesta dominados por un mecanismo. Para entender de mejor forma se tiene desarrollado un flujograma (Fig.24) de cómo se realiza su diseño (Fenz & Constantinou, 2008).

Figura 23.

Flujograma Del diseño y selección de un aislador LRB

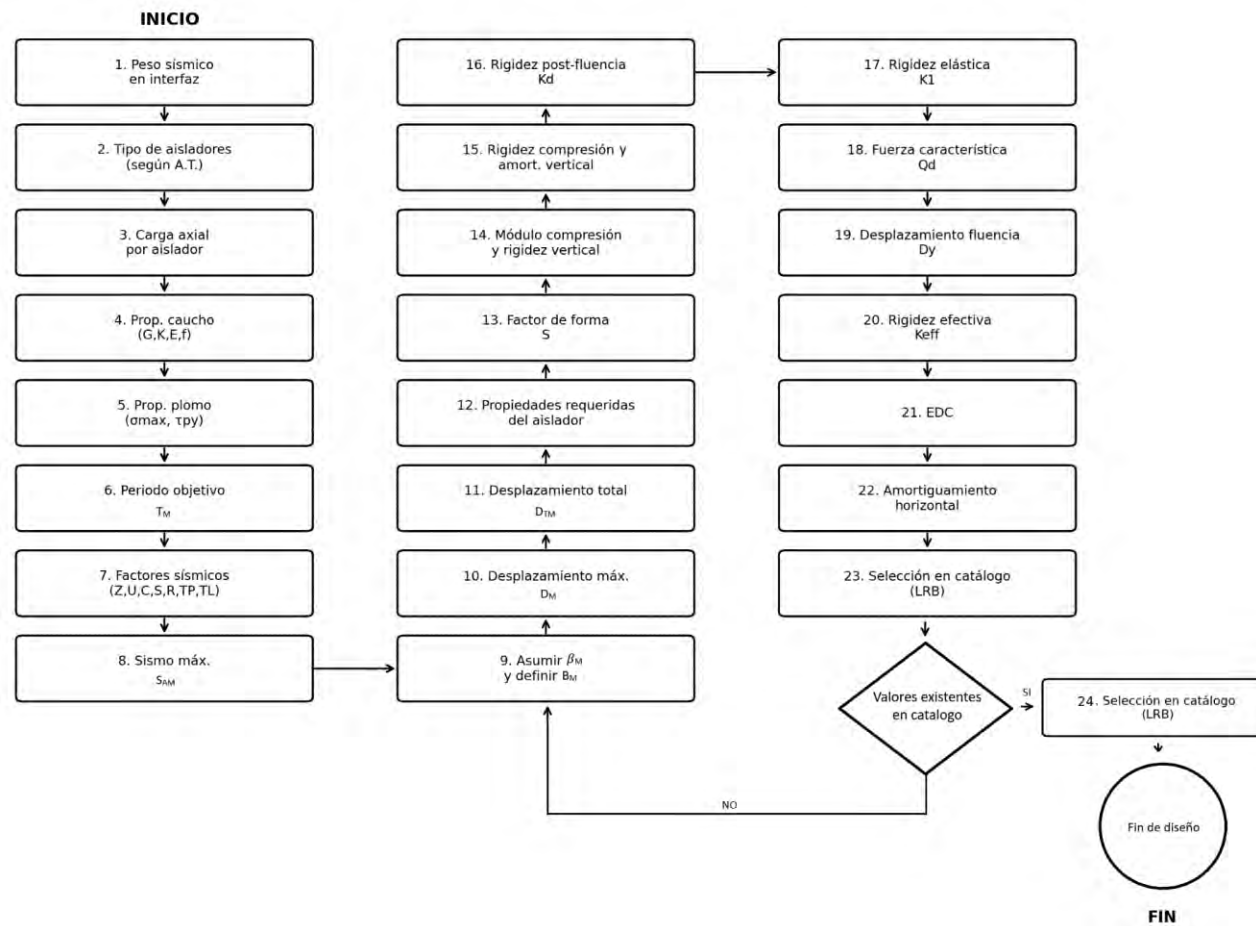
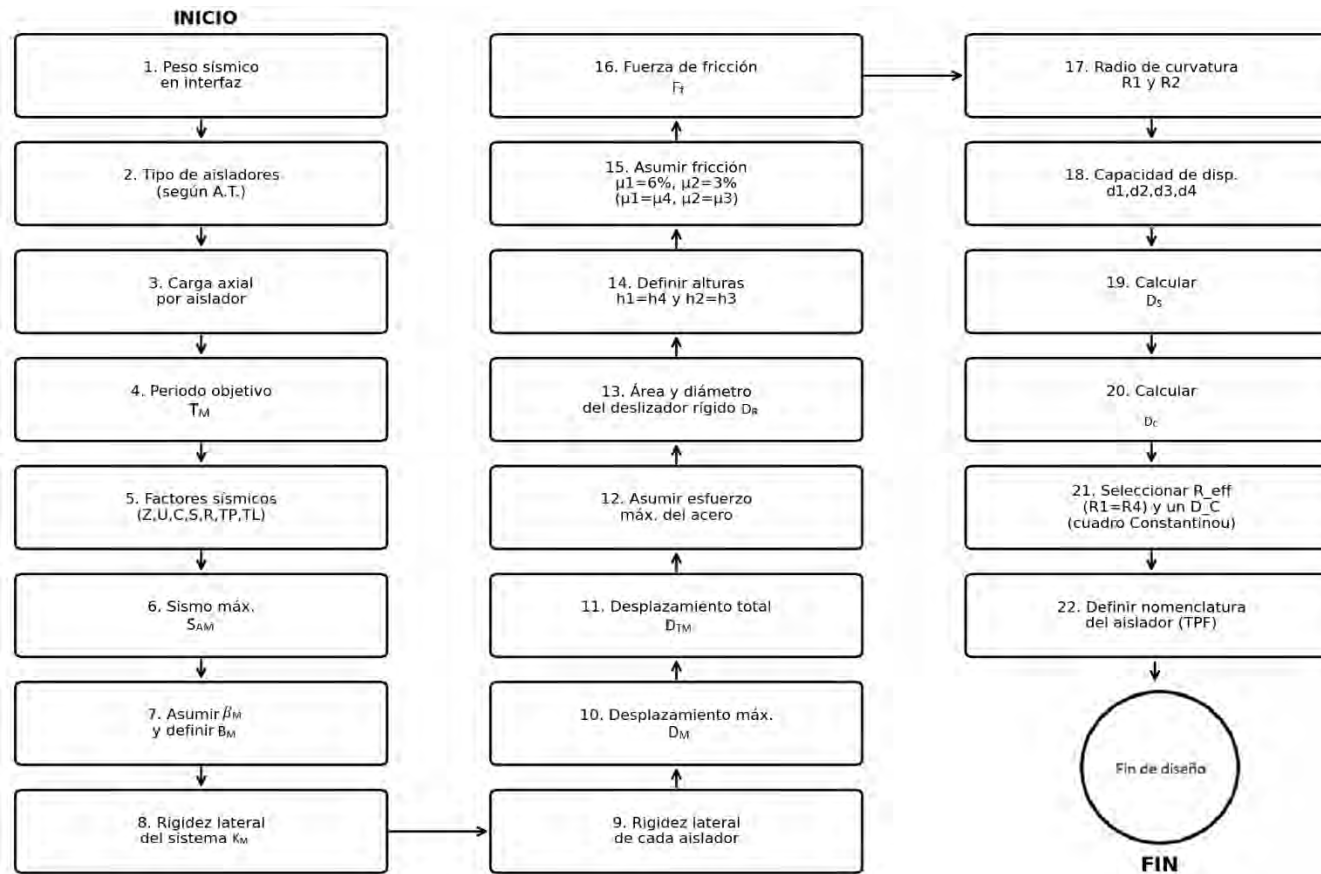


Figura 24.

Flujograma del diseño y selección de un aislador TPF



2.2.12 Modelos para el análisis y estimación del peso

2.2.12.1. Modelo para el análisis

El análisis se basa en una representación idealizada de la estructura, en la cual las losas de piso se modelan como diafragmas rígidos y las masas se concentran en los distintos niveles a lo largo de la altura. En esta formulación, cada nivel cuenta con tres grados de libertad, asociados a dos traslaciones ortogonales y una rotación. Asimismo, al asumirse la hipótesis de diafragma rígido, se garantiza la compatibilidad de deformaciones entre los elementos, de manera que la distribución de las fuerzas horizontales en planta se establece en función de la rigidez de los elementos resistentes. (Chopra, 2014).

2.2.12.2. Estimación del peso

La Norma Técnica E.030 MVCS (2018) señala que el peso P de la estructura empleado en el análisis debe determinarse sumando a la carga muerta o permanente de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga, el cual se calcula conforme al siguiente criterio:

- En edificaciones de las categorías A, se tomará el 100% de la carga muerta.
- En edificaciones de las categorías A, se tomará el 50% de la carga viva.
- En azoteas y techos en general se tomará el 25% de la carga viva.

2.2.12.3. Control de desplazamientos laterales

La Norma Técnica E.030 MVCS (2018) indica: “Para el caso de estructuras regulares, el cálculo de los desplazamientos laterales se efectúa multiplicando por $0.75R$ los valores obtenidos a partir del análisis lineal elástico bajo acciones sísmicas reducidas. Por su parte, en estructuras irregulares, estos desplazamientos se estiman multiplicando por $0.85R$ los resultados derivados del análisis lineal elástico”.

3. Hipótesis y Variables

3.1. Hipótesis de la investigación

3.1.1 Hipótesis generales

HG: Los sistemas de aislamiento sísmico influyen directamente en el comportamiento estructural considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomas.

3.1.2 Hipótesis específicas

HE1: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional reducen las derivas de entrepiso en el comportamiento estructural.

HE2: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional disminuyen las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural.

HE3: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional mitigan las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural

3.2. Variables de la investigación

3.2.1 Variables

Variable dependiente (1) “Y”: Comportamiento estructural

Variable independiente (2) “X”: Sistemas de aislamiento sísmico

3.3. Operacionalización de variable

Tabla 2.

Operacionalización de variables

Variables	Definición conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición	Herramientas de procesamiento y análisis
Sistemas de Aislamiento Sísmico	Los sistemas de aislamiento sísmico son técnicas de diseño estructural que tienen como objetivo disminuir los efectos de las fuerzas sísmicas en una edificación o infraestructura. Estos sistemas se basan en la idea de "desacoplar" la estructura del movimiento del suelo durante un movimiento sísmico, lo que permite que la estructura se mueva de manera más flexible y controlada, minimizando así los daños. (NTP. E.031, 2019)	Se establece mediante la caracterización cuantitativa de su influencia en la respuesta dinámica estructural, considerando parámetros como la rigidez efectiva, amortiguamiento, fuerzas características o de post fluencia obtenidos a partir de cálculos manuales en el diseño de los aisladores, de esta forma generar un mayor y mejor desempeño sísmico	Propiedades Mecánicas y Físicas	Rigidez efectiva	Tonf/m	Software de procesamiento de datos (Microsoft Excel 2016)
				Capacidad de disipación de energía	%	
				Desplazamiento traslacional	cm	
				Capacidad de carga axial	Tonf	
				Amortiguamiento	%	
				Disipación de energía	Tonf-mm	
Comportamiento estructural	El comportamiento estructural de una estructura se refiere a la forma en que esta responde ante cargas o fuerzas que varían con el tiempo, como las generadas por sismos, vientos, vibraciones de maquinaria o impactos. A diferencia de las cargas estáticas (que son constantes o cambian muy lentamente), las cargas dinámicas provocan que la estructura experimente aceleraciones, velocidades y desplazamientos que dependen de sus propiedades inerciales, de rigidez y de amortiguamiento. (Guendelman,2014)	La respuesta de la estructura se evalúa mediante los resultados obtenidos en el análisis dinámico modal espectral así como el de tiempo historia, siendo las derivas, fuerzas cortantes, desplazamientos, periodos fundamentales parámetros los cuales permitirán de mejor forma conocer la influencia de los sistemas de aislamiento, basados en un modelado numérico en el software ETABS los cuales nos apoyamos para un mejor resultado de los valores, las cuales serán contrastadas con las diferentes normas técnicas peruanas.	Distorsiones	Derivas	Adimensional	Software de análisis estructural (ETABS V20.3.0).
			Energía sísmica	Aceleraciones	m/s ²	
			Fuerzas sísmicas	Fuerzas Cortantes	Tonf	
			Vibraciones de la estructura	Periodos	s	
			Deformación de la estructura	Desplazamientos	cm	

4. Metodología de Investigación

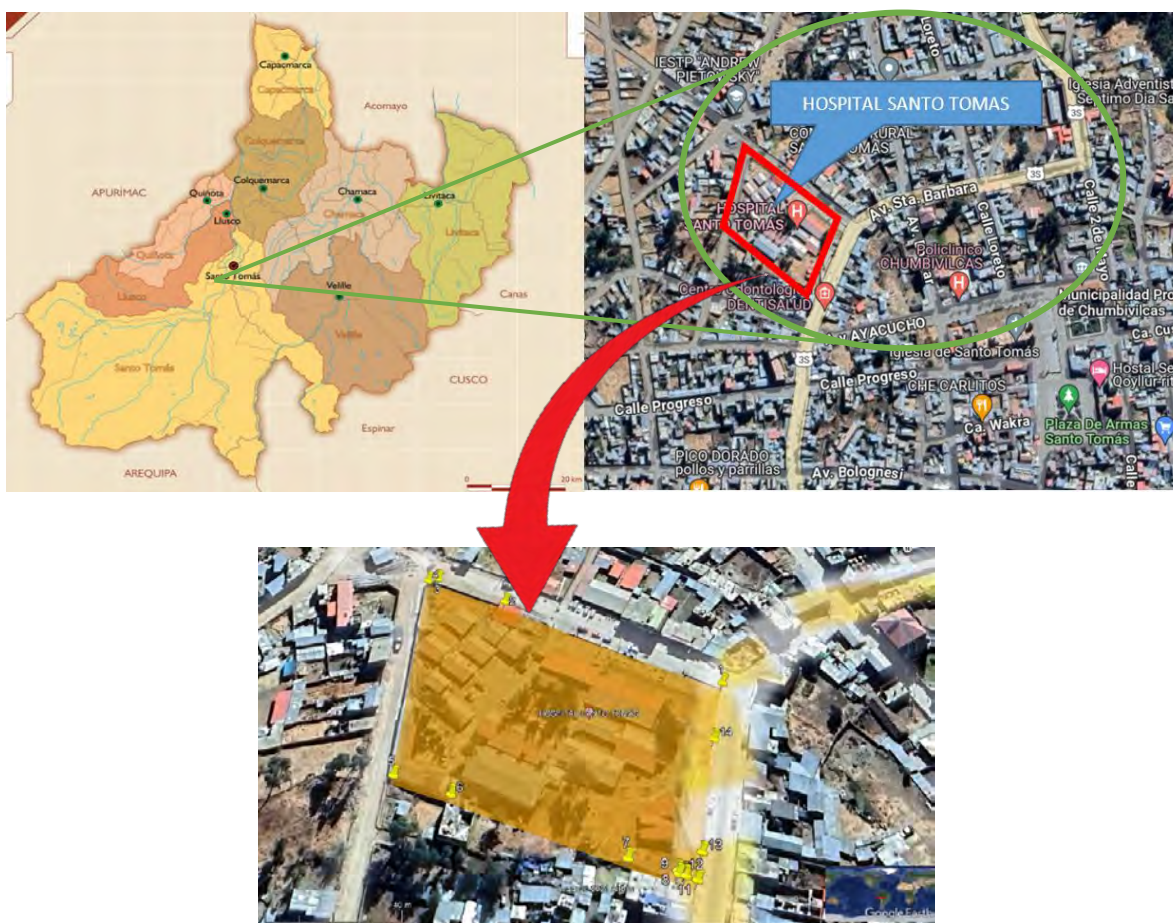
4.1. Ámbito de estudio

4.1.1 Ubicación del área de estudio

Tiene como ubicación (Fig.25) en el distrito de Santo Tomas, provincia de Chumbivilcas, departamento del Cusco.

Figura 25.

Ubicación del Hospital de Santo Tomas



Nota: Ubicación y delimitación geográfica del hospital. Fuente: (Google Earth, n.d.)

AREA DEL TERRENO : 8,610.64 m²

PERIMETRO : 383.10 m.

Tabla 3.*Coordenadas del área del Hospital Santo Tomas*

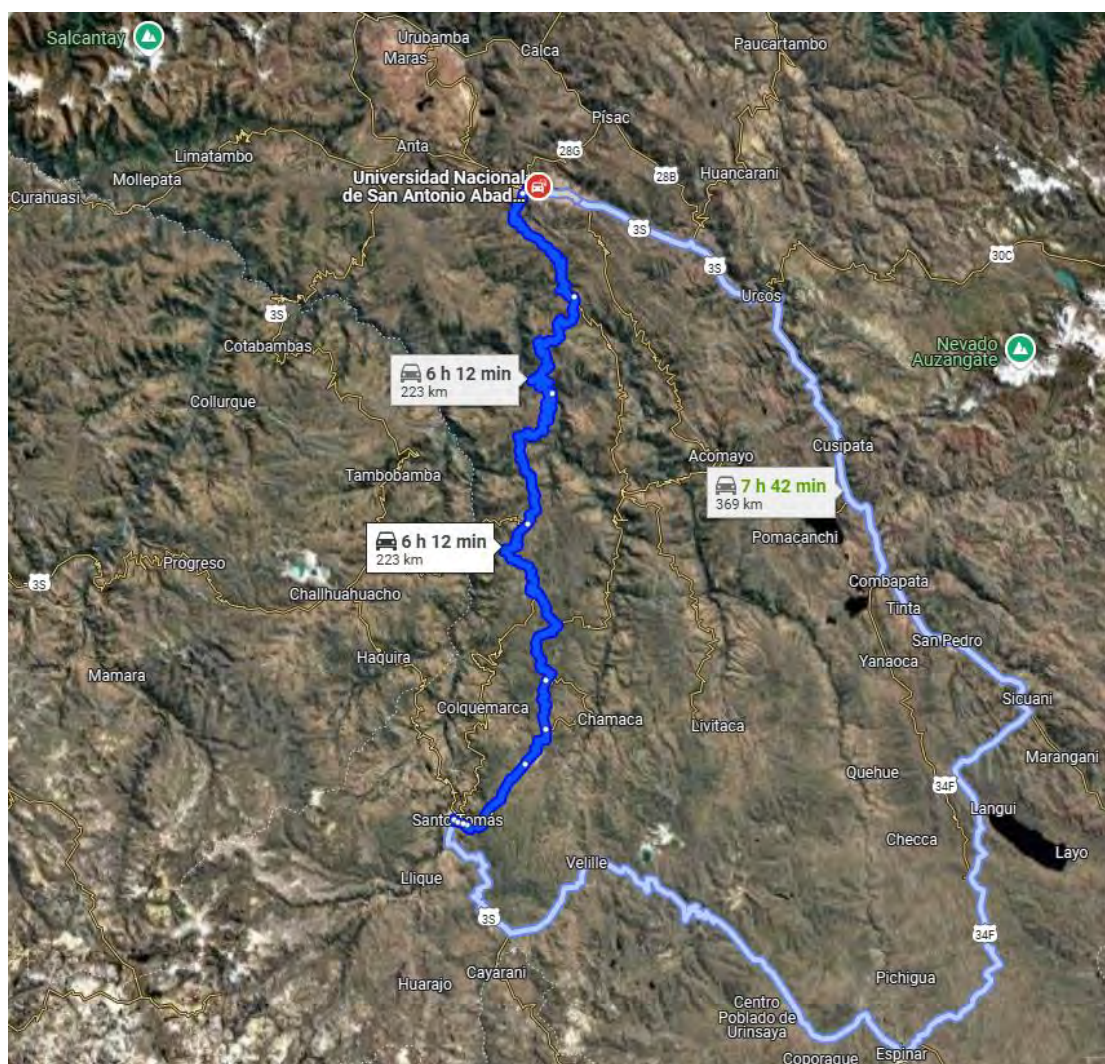
COORDENADAS UTM WGS 84		
VERTICE	ESTE	NORTE
V-1	814392.042	8400675.775
V-2	814321.268	8400728.630
V-3	814297.899	8400745.984
V-4	814293.831	8400745.699
V-5	814274.043	8400664.479
V-6	814292.39	8400653.305
V-7	814343.179	8400620.823
V-8	814357.253	8400612.859
V-9	814357.448	8400613.252
V-10	814359.391	8400612.054
V-11	814359.06	8400611.324
V-12	814362.905	8400609.598
V-13	814366.268	8400617.959
V-14	814382.811	8400654.193

4.1.2 Vías de acceso

Existen 03 vías para la zona de estudio del Hospital Santo Tomás (Fig.26): La vía más corta es la vía de acceso que inicia desde la ciudad de Cusco, Apv. Cachona, Occopata, Yaurisque, Paccarectambo, CC Ayusbamba, Joyabamba, Colquemarca, Santo Tomás. La distancia registrada en este caso es de 223.00 Km, aproximadamente. La superficie de rodadura del tramo mencionado en su mayor parte está conformada por un pavimento flexible, en un tiempo aproximado de 6 horas 12 minutos.

Figura 26.

Via de Acceso desde la ciudad del Cusco a el Hospital Santo Tomas



Nota: Alternativa de recorrido, distancia y tiempo estimado de viaje. Fuente: (Google Maps, n.d.)

4.2. Tipo y nivel de investigación

4.2.1 Tipo de investigación

Según Borja (2016) esta investigación se clasifica como aplicada con un enfoque cuantitativo, ya que implica la recopilación y análisis de datos, que nos ayudaran a conocer la problemática y poder actuar frente a esta, dado que nuestro objetivo es abordar los desafíos en las regiones propensas a los terremotos a través de centros de salud esenciales, considerando técnicas para el despliegue de sistemas de aislamiento sísmico, lo que puede influir los parámetros de respuesta de la infraestructuras con mayor resiliencia.

4.2.2 Nivel de investigación

La investigación es de nivel descriptivo, porque caracteriza el comportamiento estructural del Hospital Santo Tomás mediante el análisis de sus principales parámetros de respuesta sísmica, tales como derivas de entrepiso, fuerzas cortantes, aceleraciones y periodos de vibración. Además, describe las diferencias obtenidas entre la estructura de base fija y la estructura con sistemas de aislamiento sísmico LRB y TPF, permitiendo sistematizar sus propiedades y respuesta frente a sismos tipo subducción.

4.2.3 Diseño de investigación

De acuerdo con el marco de investigación, se emplea un diseño no experimental-descriptivo, ya que no hay manipulación intencional de variables, y se analizaran las propiedades y características de los sistemas de aislamiento y la infraestructura. Esto se debe al hecho de que todo el procedimiento analítico y la recopilación de datos utilizaron modelos computacionales junto con cálculos matemáticos. Este análisis se realizó para validar las hipótesis previamente establecidas y cumplir con los objetivos de la investigación (Borja, 2016).

4.3. Población y Muestra

4.3.1 Población de estudio

Conformada por el centro de salud esencial denominada Hospital de Santo Tomas de categoría II-1 ubicado en la provincia de Chumbivilcas.

4.3.2 Muestra

Es no probabilística, dado que la edificación fue considerada por reunir las condiciones técnicas y poseer la información necesaria para el desarrollo adecuado de la investigación.

4.3.3 Tamaño muestral

Está conformada por el único elemento de la población, el cual es: Hospital de Santo Tomas ubicado en la provincia de Chumbivilcas.

4.4. Técnicas e instrumentos de recolección de información

Las técnicas e instrumentación que se emplearon para la elaboración y recolección de datos para realizar la investigación fueron las siguientes:

4.4.1 Técnicas de investigación

- Utilización de Software: Para el modelamiento de nuestro centro de salud incorporando las diferentes características y variantes de nuestra investigación.
- Revisión de planos del perfil técnico: Se realizó la verificación de los planos de arquitectura para poder obtener la información de los elementos no estructurales, así como la distribución arquitectónica del centro de salud.
- Revisión de las normativas técnicas: Se obtuvo información de los procedimientos usados para el análisis y diseño sismorresistente del centro de salud.

4.4.2 Instrumentos de recolección de información

Se llevará a cabo la evaluación del comportamiento sísmico de la estructura sin aislar en comparación con los arreglos sísmicos de la estructura aislada, empleando el uso de métodos y técnicas de evaluación a través de softwares:

- ETABS V20.3.0
- Microsoft Office Word 2021
- Microsoft Office Excel 2021
- SeismoSignal 2016
- SeismoMatch 2016

4.4.3 Procedimiento para recolección de datos

La configuración estructural se ejecutó de acuerdo con los esquemas arquitectónicos del perfil técnico. Para iniciar el dimensionamiento preliminar de los componentes estructurales, se establecieron las normas reglamentarias para las Normas Técnicas E.030 y la E.031; posteriormente, se realizaron mediciones de carga y, a continuación, se formularon combinaciones para determinar el peso acumulado esperado de los aisladores, de las que se derivaron las características físicas y mecánicas.

Se realizó una evaluación dinámica utilizando los sismos de diseño y, utilizando los datos sísmicos recopilados así como los parámetros relacionados con las propiedades de los aisladores, se llevó a cabo el respectivo análisis.

Finalmente, se evaluó la reacción dinámica de la estructura aporticada, abarcando aspectos como las derivas, los desplazamientos, las aceleraciones y fuerzas cortantes, y se compararon estos hallazgos con los de una estructura de base fija y una estructura de base aislada.

c) Descripción de la edificación

El Hospital Santo Tomás está designado como establecimiento de categoría II-1, lo que indica su clasificación como centro de salud especializado (MINSA, 2011) y abarca varios departamentos que ofrecen servicios de salud de la UPSS:

- UPSS Consulta Externa
- UPSS Emergencia
- UPSS Hospitalización Convencional, medicina, cirugía y pediatría
- UPSS Centro Obstétrico
- UPSS Centro Quirúrgico
- UPSS Hospitalización Convencional, ginecología, obstetricia y neonatología
- UPSS Patología Clínica
- UPSS Anatomía patológica
- UPSS Diagnóstico por imágenes
- UPSS Medicina de Rehabilitación
- UPSS Nutrición y Dietética
- UPSS Centro de Hemoterapia y Banco de Sangre
- UPSS Farmacia
- UPSS Central de Esterilización
- UPSS Administración
- UPSS Gestión de la Información y Áreas Mínimas
- UPSS Transportes
- UPSS Casa de Fuerza

- UPSS Cadena de Frío
- UPSS Central de Gases
- UPSS Almacén
- UPSS Lavandería
- UPSS Taller de Mantenimiento
- UPSS Salud Ambiental
- UPSS Salud de usos Múltiples
- UPSS Casa Materna
- UPSS Residencia para Personal

El Planteamiento arquitectónico (Fig. 28) considera una edificación de un bloque principal de cuatro pisos un piso técnico (sótano) y un piso de entretecho para el cuarto de máquinas, además se cuenta con un bloque de 02 niveles en la parte posterior, un muro de sostenimiento para estabilizar el talud por la topografía del terreno, también se cuenta con un bloque de la UPSS Casa materna, un bloque independiente de la UPSS Nutrición y dietética, y un bloque de la casa de fuerzas, además se contempla casetas de control en cada ingreso, todos estos para las 26 UPPS, de acuerdo a la Norma Técnica de Salud N°021 (MINSA, 2011).

Figura 28.*Esquema de bloques*

Nota: Distribución general de los bloques. Fuente: (Perfil Técnico, 2024)

El área del bloque principal “bloque A”, es como sigue:

Tabla 4.*Área construida de bloque principal*

AREA – BLOQUE PRINCIPAL “A”	
Nivel	Área (m²)
Piso Técnico	3768.93
1° piso	3434.05
2° piso	3638.53
3° piso	3638.53
4° piso	3442.21
TOTAL	17,922.25

Nota: Áreas por nivel de piso del bloque-A. Fuente: (Adaptado del Perfil Técnico, 2024)

d) Características estructurales generales de la edificación

Uso estructural edificaciones esenciales: Establecimiento de Salud del Sector Salud del segundo y tercer nivel, Categoría A1.

Sistema estructural: Aislamiento situado en la base de tipo aisladores LRB y aisladores TPF en estructuras Aporticado

e) Características de los materiales

Concreto $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$: Utilizado para la construcción de columnas, placas, vigas, cajas de ascensores, losas macizas y aligeradas, en la superestructura

- Resistencia: $f'c = 280 \text{ Kg/cm}^2$
- Elasticidad: $E_c = 15000 \times \sqrt{f'c} = 250,998.01 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson: $\mu = 0.20$
- Módulo de corte: $G_c = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)} = 104,582.50 \text{ Kg/cm}^2$

Concreto $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$: Utilizado para la construcción de cimentaciones (zapatas y vigas de conexión), pedestales, capiteles, losas y vigas del sistema de aislamiento sísmico.

- Compresión: $f'c = 350 \text{ Kg/cm}^2$
- Elasticidad: $E_c = 15000 \times \sqrt{f'c} = 280,624.30 \text{ Kg/cm}^2$
- Módulo de Poisson: $\mu = 0.20$
- Módulo de corte: $G_c = \frac{E}{2 \times (1 + \mu)} = 116,926.79 \text{ Kg/cm}^2$
- Suelo de fundación: Arcilla de baja plasticidad con grava CL, según clasificación SUCS.

- Capacidad portante: $\sigma_{ult} = 4.92 \text{ kg/cm}^2$, para una profundidad de desplante $D_f = 3.00 \text{ m}$, $B = 3.5 \text{ m}$ y $L = 3.5 \text{ m}$, medido desde el $\text{NTN} = \pm 0.00$ aunque se recomienda cimentar a -3.00 m como mínimo del nivel actual de la superficie del terreno.

f) Cargas por gravedad

Las fuerzas gravitacionales empleadas para la evaluación y formulación del diseño estructural se documentarán de acuerdo con las disposiciones descritas en la Norma Técnica E:020 (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento [MVCS], 2006)

- Carga muerta o permanente

En la cuantificación de las cargas estáticas o duraderas empleadas en la evaluación y formulación del marco estructural, se implementaron las siguientes cargas unitarias:

Tabla 5.

Descripción de carga muerta

Descripción	Valor (E020)	Und
Acabados		
Contrapiso y piso terminado	100	kgf/m ²
Tijeral metálico en nivel de cubierta	100	kgf/m ²
Muros de albañilería		
Muro 13 cm + tarrajeo 2 caras (h = 4.20 m)	550	kgf/m
Instalaciones		
Instalaciones sanitarias	30	kgf/m ²

Nota: Valores de carga muerta. Fuente: (Adaptado de la NTE.020)

- Carga viva o sobrecarga

La carga viva usada en el análisis y diseño de la estructura serán la siguiente:

Tabla 6.

Descripción de carga viva

Descripción	Valor	Und
Hospitales	400	kgf/m ²

Nota: Valores de carga viva. Fuente: (Adaptado de la NTE.020)

- Cargas de nieve/granizo

Las estructuras metálicas y de hormigón armado del proyecto no están sujetas a la influencia de la acumulación de nieve; sin embargo, existe la posibilidad de que se acumule granizo. La carga de nieve en los sistemas de techado se evaluó de acuerdo con la norma E020, la cual se asume que considera la acumulación de nieve fresca equivalente a 3.5 cm de granizo (920 kgf/m²), lo que para techos con ángulo de inclinación entre 15° y 30°, corresponde a:

$$Q_t = 0.8 \left(40 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^2} \right) = 32 \text{ kgf/m}^2$$

g) Normatividad empleada

- Norma E.020 Cargas
- Norma E.030 Diseño Sismo Resistente
- Norma E.031 Aislamiento Sísmico

5. Resultados y Discusión

5.1. Procesamiento y recolección de datos

5.1.1 *Análisis de modelo de estructura de base fija*

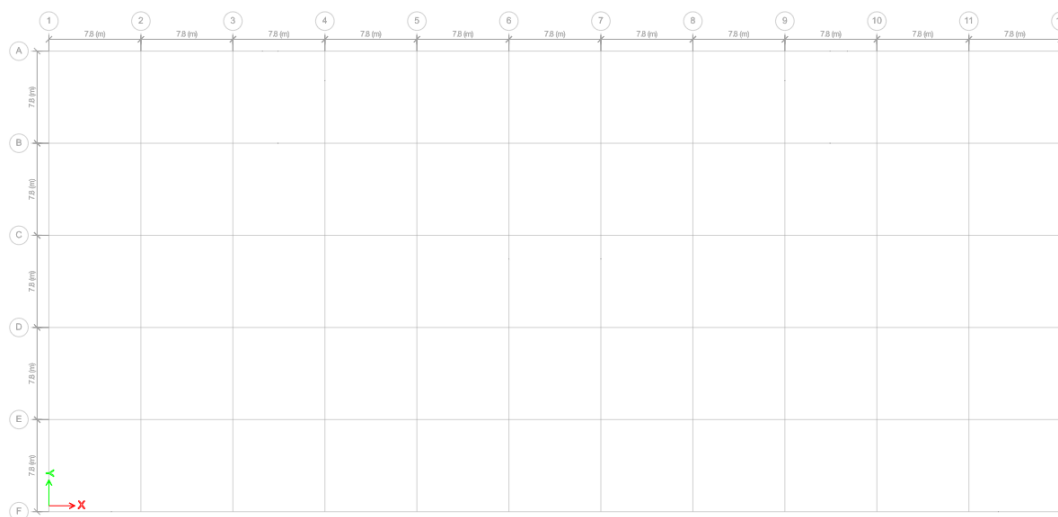
5.1.1.1. *Condiciones generales*

5.1.1.1.1. *Estructuración*

Teniendo un área regular se realizó la estructuración, teniendo la distribución de ejes, columnas, placas, vigas, etc.

Figura 29.

Distribución de ejes



5.1.1.1.2. *Pre dimensionamiento*

a) Pre dimensionamiento de losa maciza

Losa maciza bidireccional

$$H = \frac{L}{40}$$

Luz libre de pórtico : 7.80 m

Espesor de losa : 0.20 m

Espesor de losa asumido : 0.20 m

b) Pre dimensionamiento de viga principal

$$hvp = \left(\frac{L}{9} @ \frac{L}{12} \right)$$

$$bvp = \left(\frac{hvp}{2} @ \frac{2hvp}{13} \right)$$

Luz libre de pórtico	:	7.80 m
Peralte de viga	:	0.76 m
Peralte de viga asumido	:	0.70 m
Base de viga	:	0.41 m
Base de viga asumido	:	0.30 m

c) Pre dimensionamiento de columna

$$bt = \frac{LP}{n * F'c}$$

$$P = pg * At * N^{\circ}pisos$$

▪ Columna céntrica

Categoría	A	Pg=1.5 ton/m2
Columna	Tipo=	céntrica
N° pisos	N°=	4
Longitud	L=	7.80 m
Ancho	B=	7.80 m
Área Tribu...	At =	60.84 m2
concreto	f'c =	280
factor n	n=	0.25
Factor col.	0.3Pg=	1650 kg/m2
P servicio	P =	401544 kg
área sección	bt=	5736 m2
	b=	70.00 cm
sección de columna	t=	81.95 cm

Largo de columna asumido : 0.70 m

Ancho de columna asumido : 0.70 m

▪ Columna excéntrica

Categoría	A	$P_g=1.5 \text{ ton/m}^2$
Columna	Tipo=	excéntrica
N° pisos	$N^\circ=$	4
Longitud	$L=$	3.95 m
Ancho	$B=$	7.80 m
Área Tribu...	$A_t =$	31.00 m ²
concreto	$f'_c =$	280
factor n	$n=$	0.25
Factor col.	$0.3P_g=$	1650 kg/m ²
P servicio	$P =$	203346 kg
área sección	$b_t=$	2905 m ²
	$b=$	70.00 cm
sección de columna	$t=$	41.50 cm

Largo de columna asumido : 0.70 m

Ancho de columna asumido : 0.70 m

▪ Columna esquinada

Categoría	A	$P_g=1.5 \text{ ton/m}^2$
Columna	Tipo=	esquinada
N° pisos	$N^\circ=$	4
Longitud	$L=$	3.95 m
Ancho	$B=$	3.95 m
Área Tribu...	$A_t =$	16.00 m ²
concreto	$f'_c =$	280
factor n	$n=$	0.25
Factor col.	$0.3P_g=$	1650 kg/m ²
P servicio	$P =$	102977 kg
área sección	$b_t=$	1471 m ²

	b=	70.00 cm
sección de columna	t=	21.02 cm
Largo de columna asumido :		0.70 m
Ancho de columna asumido :		0.70 m

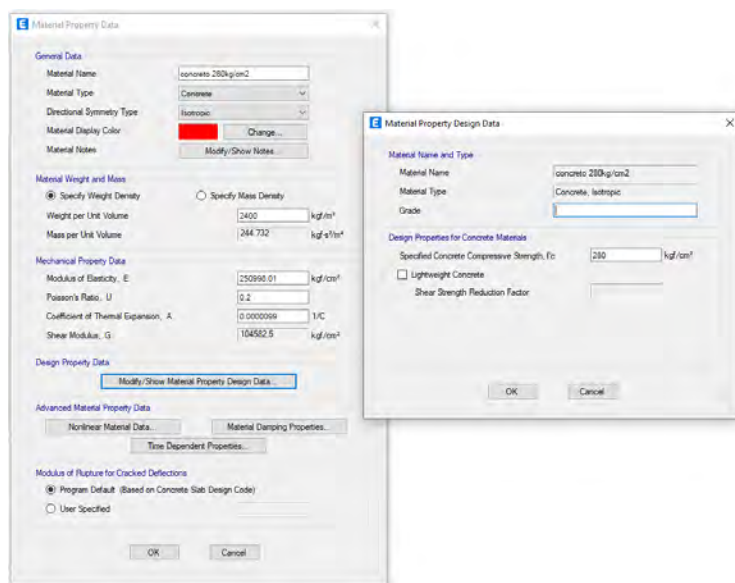
5.1.1.1.3. Modelamiento

a) Definición de las características de los materiales

Para la modelación matemática en ETABS 20 se establecieron las propiedades mecánicas de los materiales empleados tanto en el análisis como en la construcción del Hospital Santo Tomás. En particular, para el concreto se consideraron la masa, el peso unitario del material, el módulo de elasticidad (E), el coeficiente de Poisson (μ) y la resistencia a la compresión del concreto (f'_c).

Figura 30.

Características del concreto $F'_c=280 \text{ Kg/cm}^2$



b) Definición de columnas y vigas-elementos tipo frame

Las columnas y vigas fueron modeladas como elementos tipo marco (frame). Se definieron las dimensiones de columnas y vigas en ETABS 20, utilizando las secciones de columnas y vigas especificadas en el pre dimensionamiento.

Figura 31.

Característica de la columna

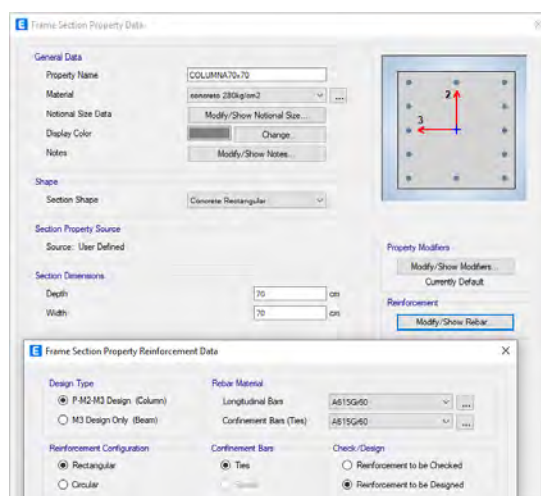
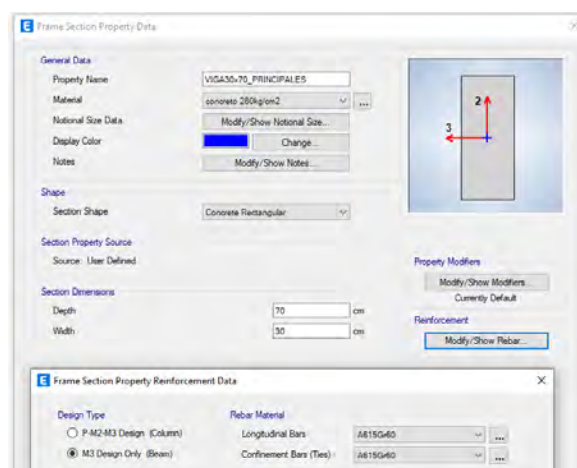


Figura 32.

Característica de viga

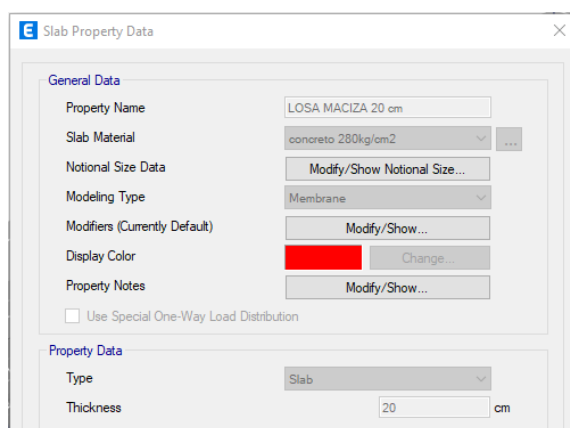


c) Definición de losas-elementos tipo shell

Las losas de piso fueron modeladas como elementos tipo área (shell). Las losas macizas en dos sentidos con una altura $h=20\text{cm}$, se modelaron definiendo elementos shell enteramente de concreto $f'_c=280\text{Kg/cm}^2$.

Figura 33.

Característica de losa maciza



En cada piso, la condición de diafragma rígido se aplica a todos los nodos asociados a las losas o elementos shell, con el propósito de asegurar la compatibilidad de deformaciones y de establecer una distribución en planta de las fuerzas horizontales gobernada por la rigidez de los elementos resistentes.

5.1.1.1.4. *Asignación de cargas y definición de la masa*

a) Carga muerta

El peso propio de los elementos estructurales fue obtenido de manera automática por ETABS en función del modelo definido para cada uno de ellos. Por su parte, las cargas correspondientes a pisos terminados, tabiquería, entre otros, fueron representadas en los elementos shell mediante cargas uniformemente distribuidas, equivalentes a:

Losa 1 a 3

CM acabados	:	100.00 kg/m ²
CM tabiquería	:	550.00 kg/m
CM instalaciones	:	30.00 kg/m ²

Losa 4

CM acabados	:	100.00 kg/m ²
CM tabiquería	:	100.00 kg/m ²
CM instalaciones	:	30.00 kg/m ²

b) Carga viva

La sobrecarga de uso fue considerada como una carga uniformemente distribuida en los elementos shell. El valor adoptado se estableció de acuerdo con el tipo de ambiente al que pertenece cada elemento y conforme a las disposiciones de la Norma Técnica E.020.

Losa 1 a 3

CV	:	400.00 kg/m ²
----	---	--------------------------

Losa 4

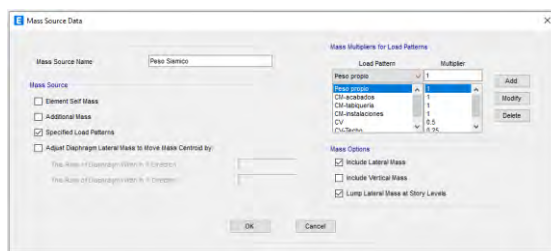
CV techo	:	100.00 kg/m ²
CV granizo	:	32.00 kg/m ²

c) Masa

Para efectos del análisis, la fuente de masa en ETABS fue establecida a partir del peso P de la estructura, definido como la suma de los patrones de carga muerta y carga viva, cada uno multiplicado por factores que representan su participación según la tipología estructural. En la presente investigación, al tratarse de una edificación hospitalaria de categoría estructural A1, la Norma Técnica E.030 dispone que el peso P se calcule con el 100 % de la carga muerta, el 50 % de la carga viva y el 25 % de la carga de techo.

Figura 34.

Estimación del peso



5.1.1.1.5. Condiciones geotécnicas

- a) De acuerdo a los ensayos obtenidos MASW, MAM y HVSR se obtiene los siguientes resultados:

El terreno sobre el que se emplaza el Hospital de Santo Tomás, presenta roca o suelo muy rígido (S1) según norma peruana sismorresistente E030 2020 y roca blanda o suelo muy denso según la norma IBC 2009, con velocidad de corte V_{s30} de 553 a 804 m/s y con un periodo fundamental de vibración de 0.04 a 0.07 s.

Anexo 9: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte - MASW

Anexo 10: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte - MAM

- b) De acuerdo a los ESTUDIOS DE MECANICA DE SUELOS se obtiene los siguientes resultados:

El sector estudiado corresponde a un tipo de suelo tipo S1, Roca o suelo muy rígido, con valores de V_{S30} entre 407 a 816 m/s, próximos a un S2, suelo intermedio, donde el escenario a considerar debería ser un tipo S2, el cual puede dar lugar a mejores diseños de estructuras sujetas a la acción de movimientos sísmicos de larga duración.

Anexo 11: Estudio de mecánica de suelos

5.1.1.2. *Diseño sísmico E.030, Estructura aporticado*

5.1.1.2.1. *Modelo y Parámetros final*

Figura 35.

Distribución de vigas y columnas principales losa 1

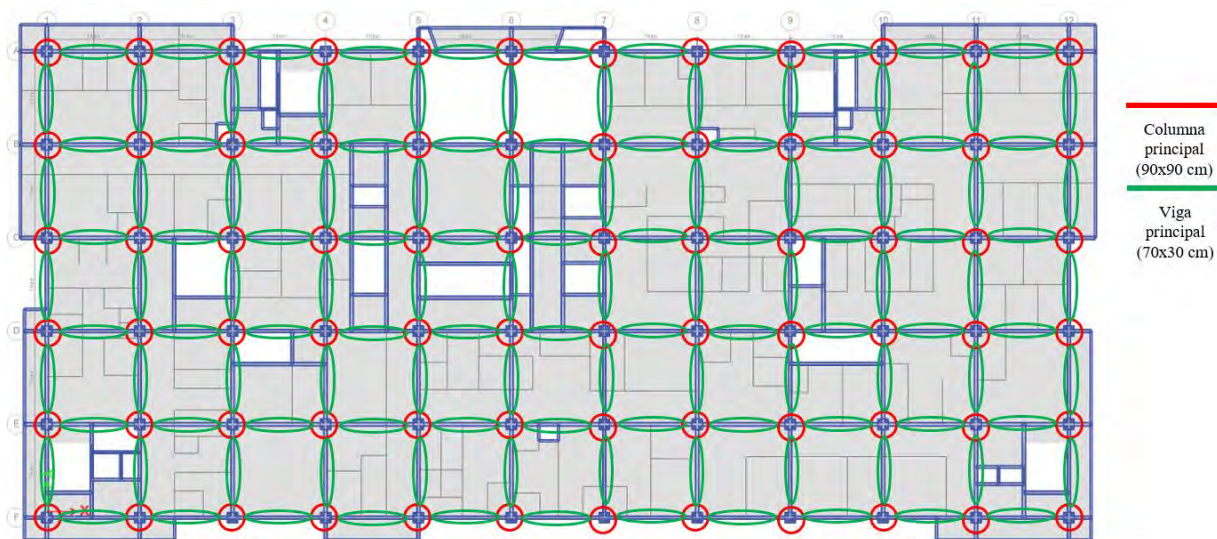
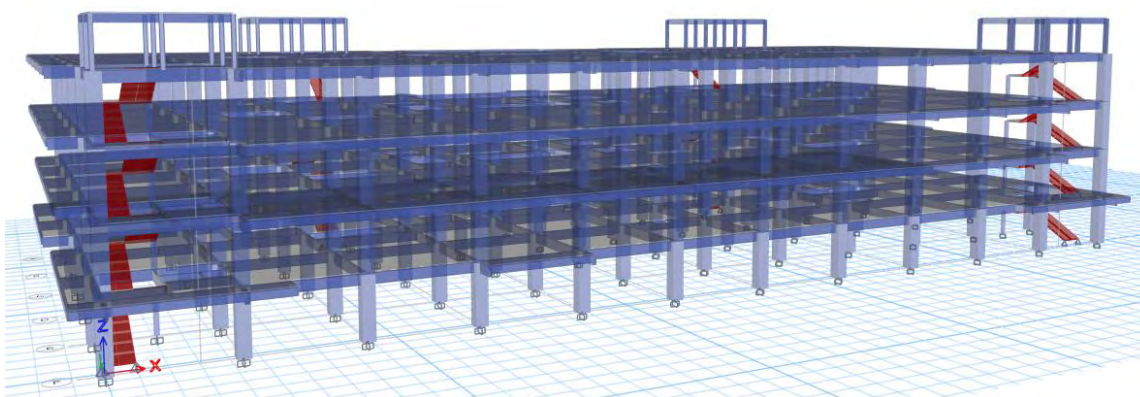


Figura 36.*Modelo final***Tabla 7.***Parámetros de diseño*

PARAMETROS SISMICOS			
ZONA	Z4	Z	= 0.35
SUELO	S2	S	= 1.15
Periodo de plataforma		TP	= 0.60
Periodos de desplazamiento constante		TL	= 2.00
CATEGORIA DE EDIFICACIONES	A1, Aislam.	U	= 1.00
SISTEMA ESTRUCTURAL	Aporticado	Ro	= 8
Irregularidad en altura	Sin Irreg.	Ia	= 1.00
Irregularidad planta	Sin Irreg.	Ip	= 1.00
COEFICIENTE DE REDUCCION	R=Ro.Ia.Ip	R	= 8.00

5.1.1.2.2. *Análisis estático*

Las solicitaciones sísmicas se representan mediante un sistema de fuerzas laterales equivalentes aplicadas en el centro de masa de cada nivel de la edificación. Este procedimiento de análisis estático se emplea únicamente en edificaciones regulares cuya altura no excede los 10 pisos o los 30.0 m. En esta tesis, su aplicación tendrá carácter comparativo, por lo que se procederá a calcular la cortante basal y las fuerzas correspondientes en cada nivel. En ese sentido, el objetivo

fundamental del análisis estático consiste en determinar las fuerzas horizontales equivalentes que actúan en el centro de masa de la estructura.

a) Fuerza cortante en la base

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determina por la siguiente expresión:

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

b) Cálculo del factor de amplificación sísmica

Para determinar el valor de “C”, se necesita el periodo fundamental en ambas direcciones X y Y, el cual se obtendra del etabs.

Tabla 8.

Cuadro de periodos y masas participativas

Case	Mode	Period sec	SumUX	SumUY	SumRZ
Modal_eigen	1	0.859	0.0002	0.7772	0.0107
Modal_eigen	2	0.831	0.3798	0.7842	0.4150
Modal_eigen	3	0.823	0.7924	0.7880	0.7865
Modal_eigen	4	0.237	0.7924	0.9257	0.7869
Modal_eigen	5	0.232	0.8913	0.9260	0.8232
Modal_eigen	6	0.229	0.9275	0.9262	0.9263
Modal_eigen	7	0.108	0.9275	0.9811	0.9268
Modal_eigen	8	0.107	0.9796	0.9813	0.9291
Modal_eigen	9	0.105	0.9821	0.9818	0.9827
Modal_eigen	10	0.068	0.9822	0.9818	0.9827
Modal_eigen	11	0.068	0.9831	0.9818	0.9828
Modal_eigen	12	0.067	0.9832	0.9999	0.9829

Se observa que se tiene periodos:

- El modo 1, presenta un periodo de “Y” de 0.859
- El modo 2, presenta un periodo de “X” de 0.831
- El modo 3, presenta un periodo de “Z” de 0.823

Esto nos indica que los dos primeros modos nos resultan del tipo traslacional, y el tercer modo rotacional; lo que nos indica que la estructura planteada es óptima para continuar con el análisis.

ANALISIS EN LA DIRECCION X-X

$$- \quad 0.60 < 0.831 < 2.00 \quad (OK) \quad C = 2.5 \left(\frac{0.60}{0.831} \right), \quad C = 1.805$$

El valor de $C/R \geq 0.11$

$$- \quad \frac{1.805}{8} = 0.2256 \geq 0.11 \quad (OK)$$

Para $T \geq 0.5$: $k = (0.75 + 0.5 \times T) \leq 2.0$

$$-0.831 \geq 0.5, k = 1.17 \leq 2.0 (OK)$$

Tabla 9.

Parámetros X-X

PARAMETROS SISMICOS X-X		
Z	=	0.35
S	=	1.15
U	=	1.00
R	=	8.00
C	=	1.805

$$\frac{Z \times U \times C \times S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.805 \times 1.15}{8} = 0.0908$$

$C_x = 0.0908$, $k = 1.17$; estos valores se colocan en el programa Etabs, en los patrones de carga para el análisis estático “X”

Figura 37.

Coefficientes del sismo estático X

ANALISIS EN LA DIRECCION Y-Y

$$- \quad 0.60 < 0.859 < 2.00 \quad (OK) \quad C = 2.5 \left(\frac{0.60}{0.859} \right), \quad C = 1.746$$

El valor de $C/R \geq 0.11$

$$- \quad \frac{1.746}{8} = 0.2183 \geq 0.11 \quad (OK)$$

Para $T \geq 0.5$: $k = (0.75 + 0.5 \times T) \leq 2.0$

$$- \quad 0.859 \geq 0.5, \quad k = 1.18 \leq 2.0 \quad (OK)$$

Tabla 10.

Parámetros Y-Y

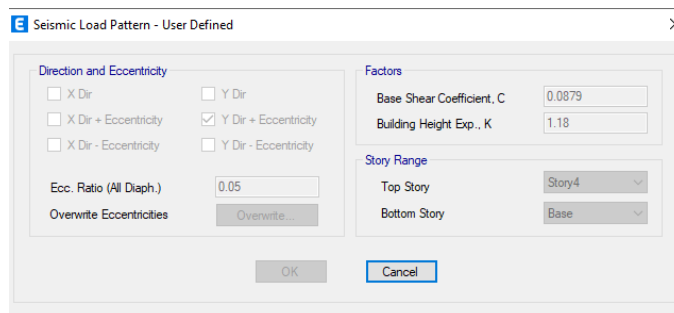
PARAMETROS SISMICOS Y-Y		
Z	=	0.35
S	=	1.15
U	=	1.00
R	=	8.00
C	=	1.746

$$\frac{Z \times U \times C \times S}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.746 \times 1.15}{8} = 0.0879$$

$C_y = 0.0879$, $k = 1.18$; estos valores se colocan en el programa ETABS, en los patrones de carga para el análisis estático “Y”

Figura 38.

Coefficientes del sismo estático Y



c) Cálculo de la cortante basal y peso

Tabla 11.

Cortante basal en X y Y

Name	Ecc Ratio	Top Story	Bottom Story	C	K	Weight Used tonf	Base Shear tonf
Sx+	0.05	Story4	Base	0.0908	1.17	18135.93	1646.74
Sy+	0.05	Story4	Base	0.0879	1.18	18135.93	1594.15

Fuente: Etabs, 2020

Peso total de la estructura

$$W = 18135.93 \text{ tonf}$$

Cortante basal

$$V_x = 1646.74 \text{ tonf}$$

$$V_y = 1594.15 \text{ tonf}$$

5.1.1.2.3. *Análisis dinámico modal espectral*

El desarrollo de este análisis exige modelar cada losa de entrepiso como un diafragma rígido, condición que conduce a considerar tres grados de libertad por nivel: dos correspondientes a traslaciones en los ejes X e Y, y uno asociado a la rotación respecto del eje Z. A partir de esta formulación, las fuerzas máximas probables se obtienen a través de un análisis modal espectral por superposición, determinándose además en cada nivel el centro de masa y el centro de rigidez.

a) Aceleración espectral

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

$$S_a = \frac{Z \times U \times C \times S}{R} * g, \quad g = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Figura 39.

Espectro de respuesta

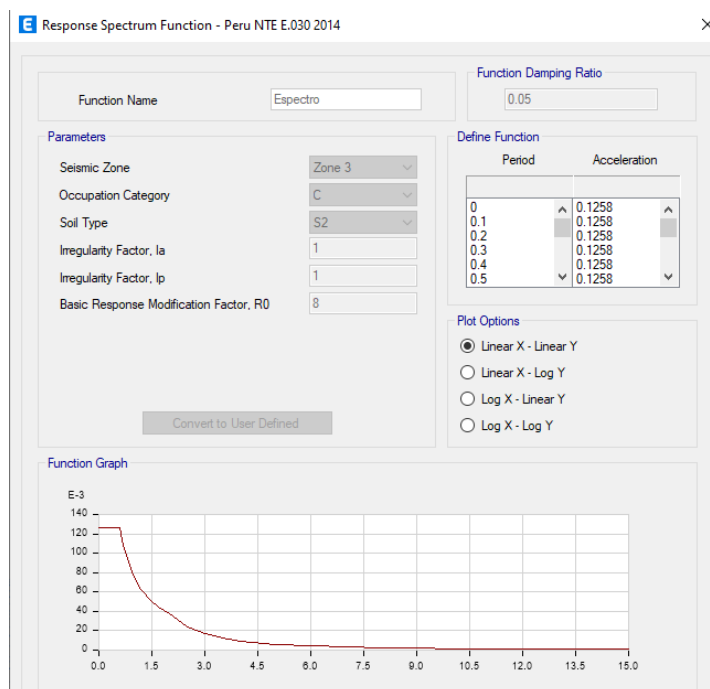
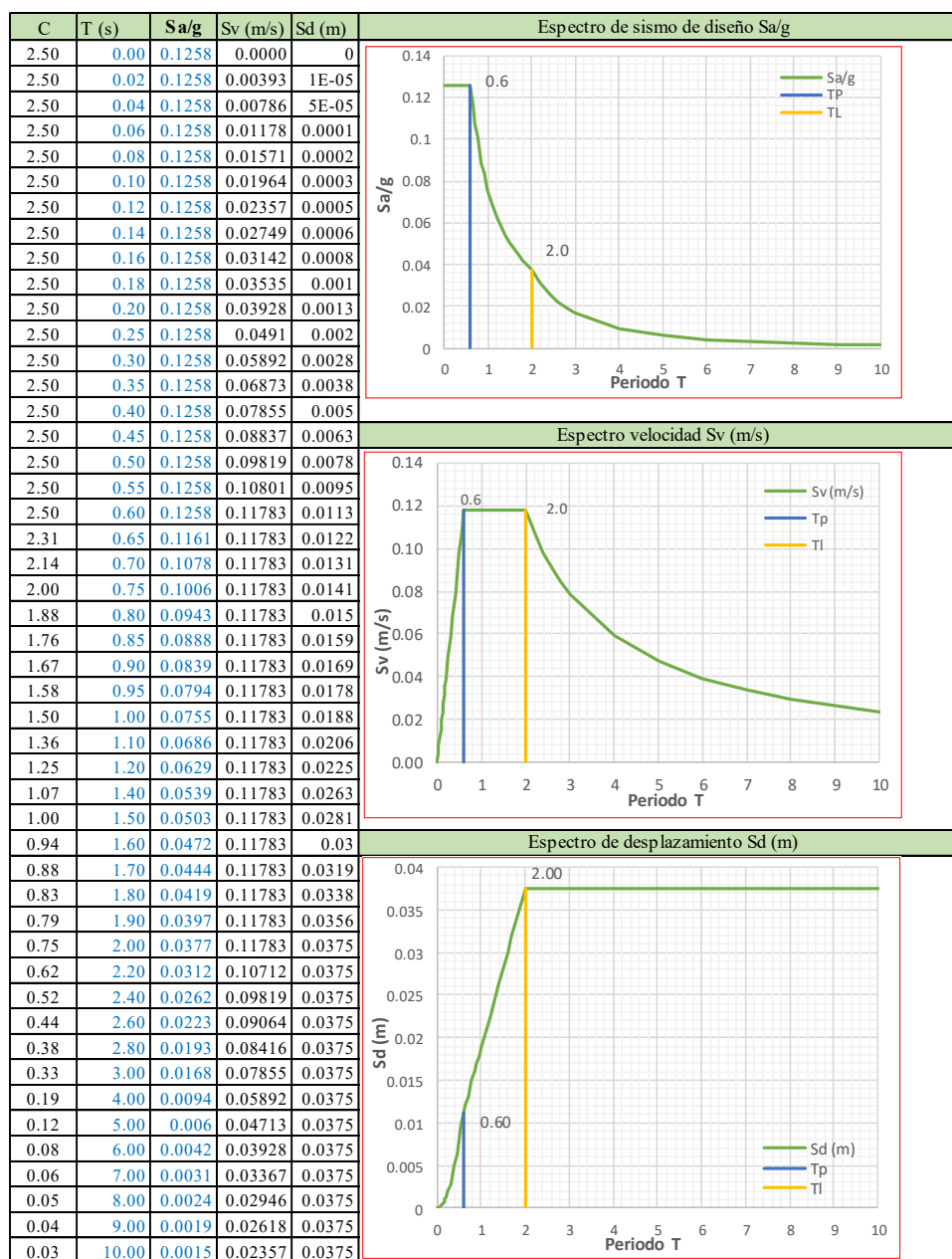


Tabla 12.

Espectro Pseudoaceleracion

b) Fuerza cortante mínima

En todas las direcciones evaluadas, la fuerza cortante del primer entrepiso debe verificarse con respecto a un valor mínimo normativo, equivalente al 80 % del valor calculado según el artículo 25 para estructuras regulares y al 90 % para estructuras irregulares. Si para cumplir esta exigencia se requiere aumentar la cortante, los restantes resultados obtenidos deberán reajustarse proporcionalmente, excepto los desplazamientos.

Cortante estática

$$V_x = 1646.74 \text{ tonf}$$

$$V_y = 1594.15 \text{ tonf}$$

Cortante dinámica

$$VD_x = 1355.03 \text{ tonf}$$

$$VD_y = 1306.13 \text{ tonf}$$

Factor de amplificación sísmica “X”

$$- \frac{VD_x}{V_x} = \frac{1355.03}{1646.74} = 82.28 \geq 80\% \text{ (CUMPLE) } \quad \text{NO HAY ESCALAMIENTO}$$

Factor de amplificación sísmica “Y”

$$- \frac{VD_y}{V_y} = \frac{1306.13}{1594.15} = 81.93 \geq 80\% \text{ (CUMPLE) } \quad \text{NO HAY ESCALAMIENTO}$$

c) Desplazamientos laterales relativos

Derivas en dirección “X”

Figura 40.

Derivas de entrepiso “X”

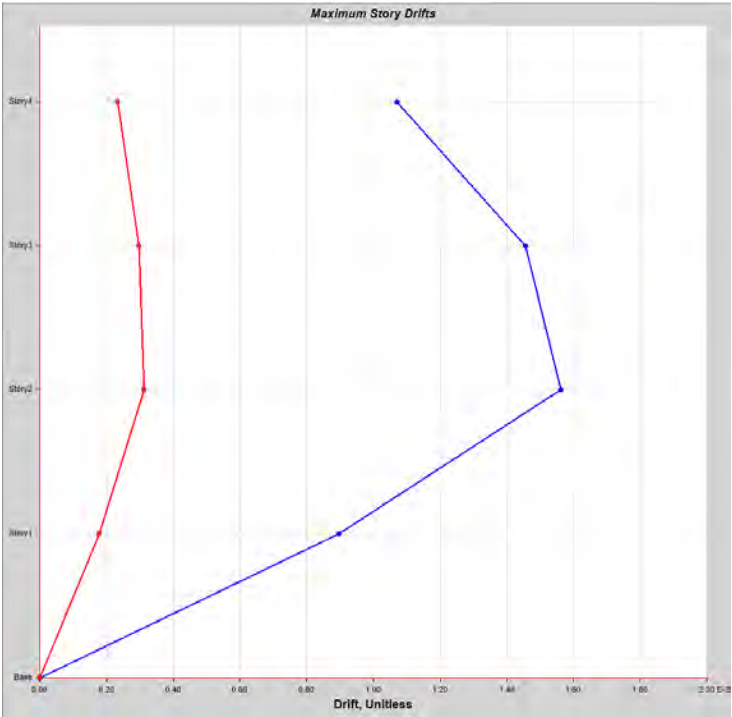


Tabla 13.

Derivas de entrepiso en “X” según normativa E.030

N Pisos	hei (m)	Øelastica	Øinelastica	ØE030	cumple
4	4.42	0.001070	0.006420	0.007	si
3	4.42	0.001457	0.008742	0.007	no
2	4.42	0.001563	0.009378	0.007	no
1	4.42	0.000895	0.005370	0.007	si

Derivas en dirección “Y”

Figura 41.

Derivas de entrepiso “Y”

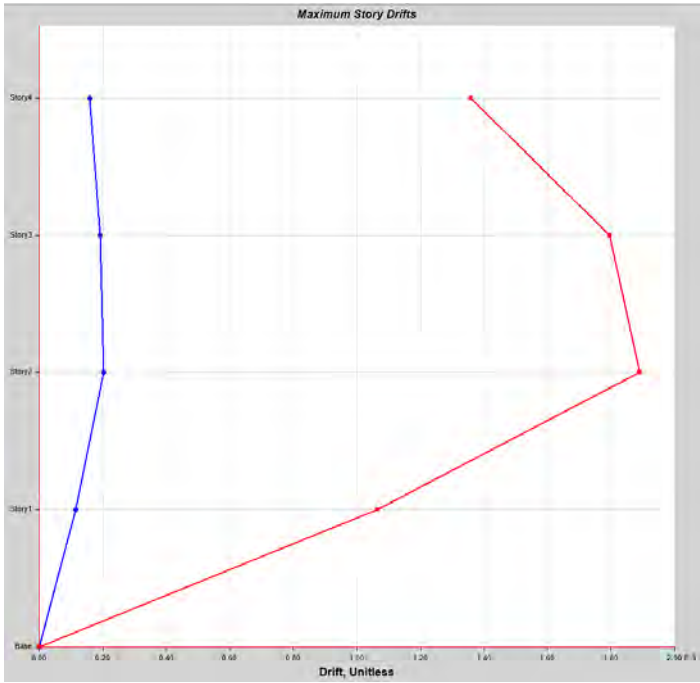


Tabla 14.

Derivas de entrepiso en “Y” según normativa E.030

N Pisos	hei (m)	Øelastica	Øinelastica	ØE030	cumple
4	4.42	0.001359	0.008154	0.007	no
3	4.42	0.001795	0.010770	0.007	no
2	4.42	0.001890	0.011340	0.007	no
1	4.42	0.001064	0.006384	0.007	si

d) Verificación del factor R

En dirección “X”

Fuerza cortante en el 1er nivel

Cortante en columnas 1er nivel 1323.86 tonf

Cortante en la base 1355.03 tonf

Porcentaje de cortante actuante en las columnas de 99%, por lo tanto, se considera

un sistema aporticado

En dirección “Y”

Fuerza cortante en el 1er nivel

Cortante en columnas 1er nivel 1305.22 tonf

Cortante en la base 1306.13 tonf

Porcentaje de cortante actuante en las columnas de 96%, por lo tanto, se considera un

sistema aporticado

e) Irregularidad en altura

Irregularidad de Rigidez-Piso blando

$$K_{ei} < 0.70K_{ei+1} = A, \quad K_{ei} < \frac{0.80}{3} (K_{ei+1} + K_{ei+2} + K_{ei+3}) = B$$

Dirección en “X”

Tabla 15.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	hi (m)	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	17.68	93.78	-	-	NO
3	13.26	144.51	1.54	-	NO
2	8.84	223.56	1.55	-	NO
1	4.42	354.26	1.58	2.30	NO

Dirección en “Y”

Tabla 16.

Irregularidad de rigidez en Y

N Pisos	hi (m)	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	17.68	88.78	-	-	NO
3	13.26	131.95	1.49	-	NO
2	8.84	184.66	1.40	-	NO
1	4.42	335.06	1.81	2.48	NO

Irregularidad Extrema de Rigidez

$$Kei < 0.60Kei + 1 = A, \quad Kei < \frac{0.70}{3} (Kei + 1 + Kei + 2 + Kei + 3) = B$$

Dirección en “X”

Tabla 17.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	hi (m)	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	17.68	93.78	-	-	NO
3	13.26	144.51	1.54	-	NO
2	8.84	223.56	1.55	-	NO
1	4.42	354.26	1.58	2.30	NO

Dirección en “Y”

Tabla 18.*Irregularidad de rigidez en Y*

N Pisos	hi (m)	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	17.68	88.78	-	-	NO
3	13.26	131.95	1.49	-	NO
2	8.84	184.66	1.40	-	NO
1	4.42	335.06	1.81	2.48	NO

Irregularidad de masa o peso

$$W_i > 1.50 W_{i+1} = A, \quad W_i > 1.50 W_{i-1} = B$$

Tabla 19.

Irregularidad de masa o peso

N Pisos	hi (m)	M(ton)	A	B	MASA O P.
4	17.68	3804.48	-	0.82	NO
3	13.26	4662.11	1.23	0.95	NO
2	8.84	4891.22	1.05	1.02	NO
1	4.42	4778.12	0.98	-	NO

Irregularidad Geometría vertical: No presenta

Discontinuidad en los sistemas resistentes: No presenta

Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes: No presenta

f) Irregularidad en planta

Irregularidad Torsional

$$\frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 50\% \left(\frac{\Delta_i}{h_{ei}} \right) \text{permisible (A)}, \quad \frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 1.3 \left(\frac{\Delta_{pi}}{h_{ei}} \right) (B)$$

Dirección en “X”

Tabla 20.

Irregularidad torsional X

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	17.68	0.0063840	0.0064140	0.006399	91%	1.00	NO
3	13.26	0.0086760	0.0087420	0.008709	124%	1.00	NO
2	8.84	0.0092880	0.0093780	0.009333	133%	1.00	NO
1	4.42	0.0053160	0.0053700	0.005343	76%	0.99	NO

Dirección en “Y”

Tabla 21.

Irregularidad torsional Y

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	17.68	0.0077460	0.0080760	0.007911	111%	0.98	NO
3	13.26	0.0103320	0.0107700	0.010551	148%	0.98	NO
2	8.84	0.0109020	0.0113400	0.011121	156%	0.98	NO
1	4.42	0.0061620	0.0063840	0.006273	88%	0.98	NO

Irregularidad Torsional Extrema

$$\frac{\Delta_{max}}{hei} \geq 50\% \left(\frac{\Delta i}{hei} \right) \text{permisible (A)} , \quad \frac{\Delta_{max}}{hei} \geq 1.5 \left(\frac{\Delta pi}{hei} \right) (B)$$

Tabla 22.*Irregularidad torsional extrema X*

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	17.68	0.0063840	0.0064140	0.006399	91%	1.00	NO
3	13.26	0.0086760	0.0087420	0.008709	124%	1.00	NO
2	8.84	0.0092880	0.0093780	0.009333	133%	1.00	NO
1	4.42	0.0053160	0.0053700	0.005343	76%	0.99	NO

Tabla 23.*Irregularidad torsional extrema Y*

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	17.68	0.0077460	0.0080760	0.007911	111%	0.98	NO
3	13.26	0.0103320	0.0107700	0.010551	148%	0.98	NO
2	8.84	0.0109020	0.0113400	0.011121	156%	0.98	NO
1	4.42	0.0061620	0.0063840	0.006273	88%	0.98	NO

Esquinas Entrantes: No presentaDiscontinuidad de Diafragma: No presentaSistemas no Paralelos: No presenta

5.1.2 *Análisis de modelo de estructura de base aislada*

5.1.2.1. *Análisis y diseño del aislador elastomérico con núcleo de plomo -LRB*

5.1.2.1.1. *Cálculos preliminares para el diseño de los aisladores elastomérico con núcleo de plomo*

a) Metrado de la edificación

Deberemos realizar el metrado de nuestra edificación con la intención de hallar el valor del Peso Sísmico.

El metrado de cargas comprenderá el peso de todos los elementos estructurales localizados sobre la interfaz de aislamiento sísmico. De igual manera, el peso sísmico será determinado con base en los parámetros definidos por las Normas Técnicas E.030 y E.031, en concordancia con las disposiciones de la norma de aislamiento.

Lo primero en metrar será el sistema de aislamiento. Considerar peso específico del concreto $\gamma = 2.4 \text{ tn/m}^3$, además ***Total (Tonf) = N x B x D x A***

Tabla 24.

Metrado de Capiteles - nivel piso técnico

Nivel	Numero	Dimensiones			Peso por Piso
		B (m)	D (m)	A (m)	Total (Tonf)
Piso Técnico	72	1.00	1.00	0.80	167.27

Tabla 25.*Metrado de Vigas de Aislamiento - nivel piso técnico*

Nivel	Numero	Longitud (m)	Dimensiones		Peso por Piso
			Base (m)	Peralte (m)	Total (Tonf)
Piso Técnico	126	7.80	0.50	0.90	1061.424

Tabla 26.*Metrado de Losa Maciza - Nivel piso técnico*

Nivel	Numero	H (m)	Dimensiones		Peso por Piso
			Área por Piso (m ²)		(Tonf)
Piso Técnico	55	0.25	60.84		2007.72

Ahora procederemos a medir todos los elementos estructurales de los 4 niveles y un 5 nivel de uso terraza; considerando $\gamma = 2.4 \text{ tn/m}^3$.

Tabla 27.*Altura de entrepiso de la edificación*

Piso	A (m)	Escalera (m)
1°	4.42	2.21
2°	4.42	2.21
3°	4.42	2.21
4°	4.42	2.21
5°	3.25	

Para calcular el valor del peso por piso se aplica la siguiente formular $Total (Tn) =$

$$N \times B \times D \times A \times \gamma$$

Tabla 28.*Metrado de Columnas – todos los niveles*

Dimensiones				Peso por Piso (Tonf)					Total (Tonf)	
	Numero	B (m)	D (m)	1°	2°	3°	4°	5°		
C.Central	72	0.90	0.90	618.66	618.66	618.66	618.66	0.00	2474.63	2510.14
C.Escalera	4	0.35	0.25	1.86	1.86	1.86	1.86	0.00	7.42	
C.Terraza	36	0.40	0.25	0.00	0.00	0.00	0.00	28.08	28.08	

Considerar peso específico del concreto $\gamma = 2.4 \text{ tn}/m^3$, además $Total (Tn) =$

$$N \times L \times B \times P \times \gamma$$

Tabla 29.*Metrado de Vigas – todos los niveles*

Dimensiones					Total, por Piso (Tonf)
	Numero	L (m)	B (m)	P (m)	
1° Piso	70	7.80	0.30	0.70	275.18
	12	2.22	0.30	0.70	13.43
	11	1.87	0.30	0.70	10.37
	74	7.80	0.30	0.70	290.91
	4	7.80	0.20	0.50	7.49
	5	1.87	0.20	0.50	2.24
	1	2.93	0.20	0.50	0.70
	3	1.97	0.30	0.70	2.98
	1	3.77	0.30	0.50	1.36
	1	1.35	0.20	0.25	0.16
	1	1.64	0.20	0.25	0.20
	1	1.31	0.20	0.25	0.16
	1	3.98	0.30	0.50	1.43
	1	1.71	0.20	0.25	0.21
	1	1.77	0.20	0.25	0.21
	1	3.83	0.30	0.50	1.38
	1	3.78	0.30	0.50	1.36
2° Piso	70	7.80	0.30	0.70	275.18
	10	2.62	0.30	0.70	13.20
					608.92

	14	1.95	0.30	0.70	13.76	
	74	7.80	0.30	0.70	290.91	
	4	7.80	0.20	0.50	7.49	
	1	3.77	0.30	0.50	1.36	
	1	3.98	0.30	0.50	1.43	
	1	3.83	0.30	0.50	1.38	
	1	3.78	0.30	0.50	1.36	
	1	1.35	0.20	0.25	0.16	
	1	1.64	0.20	0.25	0.20	
	2	1.31	0.20	0.25	0.31	
	1	1.87	0.20	0.50	0.45	
	1	2.93	0.20	0.50	0.70	
	1	2.93	0.20	0.50	0.70	
	1	1.35	0.20	0.25	0.16	
	1	1.31	0.20	0.25	0.16	
3° Piso	70	7.80	0.30	0.70	275.18	618.45
	10	2.62	0.30	0.70	13.20	
	8	2.18	0.30	0.70	8.79	
	74	7.80	0.30	0.70	290.91	
	8	2.22	0.20	0.50	4.26	
	3	1.97	0.20	0.50	1.42	
	1	3.77	0.30	0.50	1.36	
	1	3.98	0.30	0.50	1.43	
	1	3.83	0.30	0.50	1.38	
	1	3.78	0.30	0.50	1.36	
	8	7.80	0.20	0.50	14.98	
	2	1.87	0.20	0.50	0.90	
	2	2.93	0.20	0.50	1.41	
	2	3.90	0.20	0.50	1.87	
4° Piso	70	7.80	0.30	0.70	275.18	654.44
	10	1.84	0.30	0.70	9.27	
	10	2.18	0.30	0.70	10.99	
	69	7.80	0.30	0.70	271.25	
	9	2.22	0.30	0.70	10.07	
	1	2.00	0.30	0.70	1.01	
	1	3.77	0.30	0.50	1.36	
	1	3.98	0.30	0.50	1.43	
	1	3.83	0.30	0.50	1.38	
	1	3.78	0.30	0.50	1.36	
	14	7.80	0.20	0.50	26.21	
	12	3.77	0.20	0.50	10.86	
	12	4.03	0.20	0.50	11.61	
	24	3.90	0.20	0.50	22.46	
Total					2491.58	

Considerar peso específico del concreto $\gamma = 2.4 \text{ tn}/\text{m}^3$, además $Total = H \times A \times \gamma$

Tabla 30.

Metrado de Losas Macizas – todos los niveles

	Dimensiones		Total (Tonf)
	H (m)	A (m ²)	
1° Piso	0.25	3221.235	1932.74
2° Piso	0.25	3294.377	1976.63
3° Piso	0.25	3357.877	2014.73
4° Piso	0.25	3375.58	2025.35
Total			7949.44

Tabla 31.

Metrado de Escalera – todos los niveles

	Dimensiones		Total (Tonf)
	H (m)	A (m ²)	
1° Piso	0.20	68.22	32.75
2° Piso	0.20	68.22	32.75
3° Piso	0.20	68.22	32.75
4° Piso	0.20	68.22	32.75
Total			130.98

Tabla 32.

Metrado de Losa Maciza de los Descansos – todos los niveles

	Dimensiones		Total (Tonf)
	H (m)	Área por Piso (m ²)	
1° Piso	0.20	25.36	12.17
2° Piso	0.20	25.36	12.17
3° Piso	0.20	25.36	12.17
4° Piso	0.20	25.36	12.17

5° Piso	0.20	243.32	116.79
		Total	165.48

Sumamos el valor de las losas macizas de cada nivel más las losas macizas de los descansos de cada nivel.

Tabla 33.

Metrado Total de Losas – todos los niveles

PISOS	Total (Tonf)
1° Piso	1944.91
2° Piso	1988.80
3° Piso	2026.90
4° Piso	2037.52
5° Piso	116.79
Total	8114.93

Se procederá a realizar la asignación de cargas permanentes y sobrecargas a las losas de todos los niveles de nuestra edificación.

Tabla 34.

Carga Muerta considerado en la losa de aislamiento

Piso	CM Acabados (Kg/m²)	Peso (Kg)	CM Tabiquería (Kg/m)²	Peso (Kg)	Peso (Kg)	CM Escaleras (Kg/m²)	Peso (Kg)	CM Descansos (Kg/m²)	Peso (Kg)
Piso Técnico	130.00	435006.00	150.00	425030.00	100386.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°	100.00	322123.50	150.00	184185.25	96637.05	100.00	6822.00	100.00	2536.00
2°	100.00	329437.70	150.00	184156.55	98831.31	100.00	6822.00	100.00	2536.00
3°	100.00	335787.70	150.00	86681.55	100736.31	100.00	6822.00	100.00	2536.00
4°	100.00	207558.00	150.00	247581.20	101267.40	100.00	6822.00	100.00	2536.00
5°	100.00	24332.00	0	0.00	7299.60	0.00	0.00	0.00	0.00

Tabla 35.*Carga Viva considerado en la losa de aislamiento*

Piso	CV (Kg/m ²)	Peso (Kg)	CV Techo (Kg/m ²)	Peso (Kg)	CV Granizo (Kg/m ²) -	Peso (Kg)	CV Escaleras (Kg/m ²)	Peso (Kg)	CM Descansos (Kg/m ²)	Peso (Kg)
Piso Técnico	400.00	1338480.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
1°	400.00	1288494.00	0.00	0.00	0.00	0.00	400	27288.00	400	10144.00
2°	400.00	1317750.80	0.00	0.00	0.00	0.00	400	27288.00	400	10144.00
3°	400.00	1343150.80	0.00	0.00	0.00	0.00	400	27288.00	400	10144.00
4°	0.00	0.00	100.00	237558.00	32.00.	108018.56	400	27288.00	400	10144.00
5°	0.00	0.00	100.00	24332.00	32.00	7786.24	0.00	0.00	0.00	0.00

b) Cálculo del Peso de la edificación

Según lo establecido en el Capítulo IV, artículo 26 de la Norma E.030 ‘Diseño Sismorresistente’, para edificaciones de las categorías A y B se debe considerar el 50 % de la carga viva, y en el caso de azoteas y techos en general, el 25 % de la misma. En atención a este criterio normativo, se desarrolla el cálculo del peso actuante sobre la interfaz de aislamiento.

$$P = CM \times 100\% + CV \times 50\% + CV_T \times 25\%$$

Cabe mencionar que dentro del piso técnico estamos incluyendo todos los elementos estructurales sobre el sistema de aislamiento, como el capitel, el aislador, la viga de aislamiento y la losa de aislamiento.

Tabla 36.

Resumen de los pesos por cada nivel considerando interfaz de aislamiento, calculo manual

Piso	Peso Propio(kg)	CM (kg)	CV (kg)	Peso x Piso (Tonf) - Manual
Piso Técnico	3374654.40	860036.00	669240	4777.93
1°	3207938.04	518202.75	676607.00	4635.75
2°	3250981.56	520416.25	672519.4	4725.92
3°	3298609.32	429291.25	690291.4	4535.19
4°	3477923.28	479471.20	123374.9	3570.77
PESO SISMICO (considerando interfaz de aislamiento)				22245.56

Ahora de acuerdo a lo modelado en el software ETABS v.20.03.00, se obtuvo los siguientes pesos por cada nivel.

Tabla 37.

Peso por nivel considerando interfaz de aislamiento, modelado en ETABS v. 20.03.00

Story	Peso x Piso (T) - ETABS
PISO TECNICO	4778.41
Story1	4636.03
Story2	4726.99
Story3	4536.26
Story4	3571.96
PESO SISMICO (considerando interfaz de aislamiento)	22249.64

Por fines prácticos se tomará el valor calculado en el software, que vendría a ser 22,249.64 T. Se tiene que tener el valor del peso sin considerar el interfaz de aislamiento, quiere decir considerando un sistema de base fija.

Tabla 38.

Resumen de los pesos por cada nivel sin considerar el interfaz de aislamiento, calculo manual

Piso	Peso Propio	CM (kg)	CV (kg)	Peso x Piso (Tonf)-Manual
1°	3207938.04	518202.75	676607.00	4635.75
2°	3250981.56	520416.25	672519.4	4725.92
3°	3298609.32	429291.25	690291.4	4535.19
4°	3477923.28	479471.20	123374.9	3570.77
PESO SISMICO (sin considerar interfaz de aislamiento)				17467.630

Ahora de acuerdo a lo modelado en el software ETABS v.20.03.00, se obtuvo los siguientes pesos por cada nivel.

Tabla 39.

Peso por nivel sin considerar interfaz de aislamiento, modelado en ETABS v. 20.03.00

Story	Peso x Piso (Tonf) - ETABS
Story1	4636.03
Story2	4726.99
Story3	4536.26
Story4	3571.96
PESO SISMICO (sin considerar interfaz de aislamiento)	17471.24

Por fines prácticos se tomará el valor calculado en el software, que vendría a ser 17471.24 Tonf.

Tabla 40.
Resumen de carga muerta, carga viva y peso sísmico considerando base fija de acuerdo al software ETABS v. 20.03.00

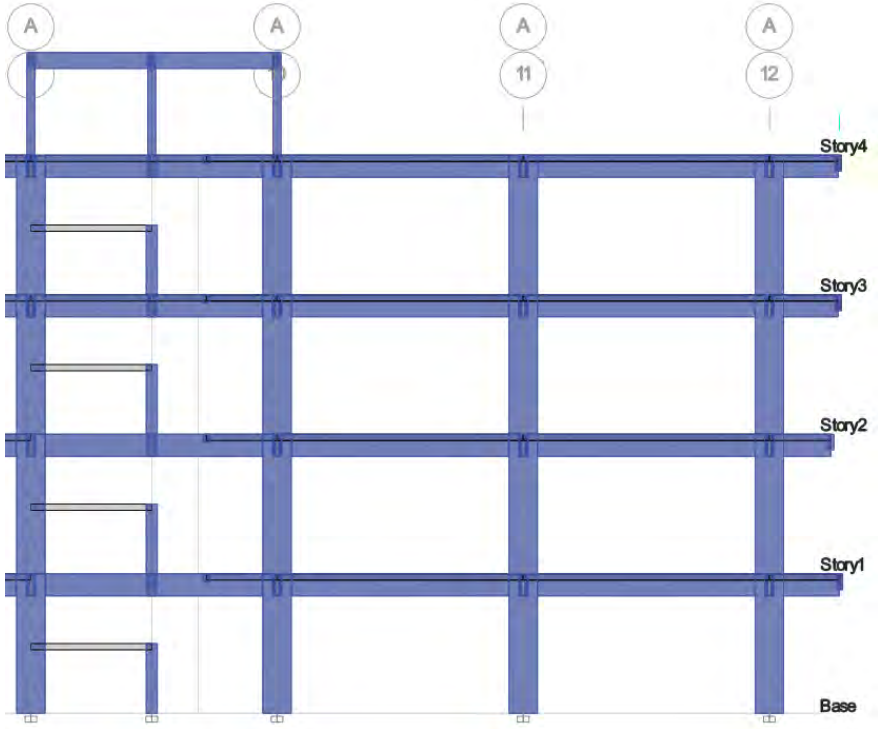
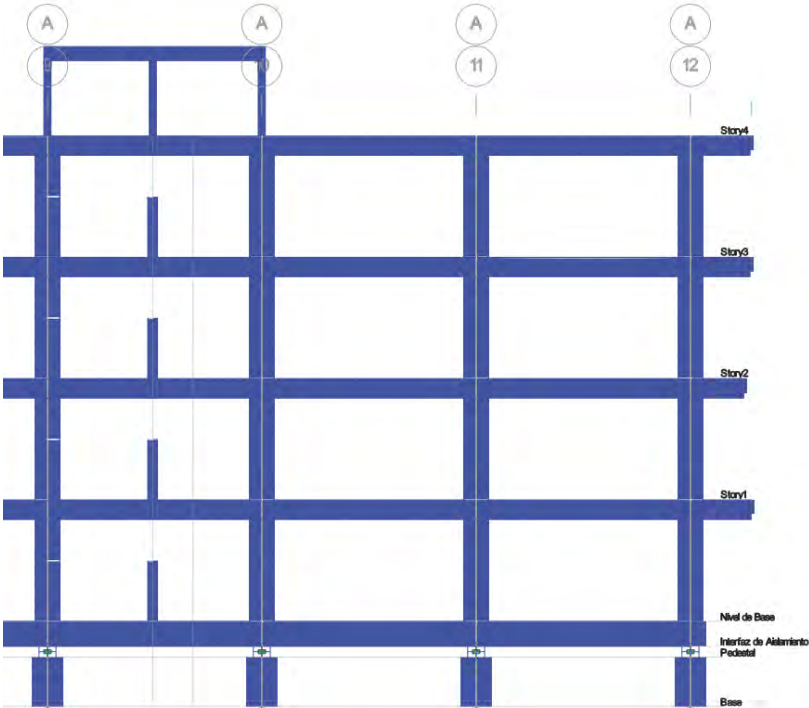
BASE FIJA					
					
BASE FIJA					
CM (Tonf)		CV (Tonf)		PESO SISMICO - (Ps) (Tonf)	
NIVEL 4	3474.66	NIVEL 4	126.64	NIVEL 4	3571.96
NIVEL 3	3857.05	NIVEL 3	677.96	NIVEL 3	4536.26
NIVEL 2	4058.48	NIVEL 2	668.51	NIVEL 2	4726.99
NIVEL 1	3977.77	NIVEL 1	658.25	NIVEL 1	4636.03
TOTAL:	15367.96	TOTAL:	2131.36	TOTAL:	17471.24

Tabla 41.

Resumen de carga muerta, carga viva y peso sísmico considerando interfaz de aislamiento de acuerdo al software ETABS v. 20.03.00

BASE AISLADA					
					
BASE AISLADA					
	CM (Tonf)		CV (Tonf)		PESO SISMICO - (P) (Tonf)
NIVEL 4	3474.66	NIVEL 4	126.64	NIVEL 4	3571.96
NIVEL 3	3857.05	NIVEL 3	677.96	NIVEL 3	4536.26
NIVEL 2	4058.48	NIVEL 2	668.51	NIVEL 2	4726.99
NIVEL 1	3977.77	NIVEL 1	658.25	NIVEL 1	4636.03
Nivel Base	4117.14	Nivel Base	1322.52	Nivel Base	4778.41
TOTAL:	19485.10	TOTAL:	3453.88	TOTAL:	22249.64

c) Cálculo de los parámetros de cargas sísmicas y combinación de cargas

Algunos parámetros ya fueron definidos de acuerdo a la norma E-030 “Diseño Sismorresistente” que se realizó para el análisis estático y dinámica de nuestra estructura con base fija.

Tabla 42.

Parámetros de diseño

PARAMETROS	
ZONA 3	0.35
HOSPITAL NIVEL 2 (U)	1
C=	0.33
S ₂ =	1.15
R=	1
T _p =	0.6
T _L =	2.0
P _s =	17471.24 Tonf
P=	22249.64 Tonf
CM=	19485.10 Tonf
CV=	3453.88 Tonf

Para el parámetro C nos basaremos en lo establecido en la norma E-031, donde indica las siguientes ecuaciones

$$1) T < 0.2T_p \quad \rightarrow \quad C = 1 + 7.5 \left(\frac{T}{T_p} \right)$$

$$2) 0.2T_p < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5$$

$$3) T_p < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right)$$

$$4) T > T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p * T_L}{T^2} \right)$$

Además, se considerará un periodo T=2.58 segundos, el cual más adelante se detallará el motivo por el cual se eligió dicho valor.

Es así que reemplazando los valores en las ecuaciones ($T > T_L$).

$$C = 2.5 \left(\frac{0.6 * 2.0}{2.58^2} \right)$$

Se tuvo como resultado el valor de $C=0.45$.

De acuerdo a la norma E-031 “Aislamiento Sísmico” indica lo siguiente: *Los promedios mínimo y máximo de la carga vertical aplicada a cada unidad tipo de aislador, deben ser calculados aplicando cargas sísmicas horizontales, debidas al SMC”* donde se deberá considerar las siguientes combinaciones de cargas:

- Carga vertical promedio:

$$1.0 \text{ CM} + 0.5 \text{ CV}$$

- Carga vertical máxima:

$$1.25 \times (\text{CM} + \text{CV}) + 1.0 \times (\text{CSH} + \text{CSV}) + 0.2 \text{ CN}$$

- Carga vertical mínima:

$$0.90 \text{ CM} - 1.0 (\text{CSH} + \text{CSV})$$

Donde:

CM: Carga muerta.

CV: Carga viva.

$$\text{CSH: Carga sísmica horizontal} = \frac{ZUCS}{R} \times P_s$$

$$\text{CSV: Carga sísmica vertical} = 0.5(1.5ZS)CM$$

CN: Carga de nieve. (el valor de esta carga ya está incluido dentro de la carga viva, es así que lo consideraremos nulo)

Procedemos a calcular el valor de la carga sísmica horizontal como del vertical.

$$\text{CSH} = \frac{0.35 \times 1 \times 0.45 \times 1.15}{1} * 17421.24 \text{ tonf} ; \text{CSH} = 3169.33 \text{ tonf}$$

$$CSV = 0.5 \times (1.5 \times 0.35 \times 1.15) \times 19485.10 \text{ Tn} ; CSV = 5882.06 \text{ tonf}$$

Una vez hallado dichos valores, calculamos las combinaciones de cargas:

- Carga vertical promedio

$$CVP = 1.0 \times 19485.10 \text{ tonf} + 0.5 \times 3453.88 \text{ tonf}$$

$$CVP = 21212.04 \text{ tonf}$$

- Carga vertical máxima

$$CVMax = 1.25 * (19485.10 \text{ Tonf} + 3453.88 \text{ Tonf}) + 1.0(3169.33 \text{ Tonf} + 5882.06 \text{ Tonf}) \\ + 0.2(0)$$

$$CVMax = 37725.15 \text{ tonf}$$

- Carga vertical mínima

$$CVMin = 0.90 \times 19485.10 \text{ tonf} - 1.0(3169.33 \text{ tonf} + 5882.06 \text{ tonf})$$

$$CVMin = 8485.17 \text{ tonf}$$

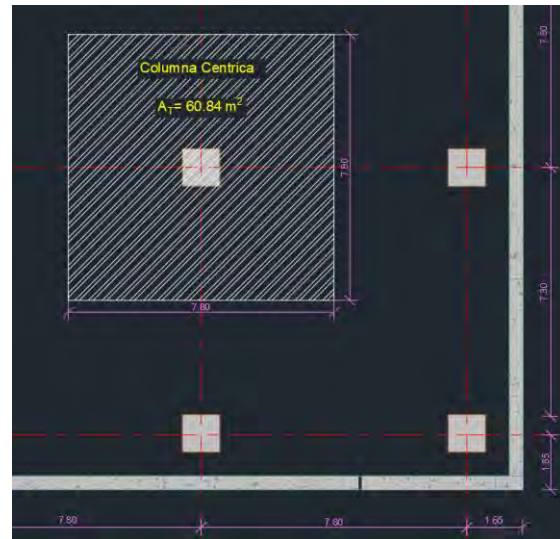
Una vez hallado los valores elegiremos el de carga vertical promedio para continuar nuestros cálculos, 21212.04 tonf; el cual está establecido en la norma en el artículo 13 inciso c) “las propiedades de diseño nominal deben ser calculadas sólo para la combinación de Carga vertical Promedio”

d) Cálculo de las áreas tributarias de nuestra edificación.

En este punto deberemos calcular las áreas tributarias de cada tipo de columna, considerando que existen las céntricas, excéntricas y esquinadas; figuras N° 42, 43 y 44

Figura 42.

Área tributaria de una columna céntrica

**Figura 43.**

Área tributaria de una columna excéntrica

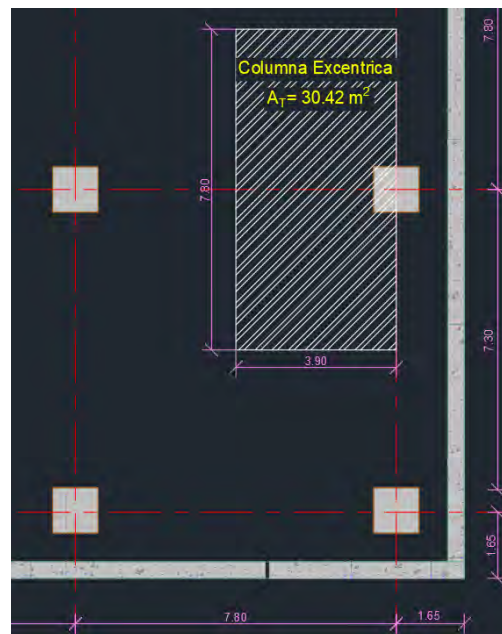
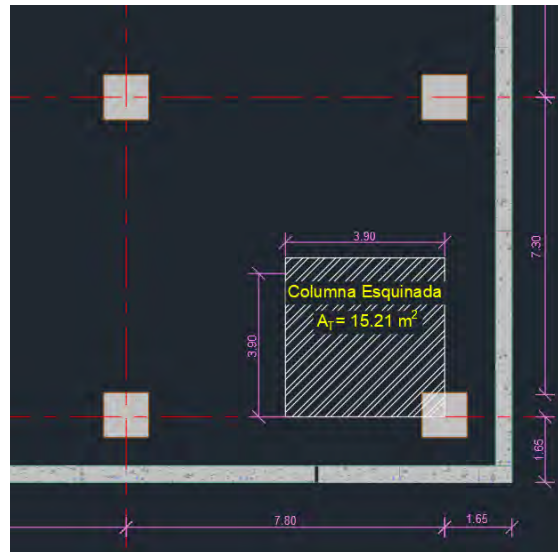


Figura 44.

Área tributaria de una columna esquinada



RESUMEN DE AREAS TRIBUTARIAS

C. ESQUINADO:	15.21 m^2
C. EXCENTRICO:	30.42 m^2
C. CENTRICO:	60.84 m^2

e) Cálculo de las cargas axiales que recibirá cada columna.

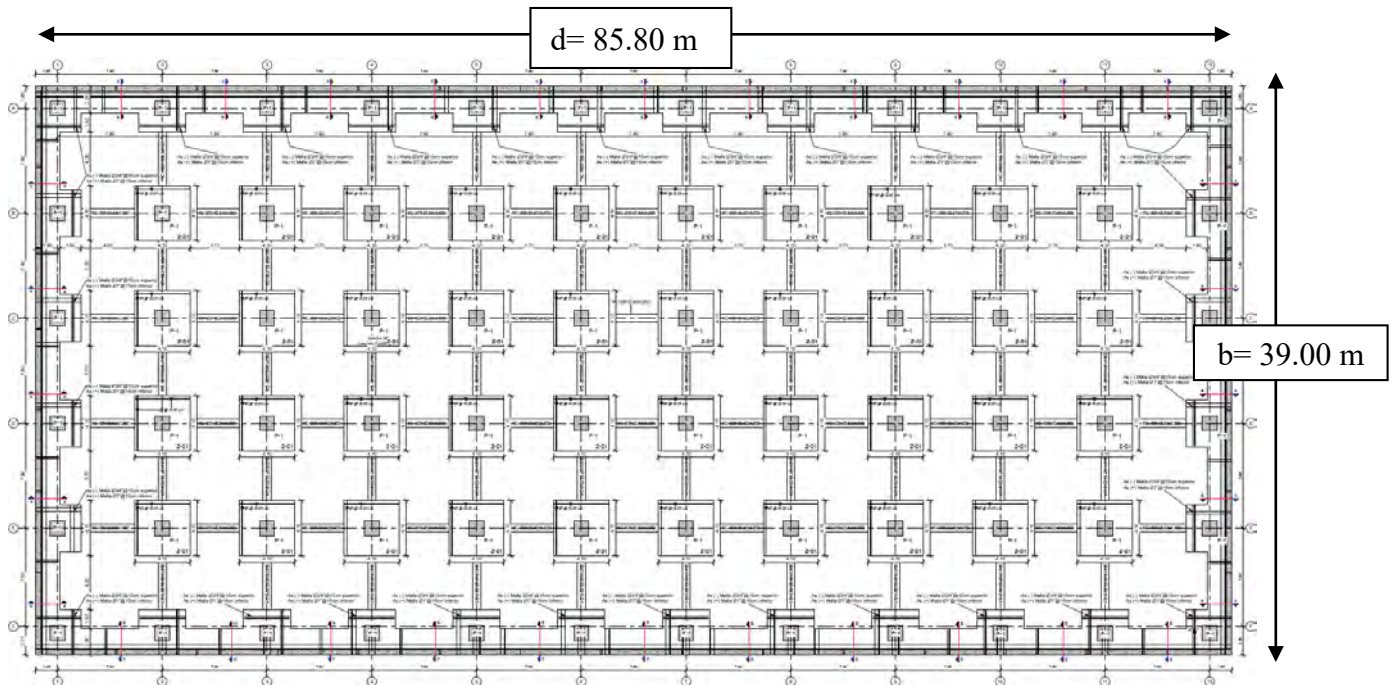
Primero hallamos el área de nuestro diafragma, considerando las dimensiones de la edificación como se muestra en la figura N° 44.

AREA TOTAL DEL DIAGRAMA

Lado Mayor d :	85.80 m
Lado Menor b :	39.00 m
Área :	3346.20 m ²

Figura 45.

Área total de la edificación



En este punto definiremos la carga axial que soportara cada dispositivo de aislamiento sísmico para las diferentes áreas tributarias.

$$Carga\ Axial = \left(\frac{Carga\ Vertical\ Promedio}{Area\ Total} \right) \times Area\ Tributaria$$

- Carga Axial para columna esquinado

$$CA_{esquinado} = \left(\frac{21212.04\ Tonf}{3346.20\ m^2} \right) \times 15.21\ m^2$$

$$CA_{esquinado} = 96.42\ Tonf$$

- Carga Axial para columna excéntrico

$$CA_{excéntrico} = \left(\frac{21212.04\ Tonf}{3346.20\ m^2} \right) \times 30.42\ m^2$$

$$CA_{excentrico} = 192.84 \text{ Tonf}$$

- Carga Axial para columna céntrico

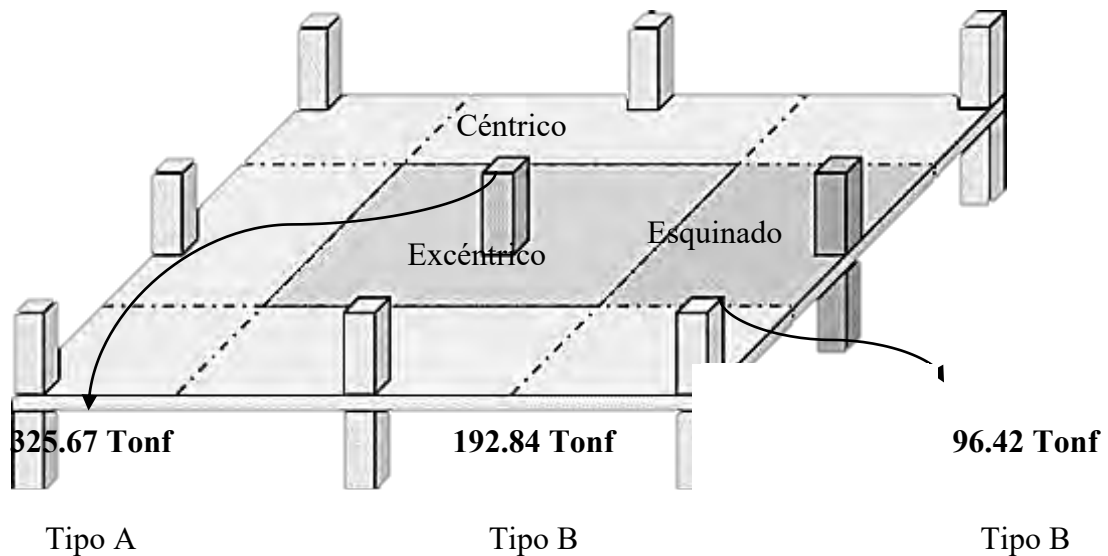
$$CA_{cenrico} = \left(\frac{21212.04 \text{ Tonf}}{3346.20 \text{ m}^2} \right) \times 60.84 \text{ m}^2$$

$$CA_{centrico} = 325.67 \text{ Tonf}$$

Para fines prácticos, se planteará el uso de 2 dispositivos de aislamiento sísmico, siendo el primero para la columna céntrico y la segunda unificaremos la columna excéntrica con la esquinada como se muestra en la figura N° 45

Figura 46.

Distribución de las cargas recibidas a cada columna



5.1.2.1.2. *Diseño de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo*

a) Materiales.

Propiedades De La Goma

- Módulo de corte del caucho $G = 0.40 \text{ Mpa} \approx 40.79 \text{ tonf/m}^2$
- Módulo volumétrico del caucho (Asumido) $K = 200,000 \text{ tonf/ m}^2$
- $f = 4.00$ (Se sugiere emplear el valor $f=4.0$, salvo que el proveedor sustente un valor diferente mediante el ensayo ASTM D945 o a través de otro método equivalente aceptado internacionalmente)
- Módulo elástico ($G \cdot f$) $E_0 = 163.14 \text{ tonf/ m}^2$
- Constante empírica que está en función de G (Asumido) $k = 0.75$

Propiedades Del Acero

- Módulo de corte de plomo $\sigma_{\max} = 1000.00 \text{ tonf/ m}^2$
- Tensión de fluencia del plomo $t_{py} = 700.00 \text{ tonf/ m}^2$
- Límite de fluencia de la placa exterior (Acero A36) $F_y = 2530.00 \text{ tonf/ m}^2$
- Para placas de acero sin orificios (Constantino 2011) $\alpha = 1.65$

I. Medrado de Cargas

- Peso sobre el interfaz de aislamiento sísmico $P = 22249.64 \text{ Tonf}$
- Peso Efectivo sin nivel de base $P_s = 17471.24 \text{ Tonf}$

II. Dimensiones de la estructura

Dimensiones

Lado mayor $d = 85.80 \text{ m}$

Lado menor $b = 39.00 \text{ m}$

Área en planta

$$A_{\text{plan}} = 3346.20 \text{ m}^2$$

III. Sismicidad

Sismicidad

Zonificación, E-030 (Art. 10)

Departamento: CUSCO

Provincia: CHUMBIVILCAS

Distrito: SANTO TOMÁS

Zona Sísmica: 3

$Z = 0.35 \text{ g}$

Condiciones Geotécnicas, E.030 (Art. 12)

Perfil de suelo tipo: S2

Suelos intermedios: Suelos medianamente rígidos, arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, suelo cohesivo compacto.

Tipo: suelo intermedio

$V_s = 180 \text{ m/s a } 500 \text{ m/s}$

$S = 1.15$

$N_{60} = 15 \text{ a } 50$

$T_P = 0.6$

$S_u = 50 \text{ kpa a } 100 \text{ kpa}$

$T_L = 2.0$

$q_u = 1 \text{ kg/cm}^2 \text{ a } 0.5 \text{ kg/cm}^2$

Categoría del Edificio, E.030 (Art. 15)

Categoría del Edificio:

A1_Esenciales

Tipo de Edificación: Con Aisladores sísmicos zonas (4,3,2,1)

Factor de uso o Importancia $U = 1.0$

Edificaciones del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el ministerio de Salud

Periodo Estructura Fija

$T = 0.86 \text{ s}$

Periodo Objetivo

Multiplicamos por un factor de 3 a nuestro periodo de estructura fija para convertirlo en periodo objetivo, en caso sea menor a los 3 segundos se considera como mínimo dicho periodo. Se recomienda que el periodo este entre 2.0 a 4.5 s.

Factor= 3

$T_{\text{calculado}} = 2.58 \text{ s}$

Factor de amplificación sísmica C. E-031

Categoría del Edificio:

$TP = 0.6$

$TL = 2.0$

$TM = 2.58 \text{ s}$

$C = 0.45$

5.1.2.1.3. *Análisis estático del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo*
- LRB

Para realizar este procedimiento de acuerdo a la norma E.031 “Aislamiento Sísmico” indica que debe cumplir los siguientes criterios:

- La estructura debe estar ubicada en Z 1 o 2, o en el Z 3 sobre suelos tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.
- El periodo efectivo T_M será menor o igual 5 s.
- Sobre la interfaz de aislamiento, la edificación no debe exceder una altura de 20 m ni superar los 4 niveles, tomando como referencia el nivel de base estructural para dicha medición.
- El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico β_M debe ser menor o igual a 30% del amortiguamiento crítico.
- El periodo efectivo de la estructura aislada T_M debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura con base fija.
- La estructura por encima del nivel de aislamiento sísmico no debe tener ninguna de las siguientes irregularidades:
 - Irregularidad de rigidez- Piso blando
 - Irregularidad de resistencia – Piso débil
 - Irregularidad de rigidez extrema – Piso blando
 - Irregularidad extrema de resistencia – Piso débil
 - Irregularidad por discontinuidad extrema
 - Irregularidad torsional extrema en planta
- El sistema de aislamiento debe satisfacer los siguientes criterios:

- La rigidez efectiva del sistema de aislamiento asociada al desplazamiento traslacional deberá ser mayor que un tercio de la rigidez efectiva evaluada al 20 % del desplazamiento máximo.
- El sistema de aislamiento sísmico deberá tener la capacidad de generar una fuerza lateral de restitución
- El desplazamiento máximo admisible del sistema de aislamiento sísmico no deberá ser menor que el desplazamiento total máximo.

a) Factor de amortiguamiento B_M

Asumimos un amortiguamiento efectivo de acuerdo a la figura N° 46, $\beta_M = 20\%$

Mayor amortiguamiento, menor aceleración

Figura 47.

Factor de amortiguamiento B_M

Tabla N° 5 Factor de amortiguamiento B_M	
Amortiguamiento Efectivo, β_M (En porcentaje del amortiguamiento crítico) a,b	Factor B_M
≤ 2	0,8
5	1,0
10	1,2
20	1,5
30	1,7
≥ 40	1,9

Nota: Relación de amortiguamiento efectivo con factor de reducción. Fuente (Adaptado de la NTE.031)

Donde:

a: β_M se basará en el amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento determinado en concordancia con los requisitos del número 13.5.

b: Para valores de β_M diferentes de los indicados en la tabla, el factor B_M se obtendrá por interpolación lineal.

De acuerdo a la tabla se tiene el siguiente valor:

Amortiguamiento efectivo β_M (20) en % del amortiguamiento critico $B_M = 1.5$

Sismo máximo considerado - SMC Art. 14.4 E-031, 201

$$S_{aM} = 1.5ZUCS \ g \quad = \quad 2.67 \quad \text{m/s}^2$$

DONDE

$$\text{Zona} \quad = 0.35g$$

$$\text{Factor de amplificación de sismo} \quad = 0.45$$

$$\text{Factor de suelo} \quad = 1.15$$

$$\text{Gravedad} \quad = 9.81 \text{ m/s}^2$$

Desplazamiento Traslacional (DM) Art. 20.1 E-031, 2018

$$D_M = \frac{S_{aM} \times T_M^2}{4\pi^2 \times B_M} \quad = \quad 0.30 \quad \text{m}$$

DONDE

$$\text{Sismo máximo considerado (SMC)} \quad = \quad 2.67 \text{ m/s}^2$$

$$\text{Periodo Objetivo } T_M \quad = \quad 2.58 \text{ Sg}$$

$$\text{Amortiguamiento critico } B_M \quad = \quad 1.50$$

Desplazamiento Total Máximo (D_{TM})

$$D_{TM} = D_M \left[1 + \left(\frac{y}{P_T^2} \right) \times \left(\frac{12e}{b^2 + d^2} \right) \right] \quad = 0.40 \text{ m}$$

DONDE

$$\text{Desplazamiento traslacional } D_M \quad D_M = 0.30$$

$$y = 42.90 \text{ m}$$

Distancia entre el centro de rigidez del sistema
de aislamiento sísmico y el elemento de interés

Razón entre T_1/T_3 (PT2) / BASE

$$Pt2 = 1.10 \text{ s}$$

FIJA

Dimensión menor en base (b)

$$b = 39.00 \text{ m}$$

Dimensión mayor en base (d)

$$d = 85.80 \text{ m}$$

Excentricidad final (e)

$$e = 4.57 \text{ m}$$

COMPROBACION

$$D_{TM} > 1.15D_M = \text{OK}$$

Vamos a calcular las propiedades requeridas del aislador.

b) Cálculo de las propiedades geométricas de los aisladores sísmicos

Disponible a partir del catálogo DIS y BRIDGESTONE.

TIPO 1 CENTRICO

- Espesor de cada capa de caucho

DONDE

$$t_r = 0.80 \text{ cm}$$

- Espesor de cada capa de acero

DONDE

$$t_s = 0.30 \text{ cm}$$

- Espesor de cobertura

DONDE

$$C_s = 1.00 \text{ cm}$$

- Espesor de planchas de montajes

DONDE

$$t_{tp} = 2.50 \text{ cm}$$

TIPO 2 EXCENTRICO Y ESQUINADO

DONDE

$$t_r = 0.80 \text{ cm}$$

DONDE

$$t_s = 0.30 \text{ cm}$$

DONDE

$$C_s = 1.00 \text{ cm}$$

DONDE

$$t_{tp} = 2.50 \text{ cm}$$

- Altura total mínima del caucho

$$H_r := \frac{D_{TM}}{2.5}$$

DONDE			DONDE	
H_r =	0.15 m		H_r =	0.15 m
D _{TM} =	0.367 m		D _{TM} =	0.367 m

- Numero de capas de caucho o goma

$$N := \frac{H_r}{t_r}$$

DONDE			DONDE	
N =	18 Capas		N =	18 Capas
H _r =	14.68 cm		H _r =	14.68 cm
t _r =	0.80 cm		t _r =	0.80 cm

- Altura total de acero

$$T_s := (N - 1) \times t_s$$

DONDE			DONDE	
T_s =	5.20 cm		T_s =	5.20 cm
N=	18 Capas		N=	18 Capas
t _s =	0.30 cm		t _s =	0.30 cm

- Altura total del aislador

$$H := 2 \times t_{tbp} + 2 \times t_{tbp} + H_r + T_s$$

DONDE			DONDE	
H =	29.88 cm		H =	29.88 cm
T _{tbp} =	2.50 cm		T _{tbp} =	2.50 cm
H _r =	14.68 cm		H _r =	14.68 cm
T _s =	5.20 cm		T _s =	5.20 cm

Ahora procedemos a calcular el predimensionamiento del aislador.

- Predimensionamiento del área del aislador

$$A := \frac{P_u}{\sigma_{max}}$$

DONDE			DONDE	
A =	0.39 m²		A =	0.19 m²

$P_u =$	385.67 tonf		$P_u =$	385.67 tonf
$\sigma_{max} =$	1000.00 tonf/m ²		$\sigma_{max} =$	1000.00 tonf/m ²

- Diámetro del aislador

$$D_{min} = \sqrt{\frac{4 \times A}{\pi}}$$

DONDE

$D_{min} =$	0.70 m
$A =$	0.39 m ²

DONDE

$D_{min} =$	0.50 m
$A =$	0.19 m ²

$$D_{min} = 1.5 \times D_{TM}$$

DONDE

$D_{min} =$	0.55 m
$D_{TM} =$	0.37 m

Una vez calculado por ambas formulas elegimos el valor mínimo de diámetro DO para el primer y segundo aislador el cual será 70 cm y 56 cm respectivamente.

- Área con diámetro total

$$A = \frac{\pi \times D_o^2}{4}$$

DONDE

$A =$	0.38 m²
$D_o =$	0.70 m

DONDE

$A =$	0.25 m²
$D_o =$	0.56 m

- Diámetro del núcleo de plomo
Rango recomendado $D_o/6$ y $D_o/3$

DONDE

$D_o/6 =$	0.12 m
$D_o/3 =$	0.23 m

DONDE

$D_o/6 =$	0.09 m
$D_o/3 =$	0.19 m

Teniendo en cuenta ambos valores realizamos un promedio teniendo como resultado $D_p = 0.18$ m y $D_p = 0.14$ m para el primer y segundo aislador respectivamente.

- Área del núcleo de plomo

$$A_p = \frac{\pi \times D_p^2}{4}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_p = & \mathbf{0.03 \text{ m}^2} \\ D_p = & 0.18 \text{ m} \end{array}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_p = & \mathbf{0.02 \text{ m}^2} \\ D_p = & 0.14 \text{ m} \end{array}$$

- Diámetro neto, sin contar la cobertura de caucho exterior

$$D_e := D_0 - 2 \times C_s$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} D_e = & \mathbf{0.68 \text{ m}} \\ D_0 = & 0.70 \text{ m} \\ C_s = & 0.01 \text{ m} \end{array}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} D_e = & \mathbf{0.54 \text{ m}} \\ D_0 = & 0.56 \text{ m} \\ C_s = & 0.01 \text{ m} \end{array}$$

- Área con diámetro neto

$$A_e := \frac{\pi \times D_e^2}{4}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_e = & \mathbf{0.36 \text{ m}^2} \\ D_e = & 0.68 \text{ m} \end{array}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_e = & \mathbf{0.23 \text{ m}^2} \\ D_e = & 0.54 \text{ m} \end{array}$$

- Área de la goma sin recubrimiento

$$A_n := A_e - A_p$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_n = & \mathbf{0.33 \text{ m}^2} \\ A_e = & 0.36 \text{ m}^2 \\ A_p = & 0.03 \text{ m}^2 \end{array}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_n = & \mathbf{0.21 \text{ m}^2} \\ A_e = & 0.23 \text{ m}^2 \\ A_p = & 0.02 \text{ m}^2 \end{array}$$

- Área de la goma incluyendo recubrimiento

$$A_g = A - A_p$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_g = & \mathbf{0.35 \text{ m}^2} \\ A = & 0.38 \text{ m}^2 \\ A_p = & 0.03 \text{ m}^2 \end{array}$$

DONDE

$$\begin{array}{ll} A_g = & \mathbf{0.23 \text{ m}^2} \\ A = & 0.25 \text{ m}^2 \\ A_p = & 0.02 \text{ m}^2 \end{array}$$

c) Cálculo de las propiedades mecánicas de los aisladores sísmicos

- Factor forma

$$S := \frac{A_n}{\pi \times D_e \times t_r}$$

S=	19.31		S=	15.74
$A_n=$	0.33 m ²		$A_n=$	0.21 m ²
$D_e=$	0.68 m		$D_e=$	0.54 m
$t_r=$	0.008 m		$t_r=$	0.008 m

- Módulo de compresión del aislador

$$E_c := E_0(1 + 2kS^2)$$

$E_c=$	91,404.06 tonf/m²		$E_c=$	60,796.23 tonf/m²
$E_o=$	163.14 tonf/m ²		$E_o=$	163.14 tonf/m ²
$k=$	0.75		$k=$	0.75
$S=$	19.31		$S=$	15.74

- Módulo de rigidez vertical

$$E_v := \frac{1}{\frac{1}{6 \times G} + \frac{4}{3 \times K}}$$

$E_v:=$	56,732.24 tonf/ m²		$E_v:=$	43,179.17 tonf/m²
$G:=$	40.79 tonf/ m ²		$G:=$	40.79 tonf/m ²
$S:=$	19.31		$S:=$	15.74
$K:=$	200000 tonf/ m ²		$K:=$	200000 tonf/m ²

- Rigidez a compresión del aislador

$$K_v := E_v \times \frac{A_n}{H_r}$$

$K_v=$	127,558.57 tonf/m		$K_v=$	62,849.07 tonf/m
$E_v=$	56,732.24 tonf/ m ²		$E_v=$	43,179.17 tonf/ m ²
$A_n=$	0.33 m ²		$A_n=$	0.21 m ²
$H_r=$	0.15 m		$H_r=$	0.15 m

- Coefficiente de amortiguamiento vertical

$$C_v := 2 \times 5\% \times \sqrt{K_v \times \frac{P_u}{g}}$$

$C_v :=$	223.94 tonf.s/m		$C_v :=$	111.15 tonf.s/m
$K_v :=$	127,558.57 tonf/m		$K_v :=$	62,849.07 Tonf/m
$P_u :=$	325.67 tonf		$P_u :=$	192.84 tonf
$g :=$	9.81 m/s ²		$g :=$	9.81 m/s ²

- Rigidez post fluencia

	$k_d := A_g \times \frac{G}{H_r}$			
$k_d :=$	95.18 tonf/m		$k_d :=$	62.54 tonf/m
$A_g :=$	0.35 m ²		$A_g :=$	0.23 m ²
$G :=$	40.79 tonf/m ²		$G :=$	40.79 tonf/m ²
$H_r :=$	0.15 m		$H_r :=$	0.15 m

- Rigidez elástica

	$k_i := 10 \times k_d$			
$k_i :=$	951.80 tonf/m		$k_i :=$	625.4 tonf/m
$k_d :=$	95.18 tonf/m		$k_d :=$	62.54 tonf/m

- Fuerza Histerética

	$Q_d := A_p \times t_{py}$			
$Q_d :=$	21.00 tonf		$Q_d :=$	14.00 tonf
$A_p :=$	0.03 m ²		$A_p :=$	0.02 m ²
$t_{py} :=$	700.00 tonf/m ²		$t_{py} :=$	700.00 tonf/m ²

- Fuerza de fluencia

	$F_y = \frac{Q_d \times k_i}{k_i - k_d}$			
$F_y :=$	23.33 tonf		$F_y :=$	15.56 tonf
$Q_d :=$	21.00 tonf		$Q_d :=$	14.00 tonf
$k_i :=$	951.80 tonf/m		$k_i :=$	625.4 tonf/m
$k_d :=$	95.18 tonf/m		$k_d :=$	62.54 tonf/m

- Desplazamiento de fluencia

	$D_y := \frac{F_y}{k_i}$			
$D_y :=$	2.45 cm		$D_y :=$	2.49 cm
$F_y :=$	23.33 tonf		$F_y :=$	15.56 tonf
$k_i :=$	951.80 tonf/m		$k_i :=$	625.40 tonf/m

- Rigidez efectiva

$$k_{eff} = \frac{Q_d + k_d \times D_M}{D_M}$$

$k_{eff}:$	165.18 tonf/m		$k_{eff}:$	109.21 tonf/m
$Q_d:$	21.00 tonf		$Q_d:$	14.00 tonf
$k_d:$	95.18 tonf/m		$k_d:$	62.54 tonf/m
$D_M:$	0.30 m		$D_M:$	0.30 m

- Energía disipada por ciclo

$$EDC = 4 * Q_d \times (D_M - D_y)$$

EDC:	23.14 tonf.m		EDC:	15.41 tonf.m
=			=	
$Q_d:$	21.00 tonf		$Q_d:$	14.00 tonf
$D_y:$	0.0245 m		$D_y:$	0.0249 m
$D_M:$	0.30 m		$D_M:$	0.30 m

- Coeficiente de amortiguamiento horizontal (propiedad física del sistema)

$$c_h = \frac{EDC \times T_M}{2 * \pi^2 \times D_M^2}$$

C_h:	33.61 tonf.s/m		C_h:	22.38 tonf.s/m
=			=	
EDC:	23.14 tonf.m		EDC:	15.41 tonf.m
$T_M:$	2.58 s		$T_M:$	2.58 s
$D_M:$	0.30 m		$D_M:$	0.30 m

- Comprobación del amortiguamiento efectivo.

$$\beta_M = \frac{EDC}{4\pi * \frac{k_{eff} \times D_M^2}{2}}$$

$\beta_M:$	24.7 %		$\beta_M:$	24.9 %
=			=	
EDC:	23.14 tonf.m		EDC:	15.41 tonf.m
$k_{eff}:$	165.18 tonf/m		$k_{eff}:$	109.21 tonf/m
$D_M:$	0.30 m		$D_M:$	0.30 m

- Fuerza de restitución

$$F_R = 0.5 \times k_d \times D_M$$

F_R:	14.28 tonf		F_R:	9.38 tonf
=			=	
$k_d:$	95.18 tonf/m		$k_d:$	62.54 tonf/m
$D_M:$	0.30 m		$D_M:$	0.30 m

- Fuerza máxima

$$F_{max} = k_{eff} \times D_{TM}$$

$F_{\max}:$	66.07 tonf		$F_{\max}:$	43.68 tonf
$k_{\text{eff}}:$	165.18 tonf/m		$k_{\text{eff}}:$	109.21 tonf/m
$D_{\text{TM}}:$	0.40 m		$D_{\text{TM}}:$	0.40 m

- Ratio

$R:$	0.1	$R = \frac{k_d}{k_i}$	$R:$	0.1
$k_d:$	95.18 tonf/m		$k_d:$	62.54 tonf/m
$k_i:$	951.80 tonf/m		$k_i:$	625.4 tonf/m

- Periodo efectivo

$$T_M = 2\pi \sqrt{\frac{P}{k_M \times g}}$$

DONDE

$T_M:$	2.90 s
$k_M:$	10773.56 tonf/m
$P:$	22249.64 Tonf

- d) Verificación de la estabilidad de los aisladores elastoméricos

- Área reducida

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

$AR:$	0.13 m²		$AR:$	0.05 m²
$A:$	0.38 m ²		$A:$	0.25 m ²
$D_e:$	0.68 m		$D_e:$	0.54 m
$D_{\text{TM}}:$	0.37 m		$D_{\text{TM}}:$	0.37 m

- Capacidad de Pandeo

$$P_{\text{critico}} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \times G \times S \times \frac{D_e}{N \times t_r} \times A_R$$

$P_{\text{critico}}:$	546.15 tonf		$P_{\text{critico}}:$	138.40 tonf
$G:$	40.79 tonf/m ²		$G:$	40.79 tonf/m ²
$S:$	19.31		$S:$	15.74

De: =	0.68 m		De: =	0.54 m
N: =	18		N: =	18
tr: =	0.008 m		tr: =	0.008 m
AR: =	0.13 m ²		AR: =	0.05 m ²

- Factor de seguridad

	$P_{critico} = \frac{\frac{\pi}{\sqrt{8}} \times G \times S \times \frac{D_e}{N \times t_r} \times A_R}{FS}$	
P _{critico} : =	182.05 tonf	P _{critico} : = 46.13 tonf
FS: =	3	FS: = 3
P _{critico} : =	546.15 tonf	P _{critico} : = 138.40 tonf

- Deformación por corte debido a deformación

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2.5$$

γ_D : = **2.4** $\leq$ **2.5 OK**
D_{TM}: = 0.37 m
H_r: = 0.15 m

- Deformación por corte debido a compresión

	$\gamma_C = \frac{6 \times P_{critico} \times S}{E_c \times A_R}$	
γ_C : =	1.77	γ_C : = 1.43
P _{critico} : =	182.05 tonf	P _{critico} : = 46.13 tonf
S: =	19.31	S: = 15.74
E _c : =	91,404.06 tonf/m ²	E _c : = 60,796.23 tonf/m ²
A _R : =	0.13 m ²	A _R : = 0.05 m ²

- Deformación por corte debido a deformación angular

	$\gamma_\theta = \frac{0.375 \times D_e^2 \times \theta}{t_r \times H_r}$	
γ_θ : =	0.43	γ_θ : = 0.27
θ : =	0.003 rad	θ : = 0.003 rad
De: =	0.68 m	De: = 0.54 m
tr: =	0.008 m	tr: = 0.008 m
H _r : =	0.15 m	H _r : = 0.30 m

- Deformación total por corte

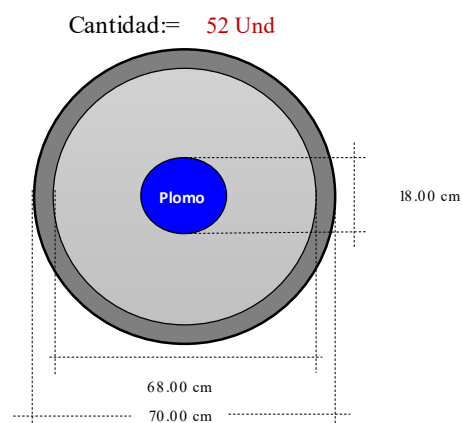
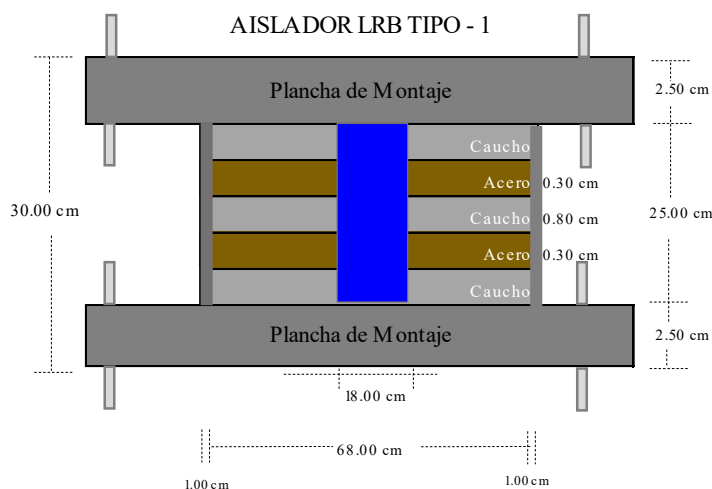
$$\gamma_D + \gamma_C + 0.5 \times \gamma_\theta \leq 6$$

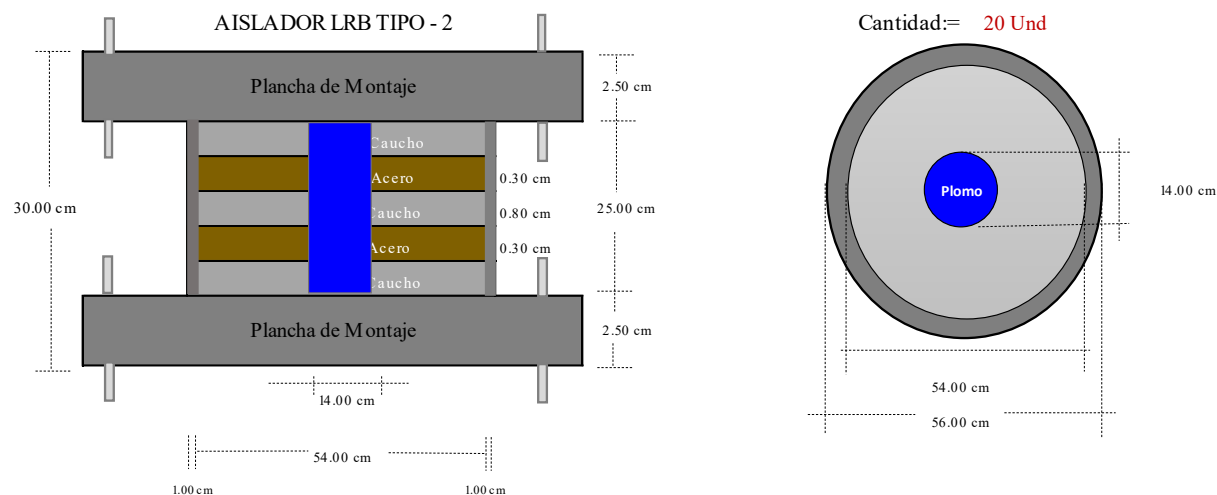
$\gamma_T :=$	4.6 $\leq$	$\gamma_T :=$	4.10 $\leq$
	6 OK		6 OK
$\gamma_D :=$	2.4	$\gamma_D :=$	2.4
$\gamma_C :=$	1.77	$\gamma_C :=$	1.43
$\gamma_0 :=$	0.43	$\gamma_0 :=$	0.27

Tabla 43.

Resumen de las propiedades calculadas para los aisladores LRB

CARACTERISTICAS	AISLADOR TIPO I	AISLADOR TIPO II	UND
Periodo efectivo	2.90		s
Desplazamiento traslacional (D_M)	0.30		m
Desplazamiento total máximo (D_{TM})	0.40		m
Carga axial (P_{max})	325.67	192.84	tonf
Altura mínima total de caucho (H_r)	15	15	cm
Numero de capas de caucho (N)	18	18	-
Diámetro total del aislador (D_o)	70	56	cm
Altura total del aislador (H)	30	30	cm
Área neta del aislador (A_n)	0.36	0.23	m ²
Área del núcleo de plomo (A_p)	0.03	0.02	m ²
Diámetro del núcleo de plomo (D_p)	18	14	cm
Módulo de rigidez vertical (E_v)	56,732.24	43,179.17	tonf/m ²
Rigidez a compresión del aislador (K_v)	127,558.57	62,849.07	tonf/m
Rigidez post fluencia (k_d)	95.18	62.54	tonf/m
Rigidez elástica (k_i)	951.80	625.40	tonf/m
Fuerza histerética (Q_d)	21.00	14.00	tonf
Fuerza de fluencia (F_y)	23.33	15.56	tonf
Desplazamiento de fluencia (D_y)	2.45	2.49	cm
Rigidez efectiva (k_{eff})	165.18	109.21	tonf/m
Coefficiente de amortiguamiento horizontal	33.61	22.38	tonf. s/m ²
Factor forma	19.31	15.74	





Se procedió a revisar el catálogo Dynamic Isolation Systems (DIS) y los aisladores que cumple con las características son los siguientes:

Tabla 44.

Propiedades del catálogo DIS para un aislador elastomérico con núcleo de plomo

TAMAÑO DEL DISPOSITIVO				DIMENSIONES DE LA PLACA DE SOPORTE						PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento o Máximo, D _{max} (mm)	Capa. Carga Axial P _{max} (kN)	
Diámetro Aislador, D _i (mm)	Altura Aislador, H (mm)	Número de capas de caucho, N	Diam. del plomo, D _L (mm)	L (mm)	t (mm)	Cant. Ori.	Ori. Ø mm	A mm	B (mm)	Rigidez Producida, K _d (kN/mm)	Resistencia Características Q _d (kN)	Rigidez a la compresión, K _v (kN/mm)			
Aislador Tipo I	700	205–430	8–30	0–205	750	32	8	33	65	75	0.5-4.2	0-220	>800	460	3100
Aislador Tipo II	570	205–380	8–24	0–180	620	25	8	27	50	50	0.5-2.8	0-180	>500	360	1800

Nota: Dimensiones geométricas, rigideces, resistencia característica, desplazamiento máximo y capacidad de carga axial. Fuente: (Adaptado del catálogo de Dynamic Isolation Systems, 2007)

Se procedió a revisar el catálogo BRIDGESTONE y los aisladores que cumple con las características son los siguientes:

Tabla 45.

Propiedades del catálogo BRIDGESTONE para un aislador elastomérico con núcleo de plomo

Características	Aislador Tipo I	Aislador Tipo II
Espesor total de caucho (cm)	16	16
Diámetro total (mm)	700	600
Diámetro del núcleo de plomo (mm)	180	140
Área efectiva del aislador ($\times 10^2$ mm²)	3594	2673
Espesor de una capa de caucho (mm)	4.9	3.95
Número máximo de capas de caucho	34	41
Espesor total de caucho (mm)	167	162
Factor forma	35.7	38.0
Altura total (mm)	324.9	342.0
Rigidez de compresión ($\times 10^3$ kN/m)	2680	2070
Carga nominal por columna (kN)	4110	2460
Rigidez inicial ($\times 10^3$ kN/m)	12.0	8.98
Rigidez post fluencia ($\times 10^3$ kN/m)	0.920	0.691
Fuerza característica (kN)	203	123
Rigidez efectiva ($\times 10^3$ kN/m)	2.14	1.45

Nota: Características físicas y mecánicas del aislador LRB. Fuente: (Adaptado del catálogo Bridgestone, 2017)

Tabla 46.

Propiedades que se insertaran en el software ETABs.

Propiedades Nominales de los Dispositivos LRB			
PROPIEDADES NOMINALES	TIPO 1 CENTRICO	TIPO 2 EXCEN. Y ESQUI.	Unidad
PROPIEDADES VERTICAL (U1)			
Rigidez Vertical (Effective stiffness) k_v	127,558.57	62849.07	tonf/m
Amortiguamiento Efectivo (Effective Damping) c_v	223.94	111.15	tonf. s/m
PROPIEDADES LINEALES (U2, U3)			
Rigidez Efectiva Lineal (Effective Stiffness) k_{eff}	165.18	109.21	tonf/m
Amortiguamiento Efectivo (Effective Damping) c_h	33.61	22.38	tonf. s/m
PROPIEDADES NO LINEALES (U2, U3)			
Rigidez Inicial (Stiffness) k_i	951.80	625.40	tonf/m
Fuerza de Fluencia (yield strength) F_y	23.33	15.56	tonf
Relación R. Post/R.Inic	0.10	0.10	Ratio

Figura 48.

Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación calculado para el aislador I

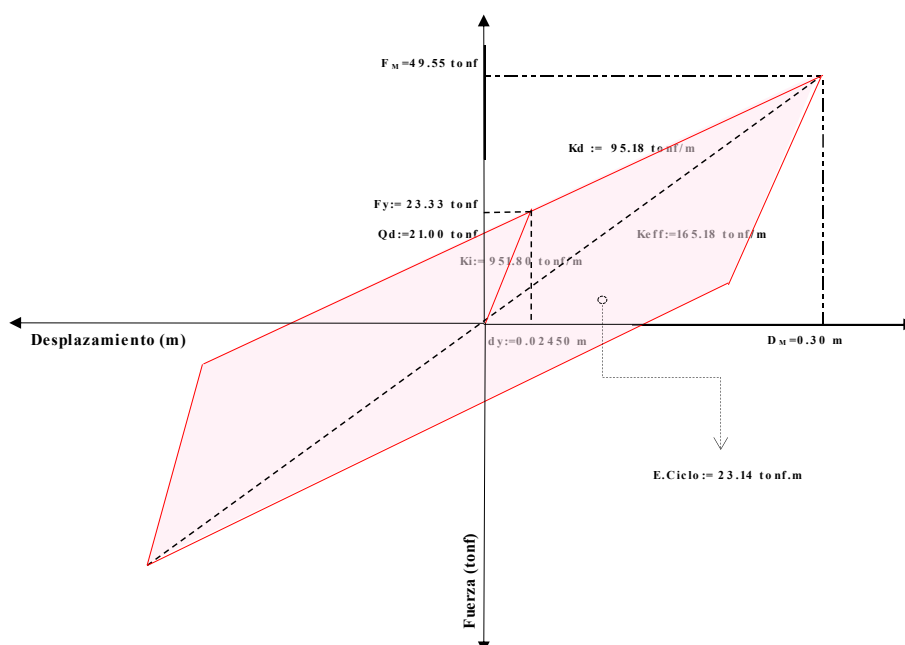
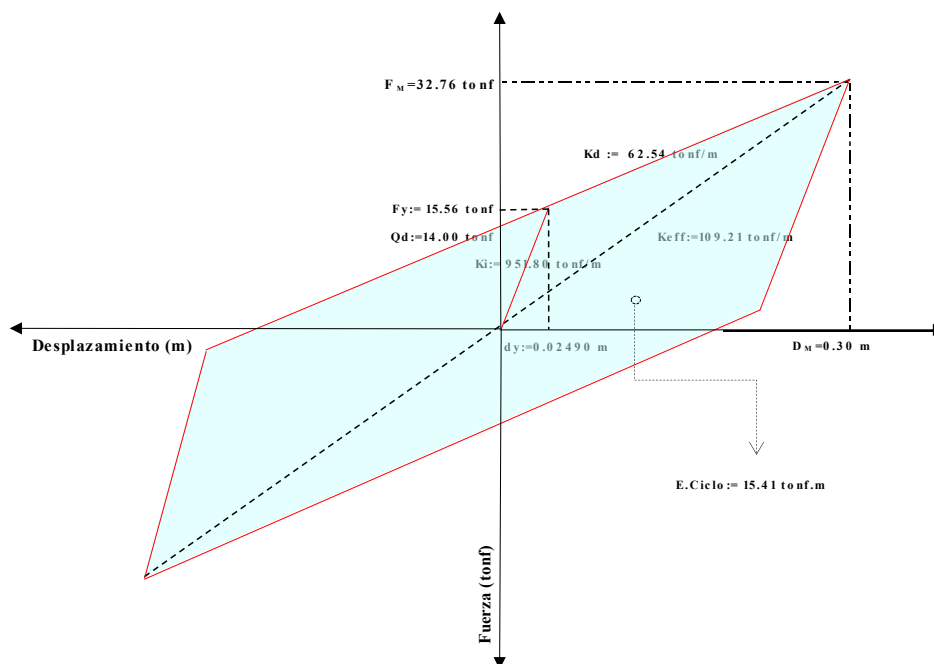


Figura 49.

Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación calculado para el aislador II



Dentro del cálculo y diseño del aislador, se aplican factores de modificación para determinar las propiedades inferiores y superiores, según lo indicado en la Figura N° 50. La adopción de estos valores máximos y mínimos permite considerar la variación de los parámetros nominales de diseño ante efectos asociados al calentamiento, la respuesta dinámica cíclica, la velocidad de carga, la variabilidad de fabricación, la temperatura, el envejecimiento, la exposición ambiental y la contaminación, de acuerdo con lo dispuesto en el artículo 13.3, inciso b), de la Norma Técnica Peruana E.03

e) Factores de modificación de las propiedades de los aisladores con núcleo de plomo

En este punto, la Norma E.031 establece dos tablas asociadas a diferentes clases. La Clase I incluye los factores de modificación de propiedades respaldados por ensayos y estudios de investigación, mientras que la Clase II corresponde a aquellos casos que no cumplen con las condiciones requeridas para pertenecer a la Clase I. Para fines de nuestra investigación se usó la tabla correspondiente a la clase I.

Figura 50.

Factores extremos modificatorios de las propiedades



Nota: Esquema de variación de propiedades de los dispositivos de aislamiento Fuente: (MVCS, 2019)

Tabla 47.

Factores de modificación para Límite Inferior y Superior

VALORES MÁXIMOS DE LOS FACTORES DE MODIFICACIÓN MÍNIMO Y MAXIMO PARA PARA LOS DISPOSITIVOS CLASE 1							
VALOR MINIMO PARA:	Interfaz sin de lubricación	Interfaz de lubricación	Aislador de bajo Amortiguamiento	Aislador de Caucho con Núcleo de Plomo Kd	Aislador de Caucho con Núcleo de Plomo Qd	Aislador de Alto Amortiguamiento Kd	Aislador de Alto Amortiguamiento Qd
Factor de Modificación Máximo Límite Superior: $\lambda_{max} = [1 + 0.75(\lambda_{ae,max} - 1)] * \lambda_{tvs,max} * \lambda_{fab,max}$	U o Qd	U o Qd	K	1.3	1.5	2	1.7
Factor de Modificación Mínimo Límite Inferior: $\lambda_{min} = (1 + 0.75(\lambda_{ae,min} - 1)) * \lambda_{tvs,min} * \lambda_{fab,min}$	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8

Nota: Factores de modificación para establecer límites de variación de las propiedades del aislador. Fuente: (Adaptado de ASCE/SEI 7-16, 2017)

De acuerdo a la tabla se tendrá los siguientes valores para nuestra fuerza característica y rigidez post fluencia.

$$\lambda_{inf} \quad \lambda_{sup}$$

$$K_d = 0.8 \quad 1.3$$

$$Q_d = 0.8 \quad 1.5$$

Realizando los cálculos correspondientes a los parámetros y aplicando los factores de modificación se tiene como resultado final los siguientes valores:

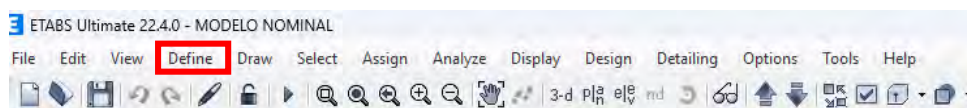
Tabla 48.*Propiedades de límite inferior y límite superior*

PROPIEDADES	L. INFERIOR		L. SUPERIOR		UNIDAD
	TIPO 1	TIPO 2	TIPO 1	TIPO 2	
Información para cargar en el software					
PROPIEDADES VERTICAL (U1)					
Rigidez Vertical (Effective stiffness) k_v	127,558.57	62,849.07	127,558.57	62,849.07	tonf/m
Amortiguamiento Efectivo (Effective Damping) c_v	223.94	111.15	223.94	111.15	tonf.s/m
PROPIEDADES LINEALES (U2, U3)					
Rigidez Efectiva Lineal (Effective Stiffness) k_{eff}	118.14	78.03	281.23	186.30	tonf/m
Amortiguamiento Efectivo (Effective Damping) c_h	23.97	15.96	54.79	36.45	tonf.s/m
PROPIEDADES NO LINEALES (U2, U3)					
Rigidez Inicial (Stiffness) k_i	761.40	500.30	1237.30	813.00	tonf/m
Fuerza de Fluencia (Yield strength) F_y	18.67	12.44	35.00	23.33	tonf
Relación R. Post/R.Inic	0.10	0.10	0.10	0.10	Ratio

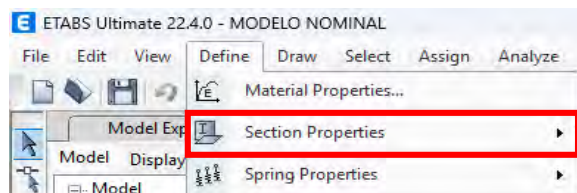
- f) Carga de información de los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo al software ETABS.

Se desarrollará una secuencia de la incorporación de la información de las propiedades de los aisladores en el software.

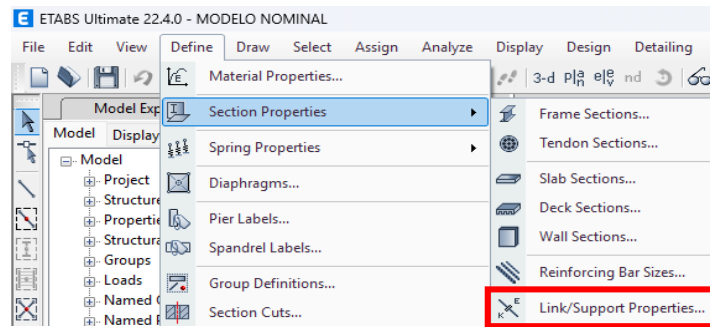
Paso 1) Ubicarnos en define



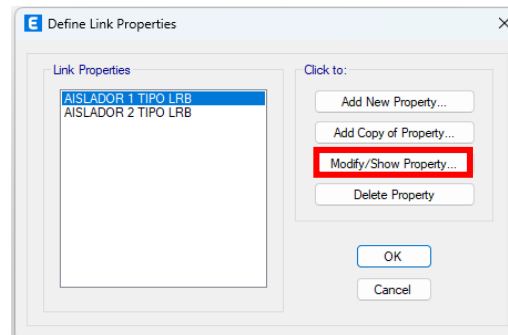
Paso 2) Ir a section properties



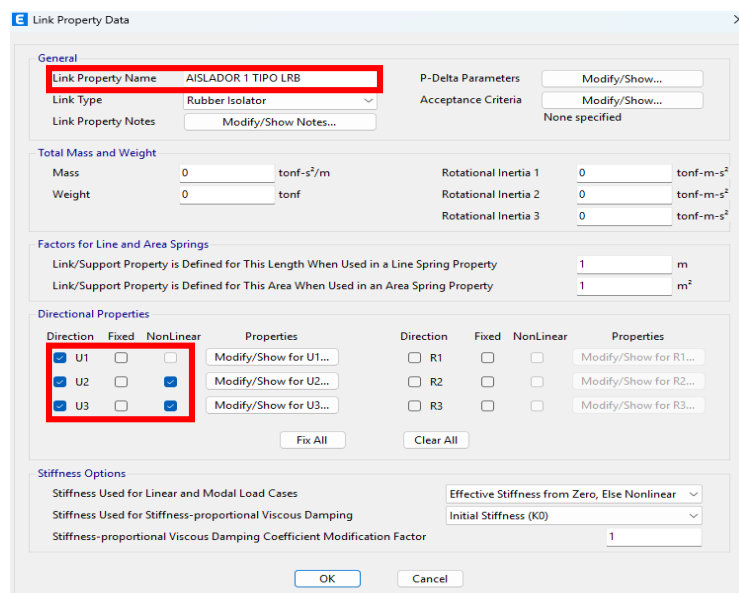
Paso 3) Ir a Link/support Properties



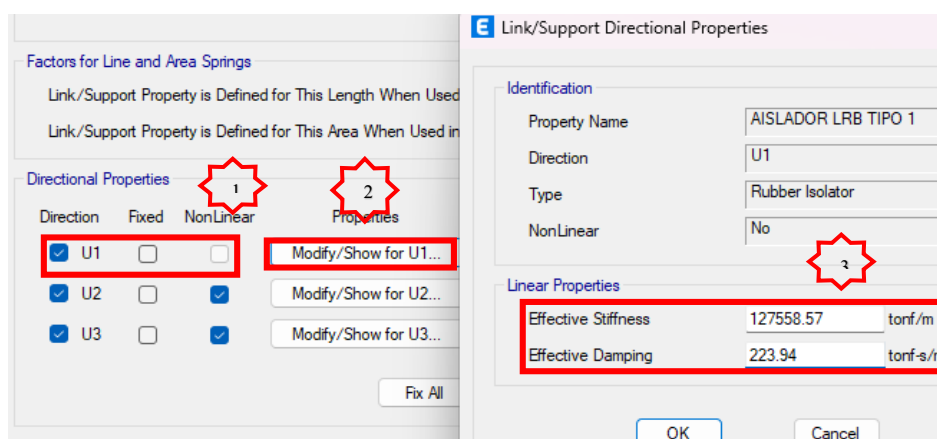
Paso 4) Dentro de esta pestaña definimos la cantidad de aisladores de acuerdo a nuestro diseño, para posteriormente modificar las propiedades de cada aislador sísmico.



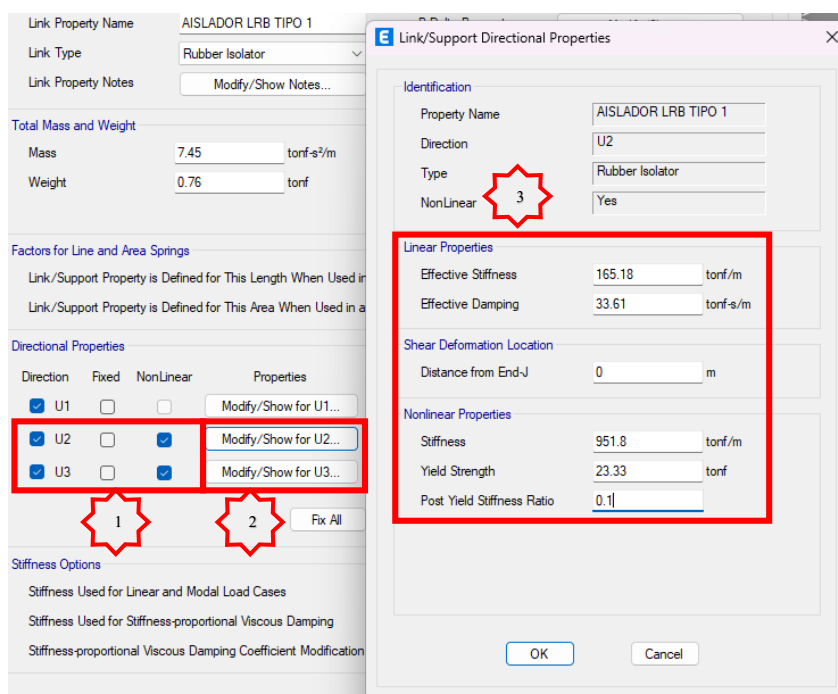
Paso 5) En este punto definimos la etiqueta que tendrá nuestro aislador así posteriormente activar los siguientes ítems



Paso 6) En este punto subiremos la información de las propiedades mecánicas calculados previamente para el aislador correspondiente. Siendo las propiedades lineales del aislador como son la rigidez efectiva y el amortiguamiento efectivo que actuaran en la dirección U1.



Paso 7) Finalmente procedemos a subir la información de las propiedades lineales y no lineales que actuaran en las direcciones U2 y U3 de nuestros aisladores sísmicos correspondientes a las propiedades nominales calculadas.



En la opción distance from end – J hace referencia a la ubicación geométrica donde el programa concentra la deformación cortante dentro del link y se aconseja el valor de 0 debido a que la deformación se concentra directamente en el nodo del link.

5.1.2.1.4. *Análisis dinámico modal espectral del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo*

Para realizar este procedimiento de acuerdo a la norma E.031 “Aislamiento Sísmico” indica que debe cumplir los siguientes criterios:

- La estructura debe estar ubicada en las zonas sísmicas 1 o 2, o en la zona 3 sobre suelos tipo S1 o S2, o en la zona 4 sobre suelos tipo S1.
- El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional, T_M será menor o igual 5 s.
- La estructura sobre la interfaz de aislamiento no debe tener más de 4 pisos ni más de 20 m de altura. Debe ser medida desde el nivel de base de la estructura.
- El amortiguamiento efectivo del sistema de aislamiento sísmico β_M debe ser menor o igual a 30% del amortiguamiento crítico.
- El periodo efectivo de la estructura aislada correspondiente al desplazamiento traslacional T_M debe ser mayor que tres veces el periodo elástico de la estructura con base fija.
- La estructura por encima del nivel de aislamiento sísmico no debe tener ninguna de las siguientes irregularidades:
 - Irregularidad de rigidez- Piso blando
 - Irregularidad de resistencia – Piso débil
 - Irregularidad de rigidez extrema – Piso blando
 - Irregularidad extrema de resistencia – Piso débil

- Irregularidad por discontinuidad extrema
- Irregularidad torsional extrema en planta

Una vez revisado dichos criterios procedemos a realizar el procedimiento de análisis dinámico – modal espectral; recordar que todo el análisis está en base a las propiedades físico-mecánicas calculados para los valores nominales.

Teniendo los parámetros sísmicos de la norma E.030 Diseño sismorresistente procederemos con el cálculo.

- | | |
|----------------|----------------|
| • $Z = 0.35$ | • $T_P = 0.60$ |
| • $U = 1.0$ | • $T_L = 2.00$ |
| • $S_2 = 1.15$ | • $R = 1$ |

De acuerdo a la norma E.031 en el numeral 26.4 se considera un factor de reducción $R=1$ debido a que, en el enfoque de aislamiento, el diseño se hace con propiedades explícitas del sistema aislado: rigidez efectiva, amortiguamiento efectivo, desplazamientos máximos y comportamiento histerético, no con una reducción global por ductilidad de la estructura.

El parámetro C es definido por las siguientes ecuaciones de acuerdo a la norma E.031:

$$T < 0.2 T_P \quad \rightarrow \quad C = 1 + 7.5 \left(\frac{T}{T_P} \right)$$

$$0.2 T_P < T < T_P \quad \rightarrow \quad C = 2.5$$

$$T_P < T < T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P}{T} \right)$$

$$T > T_L \quad \rightarrow \quad C = 2.5 \left(\frac{T_P \cdot T_L}{T^2} \right)$$

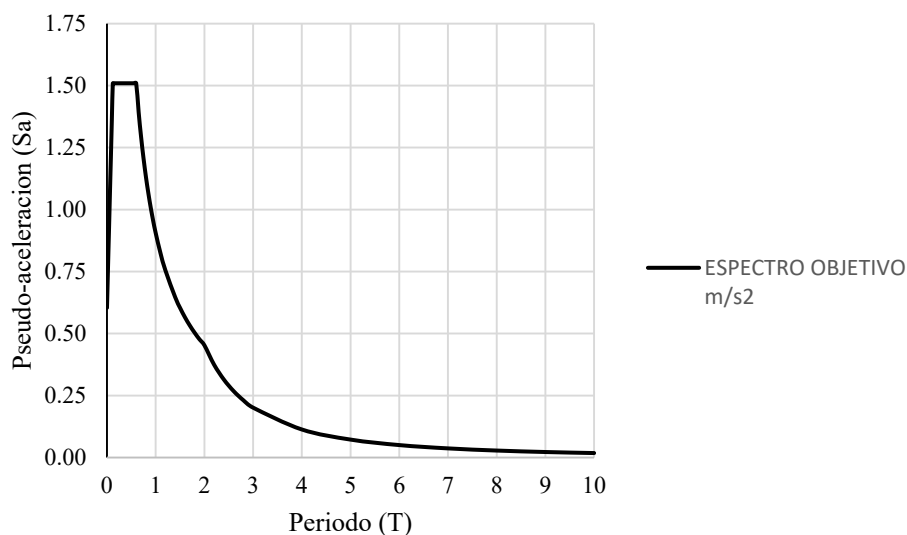
Procedemos a calcular nuestro espectro objetivo correspondiente al sismo máximo considerado (SMC) para un periodo de retorno de 2475 años, como se muestra en la figura N° 51.

Donde:

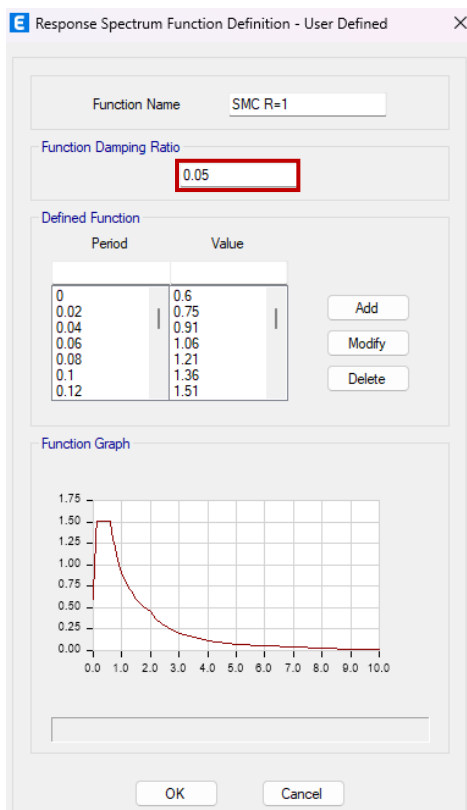
- $SMC = 1.5ZUCS * g$, de acuerdo al numeral 14.4 de la norma E.031

Figura 51.

Espectro de pseudo-aceleraciones para el SMC



Una vez definido el espectro objetivo, este se ingresa al software ETABS mediante una función espectral considerando un factor de amortiguamiento del 5% del amortiguamiento crítico. Este valor se mantiene independientemente del período de retorno considerado, ya que los espectros normativos de diseño se formulan para un amortiguamiento de referencia del 5%. El cambio del período de retorno únicamente modifica la intensidad del espectro, es decir, las ordenadas espectrales o la curva espectral. Asimismo, en el análisis modal espectral el software linealiza el comportamiento del aislador utilizando la rigidez efectiva K_{eff} , la cual se emplea para la obtención de los períodos modales del sistema aislado.



Posteriormente creamos los casos de carga para ambas direcciones de análisis de acuerdo a lo establecido a la Norma Técnica E:030

Load Case Data

General

Load Case Name: SMC R1_XX

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (Peso Sismico)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	SMC R=1	9.8067
Acceleration	U2	SMC R=1	2.942

Other Parameters

Modal Load Case: Modal_rtz

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, 1d:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Load Case Data

General

Load Case Name: SMC R1_YY

Load Case Type: Response Spectrum

Mass Source: Previous (Peso Sismico)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U2	SMC R=1	9.8067
Acceleration	U1	SMC R=1	2.942

Other Parameters

Modal Load Case: Modal_rtz

Modal Combination Method: CQC

☐ Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1:

Rigid Frequency, f2:

Periodic + Rigid Type:

Earthquake Duration, 1d:

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor:

Modal Damping: Constant at 0.05

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms

OK Cancel

Tabla 49.

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO $=0.75 \cdot R \cdot D.E$	CONTROL -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0012	0.0009	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0018	0.0014	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0022	0.0017	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0019	0.0014	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0014	0.0011	0.0035	OK

Tabla 50.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades nominales

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO $=0.75 \cdot R \cdot D.E$	CONTROL -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0016	0.0012	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0023	0.0018	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0028	0.0021	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0024	0.0018	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_Y	0.0017	0.0013	0.0035	OK

De acuerdo a nuestros cálculos obtenidos indica que cada nivel de la edificación cumple

con el límite de la norma establecido que no debe exceder la máxima deriva a 0.0035.

Ahora procedemos a calcular las derivas para los limites inferiores y limites superiores, para posteriormente comprobarlo con la norma.

Tabla 51.

Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite inferior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	D. ELASTIC O	D. INELASTIC O =0.75*R*D. E	CONTROL -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0010	0.0007	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0014	0.0011	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0018	0.0013	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0015	0.0011	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0011	0.0009	0.0035	OK

Tabla 52.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	D. ELASTIC O	D. INELASTIC O $=0.75 \cdot R \cdot D.$ E	CONTROL -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0013	0.0010	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0019	0.0014	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0023	0.0017	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0019	0.0014	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_Y	0.0014	0.0010	0.0035	OK

Tabla 53.

Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite superior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	D. ELASTIC O	D. INELASTIC O $=0.75 \cdot R \cdot D.$ E	CONTROL -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0019	0.0014	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0028	0.0021	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0034	0.0026	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0029	0.0022	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0022	0.0017	0.0035	OK

Tabla 54.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAF RAG.	Output Case	D. ELASTIC O	D. INELASTIC O =0.75*R*D. E	CONTRO L -E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0025	0.0019	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0036	0.0027	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0044	0.0033	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0037	0.0028	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAIS LA	SMC R1_Y	0.0027	0.0020	0.0035	OK

Después de haber realizado el análisis dinámico modal espectral corroboramos que las derivas cumplen considerando los límites inferior y superior, siendo esto un indicador positivo en relación a nuestro diseño del aislador.

a) Análisis de masas participativas

Tabla 55.

Masa participativa – Propiedades Nominales

MASA PARTICIPATIVA						
Case	Modo	Periodo sec	UX	UY	SumUX	SumUY
Modal_eigen	1	3.016	0.007	0.977	1%	98%
Modal_eigen	2	3.008	0.957	0.009	96%	99%
Modal_eigen	3	2.926	0.025	0.003	99%	99%

Tabla 56.*Masa participativa – Propiedades límite inferior*

Case	Modo	MASA PARTICIPATIVA			SumUX	SumUY
		Periodo	UX	UY		
		sec				
Modal_eigen	1	3.532	0.015	0.969	1.5%	97%
Modal_eigen	2	3.525	0.952	0.017	97%	99%
Modal_eigen	3	3.427	0.023	0.003	99%	99%

Tabla 57.*Masa participativa – Propiedades límite superior*

Case	Modo	MASA PARTICIPATIVA			SumUX	SumUY
		Periodo	UX	UY		
		sec				
Modal_eigen	1	2.366	0.003	0.979	0%	98%
Modal_eigen	2	2.355	0.953	0.004	96%	98%
Modal_eigen	3	2.296	0.031	0.003	99%	99%

b) Desplazamientos – Sismo máximo considerado

Tabla 58.*Desplazamiento SMC propiedades nominales en dirección X, Y*

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		cm	cm
Story4	20.68	Top	29.69	34.83
Story3	16.26	Top	29.24	34.15
Story2	11.84	Top	28.48	33.12
Story1	7.42	Top	27.47	31.93
Nivel de aislamiento	3	Top	26.54	30.61
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	26.47	30.51
Pedestal	1.8	Top	0.03	0.04
Base	0	Top	0.00	0.00

Figura 52.

Máximo desplazamiento por nivel en dirección X para propiedades nominales.

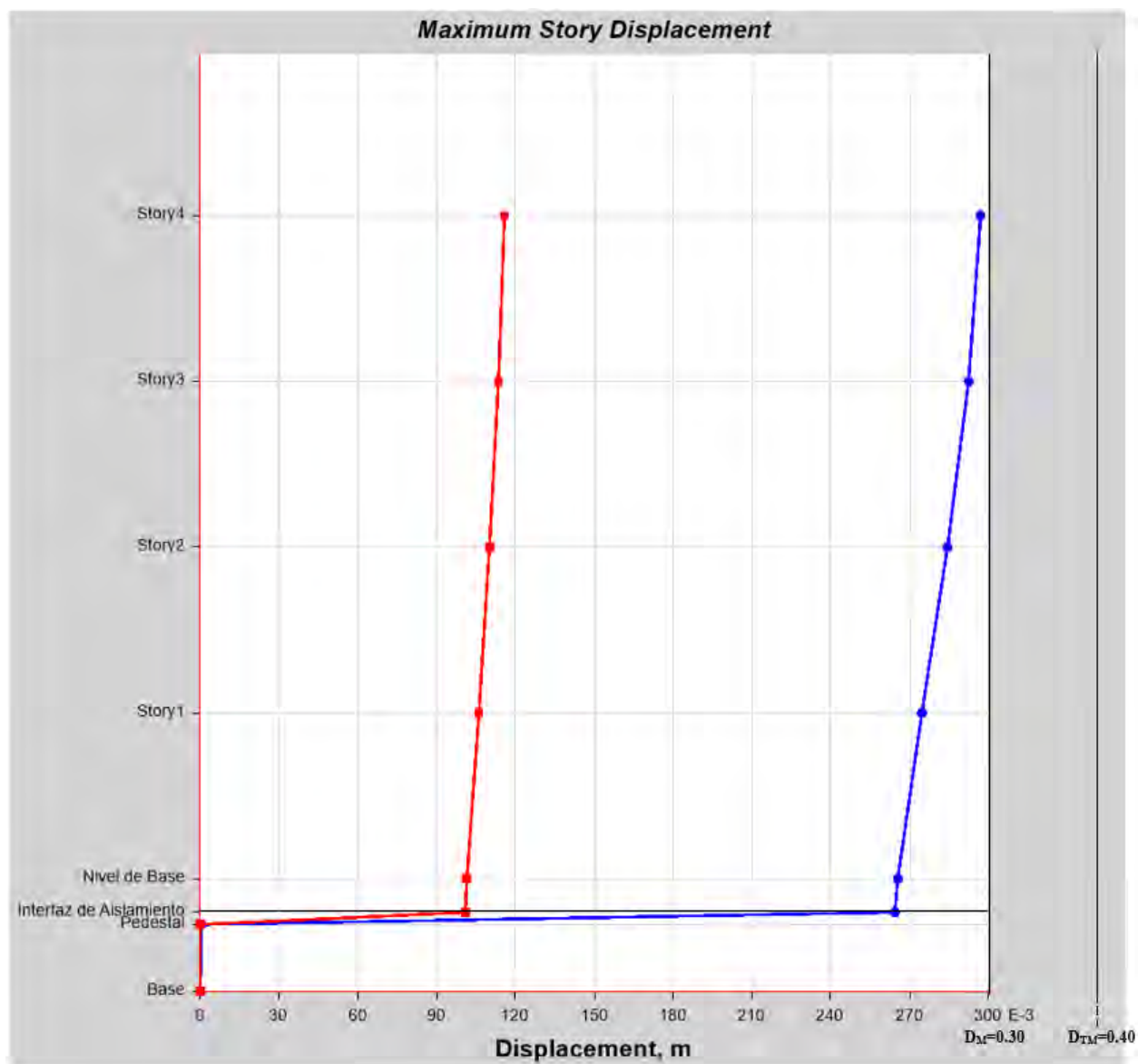
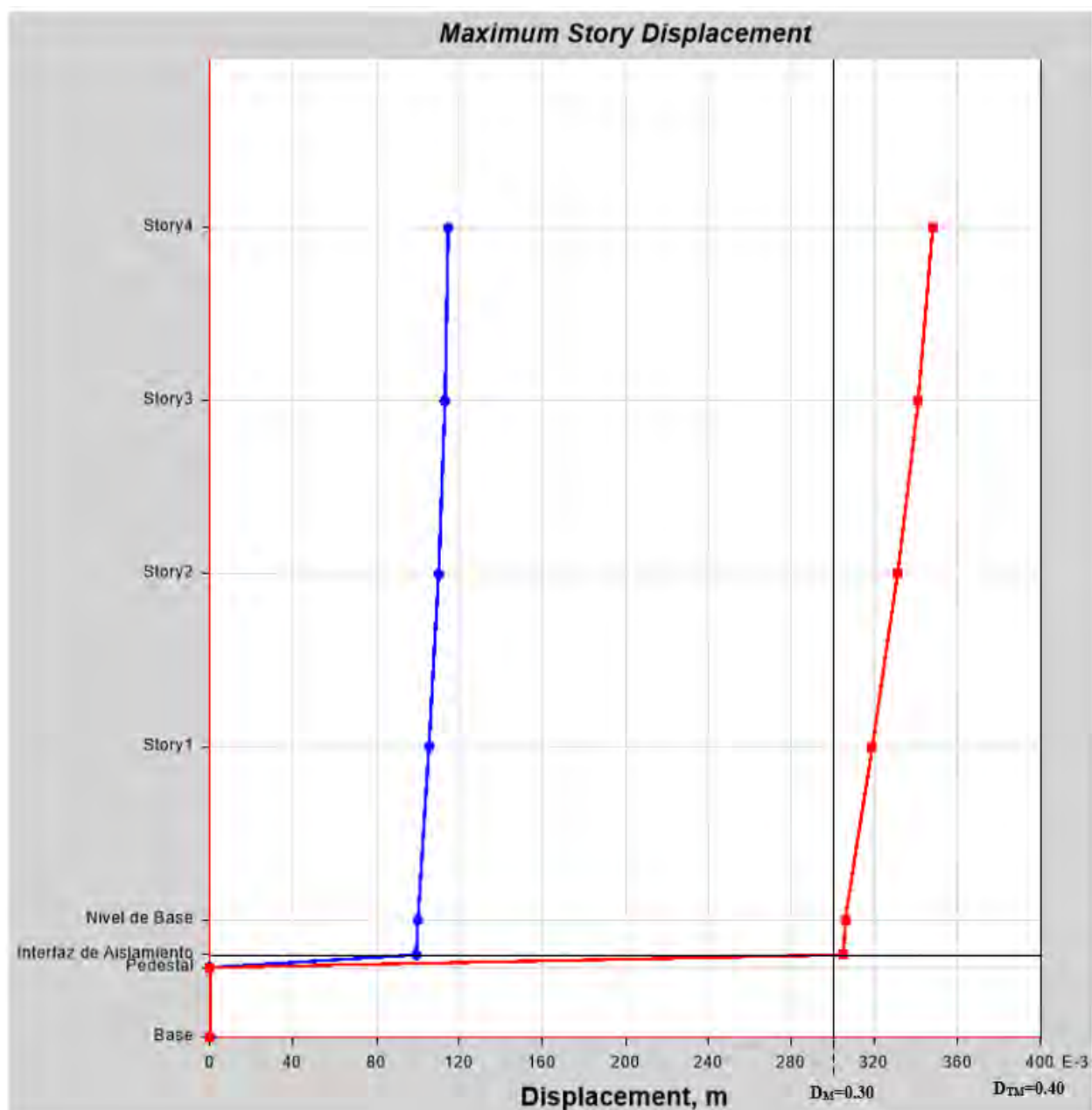


Figura 53.

Máximo desplazamiento por nivel en dirección Y para propiedades nominales.



c) Comprobación por momento volteo global de la estructura

Dirección X	
Mv=	7,925.51 tonf-m
Peso=	22,249.64 tonf
Excentricidad=	4.57 m
Me =	101,736.94 tonf-m

MOMENTO DE VUELCO DEL NIVEL

Story	Elevación	Locación	Dir. X tonf-m
Story4	20.68	Top	0.00
Story3	16.26	Top	718.43
Story2	11.84	Top	2,211.60
Story1	7.42	Top	4,405.39
Nivel de aislamiento	3	Top	7,224.54
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	7,925.51
Pedestal	1.8	Top	8,161.28
Base	0	Top	9,585.02
Me/Mv =	12.8	≥	1 SI CUMPLE

Dirección Y

Mv=	7,883.53	tonf-m
Peso=	22,249.64	tonf
Excentricidad=	4.57	m
Me =	101,736.94	tonf-m

MOMENTO DE VUELCO DEL NIVEL

Story	Elevación	Locación	Dir. Y tonf-m
-------	-----------	----------	---------------

Story4	20.68	Top	0.00
Story3	16.26	Top	699.10
Story2	11.84	Top	2,168.10
Story1	7.42	Top	4,349.65
Nivel de aislamiento	3	Top	7,176.23
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	7,883.53
Pedestal	1.8	Top	8,121.26
Base	0	Top	9,555.31
Me/Mv =	12.9	≥	1 SI CUMPLE

d) Fuerzas Cortantes – Sismo máximo considerado

Tabla 59.

Cortante SMC R=1 propiedades nominales en dirección X, Y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	527.23	541.80
Story3	16.26	Top	1110.43	1129.09
Story2	11.84	Top	1658.28	1669.88
Story1	7.42	Top	2165.83	2166.97
Nivel de aislamiento	3	Top	2705.69	2700.51
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	2719.43	2714.19
Pedestal	1.8	Top	2721.71	2716.47
Base	0	Top	0	0

Figura 54.

Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades nominales

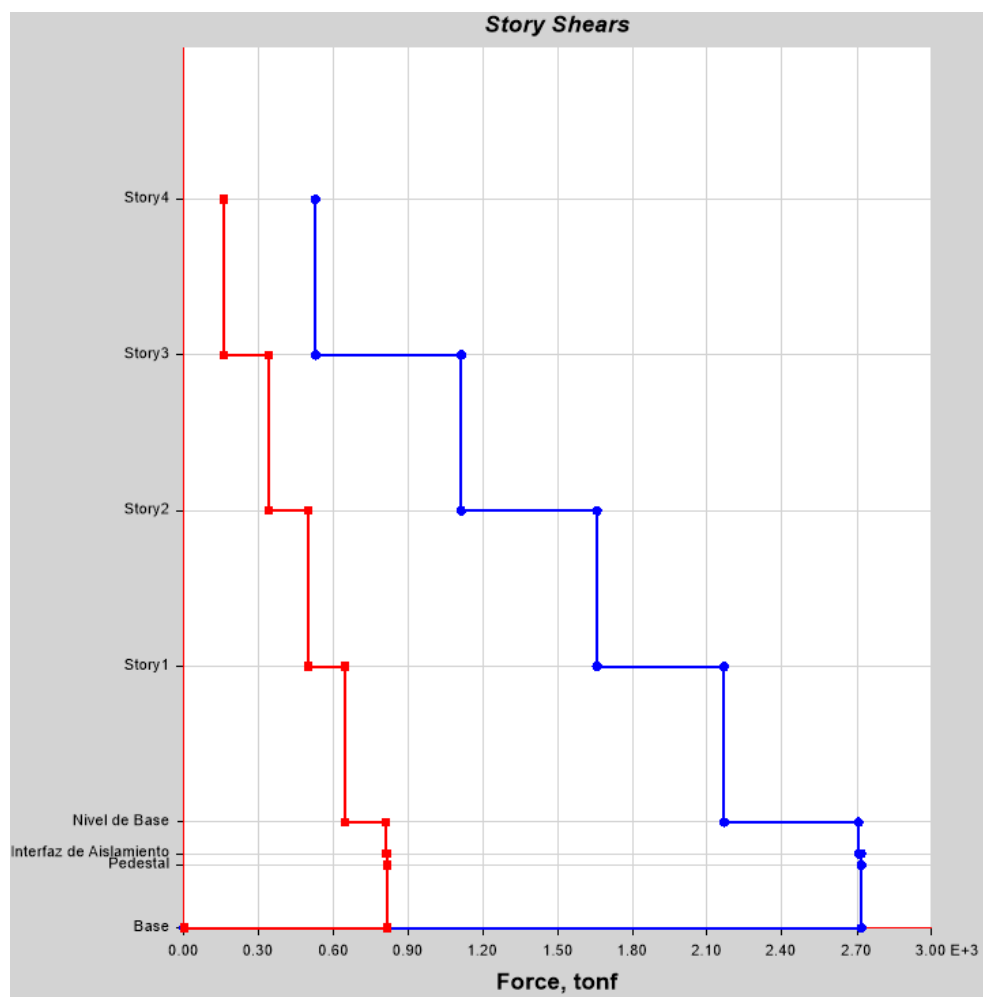
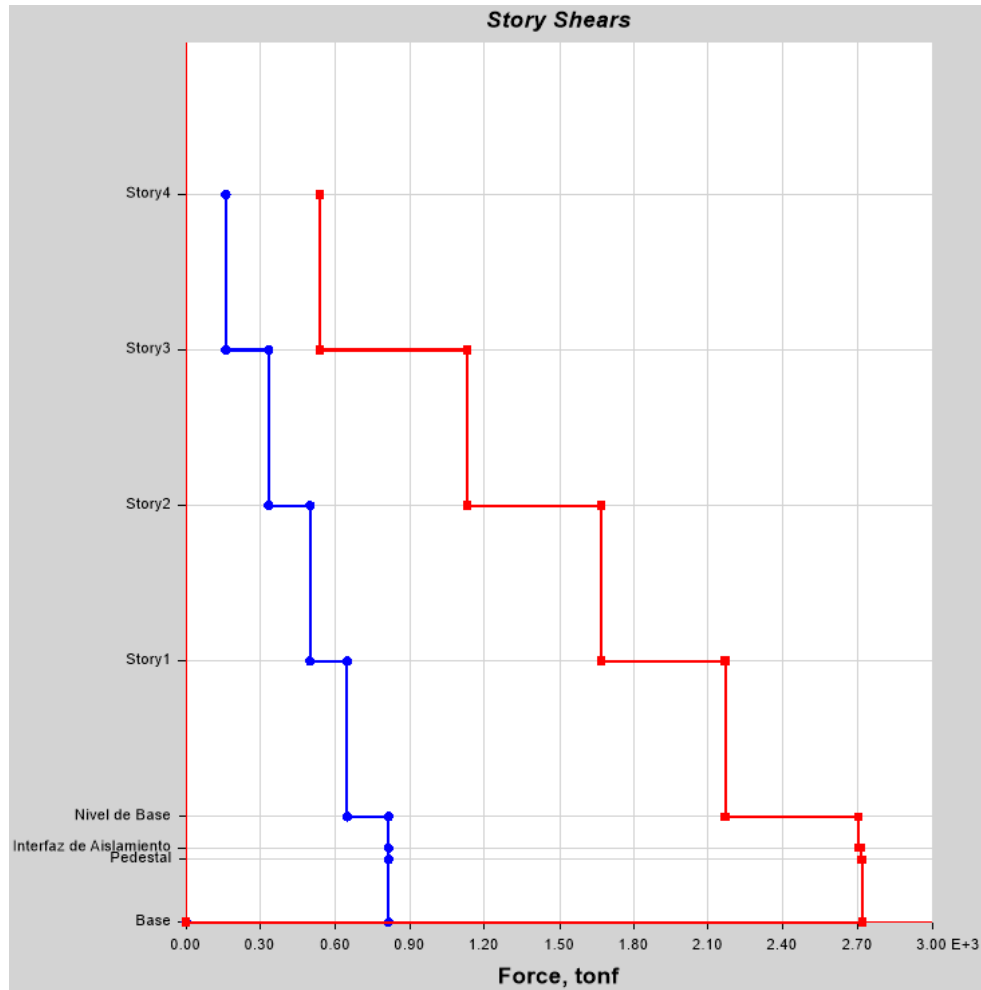


Figura 55.

Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades nominales



e) Irregularidad en altura

Irregularidad de Rigidez-Piso blando

$$K_{ei} < 0.70K_{ei+1} = A , \quad K_{ei} < \frac{0.80}{3} (K_{ei+1} + K_{ei+2} + K_{ei+3}) = B$$

Dirección en "X"

Tabla 60.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	83558.56	-	-	NO
3	130209.10	1.56	-	NO
2	181234.72	1.39	-	NO
1	266490.20	1.47	2.02	NO
base	2705859.64	10.15	14.05	NO

Dirección en “Y”

Tabla 61.*Irregularidad de rigidez en Y*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	73080.14	-	-	NO
3	111336.10	1.52	-	NO
2	144915.18	1.30	-	NO
1	222984.42	1.54	2.03	NO
base	2221030.96	9.96	13.90	NO

Irregularidad Extrema de Rigidez

$Kei < 0.60Kei + 1 = A$, $Kei < \frac{0.70}{3} (Kei + 1 + Kei + 2 + Kei + 3) = B$
 Dirección en “X”

Tabla 62.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	83558.56	-	-	NO
3	130209.10	1.56	-	NO

2	181234.72	1.39	-	NO
1	266490.20	1.47	2.02	NO
base	2705859.64	10.15	14.05	NO

Dirección en “Y”

Tabla 63.

Irregularidad de rigidez en Y

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	73080.14	-	-	NO
3	111336.10	1.52	-	NO
2	144915.18	1.30	-	NO
1	222984.42	1.54	2.03	NO
base	2221030.96	9.96	13.90	NO

Irregularidad de masa o peso

$$W_i > 1.50 W_{i+1} = A, \quad W_i > 1.50 W_{i-1} = B$$

Tabla 64.

Irregularidad de masa o peso

N Pisos	M(ton)	A	B	MASA O P.
4	376.33333	-	0.81	NO
3	466.34064	1.24	0.95	NO
2	488.68713	1.05	1.02	NO
1	477.26914	0.98	0.96	NO
base	496.24664	1.04	-	NO

Irregularidad Geometría vertical: No presenta

Discontinuidad en los sistemas resistentes: No presenta

Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes: No presenta

f) Irregularidad en planta

Irregularidad Torsional

$$\frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 50\% \left(\frac{\Delta i}{h_{ei}} \right) \text{ permisible (A) ,} \quad \frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 1.3 \left(\frac{\Delta p_i}{h_{ei}} \right) \text{ (B)}$$

Dirección en “X”

Tabla 65.

Irregularidad torsional X

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	20.68	0.000908	0.001210	0.001059	35%	1.14	NO
3	16.56	0.001794	0.001794	0.001794	51%	1.00	NO
2	12.14	0.002212	0.002212	0.002212	63%	1.00	NO
1	7.72	0.001866	0.001866	0.001866	53%	1.00	NO
base	3	0.001414	0.001414	0.001414	40%	1.00	NO

Dirección en “Y”

Tabla 66.

Irregularidad torsional Y

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	20.68	0.001603	0.001631	0.001617	47%	1.01	NO
3	16.56	0.002312	0.002349	0.002331	67%	1.01	NO
2	12.14	0.002807	0.002839	0.002823	81%	1.01	NO
1	7.72	0.002371	0.002385	0.002378	68%	1.00	NO
base	3	0.001742	0.001749	0.001746	50%	1.00	NO

Irregularidad Torsional Extrema

$$\frac{\Delta_{max}}{hei} \geq 50\% \left(\frac{\Delta_i}{hei} \right) \text{ permisible (A) ,} \quad \frac{\Delta_{max}}{hei} \geq 1.5 \left(\frac{\Delta_{pi}}{hei} \right) \text{ (B)}$$

Tabla 67.

Irregularidad torsional extrema X

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	20.68	0.000908	0.001210	0.001059	35%	1.14	NO
3	16.56	0.001794	0.001794	0.001794	51%	1.00	NO
2	12.14	0.002212	0.002212	0.002212	63%	1.00	NO
1	7.72	0.001866	0.001866	0.001866	53%	1.00	NO
base	3	0.001414	0.001414	0.001414	40%	1.00	NO

Tabla 68.

Irregularidad torsional extrema Y

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	20.68	0.001603	0.001631	0.001617	47%	1.01	NO
3	16.56	0.002312	0.002349	0.002331	67%	1.01	NO
2	12.14	0.002807	0.002839	0.002823	81%	1.01	NO
1	7.72	0.002371	0.002385	0.002378	68%	1.00	NO
base	3	0.001742	0.001749	0.001746	50%	1.00	NO

Esquinas Entrantes: No presenta

Discontinuidad de Diafragma: No presenta

Sistemas no Paralelos: No presenta

5.1.2.1.5. *Análisis dinámico tiempo - historia del sistema de aislamiento elastomérico con núcleo de plomo*

De acuerdo a la norma E.031 “Aislamiento Sísmico” indica lo siguiente: “El análisis tiempo-historia es permitido en el diseño de cualquier estructura aislada que no cumpla con el numeral 18.1 de la presente norma técnica”, el cual hace relación al análisis dinámico modal espectral; considerando que los resultados usados para el diseño de los elementos de la estructura no serán menores que los obtenidos en el análisis dinámico modal espectral.

La implementación de este procedimiento exige disponer de un conjunto de pares de registros del movimiento del terreno, los cuales deben ser seleccionados y escalados de acuerdo con las disposiciones del artículo 15. Bajo este criterio, cuando se emplean análisis de respuesta tiempo-historia, la acción sísmica debe representarse mediante al menos siete registros, cada uno conformado por dos componentes horizontales de aceleración correspondientes a eventos individuales y debidamente escalados.

a) Registro Acelerométricos

Tabla 69.

Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva en el Cercado de Lima.

Datos	
Fecha	17/10/1966
Hora	16:41:00
Latitud	- 10.70
Longitud	- 78.70
Magnitud	8.1 Mw
Profundidad	24 km
PGA - EW	-180.56 cm/s ²
PGA - NS	-268.24 cm/s ²
Fuente	IGP

- SISMO DEL 31.05.1970 ANCASH, PERÚ

Tabla 70.

Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva PRQ.

Datos	
Fecha	31/05/1970
Hora	15:23:00
Latitud	-9.36
Longitud	-78.87
Magnitud	6.6 Mw
Profundidad	64 km
PGA - EW	-105.05 cm/s ²
PGA - NS	-97.81 cm/s ²
Fuente	IGP

- SISMO DEL 03.10.1974 LIMA, PERÚ

Tabla 71.

Registro acelerométrico de la estación Parque de la Reserva en el Cercado de Lima.

Datos	
Fecha	03/10/1974
Hora	09:21:00
Latitud	- 12.50
Longitud	- 77.98
Magnitud	6.6 Mw
Profundidad	13 km
PGA - EW	-194.21 cm/s ²
PGA - NS	-180.09 cm/s ²
Fuente	CISMID

- SISMO DEL 23.06.2001 AREQUIPA PERÚ

Tabla 72.

Registro acelerométrico de la estación Cesar Vizcarra Vargas en Moquegua.

Datos	
Fecha	23/06/2001
Hora	15:33:00
Latitud	-16.08
Longitud	-73.77
Magnitud	6.9 Mw
Profundidad	33 km
PGA - EW	-295.15 cm/s ²
PGA - NS	219.99 cm/s ²
Fuente	CISMID

- SISMO DEL 15.08.2007 ICA, PERÚ

Tabla 73.

Registro acelerométrico de la estación de la Universidad San Luis Gonzaga en Ica.

Datos	
Fecha	15/08/2007
Hora	18:40:58
Latitud	-13.67
Longitud	-76.76
Magnitud	7.0 Mw
Profundidad	40 km
PGA - EW	-272.82 cm/s ²
PGA - NS	333.66 cm/s ²
Fuente	CISMID

- SISMO DEL 14.01.2018 LOMAS, PERÚ

Tabla 74.

Registro acelerométrico de la estación Ancón en Lima.

Datos	
Fecha	14/01/2018
Hora	09:18:42
Latitud	-16.07
Longitud	-74.89
Magnitud	6.8 Mw
Profundidad	48 km
PGA - EW	9.16 cm/s ²
PGA - NS	8.10 cm/s ²
Fuente	CISMID

- SISMO DEL 28.11.2021 AMAZONAS, PERÚ

Tabla 75.

Registro acelerométrico de la estación Scaya ubicada en Ayacucho.

Datos	
Fecha	28/11/2021
Hora	05:52:12
Latitud	-4.44
Longitud	-77.00
Magnitud	7.5 Mw
Profundidad	131 km
PGA - EW	2.75 cm/s ²
PGA - NS	-2.15 cm/s ²
Fuente	CISMID

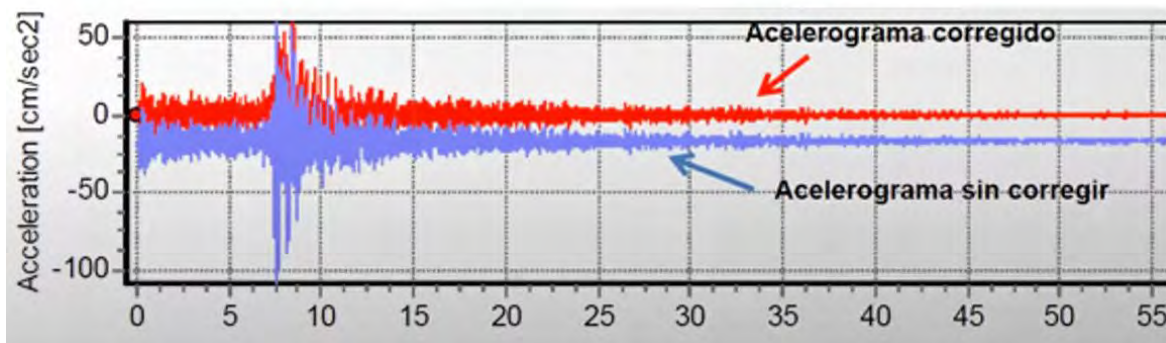
b) Corrección por línea base

La corrección por línea base es un procedimiento aplicado a los registros acelerométricos para eliminar errores o valores que aparecieron debido al ruido instrumental, deriva del sensor, errores de digitalización, lo cual genera que la señal tenga una aceleración media distinta de cero (Figura N° 56); con este paso se lleva al eje del punto 0 lo valores registrados por las estaciones acelerométrico

En la presente investigación se utilizaron registros acelerométricos provenientes del Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), los cuales, según lo señalado anteriormente, ya contaban con la corrección por línea base efectuada previamente por dicha institución.

Figura 56.

Corrección por línea base



Nota: Acelerograma sin corregir y corregido por línea base. Fuente (Software SeismoMatch)

c) Filtrado de los registros acelerométricos

Es un procedimiento mediante el cual se eliminan ciertas frecuencias no deseadas del registro sísmico, con el objetivo de mejorar la calidad de la señal y evitar que el análisis estructural se vea afectado por ruido o errores instrumentales. El filtrado permite conservar las frecuencias del movimiento sísmico que son físicamente relevantes y eliminar las que corresponden a ruido o errores de medición

Apoyándonos en el software SeismoSignal.v2016 (figura N° 57), procedemos a cargar los registros acelerométricos los cuales se dividen en dos componentes EW y NS.

Figura 57.

Parámetros del archivo de entrada

Input File Parameters

First Line: 1
Last Line: 3283
Time Step dt: 0.02
Scaling Factor: 1.0

Acceleration Unit: m/sec2
Velocity Unit: m/sec
Displacement Unit: m
Change Units

Single Acceleration value per line
☒ Time & Acceleration values per line
Multiple Acceleration values per line
SMC Format
PEER NGA Format

Acceleration Column: 2
Time Column: 1

Frequency: 1
Initial Values Skipped: 2

OK
Cancel
Help
Program Defaults
Set As Default

Acceleration File

```

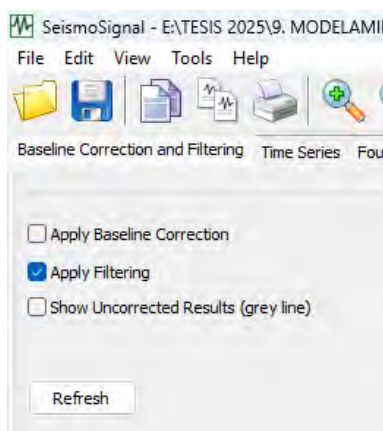
0      -0.113771
0.02   -0.026551
0.04   -0.030481
0.06   -0.049621
0.08   0.002979
0.1    0.036239
0.12   -0.100711
0.14   -0.182221
0.16   0.003719
0.18   0.085069
0.2    -0.022541
  
```

Line: 1 Pos: 0

Para luego aplicar el filtrado del respectivo registro acelerométrico como se muestra en la (figura N° 58).

Figura 58.

Aplicación del filtrado de datos para los registros acelerométricos



Los registros acelerométricos empleados en el análisis fueron previamente corregidos por línea base (baseline corrected) por la base de datos de CISMID. Posteriormente se aplicó un filtro pasa-banda Butterworth de cuarto orden con frecuencias de corte de 0.10 Hz y 25 Hz utilizando el software SeismoSignal, con el objetivo de eliminar componentes de ruido de baja y alta frecuencia.

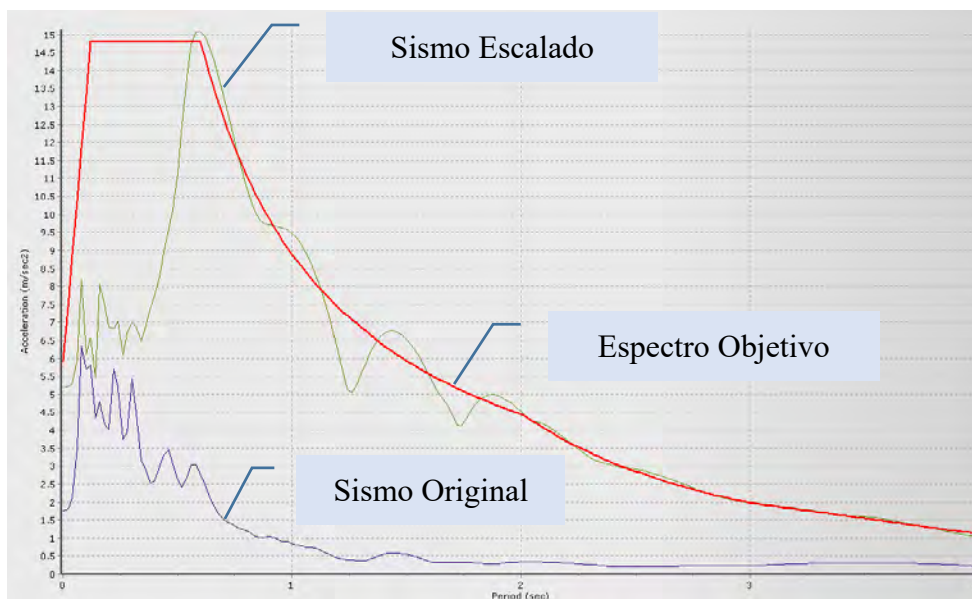
d) Escalamiento de los registros acelerométricos

Posterior al filtrado de los registros acelerométricos, se realiza el escalamiento de los mismos con el objetivo de que su contenido espectral sea consistente con el espectro objetivo del sitio, estos fueron escalados respecto al espectro de diseño establecido en la norma técnica E.031.

En este caso nos apoyaremos con el software SeismoMatch (Figura N° 59), el cual nos permitirá realizar el escalado de nuestros registros acelerométricos.

Figura 59.

Registro acelerométrico original y escalado de acuerdo a nuestro espectro objetivo de nuestra edificación.



- *Procedimiento de escalonamiento de los registros acelerométricos*

Primero calculamos los límites de periodo en base a lo que establece la norma E.031 el cual indica lo siguiente: “Para registros espectro-compatibles, cada par de componentes horizontales debe ser ajustado mediante un factor de escala, de modo que satisfaga el intervalo de periodos comprendido entre $0,2 T_M$, evaluado con el límite superior de las propiedades del sistema de aislamiento sísmico, y $1,25 T_M$ obtenido a partir del límite inferior”.

PERIODO LIM.

PERIODO LIM.

SUPERIOR

INFERIOR

$T_{Msup} = 2.366$

$T_{Minf} = 3.532$

Es así que se tiene un rango calculado de 0.6 s a 4.4s, luego procedemos a cargar nuestro espectro objetivo que se definió anteriormente, para así cargar nuestros registros acelerométricos filtrados previamente.

Por ultimo los registros acelerométricos fueron ajustados mediante el software SeismoMatch v.2016 (Fig.60) utilizando un procedimiento de espectro compatible. Este método modifica iterativamente el contenido espectral del registro para que su espectro de respuesta sea compatible con el espectro objetivo dentro de un rango de períodos definido (Fig. 61). A diferencia del escalamiento lineal simple, en este procedimiento no se aplica un único factor de escala, sino que se realizan ajustes espectrales controlados sobre el registro.

Figura 60.

Comparativa de los registros acelerométricos sin escalar y el espectro objetivo

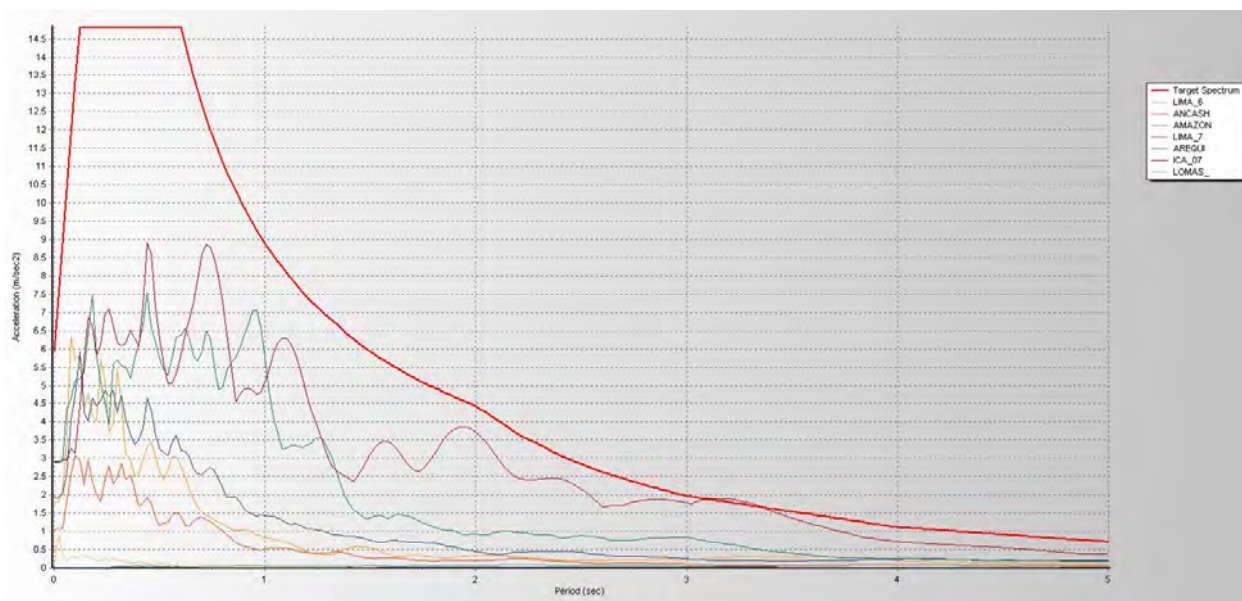
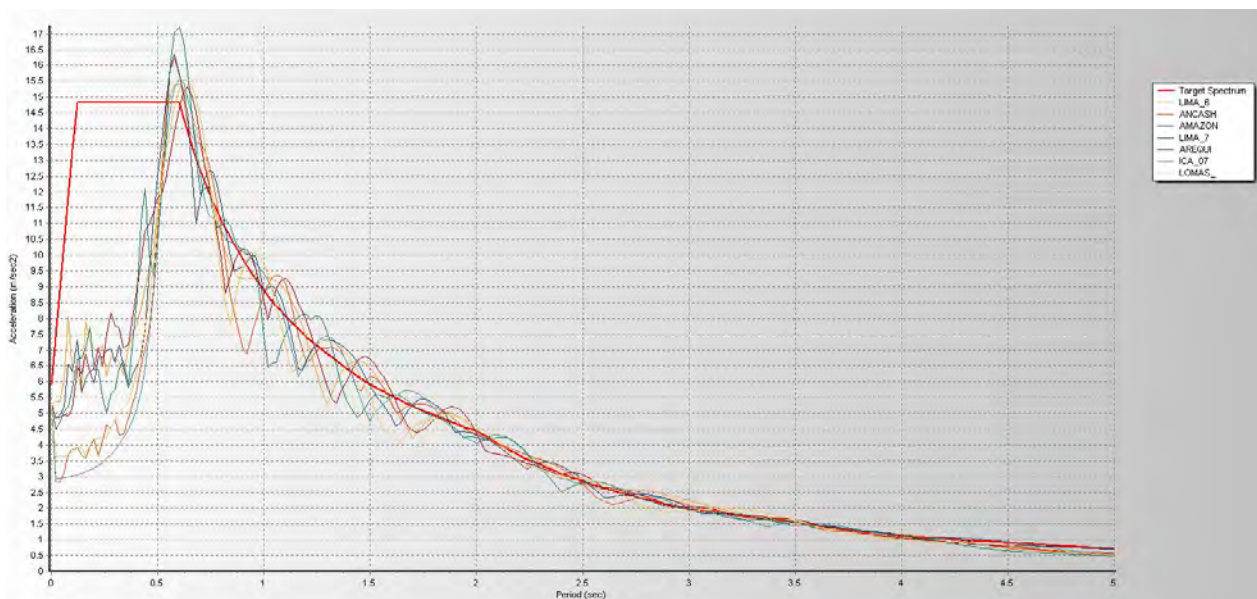


Figura 61.

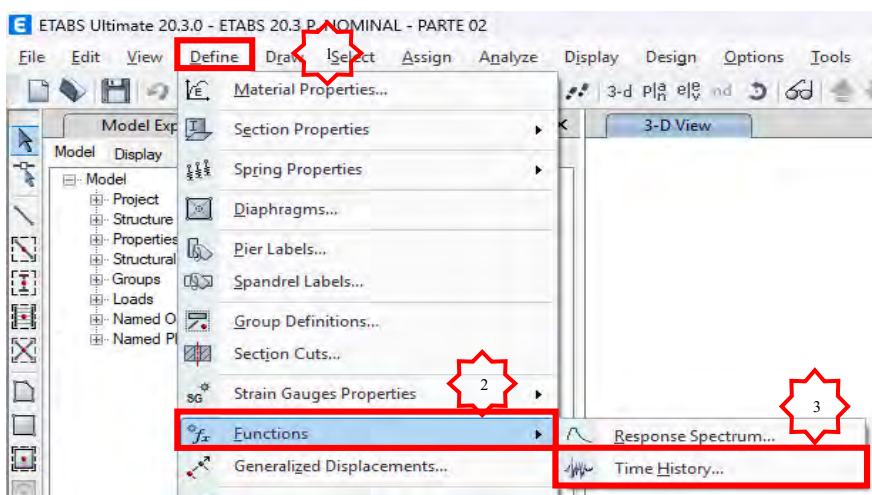
Comparativa de los registros acelerométricos escalados al espectro objetivo



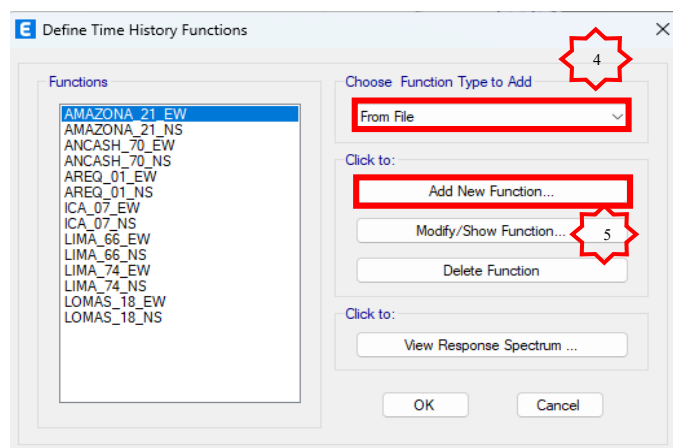
e) Definición de funciones Tiempo Historia en el software ETABS.

Una vez escalado nuestros registros acelerométricos procedemos a cargar y definir los sismos en ambas direcciones ortogonales como lo solicita la norma E-031. Se desarrollará los siguientes pasos apoyado con el software ETABS.

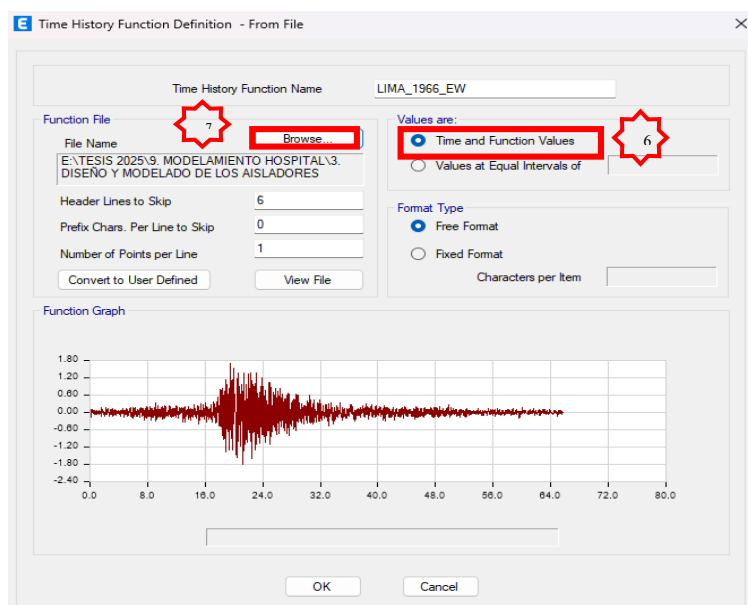
Paso 1) Nos vamos a la opción de definir, luego a funciones y así ingresar a la opción Time-History que vendría a ser tiempo – historia



Paso 2) En este punto cambiaremos el tipo de función a añadir y seleccionaremos la opción “from file” debido a que previamente con el apoyo del software SeismoMatch v.2016 preparamos los registros acelerométricos debidamente escalados; teniendo en consideración lo antes mencionado se procede a añadir una nueva función.

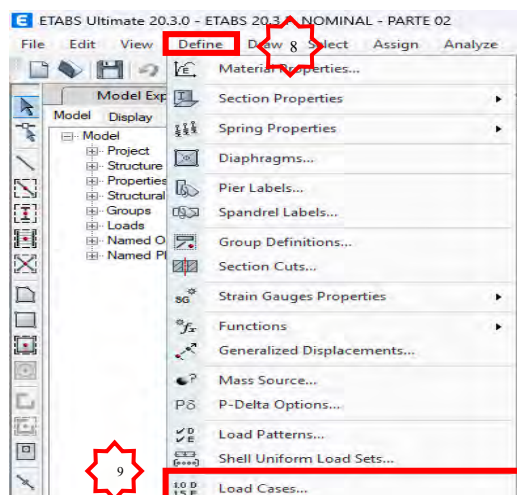


Paso 3) En la ventana siguiente procedemos a elegir la opción de “Time and Function Values” para así finalmente cargar el registro acelerométrico al software y desarrollar el análisis tiempo historia.

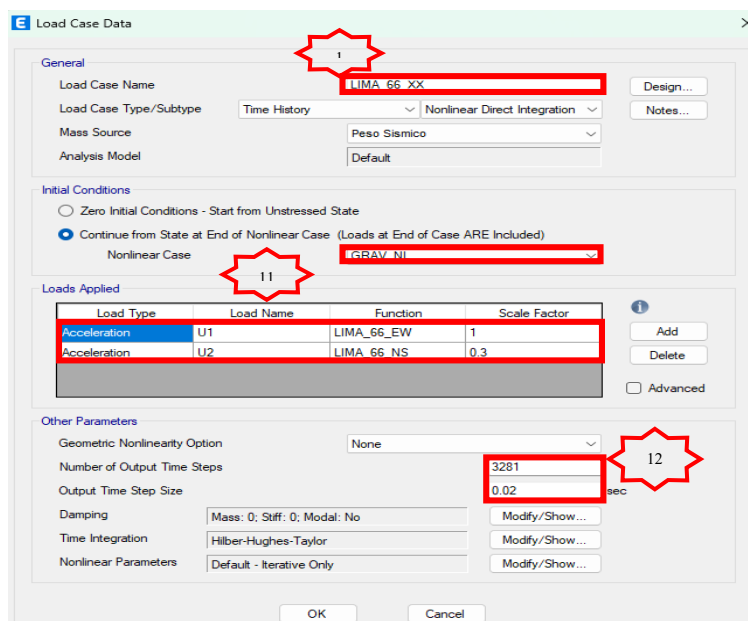


Fuente: Software ETABS v.20.3.0

Paso 4) Finalmente definimos las cargas.



Paso 5) Ahora procederemos a definir la carga para el análisis tiempo historia respecto al registro acelerométrico correspondiente, los casos de carga fueron asignados de forma análoga para la totalidad de los sismos considerados. Del mismo modo, cada componente del sismo se evaluó en ambas direcciones estructurales, considerando el 100 % de la solicitud en la dirección de análisis y el 30 % en la dirección ortogonal.



Previo al análisis tiempo-historia no lineal se ejecutó un caso estático no lineal de gravedad (GRAV_NL) con el objetivo de establecer el estado inicial de esfuerzos y deformaciones de la estructura. Posteriormente, el análisis dinámico se inició desde dicho estado utilizando la opción “Continue from State at End of Nonlinear Case”, lo que permite que la respuesta sísmica se desarrolle considerando la condición real de carga gravitacional, importante en estructuras con sistemas de aislamiento sísmico donde la rigidez del aislador depende de la carga axial aplicada.

f) Análisis de derivas tiempo-historia

Análisis de derivas y desplazamiento para propiedades nominales

Tabla 76.

Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFR AG.	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_XX	0.003	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_XX	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_XX	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_XX	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_XX	0.002	0.005	OK

Tabla 77.

Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFR AG.	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_YY	0.004	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_YY	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_YY	0.004	0.005	OK

Story1	D1	LIMA_66_YY	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_YY	0.002	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.29 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.29 m

Tabla 78.

Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección X

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	Deriv a	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ANCASH_70_XX	0.003	0.005	OK
Story3	D3	ANCASH_70_XX	0.004	0.005	OK
Story2	D2	ANCASH_70_XX	0.004	0.005	OK
Story1	D1	ANCASH_70_XX	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ANCASH_70_XX	0.002	0.005	OK

Tabla 79.

Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección Y

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ANCASH_70_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	ANCASH_70_YY	0.003	0.005	OK
Story2	D2	ANCASH_70_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	ANCASH_70_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ANCASH_70_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.23 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.23 m

Tabla 80.*Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRA G.	Output Case	Deriva	CONTROL -E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_74_XX	0.003	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_74_XX	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_74_XX	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_74_XX	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_74_XX	0.002	0.005	OK

Tabla 81.*Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_74_YY	0.004	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_74_YY	0.005	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_74_YY	0.005	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_74_YY	0.004	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_74_YY	0.003	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.29 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.29 m

Tabla 82.*Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRA G.	Output Case	Deriva	CONTROL -E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AREQ_01_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	AREQ_01_XX	0.003	0.005	OK
Story2	D2	AREQ_01_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AREQ_01_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AREQ_01_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 83.*Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRA G.	Output Case	Deriva	CONTROL -E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AREQ_01_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	AREQ_01_YY	0.003	0.005	OK
Story2	D2	AREQ_01_YY	0.004	0.005	OK
Story1	D1	AREQ_01_YY	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AREQ_01_YY	0.002	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.25 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.18 m

Tabla 84.*Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRA G.	Output Case	Deriva	CONTROL -E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ICA_07_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	ICA_07_XX	0.003	0.005	OK
Story2	D2	ICA_07_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	ICA_07_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ICA_07_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 85.*Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRA G.	Output Case	Deriva	CONTROL -E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ICA_07_YY	0.003	0.005	OK
Story3	D3	ICA_07_YY	0.003	0.005	OK
Story2	D2	ICA_07_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	ICA_07_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ICA_07_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.25 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.21 m

Tabla 86.*Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LOMAS_18_XX	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LOMAS_18_XX	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK

Tabla 87.*Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LOMAS_18_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LOMAS_18_YY	0.002	0.005	OK
Story2	D2	LOMAS_18_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	LOMAS_18_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LOMAS_18_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.26 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.14 m

Tabla 88.*Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AMAZ_21_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	AMAZ_21_XX	0.003	0.005	OK
Story2	D2	AMAZ_21_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AMAZ_21_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AMAZ_21_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 89.*Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AMAZ_21_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	AMAZ_21_YY	0.003	0.005	OK
Story2	D2	AMAZ_21_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AMAZ_21_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AMAZ_21_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.23 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.17 m

g) Verificación de las fuerzas cortantes máximas demandadas en los aisladores

Cabe recalcar que anteriormente se realizó el cálculo de la fuerza máxima que soportaría cada aislador:

$$F_{max} = k_{eff} * D_{TM}$$

F_{max}: =	66.07 tonf		F_{max}: =	43.68 tonf
k_{eff}: =	165.18 tonf/m		k_{eff}: =	109.21 tonf/m
D_{TM}: =	0.40 m		D_{TM}: =	0.40 m

Teniendo en consideración dichos valores procedemos a verificar los valores máximos de fuerzas para ambos tipos de aisladores en los diferentes sismos usados.

Tabla 90.

Fuerza máxima recibida para el aislador más crítico

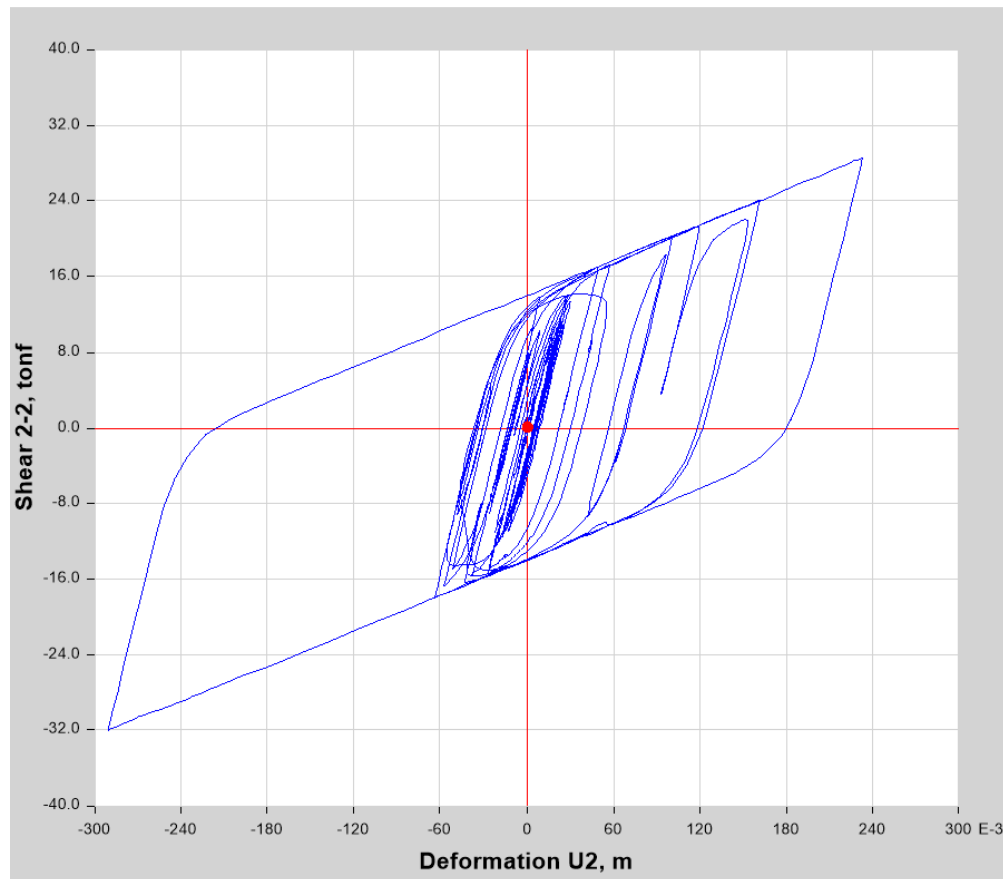
SISMO	Aislador I	Aislador II
	Fuerza Tonf	Fuerza Tonf
LIMA_1966_XX	39.82	34.79
LIMA_1966_YY	53.12	35.31
ANCASH_1970_XX	40.03	32.07
ANCASH_1970_YY	48.64	32.20
LIMA_1974_XX	49.20	35.62
LIMA_1974_YY	53.69	35.57
AREQUIPA_2001_XX	46.42	30.74
AREQUIPA_2001_YY	42.59	28.20
ICA_2007_XX	45.25	43.25
ICA_2007_YY	42.26	30.10
LOMAS_2018_XX	51.16	33.88
LOMAS_2018_YY	41.12	27.27
AMAZONAS_2021_XX	45.08	32.75
AMAZONAS_2021_YY	44.50	29.53

h) Diagrama de histéresis de los dispositivos de aislación sísmica

El diagrama de histéresis del link K1 en la dirección U2 (Fig. 62) evidencia una respuesta cíclica no lineal con disipación de energía, representada por el área encerrada en los lazos histéricos. Se observa menor disipación para ciclos de baja amplitud y una recuperación de resistencia para mayores deformaciones. Asimismo, la respuesta presenta cierta asimetría entre las ramas positiva y negativa, atribuible a la naturaleza del registro sísmico. Las deformaciones máximas alcanzan aproximadamente 0.24 m en sentido positivo y 0.29 m en sentido negativo.

Figura 62.

Diagrama de histéresis del dispositivo k12 producida por el sismo Lima 1974_XX



i) Análisis del balance energético

En este punto procedemos a realizar el cálculo de la disipación de energía que realiza el sistema de aislamiento en los diferentes sismos considerados.

Tabla 91.

Porcentaje de disipación de energía de los sismos

Sismo	Energía de Entrada tonf.m	Energía disipada por el aislador tonf.m	% de disipación	Energía potencial residual	Error energético final
Lima_66_XX	3531.00	2973.10	84.20%	15.79%	0.01%
Lima_66_YY	2433.00	2013.31	82.75%	17.24%	0.01%
Ancash_70_XX	3431.00	2789.40	81.30%	18.69%	0.01%
Ancash_70_YY	3107.00	2606.07	83.90%	16.09%	0.01%
Lima_74_XX	4535.00	3847.95	84.85%	15.14%	0.01%
Lima_74_YY	3876.00	3124.06	80.60%	19.39%	0.01%
Arequipa_01_XX	4364.00	3595.94	82.40%	17.59%	0.01%
Arequipa_01_YY	3055.00	2503.57	81.95%	18.04%	0.01%
Ica_07_XX	4476.00	3719.56	83.10%	16.89%	0.01%
Ica_07_YY	5724.00	4839.64	84.55%	15.44%	0.01%
Lomas_18_XX	3577.00	2893.79	80.90%	19.09%	0.01%
Lomas_18_YY	2871.00	2359.96	82.20%	17.79%	0.01%
Amazonas_21_XX	4401.00	3685.84	83.75	16.24%	0.01%
Amazonas_21_YY	5733.00	4821.45	84.10%	15.89%	0.01%

El balance energético obtenido para el sistema con aisladores LRB evidencia una disipación predominante de la energía de entrada, con valores comprendidos aproximadamente entre 80.60 % y 84.85 %. Asimismo, se observa una fracción remanente de energía potencial residual del orden de 15.14 % a 19.39 %, lo cual resulta consistente con la naturaleza mecánica del aislador elastomérico con núcleo de plomo, en el que coexisten mecanismos de disipación histerética y almacenamiento de energía elástica. El error energético final del orden de 0.01 % confirma la estabilidad numérica del análisis y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

j) Aceleraciones

Tabla 92.*Aceleraciones de entrepiso Lima_66*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_66	4.3147	4.4377
Story3	LIMA_66	2.4801	3.1128
Story2	LIMA_66	2.0557	1.6124
Story1	LIMA_66	2.4027	2.9051
Nivel de Base	LIMA_66	3.2672	3.7762

Tabla 93.*Aceleraciones de entrepiso Ancash_70*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	ANCASH_70	3.9514	4.5234
Story3	ANCASH_70	2.21	2.9618
Story2	ANCASH_70	1.6636	2.5549
Story1	ANCASH_70	2.294	2.4453
Nivel de Base	ANCASH_70	3.1975	3.5553

Tabla 94.*Aceleraciones de entrepiso Lima_74*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_74	5.2421	4.4794
Story3	LIMA_74	2.8036	2.5487
Story2	LIMA_74	2.9723	1.7032
Story1	LIMA_74	2.5309	2.5152
Nivel de Base	LIMA_74	4.1773	3.5903

Tabla 95.*Aceleraciones de entrepiso Arequipa_01*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	AREQ_01	4.4864	3.5351
Story3	AREQ_01	2.6976	2.5438
Story2	AREQ_01	2.3536	2.0751
Story1	AREQ_01	2.3904	1.9234
Nivel de Base	AREQ_01	4.2159	2.9908

Tabla 96.*Aceleraciones de entrepiso Ica_07*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	ICA_07	3.5945	3.7655
Story3	ICA_07	2.3039	2.4408
Story2	ICA_07	1.6903	1.8091
Story1	ICA_07	1.9875	2.4013
Nivel de Base	ICA_07	3.1894	3.0657

Tabla 97.*Aceleraciones de entrepiso Lomas_18*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LOMAS_18	4.1296	3.8027
Story3	LOMAS_18	2.4075	2.4949
Story2	LOMAS_18	2.1185	1.9143
Story1	LOMAS_18	2.3882	2.145
Nivel de Base	LOMAS_18	3.4681	2.7983

Tabla 98.*Aceleraciones de entrepiso Amazonas_21*

Piso	Sismo	Max UX	Max UY
------	-------	--------	--------

		m/s ^s	m/s ^s
Story4	AMAZONAS_21	3.2292	3.7903
Story3	AMAZONAS_21	2.2153	2.0242
Story2	AMAZONAS_21	2.0076	1.6111
Story1	AMAZONAS_21	1.7982	2.1334
Nivel de Base	AMAZONAS_21	2.6932	3.6683

k) Desplazamiento residual

Tabla 99.

Desplazamiento residual de los sismos utilizados

Sismo	Desplazamiento Residual				
	Aislador k12 (mm)	Aislador k13 (mm)	Aislador k24 (mm)	Aislador k6 (mm)	Aislador k18 (mm)
Lima_66_XX	2.92	4.06	4.01	0.59	1.01
Lima_66_YY	4.62	3.46	4.03	4.42	4.52
Ancash_70_XX	9.07	7.20	8.05	6.65	6.70
Ancash_70_YY	10.77	5.49	9.94	7.54	7.25
Lima_74_XX	1.93	0.89	1.57	1.58	1.56
Lima_74_YY	1.43	0.92	1.02	1.42	1.35
Arequipa_01_XX	9.73	9.85	9.35	9.65	9.42
Arequipa_01_YY	13.33	13.91	14.26	12.18	12.85
Ica_07_XX	9.29	9.96	8.84	9.99	9.76
Ica_07_YY	12.49	12.22	12.02	12.71	12.91
Lomas_18_XX	5.53	2.86	4.57	4.66	4.35
Lomas_18_YY	2.32	4.72	2.63	3.45	3.48
Amazonas_21_XX	3.20	4.92	3.22	4.06	4.01
Amazonas_21_YY	2.98	3.91	3.39	3.22	3.24

El análisis de desplazamientos residuales evidencia que el sismo de Ica 2001 genera los mayores desplazamientos residuales, alcanzando un valor máximo de 14.26 mm en el aislador K24. Este comportamiento indica que la magnitud del desplazamiento residual está más relacionada con la duración y contenido energético acumulado del registro sísmico. Asimismo, se observa que los aisladores ubicados en las esquinas de la estructura concentran los mayores valores residuales.

5.1.2.2. *Análisis y diseño de aisladores triple péndulo friccional*

El diseño de un aislador tipo triple péndulo friccional consiste en definir las propiedades geométricas y mecánicas que caracterizan su comportamiento. Dentro de sus propiedades geométricas destacan los radios de curvatura de las superficies cóncavas que conforman el dispositivo disipador de energía, tanto en la parte externa como en la interna. Asimismo, dado que los radios de curvatura externos son iguales entre sí y los internos también presentan igualdad entre sí, en esta etapa únicamente se consideran dos variables geométricas por determinar.

En este apartado, se procede a definir los valores correspondientes a las propiedades que se indican a continuación:

- Alturas de pivote, útiles para la obtención de radios efectivos externos ($h_1=h_4$)
- Alturas de pivote útiles para la obtención de radios efectivos internos ($h_2=h_3$)
- Radios de curvatura en superficies o placas cóncavas externas ($R_1=R_4$)
- Radios de curvatura en superficies o placas cóncavas internas ($R_2=R_3$)
- Coeficientes de fricción en las superficies o placas cóncavas externas ($\mu_1=\mu_4$)
- Coeficientes de fricción en las superficies o placas cóncavas internas ($\mu_2=\mu_3$)

Ahora procedemos a calcular el área de un deslizador rígido denotado en la siguiente ecuación como A_R y a partir del área requerida se podrá deducir su diámetro. La sección transversal necesaria del deslizador puede determinarse considerando la carga última que éste debe transmitir y el esfuerzo máximo admisible del material. En el diseño del sistema de aislamiento se asume que el acero del deslizador trabaja hasta un esfuerzo máximo ($\sigma_{\max}$) de aproximadamente 60 ksi, valor que se adopta como tensión permisible para garantizar la seguridad estructural del dispositivo.

Cálculo del área (A_d) y diámetro del deslizador rígido (D_R):

$$A_d = \frac{P_u}{\sigma_{max}}$$

$$A_d (tipo I) = \frac{325.67 \text{ tonf} \times 10^3 \text{ kg}}{60 \text{ ksi} \times 70.32 \text{ kg/cm}^2} = 77.19 \text{ cm}^2$$

$$A_d (tipo II) = \frac{192.84 \text{ tonf} \times 10^3 \text{ kg}}{60 \text{ ksi} \times 70.32 \text{ kg/cm}^2} = 45.71 \text{ cm}^2$$

$$D_R = \sqrt{\frac{4 \times A_d}{\pi}}$$

$$D_{R (centrica)} = 9.91 \text{ cm}$$

$$D_{R (excentrica)} = 7.63 \text{ cm}$$

Se tiene que tener en cuenta que para el diámetro de curvatura el fabricante dispone de un catálogo, en los cuales los diámetros toman valores desde las 5 pulg o 12.7 cm, es así que se tendrá una actualización de los diámetros asumidos:

$$D_{R (centrica)} = 12.7 \text{ cm} - 5 \text{ pulgadas}$$

$$D_{R (excentrica)} = 12.7 \text{ cm} - 5 \text{ pulgadas}$$

Cálculo de alturas (h_i):

Para definir los valores de altura usaremos un criterio de estabilidad en los dispositivos los cuales se mencionaron anteriormente; $h_2=h_3$ y $h_1=h_4$.

De acuerdo diversas investigaciones definen que el valor de h_2 y h_3 es igual al 40 a 50% del diámetro de curvatura, para usar este criterio debe cumplir la siguiente condición:

Para dispositivos I y dispositivo II

$$\frac{h_2 + h_3}{D_R} \leq 1$$

Donde:

$$h_2 = 0.40 \times 12.7 \text{ cm}$$

$$h_2 = h_3 = 5.08 \text{ cm}$$

Es así que se tiene la siguiente expresión el cual nos da como resultado:

$$\frac{5.08 + 5.08}{12.7} \leq 1$$

$$0.8 \leq 1 \text{ CUMPLE}$$

De acuerdo con el criterio de estabilidad, es posible asumir valores tentativos para el prediseño, tomando h_2 y h_3 = iguales a 5.08 cm, valor que corresponde a 2 pulgadas. En cuanto a las alturas h_1 y h_4 se toma en cuenta el espesor de la placa, mismo que es de 2.54 cm o de 1 pulgada, por lo tanto.

$$h_1 = h_4 = 5.08 \text{ cm} + 2 * 2.54 \text{ cm}$$

$$h_1 = h_4 = 10.16 \text{ cm o } 4 \text{ pulgadas}$$

Para desarrollar el análisis sísmico mediante el método de fuerza equivalentes primero definiremos los siguientes factores e indicadores

- Amortiguamiento efectivo 20%
- Factor B_M 1.5
- Para el periodo objetivo se tomará la misma consideración que el diseño para el otro dispositivo de disipación de energía y es multiplicar por 3 a nuestro periodo el cual para una base fija salió 0.86 sg entonces el periodo objetivo será 2.58 sg.
- El peso de la edificación sobre el interfaz de aislamiento sísmico es de 22249.64 T
- Aceleración de la gravedad 9.81 m/s^2

Se usará el mismo criterio que en el diseño del aislador LRB donde se considera dos tipos de aisladores el cual uno de ellos se ubicará por debajo de las columnas céntricas y las otras debajo de las columnas esquinas y excéntricas.

Cálculo aceleración espectral (S_{aM}):

- $Z=3.5$
- $T= 2.58 \text{ s}$
- $S=1.15$
- $TP=0.6$
- $TL= 2.0$
- *Si $T > T_L$ entonces $C = 2.5 * \left(\frac{0.6 \times 2.0}{2.58^2} \right) = 0.45$*
- $S_{aM} = 1,5ZUCS * g = 2.67 \text{ m/s}^2$

Cálculo desplazamiento máximo (D_M):

Una vez definido los parámetros anteriores procedemos a estimar el desplazamiento máximo esperado del sistema, basándonos en los lineamientos recomendados de la Norma Técnica E:031.

$$D_M = \frac{S_{aM} \times T_M^2}{4\pi^2 \times B_M}$$

$$D_M = \frac{2.67 \frac{m}{s^2} \times 2.58^2 s}{4 \times \pi^2 \times 1.5}$$

Dádonos como resultado el valor de:

$$D_M = 0.30 \text{ m o } 11.80 \text{ plg}$$

Cálculo desplazamiento total máximo (D_{TM}):

El desplazamiento máximo total se determinará usando la siguiente formula:

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

DONDE:

Desplazamiento traslacional D_M

$$D_M = 0.30 \text{ m}$$

Distancia entre el centro de rigidez del sistema de aislamiento sísmico y el elemento de interés

$$y = 42.90 \text{ m}$$

Razón entre T_1/T_3 (PT2) / BASE FIJA / PRIMERA ITERACION

$$Pt2 = 1.10 \text{ (Asumimos)}$$

Dimensión menor en base (b)

$$b = 39.00 \text{ m}$$

Dimensión mayor en base (d)

$$d = 85.80 \text{ m}$$

Excentricidad final (e)

$$e = 4.57 \text{ m}$$

$$D_{TM} = 0.40 \text{ m o } 15.75 \text{ plg}$$

Coefficientes de fricción:

De acuerdo a lo establecido en Constantinou et al., 2011 recomienda se use coeficientes de fricción con los siguientes criterios:

- $\mu_1 = \mu_4$
- $\mu_2 = \mu_3$

En el caso de las superficies externas, los dispositivos con elementos FTP empleados por los fabricantes de aislación sísmica suelen presentar coeficientes de fricción promedio entre 5% y 12%. Para las superficies internas, estos valores suelen encontrarse en un rango aproximado de 1.5% a 3%. Es importante considerar que, a mayor coeficiente de fricción, el periodo total de la estructura tiende a reducirse. Por ello, se recomienda utilizar valores intermedios, buscando un equilibrio que evite que el aislador se vuelva demasiado rígido, pero que tampoco genere

desplazamientos excesivos. Teniendo en consideración lo antes expuesto tendremos los siguientes valores:

- $\mu_1 = \mu_4 = 6\%$
- $\mu_2 = \mu_3 = 2\%$

Fuerza de fricción:

Aislador tipo I

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 6\% \times 325.67 \text{ tonf} = 19.54 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 2\% \times 325.67 \text{ tonf} = 6.51 \text{ tonf}$$

Aislador tipo II

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 6\% \times 192.84 \text{ tonf} = 11.57 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 2\% \times 192.84 \text{ tonf} = 3.86 \text{ tonf}$$

Radio de curvatura superior e inferior:

Se tiene en consideración que para el diseño estándar los valores $R_1=R_4$ y $R_2=R_3$

El radio de curvatura se calcula con la siguiente expresión:

$$R_1 = R_4 = \sqrt{\pi \times D_R^3 \times h_i}$$

Para aislador tipo I y tipo II se tiene lo siguiente:

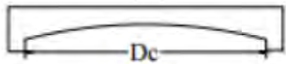
$$R_1 = R_4 = \sqrt{\pi \times (5 \text{ plg})^3 \times 4 \text{ plg}}$$

$$R_1 = R_4 = 39.63 \text{ plg}$$

Los valores estándar de los radios 1 y 4 pueden ser tomados de la siguiente tabla:

Tabla 100.

Dimensiones estándar para placas cóncavas de aisladores FPS

Id.	Radio de curvatura ($R_1=R_4$) (in)	Diámetro de las superficies cóncavas (D_c) (in)	
			
1	61	14	
2		18	
3		22	
4		31	
5	88	26	
6		27	
7		31	
8		32	
9		36	
10		39	
11		41	
12		44	
13	120	46	
14		51	
15		56	
16		27	
17	156	56	
18		63	
19		70	
20		106	
21	238	124	
22		78	
23		94	
24		106	
25		131	
26		143	

Nota: Catalogo de dimensiones de un aislador de TPF. Fuente: (M. C. Constantinou et al., 2011)

De acuerdo a nuestros cálculos previos y lo indicado en la tabla elegimos el de radio de curvatura de 61 pulgadas para ambos tipos de aisladores.

Entonces:

$$R_1 = R_4 = 61.00 \text{ plg} \approx 154.94 \text{ cm}$$

Una vez obtenido este valor, se recurre a la tabla 97 para determinar el radio de curvatura correspondiente $R_1 = R_4$. Este valor debe ser coherente con la dimensión de la columna que soportará el aislador, ya que el dispositivo debe contar con un tamaño adecuado para transmitir las cargas correctamente. No es recomendable que el aislador sea considerablemente menor que la sección de la columna, ni lo contrario. Para este diseño se adopta $R_1 = R_4$ igual a 61 pulgadas.

En cuanto a los radios de curvatura internos, tanto superior como inferior ($R_2 = R_3$), pueden adoptarse los valores sugeridos en el manual SEAOC (2014), los cuales son 5.5, 12, 23 y 33 pulgadas. Con estos valores es posible iniciar un pre-diseño. Asimismo, se consideran los diámetros de las superficies cóncavas internas (D_s), que pueden variar aproximadamente entre 6 y 65 pulgadas. Finalmente, es importante asegurar que los radios externos sean siempre mayores que los radios internos

Entonces:

$$R_2 = R_3 = 12 \text{ plg} \approx 30.48 \text{ cm}$$

Radio de curvatura efectivo

Es la diferencia del radio de curvatura y la altura, la cual se expresa con la siguiente formula:

$$R_{eff} = R_i - h_i$$

Donde:

R_i = Radio de curvatura

H_i = Altura

R_{ieff} = Radio de curvatura efectivo

Para los dispositivos tipo I y tipo II

$$R_{eff1} = 61 \text{ plg} - 4 \text{ plg} = 57 \text{ plg} \approx 144.78 \text{ cm}$$

$$R_{eff2} = 12 \text{ plg} - 2 \text{ plg} = 10 \text{ plg} \approx 25.40 \text{ cm}$$

Después de realizar los cálculos se tiene los siguientes radios efectivos de las superficies externas $R_{eff1} = R_{eff4} = 57 \text{ plg}$ o 144.78 cm y el radio efectivo de las superficies internas $R_{eff2} = R_{eff3} = 10 \text{ plg}$ o 25.40 cm para ambos tipos de aisladores.

Capacidad de desplazamiento

La capacidad de desplazamiento establece el margen dentro del cual puede oscilar el péndulo interno durante las etapas 1, 2, 3 y 4. Asimismo, define la zona de transición formada entre las placas superior e inferior, la cual actúa como límite de seguridad o fase final del sistema, que en los aisladores de tipo FTP corresponde a la etapa 5 (M. Constantinou et al., 2016).

Es importante considerar que, durante el prediseño, aún no se dispone de las capacidades reales del dispositivo. Por ello, los valores asignados deben ser relativamente altos, de modo que el aislador pueda trabajar adecuadamente dentro de sus primeras tres fases, obteniendo así niveles de fluencia consistentes y estables. Las fases 4 y 5 se reservarán como margen de desplazamiento

para escenarios sísmicos de mayor intensidad. En el caso del edificio analizado, se adoptarán los valores sugeridos por (Constantinou et al., 2016).

Considerar que $d_1=d_4$

$$d_1 \geq \left(\frac{D_M}{2}\right) \frac{R_1}{R_{eff1}}$$

Para los dispositivos tipo I y tipo II

$$d_1 \geq \left(\frac{30.00 \text{ cm}}{2}\right) \times \frac{154.94}{144.78} = 16.05 \text{ cm}$$

$= 6.32 \text{ plg}$ asumimos un valor de 7.5 plg o 19.05 cm

Considerar que $d_2=d_3$

$$d_2 > (\mu_1 - \mu_2) \times R_{eff2}$$

Para los dispositivos tipo I y tipo II

$$d_2 > (6\% - 2\%) \times 25.40 \text{ cm} = 1.02 \text{ cm} = 0.50 \text{ plg}$$

Dados estos valores, se plantea la siguiente ecuación:

$$D_S = D_R + 2t_{r2} + d_2 + d_3$$

Asumimos el espesor del anillo retenedor de la placa $2 t_{r2} = 0.5$ pulgadas

$$D_S = 5 \text{ in} + 2 * (0.5) \text{ in} + 0.5 \text{ in} + 0.5 \text{ in} = 7 \text{ in} \approx 17.78 \text{ cm}$$

Con esto hallamos el valor del diámetro de las placas externas 1 y 4 (D_c)

$$D_c = D_S + d_1 + d_4$$

$$D_c = 7 \text{ in} + 7.5 \text{ in} + 7.5 \text{ in} = 22 \text{ in}$$

De acuerdo a la tabla N° 97 elegimos el valor de $D_c = 22 \text{ in}$

La empresa americana Earthquake Protection System (EPS) es la encargada de fabricar este tipo de aisladores debido a que ellos tienen patentado el producto.

La nomenclatura que se usa para identificar sus aisladores son los siguientes:

$$FPT R_o D_c / D_s - R_i / D_R - h_R$$

Donde:

R_o = Radio de curvatura de las superficies externas ($R_1=R_4$); 61"

D_c = Diámetro de las superficies cóncavas externas; 22"

D_s = Diámetro del aislador interno; 7"

R_i = Radio de curvatura de las superficies internas ($R_2=R_3$); 12 plg

D_R = Diámetro del deslizador rígido; 5"

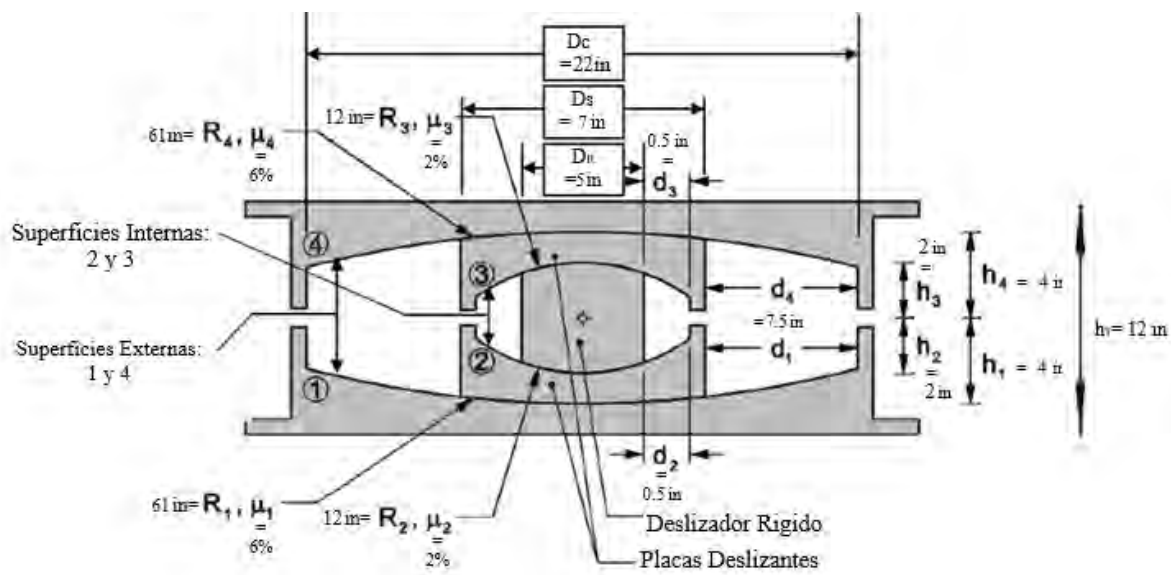
H_R = Altura del deslizador rígido ($2h_2=2h_3$); 4"

Adaptado de (Constantinou, Aguiar, Morales, & Caiza, 2016)

Es así que se tiene el aislador **FPT 6122/7-12/5-4**.

Figura 63.

Dimensiones estándar para placas cóncavas de aisladores FTP para propiedades nominales



Nota: Esquema geométrico del aislador TPF. Fuente: (Adaptado de Constantinou et al., 2011)

Fases de desplazamiento

Fase I de desplazamiento o Régimen 1

El movimiento inicial se desliza la base rígida del aislador interior, en consecuencia, el desplazamiento es provocado en las superficies de radio R_2 y R_3 , es así que se tienen las siguientes expresiones:

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u1} = 2 \times (\mu_1 - \mu_2) \times R_{eff2} = 2 \times (6\% - 2\%) \times 25.40 \text{ cm} = 2.03 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 \times R_{eff2}} \times D'_{u1} + F_{f2} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 \times 25.40 \text{ cm}} \times 2.03 \text{ cm} + 6.51 \text{ tonf} = 19.52 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{19.52 \text{ tonf}}{0.0203 \text{ m}} = 961.77 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} \times 2 \times D'_{u1} = 19.52 \text{ tonf} \times 2 \times 0.0203 \text{ m} = 0.79 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} \times D'_{u1}}{2} = \frac{19.52 \text{ tonf} \times 0.0203 \text{ m}}{2} = 0.20 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 \times \pi \times E_{E1}} = \frac{0.77 \text{ tonf.m}}{4 \times \pi \times 0.20 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u1} = 2 \times (\mu_1 - \mu_2) \times R_{eff2} = 2 \times (6\% - 2\%) \times 25.40 \text{ cm} = 2.03 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 \times R_{eff2}} \times D'_{u1} + F_{f2} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 \times 25.40 \text{ cm}} \times 2.03 \text{ cm} + 3.86 \text{ tonf} = 11.56 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{11.56 \text{ tonf}}{0.0203 \text{ m}} = 569.75 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} \times 2 \times D'_{u1} = 11.56 \text{ tonf} \times 2 \times 0.0203 \text{ m} = 0.47 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} \times D'_{u1}}{2} = \frac{11.56 \text{ tonf} \times 0.0203 \text{ m}}{2} = 0.12 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 \times \pi \times E_{E1}} = \frac{0.47 \text{ tonf.m}}{4 \times \pi \times 0.12 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Fase II de desplazamiento o Régimen 2

Una vez desarrollado el movimiento en el deslizador rígido sobre las superficies 2 y 3 lo que origina el inicio del desplazamiento en las superficies 1 y 4.

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 \times d_1 = 2.03 \text{ cm} + 2 \times 19.05 \text{ cm} = 40.13 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} \times (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 * 144.78 \text{ cm}} \times (40.13 \text{ cm} - 2.03 \text{ cm}) + 19.54 \text{ tonf} = 62.39 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{62.39 \text{ tonf}}{0.40 \text{ m}} = 155.98 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D2} = 4 \times (D'_{u1} \times F_{f2} - D'_{u1} \times F_{m2} + D'_{u2} \times F_{f1})$$

$$= 4 * (2.03 \text{ cm} \times 6.51 \text{ tonf} - 2.03 \text{ cm} \times 62.39 \text{ tn} + 40.13 \text{ cm} \times 19.54 \text{ tonf})$$

$$= 26.82 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 191.57 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} * D'_{u1} = 19.54 \text{ tonf} - 191.57 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \times 0.0203 \text{ m} = 15.65 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} * D'_{u2}}{2} = \frac{62.39 \text{ tonf} \times 0.40 \text{ m}}{2} = 12.48 \text{ tn.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 * \pi * E_{E2}} = \frac{26.82 \text{ tonf.m}}{4 \times \pi \times 12.48 \text{ tonf.m}} = 17\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 \times d_1 = 2.03 \text{ cm} + 2 \times 19.05 \text{ cm} = 40.13 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} x (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 x 144.78 \text{ cm}} x (40.13 \text{ cm} - 2.03 \text{ cm}) + 11.57 \text{ tonf} = 36.94 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{36.94 \text{ tonf}}{0.40 \text{ m}} = 92.35 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D2} = 4 x (D'_{u1} x F_{f2} - D'_{u1} x F_{m2} + D'_{u2} x F_{f1})$$

$$= 4 x (2.03 \text{ cm} * 3.86 \text{ tonf} - 2.03 \text{ cm} x 36.94 \text{ tonf}$$

$$+ 40.13 \text{ cm} x 11.57 \text{ tonf}) = 15.89 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 113.44 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} x D'_{u1} = 11.57 \text{ tonf} - 113.44 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0203 \text{ m} = 9.27 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} x D'_{u2}}{2} = \frac{36.94 \text{ tonf} x 0.40 \text{ m}}{2} = 7.39 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 x \pi * E_{E2}} = \frac{15.89 \text{ tonf.m}}{4 x \pi x 7.39 \text{ tn.m}} = 17\%$$

Fase III de desplazamiento o Régimen 3

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u3} = 2 x d_1 + 2 x d_2 = 2 x 19.05 \text{ cm} + 2 x 4.02 \text{ cm} = 46.14 \text{ cm}$$

$$F_{m3} = \frac{P_u}{2 x R_{eff2}} x (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} x (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{325.67}{2 * 25.40 \text{ cm}} x (40.14 - 40.13) + \frac{325.67}{2 * 144.78 \text{ cm}} x (40.13 - 2.03) + 19.54$$

$$= 62.46 \text{ tonf}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{62.46 \text{ tonf}}{0.40 \text{ m}} = 156.15 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D3} = 2 \times E_{D1} + E_{D2} = 2 \times 0.79 \text{ tonf.m} + 26.82 \text{ tonf.m} = 28.40 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} \times D'_{u3}}{2} = \frac{62.40 \text{ tonf} \times 0.40 \text{ m}}{2} = 12.48 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{62.39 \text{ tonf} - 19.54 \text{ tonf}}{40.13 \text{ cm} - 2.03 \text{ cm}} = 112.47 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} \times D'_{u1} = 19.54 \text{ tonf} - 112.47 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \times 0.0203 \text{ m} = 17.26 \text{ tonf}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 \times \pi \times E_{E3}} = \frac{28.40 \text{ tonf.m}}{4 \times \pi \times 12.48 \text{ tn.m}} = 18\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u3} = 2 \times d_1 + 2 \times d_2 = 2 \times 19.05 \text{ cm} + 2 \times 4.02 \text{ cm} = 46.14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_{m3} &= \frac{P_u}{2 \times R_{eff2}} \times (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 \times R_{eff1}} \times (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \\ &= \frac{192.84}{2 \times 25.40 \text{ cm}} \times (40.14 - 40.13) + \frac{192.84}{2 \times 144.78 \text{ cm}} \times (40.13 - 2.03) + 11.57 \\ &= 36.98 \text{ tonf} \end{aligned}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{36.98 \text{ tonf}}{0.40 \text{ m}} = 92.45 \text{ tn/m}$$

$$E_{D3} = 2 \times E_{D1} + E_{D2} = 2 \times 0.47 \text{ tonf.m} + 15.89 \text{ tonf.m} = 16.83 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} \times D'_{u3}}{2} = \frac{36.98 \text{ tonf} \times 0.40 \text{ m}}{2} = 7.40 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{36.94 \text{ tonf} - 11.57 \text{ tonf}}{40.13 \text{ cm} - 2.03 \text{ cm}} = 66.59 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} \times D'_{u1} = 11.57 \text{ tonf} - 66.59 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} \times 0.0203 \text{ m} = 10.21 \text{ tn}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 \times \pi \times E_{E3}} = \frac{16.83 \text{ tonf.m}}{4 \times \pi \times 7.40 \text{ tonf.m}} = 18\%$$

Tabla 101.*Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 1*

AISSLADOR	D'_{u1} cm	F_{m1} tonf	K_{eff1} tonf/m	E_{D1} tonf.m	E_{E1} tonf.m	β_{r1}
TIPO I	2.03	19.52	961.77	0.79	0.20	32%
TIPO II	2.03	11.56	569.75	0.47	0.12	32%

Tabla 102.*Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 2*

AISSLADOR	D'_{u2} cm	F_{m2} tonf	K_{eff2} tonf/m	E_{D2} tonf.m	E_{E2} tonf.m	β_{r2}	K_{d2} tonf/m	Q_{d2} tonf
TIPO I	40.13	62.39	155.98	26.82	12.48	17%	191.57	15.65
TIPO II	40.13	36.94	92.35	15.89	7.39	17%	113.44	9.27

Tabla 103.*Propiedades nominales del aislador TPF para el régimen 3*

AISSLADOR	D'_{u3} cm	F_{m3} tonf	K_{eff3} tonf/m	E_{D3} tonf.m	E_{E3} tonf.m	β_{r3}	K_{d3} tonf/m	Q_{d3} tonf
TIPO I	46.14	62.46	156.15	28.40	12.48	18%	112.47	17.26
TIPO II	46.14	36.98	92.11	16.83	7.40	18%	66.59	10.21

- **Cálculo de propiedades para incorporar en el software ETABS**

Tanto el peso de los aisladores como los valores de inercia rotacional no generan un efecto relevante en el comportamiento del sistema, por lo que pueden asumirse como nulos. Sin embargo, en caso se requiera, estos valores pueden determinarse de la manera siguiente:

Peso del aislador (W): 0.76 tonf

Masa del aislador (m): 7.45 tonf. s²/m

Para el aislador TIPO TPF (Tipo I)

Propiedades en la dirección U1

Rigidez Vertical (K_v): Se calcula asumiendo que el aislador es un cilindro con diámetro igual a D_R y con altura h_T

Es así que se tiene los siguientes valores:

D_R: 5 plg

h_T: 12 plg

E: Modulo de elasticidad del acero (E=20389030.00 tonf/m²)

$$K_v = \frac{E \times A_R}{h_T}$$

$$K_v = \frac{20389030.00 \text{ tonf/m}^2 \times 0.01267 \text{ m}^2}{0.3048 \text{ m}} = 847381.40 \text{ tonf/m}$$

Propiedades en la dirección U2 Y U3

Propiedades lineales

Effective Stiffness-U2: 156.15 tonf/m

Effective Stiffness-U3: 156.15 tonf/m

Altura y simetría de las superficies deslizantes

Height for outer Surfaces: $h_1 + h_4 = 0.3048 \text{ m}$

Height for inner Surfaces: $h_2 + h_3 = 0.1016$ m

Propiedades no líneas para la dirección U2-U3

	Exterior	Interior
Rigidez: $\frac{\mu_1 \times P_u}{(\mu_1 - \mu_2) \times R_{2eff}}$; $\frac{\mu_2 \times P_u}{(\mu_1 - \mu_2) \times R_{2eff}}$;	1923.25 tonf/m	641.08 tonf/m
Coeficiente de fricción, lento:	3%	1%
Coeficiente de fricción, rápido:	6%	2%
Parámetro de ratio:	50 s/m	50 s/m
Radio de la superficie deslizante:	1.5494 m	0.3048 m
Distancia de tope:	0.1905 m	0.0127 m

Para el aislador TIPO TPF (Tipo II)

Propiedades en la dirección U2 Y U3

Propiedades lineales

Effective Stiffness-U2: 92.45 tonf/m

Effective Stiffness-U3: 92.45 tonf/

Propiedades no líneas para la dirección U2-U3

	Exterior	Interior
Rigidez: $\frac{\mu_1 \times P_u}{(\mu_1 - \mu_2) \times R_{2eff}}$; $\frac{\mu_2 \times P_u}{(\mu_1 - \mu_2) \times R_{2eff}}$;	1138.82 tonf/m	379.61tonf/m
Coeficiente de fricción, lento:	3%	1%
Coeficiente de fricción, rápido:	6%	2%
Parámetro de ratio:	50 s/m	50 s/m
Radio de la superficie deslizante:	1.5494 m	0.3048 m
Distancia de tope:	0.1905 m	0.0127 m

Propiedades “Lower bound o límite inferior” y “Upper bound o límite superior” del sistema de aislación

Con el fin de realizar los análisis sísmicos, es indispensable establecer las propiedades LB (límite inferior) y UB (límite superior) del sistema de aislamiento. Dichas propiedades se calculan aplicando los factores de modificación ($\lambda_{\min}$ y $\lambda_{\max}$) a los coeficientes de fricción nominales del aislador de tipo TPF.

Es así que en base al Anexo I “Factores extremos modificatorios de las propiedades” de la norma E-031 nos plantea valores mínimos los cuales son los siguientes:

$$\lambda_{\min} = 0.8 \text{ — Para interfaz sin lubricacion}$$

$$\lambda_{\max} = 1.6 \text{ — Para interfaz sin lubricacion}$$

En base a estos factores que nos indica la norma, se aplicara a los tres coeficientes de fricción nominales del aislador, los cuales estarán fabricados todos del mismo material.

Tabla 104.

Coeficiente de fricción para límite inferior y límite superior

Coeficiente de fricción	Símbolo	Límite Inferior	Limite Superior
Coeficiente de fricción – superficies internas	$\mu_2 = \mu_3 = 2\%$	1.6%	3.2%
Coeficiente de fricción – superficie externa inferior - superior	$\mu_1 = \mu_4 = 6\%$	4.8%	9.6%

A partir de estos factores se realiza el mismo procedimiento ya visto anteriormente para el cálculo de las propiedades nominales.

Para propiedades de fricción límite inferior

Fuerza de fricción:

Aislador tipo I

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 4.8\% \times 325.67 \text{ tonf} = 15.63 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 1.6\% \times 325.67 \text{ tonf} = 5.21 \text{ tonf}$$

Aislador tipo II

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 4.8\% \times 192.84 \text{ tonf} = 9.25 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 1.6\% \times 192.84 \text{ tonf} = 3.08 \text{ tonf}$$

Tabla 105.

Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 1

AISLADOR	D' _{u1} cm	F _{m1} tonf	K _{eff1} tonf/m	E _{D1} tonf.m	E _{E1} tonf.m	β _{r1}
TIPO I	1.63	15.63	961.60	0.51	0.13	32%
TIPO II	1.63	9.25	569.02	0.30	0.08	32%

Tabla 106.

Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 2

AISLADOR	D' _{u2} cm	F _{m2} tonf	K _{eff2} tonf/m	E _{D2} tonf.m	E _{E2} tonf.m	β _{r2}	K _{d2} tonf/m	Q _{d2} tonf
TIPO I	39.73	58.48	147.21	21.37	11.52	15%	191.57	12.52
TIPO II	39.73	34.62	87.15	12.65	6.88	15%	113.44	7.41

Tabla 107.

Propiedades límite inferior del aislador TPF para el régimen 3

AISLADOR	D' _{u3} cm	F _{m3} tonf	K _{eff3} tonf/m	E _{D3} tonf.m	E _{E3} tonf.m	β _{r3}	K _{d3} tonf/m	Q _{d3} tonf
TIPO I	40.14	61.11	153.81	22.39	12.26	15%	112.47	13.80
TIPO II	40.14	36.18	91.06	13.25	7.26	15%	66.60	8.17

Para propiedades de fricción límite superior

Fuerza de fricción:

Aislador tipo I

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 9.6 \% \times 325.67 \text{ tonf} = 31.26 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 3.2 \% \times 325.67 \text{ tonf} = 10.42 \text{ tonf}$$

Aislador tipo II

$$F_{f1} = \mu_1 \times P_u = 9.6 \% \times 192.84 \text{ tonf} = 18.51 \text{ tonf}$$

$$F_{f2} = \mu_2 \times P_u = 3.2 \% \times 192.84 \text{ tonf} = 6.17 \text{ ton}$$

Tabla 108.

Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 1

AISLADOR	D' _{u1} cm	F _{m1} tonf	K _{eff1} tonf/m	E _{D1} tonf.m	E _{E1} tonf.m	β _{r1}
TIPO I	3.25	31.26	961.62	2.03	0.51	32%
TIPO II	3.25	18.51	569.41	1.20	0.30	32%

Tabla 109.

Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 2

AISLADOR	D' _{u2} cm	F _{m2} tonf	K _{eff2} tonf/m	E _{D2} tonf.m	E _{E2} tonf.m	β _{r2}	K _{d2} tonf/m	Q _{d2} tonf
TIPO I	41.35	74.11	179.23	43.43	15.32	23%	191.57	25.03
TIPO II	41.35	43.88	106.13	26.72	9.07	23%	113.44	14.82

Tabla 110.

Propiedades límite superior del aislador TPF para el régimen 3

AISLADOR	D' _{u3} cm	F _{m3} tonf	K _{eff3} tonf/m	E _{D3} tonf.m	E _{E3} tonf.m	β _{r3}	K _{d3} tonf/m	Q _{d3} tonf
TIPO I	43.21	66.30	165.17	47.49	13.31	28%	91.96	28.27
TIPO II	43.21	39.29	97.88	28.12	7.89	28%	66.59	16.35

5.1.2.2.1. *Análisis dinámico modal espectral del sistema de aislamiento triple péndulo friccional*

Tabla 111.

Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades nominales

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0014	0.0009	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0021	0.0014	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0026	0.0017	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0022	0.0014	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0017	0.0011	0.0035	OK

Tabla 112.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades nominales

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0025	0.0018	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0036	0.0027	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0044	0.0033	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0037	0.0028	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_Y	0.0027	0.0020	0.0035	OK

Ahora procedemos a calcular las derivas para los limites inferiores y limites superiores, para posteriormente comprobarlo con la norma.

Tabla 113.

Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite inferior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0018	0.0014	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0028	0.0021	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0034	0.0026	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0029	0.0022	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0022	0.0017	0.0035	OK

Tabla 114.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite inferior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0024	0.0018	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0035	0.0026	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0043	0.0032	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0036	0.0027	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_Y	0.0027	0.0020	0.0035	OK

Tabla 115.

Derivas con SMC base aislada en dirección X considerando para propiedades límite superior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_X	0.0019	0.0015	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_X	0.0029	0.0022	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_X	0.0036	0.0027	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_X	0.0031	0.0023	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_X	0.0023	0.0017	0.0035	OK

Tabla 116.

Derivas con SMC base aislada en dirección Y considerando para propiedades de límite superior

Tabla: Desplazamientos del Centro de Masa del Diafragma						
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	D. ELASTICO	D. INELASTICO =0.75*R*D. E	CONTROL - E031 D.IN. <E.031	
Story4	D4	SMC R1_Y	0.0026	0.0019	0.0035	OK
Story3	D3	SMC R1_Y	0.0037	0.0028	0.0035	OK
Story2	D2	SMC R1_Y	0.0045	0.0034	0.0035	OK
Story1	D1	SMC R1_Y	0.0038	0.0029	0.0035	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	SMC R1_Y	0.0028	0.0021	0.0035	OK

a) Análisis de masas participativas

Tabla 117.*Masa participativa – Propiedades Nominales*

Case	Modo	MASA PARTICIPATIVA				
		Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal_eigen	1	3.125	0.014	0.970	1%	97%
Modal_eigen	2	3.119	0.952	0.016	97%	99%
Modal_eigen	3	3.033	0.024	0.003	99%	99%

Tabla 118.*Masa participativa – Propiedades límite inferior*

Case	Modo	MASA PARTICIPATIVA				
		Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal_eigen	1	3.148	0.014	0.970	1%	97%
Modal_eigen	2	3.141	0.952	0.017	97%	99%
Modal_eigen	3	3.054	0.024	0.003	99%	99%

Tabla 119.*Masa participativa – Propiedades límite superior*

Case	Modo	MASA PARTICIPATIVA				
		Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal_eigen	1	3.044	0.012	0.972	1%	97%
Modal_eigen	2	3.037	0.956	0.012	97%	99%
Modal_eigen	3	2.954	0.024	0.005	99%	99%

b) Desplazamientos – Sismo máximo considerado

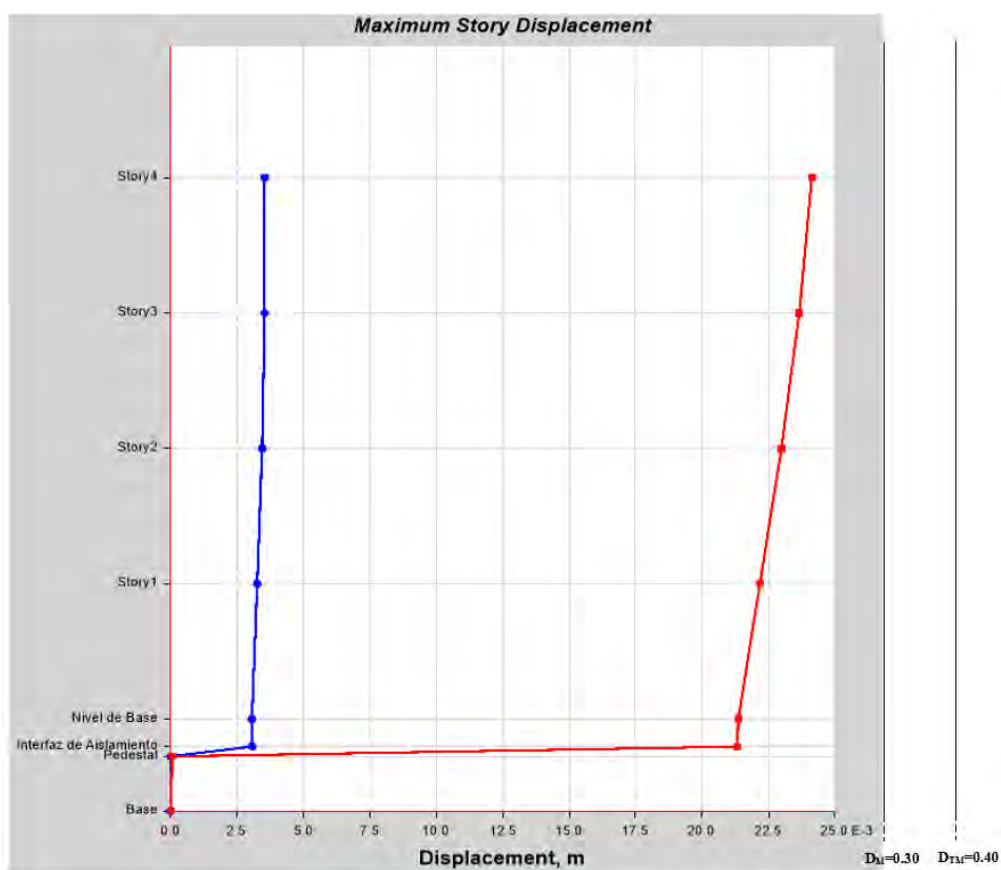
Tabla 120.

Desplazamiento SMC propiedades nominales en dirección X, Y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		cm	cm
Story4	20.68	Top	24.83	24.56
Story3	16.26	Top	23.67	23.63
Story2	11.84	Top	22.19	22.99
Story1	7.42	Top	21.32	22.22
Nivel de aislamiento	3	Top	21.39	21.45
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	21.32	21.45
Pedestal	1.8	Top	0.01	0.01
Base	0	Top	0.00	0.00

Figura 64.

Máximo desplazamiento por nivel en dirección X para propiedades nominales



RESULTADOS Y DISCUSIÓN

c) Comprobación por momento volteo global de la estructura

Dirección X

Mv= 12,349.07 tonf-m

Peso= 22,249.64 tonf

Excentricidad= 4.57 m

Me = 101,736.94 tonf-m

MOMENTO DE VUELCO DEL NIVEL

Story	Elevación	Locación	Dir. X tonf-m
Story4	20.68	Top	0.00
Story3	16.26	Top	1,064.29
Story2	11.84	Top	3,333.52
Story1	7.42	Top	6,751.44
Nivel de aislamiento	3	Top	11,223.13
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	12,349.07
Pedestal	1.8	Top	12,727.11
Base	0	Top	15,003.46
Me/Mv =	8.2	≥	1 SI CUMPLE

Dirección Y

Mv= 12,320.00 tonf-m

Peso= 22,249.64 tonf

Excentricidad= 4.57 m

Me = 101,736.94 tonf-m

MOMENTO DE VUELCO DEL NIVEL

Story	Elevación	Locación	Dir. Y tonf-m
Story4	20.68	Top	0.00
Story3	16.26	Top	1,047.45
Story2	11.84	Top	3,296.29
Story1	7.42	Top	6,705.63
Nivel de aislamiento	3	Top	11,187.41
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	12,320.00
Pedestal	1.8	Top	12,700.16
Base	0	Top	14,987.97
Me/Mv =	8.3	≥	1 SI CUMPLE

d) Fuerzas Cortantes – Sismo máximo considerado

Tabla 121.

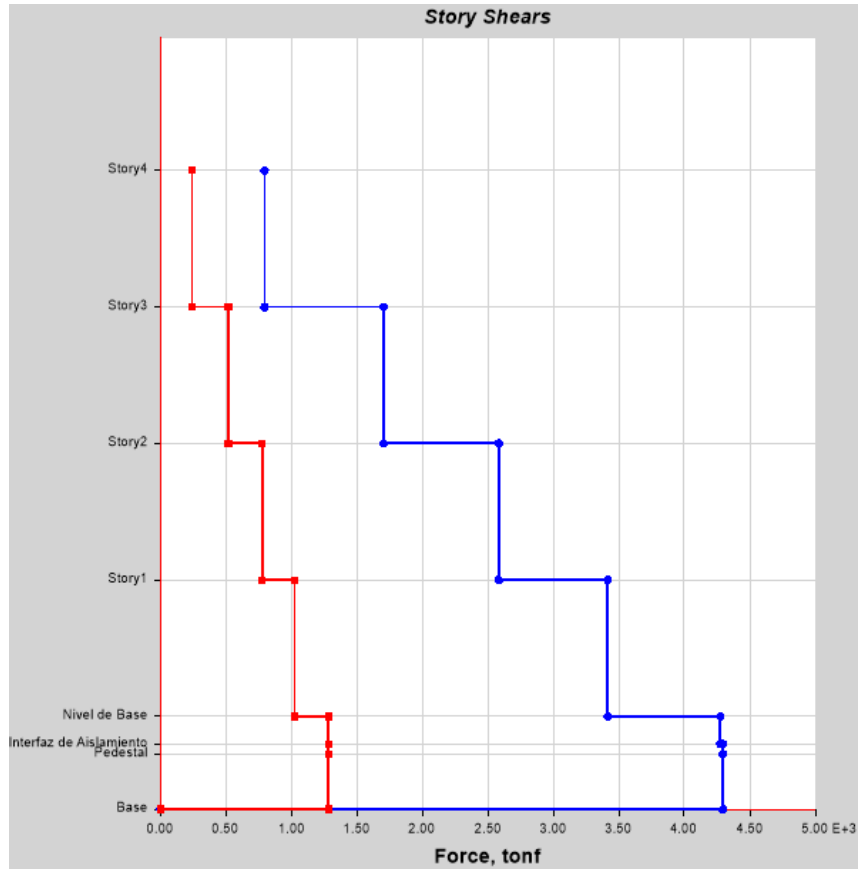
Cortante SMC R=1 propiedades nominales en dirección X, Y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	789.92	802.63
Story3	16.26	Top	1698.36	1714.14
Story2	11.84	Top	2583.17	2591.78
Story1	7.42	Top	3410.69	3408.71
Nivel de aislamiento	3	Top	4295.12	4260.56
Interfaz de aislamiento	2.1	Top	4270.86	4282.23
Pedestal	1.8	Top	4292.66	4284.69
Base	0	Top	0	802.63

Fuente: Elaboracion Propia

Figura 65.

Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades nominales



e) Irregularidad en altura

Irregularidad de Rigidez-Piso blando

$$K_{ei} < 0.70K_{ei+1} = A, \quad K_{ei} < \frac{0.80}{3} (K_{ei+1} + K_{ei+2} + K_{ei+3}) = B$$

Dirección en "X"

Tabla 122.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	82148.03	-	-	NO
3	129206.48	1.57	-	NO
2	181131.79	1.40	-	NO
1	267694.28	1.48	2.05	NO
base	2774099.98	10.36	14.40	NO

Dirección en “Y”

Tabla 123.*Irregularidad de rigidez en Y*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	PISO BLANDO
4	72453.78	-	-	NO
3	111226.70	1.54	-	NO
2	146347.74	1.32	-	NO
1	227947.32	1.56	2.07	NO
base	2302802.56	10.10	14.23	NO

Irregularidad Extrema de Rigidez

$$Kei < 0.60Kei + 1 = A, \quad Kei < \frac{0.70}{3} (Kei + 1 + Kei + 2 + Kei + 3) = B$$

Dirección en “X”

Tabla 124.*Irregularidad de rigidez en X*

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	82148.03	-	-	NO
3	129206.48	1.57	-	NO
2	181131.79	1.40	-	NO
1	267694.28	1.48	2.05	NO
base	2774099.98	10.36	14.40	NO

Dirección en “Y”

Tabla 125.

Irregularidad de rigidez en Y

N Pisos	K(tonf/mm)	A	B	EXT. RIGIDEZ
4	72453.78	-	-	NO
3	111226.70	1.54	-	NO
2	146347.74	1.32	-	NO
1	227947.32	1.56	2.07	NO
base	2302802.56	10.10	14.23	NO

Irregularidad de masa o peso

$$W_i > 1.50 W_{i+1} = A, \quad W_i > 1.50 W_{i-1} = B$$

Tabla 126.

Irregularidad de masa o peso

N Pisos	M(ton)	A	B	MASA O P.
4	376.33333	-	0.81	NO
3	466.34064	1.24	0.95	NO
2	488.68713	1.05	1.02	NO
1	477.26914	0.98	0.96	NO
base	496.24664	1.04	-	NO

Irregularidad Geometría vertical: No presenta

Discontinuidad en los sistemas resistentes: No presenta

Discontinuidad extrema en los sistemas resistentes: No presenta

f) Irregularidad en planta

Irregularidad Torsional

$$\frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 50\% \left(\frac{\Delta i}{h_{ei}} \right) \text{ permisible (A) ,} \quad \frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 1.3 \left(\frac{\Delta p_i}{h_{ei}} \right) \text{ (B)}$$

Dirección en “X”

Tabla 127.

Irregularidad torsional X

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	20.68	0.001829	0.001829	0.001829	52%	1.00	NO
3	16.56	0.00274	0.00274	0.002740	78%	1.00	NO
2	12.14	0.003414	0.003413	0.003414	98%	1.00	NO
1	7.72	0.002894	0.002894	0.002894	83%	1.00	NO
base	3	0.002178	0.002177	0.002178	62%	1.00	NO

Dirección en “Y”

Tabla 128.

Irregularidad torsional Y

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	20.68	0.002362	0.002429	0.002396	69%	1.01	NO
3	16.56	0.003471	0.003564	0.003518	102%	1.01	NO
2	12.14	0.004274	0.004367	0.004321	125%	1.01	NO
1	7.72	0.003623	0.003683	0.003653	105%	1.01	NO
base	3	0.002645	0.002683	0.002664	77%	1.01	NO

Irregularidad Torsional Extrema

$$\frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 50\% \left(\frac{\Delta i}{h_{ei}} \right) \text{ permisible (A) ,} \quad \frac{\Delta_{max}}{h_{ei}} \geq 1.5 \left(\frac{\Delta p_i}{h_{ei}} \right) \text{ (B)}$$

Tabla 129.

Irregularidad torsional extrema X

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	X	X	X	X	X	TORSIONAL
4	20.68	0.001829	0.001829	0.001829	52%	1.00	NO
3	16.56	0.002740	0.002740	0.002740	78%	1.00	NO
2	12.14	0.003414	0.003413	0.003414	98%	1.00	NO
1	7.72	0.002894	0.002894	0.002894	83%	1.00	NO
base	3	0.002178	0.002177	0.002178	62%	1.00	NO

Tabla 130.

Irregularidad torsional extrema Y

		EXTREMO1 DERIVAS	EXTREMO2 DERIVAS	PROMEDIOS	A	B	
N Pisos	hi (m)	Y	Y	Y	Y	Y	TORSIONAL
4	20.68	0.002362	0.002429	0.002396	69%	1.01	NO
3	16.56	0.003471	0.003564	0.003518	102%	1.01	NO
2	12.14	0.004274	0.004367	0.004321	125%	1.01	NO
1	7.72	0.003623	0.003683	0.003653	105%	1.01	NO
base	3	0.002645	0.002683	0.002664	77%	1.01	NO

Esquinas Entrantes: No presenta

Discontinuidad de Diafragma: No presenta

Sistemas no Paralelos: No presenta

5.1.2.2.2. *Análisis dinámico tiempo - historia del sistema de aislamiento triple péndulo friccional*

a) Análisis de derivas tiempo-historia

Tabla 131.

Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_XX	0.003	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_XX	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_XX	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_XX	0.002	0.005	OK

Tabla 132.

Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_YY	0.003	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_YY	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_YY	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_YY	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.35 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.28 m

Tabla 133.*Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ANCASH_70_XX	0.001	0.005	OK
Story3	D3	ANCASH_70_XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	ANCASH_70_XX	0.002	0.005	OK
Story1	D1	ANCASH_70_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ANCASH_70_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 134.*Derivas sismo de Ancash 1970 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ANCASH_70_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	ANCASH_70_YY	0.003	0.005	OK
Story2	D2	ANCASH_70_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	ANCASH_70_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ANCASH_70_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.27 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.24 m

Tabla 135.*Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_74_XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_74_XX	0.003	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_74_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_74_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_74_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 136.*Derivas sismo de Lima 1974 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_74_YY	0.003	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_74_YY	0.004	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_74_YY	0.004	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_74_YY	0.003	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_74_YY	0.002	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.31 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.31 m

Tabla 137.*Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección X*

Derivas de Piso				CONTROL - E031 Deriva <E.031	
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva		
Story4	D4	AREQ_01_XX	0.001	0.005	OK
Story3	D3	AREQ_01_XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	AREQ_01_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AREQ_01_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AREQ_01_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 138.*Derivas sismo de Arequipa 2001 en la dirección Y*

Derivas de Piso				CONTROL - E031 Deriva <E.031	
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva		
Story4	D4	AREQ_01_YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	AREQ_01_YY	0.002	0.005	OK
Story2	D2	AREQ_01_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AREQ_01_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AREQ_01_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.30 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.21 m

Tabla 139.*Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ICA_07_XX	0.001	0.005	OK
Story3	D3	ICA_07_XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	ICA_07_XX	0.002	0.005	OK
Story1	D1	ICA_07_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ICA_07_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 140.*Derivas sismo de Ica 2007 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	ICA_07_YY	0.001	0.005	OK
Story3	D3	ICA_07_YY	0.002	0.005	OK
Story2	D2	ICA_07_YY	0.003	0.005	OK
Story1	D1	ICA_07_YY	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	ICA_07_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.29 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.23 m

Tabla 141.*Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LOMAS_18_XX	0.001	0.005	OK
Story3	D3	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK
Story1	D1	LOMAS_18_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LOMAS_18_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 142.*Derivas sismo de Lomas 2018 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LOMAS_18_YY	0.001	0.005	OK
Story3	D3	LOMAS_18_YY	0.002	0.005	OK
Story2	D2	LOMAS_18_YY	0.002	0.005	OK
Story1	D1	LOMAS_18_YY	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LOMAS_18_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.33 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.17 m

Tabla 143.*Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección X*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AMAZ_01_XX	0.001	0.005	OK
Story3	D3	AMAZ_01_XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	AMAZ_01_XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	AMAZ_01_XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AMAZ_01_XX	0.001	0.005	OK

Tabla 144.*Derivas sismo de Amazonas 2021 en la dirección Y*

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	AMAZ_01_YY	0.001	0.005	OK
Story3	D3	AMAZ_01_YY	0.001	0.005	OK
Story2	D2	AMAZ_01_YY	0.001	0.005	OK
Story1	D1	AMAZ_01_YY	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	AMAZ_01_YY	0.0009	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.29 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.20 m

- b) Verificación de las fuerzas cortantes máximas demandadas en los aisladores

Cabe recalcar que anteriormente se realizó el cálculo de la fuerza máxima que soportaría cada aislador:

$$F_{max} = k_{eff} \times D_{TM}$$

F_{max}: =	62.46 tonf		F_{max}: =	36.84 tonf
k_{eff}: =	156.15 tonf/m		k_{eff}: =	92.11 tonf/m
D_{TM}: =	0.40 m		D_{TM}: =	0.40 m

Teniendo en consideración dichos valores procedemos a verificar los valores máximos de fuerzas para ambos tipos de aisladores en los diferentes sismos usados.

Tabla 145.

Fuerzas máximas para ambos tipos de aisladores

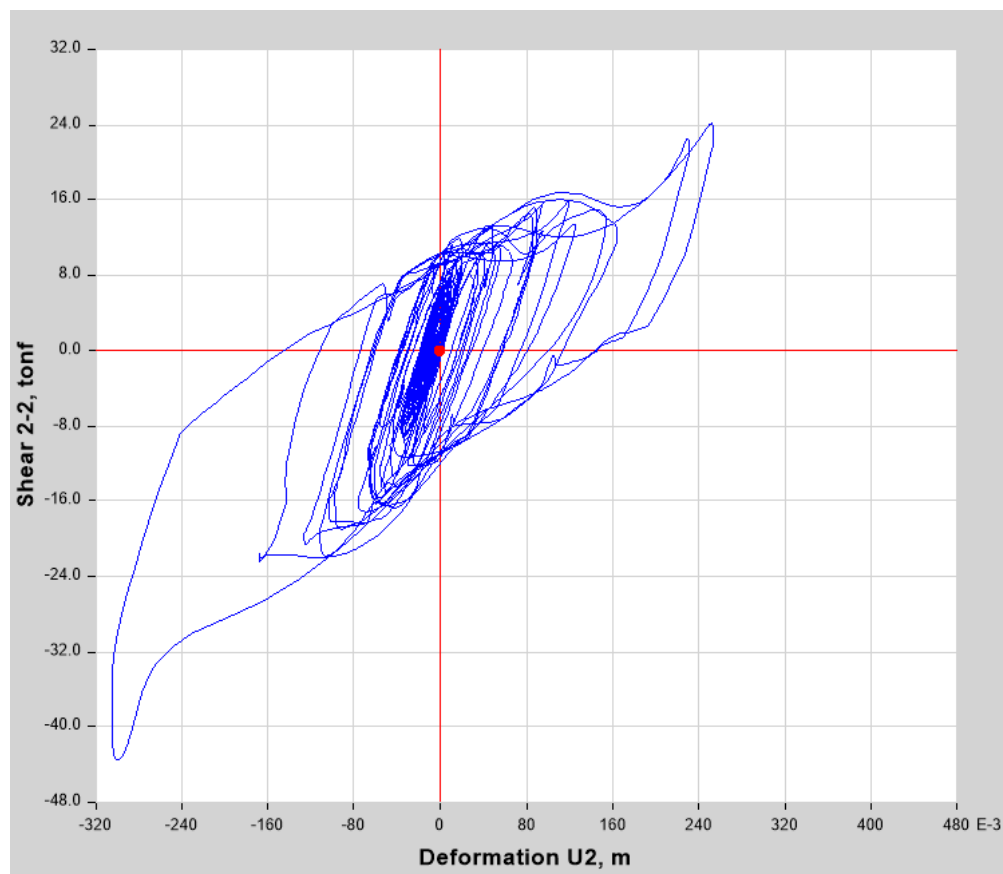
SISMO	Aislador I	Aislador II
	Fuerza Tonf	Fuerza Tonf
LIMA_1966_XX	53.85	36.08
LIMA_1966_YY	54.75	32.79
ANCASH_1970_XX	42.87	28.00
ANCASH_1970_YY	51.74	29.10
LIMA_1974_XX	57.23	33.76
LIMA_1974_YY	55.71	32.20
AREQUIPA_2001_XX	54.78	46.08
AREQUIPA_2001_YY	47.49	39.35
ICA_2007_XX	59.55	46.89
ICA_2007_YY	51.12	42.73
LOMAS_2018_XX	59.32	46.69
LOMAS_2018_YY	43.73	36.14
AMAZONAS_2021_XX	56.75	42.51
AMAZONAS_2021_YY	46.67	39.86

c) Diagrama de histéresis de los dispositivos de aislación sísmica

El diagrama de histéresis obtenido para el aislador K12 (Fig. 66) muestra un comportamiento estable, con bucles cerrados y sin evidencia de cambios bruscos de rigidez, lo cual es característico de un sistema de péndulo friccional. La ausencia de quiebres o variaciones significativas en la pendiente confirma que, para el sismo analizado, el aislador no alcanza los umbrales necesarios para activar los regímenes superiores, corroborando los resultados obtenidos a partir de la comparación con los desplazamientos umbral teóricos.

Figura 66.

Diagrama de histéresis del dispositivo k12 producida por el sismo Lima 1974_XX



d) Análisis del balance energético

En este punto procedemos a realizar el cálculo de la disipación de energía que realiza el sistema de aislamiento en los diferentes sismos considerados.

Tabla 146.*Porcentaje de Balance energético*

Sismo	Energía de Entrada tonf.m	Energía disipada por el aislador tonf.m	% de disipación	Energía potencial residual	Error energético final
Lima_66_XX	3156.00	2824.62	89.50%	10.49%	0.01%
Lima_66_YY	2141.00	1843.30	86.10%	13.89%	0.01%
Ancash_70_XX	2807.00	2411.62	85.90%	14.09%	0.01%
Ancash_70_YY	2644.00	2365.38	89.46%	10.53%	0.01%
Lima_74_XX	4060.00	3599.20	88.65%	11.34%	0.01%
Lima_74_YY	4058.00	3489.88	86.00%	13.99%	0.01%
Arequipa_01_XX	3805.41	3356.37	88.20%	11.79%	0.01%
Arequipa_01_YY	2645.63	2304.34	87.10%	12.89%	0.01%
Ica_07_XX	3929.93	3497.64	89.00%	10.99%	0.01%
Ica_07_YY	4974.16	4357.36	87.60%	12.39%	0.01%
Lomas_18_XX	3090.53	2682.58	86.80%	13.19%	0.01%
Lomas_18_YY	2463.32	2123.38	86.20%	13.79%	0.01%
Amazonas_21_XX	3850.88	3404.18	88.40%	11.59%	0.01%
Amazonas_21_YY	4970.51	4339.26	87.30%	12.69%	0.01%

El balance energético obtenido para el sistema con aisladores LRB evidencia una disipación predominante de la energía de entrada, con valores comprendidos aproximadamente entre 80.60 % y 84.85 %. Asimismo, se observa una fracción remanente de energía potencial residual del orden de 15.14 % a 19.39 %, lo cual resulta consistente con la naturaleza mecánica del aislador elastomérico con núcleo de plomo, en el que coexisten mecanismos de disipación histerética y almacenamiento de energía elástica. El error energético final del orden de 0.01 % confirma la estabilidad numérica del análisis y la confiabilidad de los resultados obtenidos.

e) Aceleraciones

Tabla 147.*Aceleraciones de entrepiso Lima_66*

Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	LIMA_66	2.7898	4.1793
Story3	LIMA_66	2.0224	2.6857
Story2	LIMA_66	1.395	1.6794
Story1	LIMA_66	1.7323	2.586
Nivel de Base	LIMA_66	2.2085	3.0753

Tabla 148.*Aceleraciones de entrepiso Ancash_70*

Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	ANCASH_70	2.0624	3.4752
Story3	ANCASH_70	1.516	2.2172
Story2	ANCASH_70	1.1779	1.8649
Story1	ANCASH_70	1.6268	1.8694
Nivel de Base	ANCASH_70	1.6832	2.4781

Tabla 149.*Aceleraciones de entrepiso Lima_74*

Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	LIMA_74	3.0695	4.1177
Story3	LIMA_74	2.1791	3.0952
Story2	LIMA_74	1.496	1.7077
Story1	LIMA_74	2.3833	2.9256
Nivel de Base	LIMA_74	2.6931	3.5198

Tabla 150.*Aceleraciones de entrepiso Arequipa_01*

Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	AREQ_01	2.9824	3.1656
Story3	AREQ_01	2.18	2.0557
Story2	AREQ_01	1.8589	1.9092
Story1	AREQ_01	1.9374	1.7779
Nivel de Base	AREQ_01	2.6285	2.529

Tabla 151.*Aceleraciones de entrepiso Ica_07*

Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	ICA_07	2.6187	2.7611
Story3	ICA_07	1.9976	2.2095
Story2	ICA_07	1.3861	1.949
Story1	ICA_07	1.9882	2.1591
Nivel de Base	ICA_07	2.3801	2.2216

Tabla 152.*Aceleraciones de entrepiso Lomas_18*

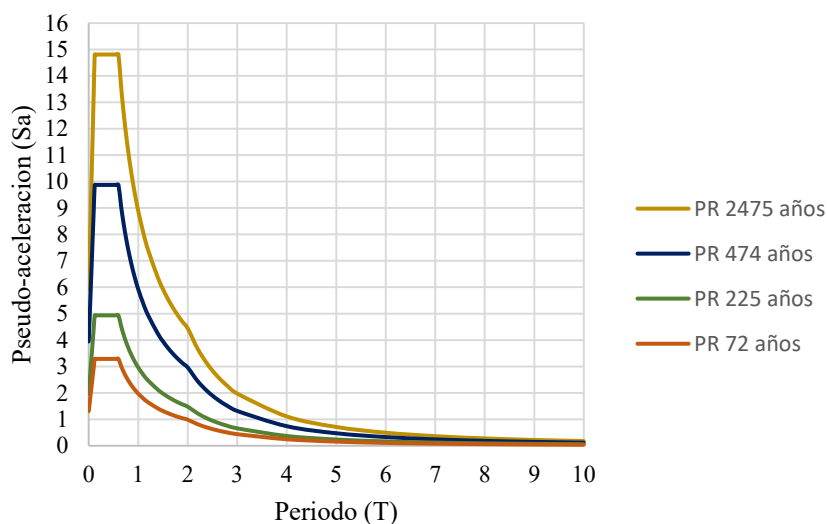
Piso	Sismo	Max UX m/s^s	Max UY m/s^s
Story4	LOMAS_18	4.0752	3.5732
Story3	LOMAS_18	2.4154	2.3165
Story2	LOMAS_18	1.9081	1.2942
Story1	LOMAS_18	2.3192	2.1487
Nivel de Base	LOMAS_18	2.9764	3.0991

Tabla 153.*Aceleraciones de entrepiso Amazonas_21*

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	AMAZONAS_21	2.5074	3.6682
Story3	AMAZONAS_21	1.9092	2.5604
Story2	AMAZONAS_21	1.5701	1.5097
Story1	AMAZONAS_21	1.6311	2.2153
Nivel de Base	AMAZONAS_21	2.2927	3.2885

f) Análisis de desempeño

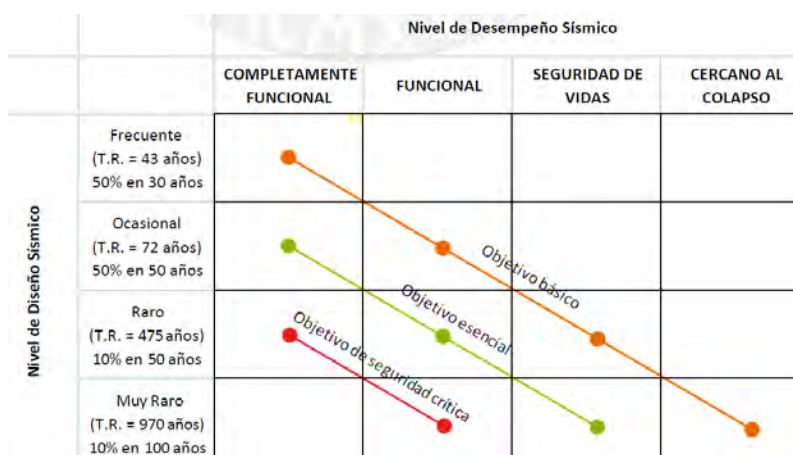
El análisis del desempeño sísmico en estructuras hospitalarias se efectúa a partir de cuatro niveles de amenaza sísmica, clasificados según su periodo de retorno. En ese sentido, Olivos Lara (2018) señala la consideración de sismos frecuentes (72 años), ocasionales (225 años), raros (474 años) y muy raros (2475 años).

Figura 67.*Espectro de demanda para los diferentes periodos de retorno*

En el documento (ASCE/SEI 7-16, 2017), el objetivo de desempeño se determina mediante la vinculación entre un nivel de desempeño y un nivel de diseño sísmico, el cual representa la demanda sísmica de diseño y se define en función del periodo de retorno de los eventos sísmicos que ocasionan daños comparables. Bajo este criterio, el comité establece cuatro niveles de desempeño y cuatro niveles de sismo, como se muestra en la Figura 68.

Figura 68.

Objetivos de diseño sísmico basados en desempeño



Nota: (ASCE/SEI 7-16, 2017)

g) Desplazamiento residual P.R 2475 años

Tabla 154.

Desplazamiento residual

Sismo	Desplazamiento Residual				
	Aislador k12 (mm)	Aislador k13 (mm)	Aislador k24 (mm)	Aislador k6 (mm)	Aislador k18 (mm)
Lima_66_XX	12.60	7.63	8.79	7.56	6.26
Lima_66_YY	9.14	19.06	9.45	11.14	14.74
Lima_74_XX	17.46	13.56	15.62	14.67	14.42
Lima_74_YY	15.44	17.21	17.21	16.45	14.41
Ancash_70_XX	21.47	5.11	20.52	12.07	12.03
Ancash_70_YY	10.76	6.82	8.79	13.77	5.02
Arequipa_01_XX	6.92	8.84	7.66	6.67	4.18
Arequipa_01_YY	17.91	14.86	15.95	12.15	14.04
Ica_07_XX	13.38	18.67	18.05	17.51	16.92
Ica_07_YY	20.86	15.04	24.70	12.69	15.79
Lomas_18_XX	14.21	13.57	16.40	12.24	13.53
Lomas_18_YY	10.99	13.57	11.49	11.95	12.09
Amazonas_21_XX	7.41	11.09	5.86	9.62	8.77
Amazonas_21_YY	12.69	13.99	15.02	11.94	13.04

Los desplazamientos residuales obtenidos para los aisladores analizados se encuentran en un rango de 5.11 mm a 24.70 mm, valores que son consistentes con el comportamiento esperado de sistemas de aislamiento tipo péndulo friccional. Se observa que, incluso para los sismos más severos, los desplazamientos residuales permanecen dentro de límites aceptables, no comprometiendo la funcionalidad estructural ni requiriendo el reemplazo inmediato de los dispositivos. Sin embargo, para valores cercanos a 20 mm, se recomienda una evaluación post-sismo, en concordancia con criterios de mantenimiento y operatividad del sistema de aislamiento.

La presencia de desplazamiento residual en los aisladores no implica automáticamente la necesidad de sustitución. Para residuales pequeños, la medida adecuada consiste en una inspección post-sismo especializada, orientada a verificar integridad física, estabilidad, verticalidad y ausencia de afectación funcional del sistema. Cuando el desplazamiento residual alcanza magnitudes del orden de 5 cm, la literatura técnica de fabricante recomienda adoptar medidas para restituir el sistema a su posición original, debido a posibles efectos sobre su funcionalidad y durabilidad. En casos de residuales mayores o cuando coexista evidencia de daño físico o pérdida de capacidad, debe evaluarse el recentrado controlado o, de ser necesario, la sustitución del dispositivo.

h) Desplazamiento residual P.R 474 años

Tabla 155.

Desplazamiento residual

Sismo	Desplazamiento Residual				
	Aislador k12 (mm)	Aislador k13 (mm)	Aislador k24 (mm)	Aislador k6 (mm)	Aislador k18 (mm)
Lima_66_XX	11.71	16.87	13.05	14.18	14.17
Lima_66_YY	9.10	9.06	8.58	9.44	9.15
Lima_74_XX	1.04	2.61	1.27	2.10	1.83
Lima_74_YY	6.56	3.94	4.21	5.50	4.41
Ancash_70_XX	9.24	10.02	7.88	10.37	9.59
Ancash_70_YY	3.78	5.44	3.93	4.81	4.62

i) Desplazamiento residual P.R 225 años

Tabla 156.

Desplazamiento residual

Sismo	Desplazamiento Residual				
	Aislador k12 (mm)	Aislador k13 (mm)	Aislador k24 (mm)	Aislador k6 (mm)	Aislador k18 (mm)
Lima_66_XX	17.18	4.93	17.84	7.67	8.81
Lima_66_YY	8.86	6.23	6.88	8.24	7.48
Lima_74_XX	22.39	21.77	21.94	22.21	22.04
Lima_74_YY	13.72	11.31	16.87	6.46	9.21
Ancash_70_XX	6.53	7.02	5.44	7.36	6.73
Ancash_70_YY	21.23	12.73	23.15	14.48	16.47

j) Desplazamiento residual P.R 72 años

Tabla 157.

Desplazamiento residual

Sismo	Desplazamiento Residual				
	Aislador k12 (mm)	Aislador k13 (mm)	Aislador k24 (mm)	Aislador k6 (mm)	Aislador k18 (mm)
Lima_66_XX	13.45	11.25	17.17	5.60	8.86
Lima_66_YY	14.38	15.23	14.34	15.06	14.92
Lima_74_XX	7.46	10.58	6.74	9.54	8.84
Lima_74_YY	18.98	6.42	16.06	14.40	13.40
Ancash_70_XX	14.24	9.72	13.08	12.50	12.20
Ancash_70_YY	6.25	9.52	8.27	6.60	7.32

k) Corroboración de regímenes para sismos con periodo de retorno de 2475 años

Tabla 158.

Régimen activado $T = 2475$ años

Sismo	Aislador	D _{max} (cm)	F _{max} (Tonf)	Régimen activado
Lima_66_EW	K12	41.71	50.56	Segundo
	K13	41.84	33.99	Segundo
	K24	41.89	53.55	Segundo
	K2	41.64	43.32	Segundo
	K48	41.80	56.61	Segundo
Lima_66_NS	K12	40.49	45.12	Segundo
	K13	40.72	53.66	Segundo
	K24	40.47	53.63	Segundo
	K2	40.82	40.31	Segundo
	K48	40.84	55.13	Primero
Ancash_70_EW	K12	40.34	37.74	Primero
	K13	37.50	27.61	Primero
	K24	37.43	36.89	Primero
	K2	37.40	31.43	Primero
	K48	37.43	48.44	Primero
Ancash_70_NS	K12	41.91	40.66	Segundo
	K13	41.45	41.39	Segundo
	K24	41.95	43.44	Segundo
	K2	41.38	42.12	Segundo
	K48	41.72	53.91	Segundo
Lima_74_EW	K12	41.70	47.18	Segundo
	K13	44.02	33.81	Segundo
	K24	44.35	49.84	Segundo
	K2	43.34	39.46	Segundo
	K48	42.42	53.17	Segundo
Lima_74_NS	K12	43.39	50.86	Segundo
	K13	45.39	39.20	Segundo
	K24	46.34	39.95	Tercer
	K2	46.42	57.41	Tercer
	K48	46.94	52.89	Tercer

- l) Corroboración de regímenes para sismos con periodo de retorno de 475 años

Tabla 159.

Régimen activado $T = 474$ años

Sismo	Aislador	$D_{\max}$ (cm)	$F_{\max}$ (Tonf)	Régimen activado
Lima_66_EW	K12	35.23	38.81	Primero
	K13	35.27	26.17	Primero
	K24	35.26	37.99	Primero
	K2	35.22	33.40	Primero
	K48	35.28	47.70	Primero
Lima_66_NS	K12	30.61	31.33	Primero
	K13	30.60	29.60	Primero
	K24	30.66	31.60	Primero
	K2	30.69	28.40	Primero
	K48	30.68	41.99	Primero
Ancash_70_EW	K12	29.36	30.82	Primero
	K13	29.34	23.49	Primero
	K24	29.33	28.26	Primero
	K2	29.32	27.01	Primero
	K48	29.34	41.29	Primero
Ancash_70_NS	K12	27.82	30.99	Primero
	K13	27.84	26.53	Primero
	K24	27.86	29.41	Primero
	K2	27.82	30.40	Primero
	K48	27.87	40.11	Primero
Lima_74_EW	K12	31.15	34.57	Primero
	K13	31.12	29.45	Primero
	K24	31.14	33.82	Primero
	K2	31.16	32.19	Primero
	K48	31.18	41.88	Primero
Lima_74_NS	K12	29.31	32.03	Primero
	K13	29.33	24.65	Primero
	K24	29.36	26.04	Primero
	K2	29.37	36.24	Primero
	K48	29.33	40.67	Primero

m) Corroboración de regímenes para sismos con periodo de retorno de 225 años

Tabla 160.

Régimen activado $T = 225$ años

Sismo	Aislador	$D_{\max}$ (cm)	$F_{\max}$ (Tonf)	Régimen activado
Lima_66_EW	K12	9.14	20.51	Primero
	K13	9.63	18.20	Primero
	K24	9.51	18.47	Primero
	K2	9.30	21.60	Primero
	K48	9.40	26.81	Primero
Lima_66_NS	K12	11.94	19.62	Primero
	K13	12.24	22.90	Primero
	K24	12.11	21.94	Primero
	K2	12.13	21.12	Primero
	K48	12.07	30.78	Primero
Ancash_70_EW	K12	13.23	25.43	Primero
	K13	13.73	19.85	Primero
	K24	13.70	24.10	Primero
	K2	13.30	22.23	Primero
	K48	13.45	33.09	Primero
Ancash_70_NS	K12	11.16	23.78	Primero
	K13	10.99	20.40	Primero
	K24	11.09	21.27	Primero
	K2	11.07	25.05	Primero
	K48	11.12	32.06	Primero
Lima_74_EW	K12	11.74	22.95	Primero
	K13	11.46	20.23	Primero
	K24	11.69	19.22	Primero
	K2	11.52	19.16	Primero
	K48	11.66	31.60	Primero
Lima_74_NS	K12	10.99	21.16	Primero
	K13	11.09	19.99	Primero
	K24	10.99	19.34	Primero
	K2	11.09	23.28	Primero
	K48	11.09	28.73	Primero

n) Corroboración de regímenes para sismos con periodo de retorno de 72 años

Tabla 161.

Régimen activado $T = 72$ años

Sismo	Aislador	D_{max} (cm)	F_{max} (Tonf)	Régimen activado
Lima_66_EW	K12	8.92	20.76	Primero
	K13	8.98	16.51	Primero
	K24	9.11	18.40	Primero
	K2	8.90	18.66	Primero
	K48	8.88	25.34	Primero
Lima_66_NS	K12	8.71	21.59	Primero
	K13	8.60	18.75	Primero
	K24	8.65	19.21	Primero
	K2	8.69	21.92	Primero
	K48	8.70	28.42	Primero
Ancash_70_EW	K12	8.91	21.59	Primero
	K13	9.30	18.19	Primero
	K24	9.30	20.54	Primero
	K2	8.91	20.41	Primero
	K48	9.07	27.50	Primero
Ancash_70_NS	K12	7.89	19.32	Primero
	K13	7.78	16.59	Primero
	K24	7.82	16.48	Primero
	K2	7.88	20.79	Primero
	K48	7.88	25.64	Primero
Lima_74_EW	K12	7.74	19.75	Primero
	K13	7.66	17.75	Primero
	K24	7.84	16.69	Primero
	K2	7.56	18.64	Primero
	K48	7.69	25.58	Primero
Lima_74_NS	K12	8.92	19.54	Primero
	K13	8.89	18.67	Primero
	K24	8.88	18.81	Primero
	K2	8.94	21.54	Primero
	K48	8.94	27.08	Primero

o) Análisis de desempeño para PR= 72 años

Todos los aisladores evaluados (K12, K13, K24, K2 y K48) permanecen en el primer régimen para todos los registros analizados.

Los valores de $D_{\max}$ se ubican aproximadamente entre: 7.56 cm y 9.30 cm y los valores de $F_{\max}$ entre: 16.48 tonf y 28.42 tonf.

Lo que indica que para sismos de baja severidad el TPF trabaja dentro de su rango inicial de operación, sin requerir la movilización de etapas superiores.

En relación a los desplazamientos residuales se observan valores entre 6.25 mm y 18.98 mm, las cuales son **pequeñas**. Aunque no siguen una tendencia perfectamente decreciente respecto a otros periodos de retorno, esto **no invalida por sí solo** el comportamiento del aislador, porque en dispositivos friccionales el residual depende no solo de la intensidad del sismo, sino también del registro, el instante en que termina el movimiento, es decir un sismo menos severo puede dejar un residual relativamente mayor que otro más intenso si el ciclo termina en una rama desfavorable del lazo histerético.

Respecto a la respuesta global de la estructura se observan derivas en X del orden de 0.0007 y derivas en Y del orden 0.0008, con un desplazamiento del aislador de 0.09 m en X, así como 0.08 m en Y, con aceleraciones de piso que oscilan entre 0.68 a 1.47 m/s².

El sistema TPF presenta un desempeño plenamente operativo:

- trabaja solo en primer régimen, controla adecuadamente la respuesta de la superestructura,
- mantiene derivas muy bajas, y los residuales no sugieren pérdida importante de recentrado.

Condición post-sismo

Operativo inmediato, con inspección rutinaria, pero **sin sustitución** del aislador.

p) Análisis de desempeño para PR= 225 años

Para este periodo de retorno todos los aisladores también permanecen en el primer régimen.

Los valores de $D_{\max}$ están aproximadamente entre 9.14 cm y 13.73 cm y los valores de $F_{\max}$ entre: 18.20 tonf y 33.09 tonf

La demanda aumenta respecto a 72 años, pero sigue siendo insuficiente para activar regímenes superiores. Esto evidencia que el TPF conserva reserva importante de comportamiento.

En relación a los desplazamientos residuales se ubican aproximadamente entre 4.93 mm a 17.15 mm. Cabe mencionar que el residual no es un parámetro estrictamente proporcional al periodo de retorno.

Respecto a la respuesta global de la estructura se observan derivas en X del orden de 0.001 y derivas en Y del orden 0.001, con aceleraciones de piso de 0.76 a 1.99 m/2

El sistema TPF continúa mostrando comportamiento estable y funcional, con:

- control satisfactorio de derivas,
- desplazamientos máximos moderados,
- y respuesta todavía dentro del primer régimen

Condición post-sismo

Operativo con inspección post-evento, principalmente por la presencia de algunos residuales relativamente altos para este nivel de amenaza. No obstante, **no hay evidencia suficiente para plantear sustitución** del aislador solo por estos valores.

q) Análisis de desempeño para PR= 474 años

Para este periodo de retorno todos los aisladores nuevamente permanecen en el **primer régimen**, pero ya en su mayoría acercándose al segundo régimen.

Los valores de $D_{\max}$ están entre: 29.32 cm y 35.27 cm y $F_{\max}$ entre: 23.49 tonf y 47.70 tonf

Aquí ya se aprecia un incremento importante en la demanda del sistema de aislamiento, a tal punto que ya está a punto de activarse el segundo régimen.

En relación a los desplazamientos residuales se ubican aproximadamente entre 1.04 mm a 16.87 mm.

Respecto a la respuesta global de la estructura se observan derivas en X del orden de 0.002 y derivas en Y del orden 0.002, con aceleraciones de piso de 1.07 a 3.37 m/s^2 .

Las fuerzas cortantes en interfaz de aislamiento se encuentran del orden de: aproximadamente 1775 a 2288 tonf en los casos mostrados.

El sistema TPF mantiene un desempeño satisfactorio, porque:

- controla adecuadamente la deriva,
- no presenta evidencia de inestabilidad,
- mantiene residuales conservadores
- y no hay indicios claros de pérdida severa de recentrado.

Condición post-sismo

Operativo con inspección detallada. A este nivel ya es razonable exigir:

- revisión de superficies de deslizamiento,
- verificación de centrado final,
- inspección de topes y holguras,

- revisión de anclajes y del comportamiento del conjunto pedestal-base.

No obstante, con la información analizada, **todavía no se justifica sustitución.**

r) Análisis de desempeño para PR= 2475 años

Para 2475 años, los resultados muestran la activación completa de todos los regímenes de los aisladores de TPF.

Los valores de $D_{\max}$ están aproximadamente entre: **37.43 cm y 46.34 cm** y $F_{\max}$ entre: 27.61 tonf y 57.41 tonf

En relación a los desplazamientos residuales se ubican aproximadamente entre 5.11 mm a 24.70 mm. A pesar de ser el nivel máximo de amenaza, los residuales siguen estando del orden de milímetros. Eso es una señal favorable de recentrado. Si compara el residual máximo con el desplazamiento máximo del aislador, se aprecia que el remanente final sigue siendo una fracción relativamente pequeña respecto de la excursión total, lo cual sugiere que:

- el aislador sí retorna parcialmente,
- no queda trabado en una posición extrema,
- y no evidencia, al menos numéricamente, una pérdida catastrófica de recentrado.

Respecto a la respuesta global de la estructura se observan derivas tanto en X y en Y en el orden de 0.002 y 0.004, todas menos a lo que la norma establece con desplazamiento de aislador de 0.35 m en X, 0.28 m en Y, con aceleraciones de piso de 1.40 a 4.18 m/s^2 .

Condición post-sismo

Inspección obligatoria y detallada después del evento. De acuerdo al informe del ingeniero especialista el cual después de una evaluación concluirá si se requiere o no la sustitución del aislador, o plantear alternativas de solución dependiendo el estado del sistema de aislamiento.

5.2. Presentación de resultados

5.2.1 Base fija

Tabla 162.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	17.68	272.08	505.23	744.37	576.65	570.80	376.23	406.38
Story3	13.26	217.86	398.57	582.03	450.22	446.50	291.40	319.95
Story2	8.84	140.65	253.07	367.80	290.14	276.88	181.65	199.66
Story1	4.42	52.79	92.74	137.14	110.87	101.55	66.13	72.69

Tabla 163.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	17.68	473.49	494.45	950.85	510.56	782.55	434.78	537.12
Story3	13.26	365.00	376.51	748.07	389.71	601.17	328.78	411.14
Story2	8.84	228.49	237.50	471.73	255.67	380.44	202.67	254.20
Story1	4.42	84.78	86.80	171.10	97.18	140.15	71.78	90.62

Tabla 164.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	17.68	63.21	102.72	173.94	139.66	124.62	78.85	86.43
Story3	13.26	78.53	143.31	213.09	167.47	165.34	108.37	114.01
Story2	8.84	86.42	158.58	222.56	178.72	173.54	114.93	122.35
Story1	4.42	51.90	91.45	131.06	107.17	98.81	65.33	69.55

Tabla 165.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	17.68	107.40	110.42	210.61	125.34	182.33	94.01	116.03
Story3	13.26	139.42	142.90	272.91	155.86	229.03	125.89	155.01
Story2	8.84	145.20	149.28	296.14	155.35	237.42	130.74	162.15
Story1	4.42	83.52	85.86	168.01	94.87	137.54	71.60	89.63

Tabla 166.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	17.68	0.014	0.0232	0.0393	0.0315	0.0281	0.0178	0.0195
Story3	13.26	0.017	0.0324	0.0482	0.0378	0.0374	0.0245	0.0257
Story2	8.84	0.019	0.0358	0.0503	0.0404	0.0392	0.0260	0.0276
Story1	4.42	0.011	0.0206	0.0296	0.0242	0.0223	0.0147	0.0157

Tabla 167.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	17.68	0.0242	0.0249	0.0476	0.0283	0.0412	0.0212	0.0262
Story3	13.26	0.0315	0.0323	0.0617	0.0352	0.0518	0.0284	0.0350
Story2	8.84	0.0328	0.0337	0.0669	0.0351	0.0537	0.0295	0.0366
Story1	4.42	0.0188	0.0194	0.0380	0.0214	0.0311	0.0162	0.0202

Tabla 168.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	17.68	7739.30	10153.70	18614.61	13352.72	12387.82	7521.20	7722.77
Story3	13.26	12423.29	19196.23	30616.67	24281.70	22932.18	14528.99	15218.78
Story2	8.84	17044.87	25921.13	38816.51	32111.18	30926.17	18925.07	20231.15
Story1	4.42	19154.43	28307.70	45028.68	35661.10	33696.28	20350.71	22161.21

Tabla 169.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	17.68	9605.73	9205.65	14470.65	10801.06	15635.77	8643.53	9231.07
Story3	13.26	16537.76	17051.53	25905.18	20478.04	23795.99	16541.63	17747.85
Story2	8.84	20020.69	22508.50	32352.34	24351.07	30682.21	21253.30	22749.81
Story1	4.42	23788.50	25922.74	35972.26	27102.04	36013.14	22295.43	23703.08

Tabla 170.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	17.68	3.15	3.82	6.69	4.79	3.74	2.18	2.41
Story3	13.26	1.90	2.48	4.37	3.36	2.76	1.65	1.92
Story2	8.84	1.65	1.62	3.44	3.10	2.02	1.03	1.24
Story1	4.42	1.19	1.28	2.46	2.02	1.12	0.48	0.52
Base	0	0.44	0.28	0.34	0.39	0.33	0.37	0.30

Tabla 171.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	17.68	4.05	3.21	5.99	4.29	5.71	2.46	3.12
Story3	13.26	3.16	2.54	4.45	2.81	3.87	1.81	2.31
Story2	8.84	1.99	1.77	3.19	2.61	3.14	1.14	1.33
Story1	4.42	2.10	1.12	1.66	2.14	2.38	0.54	0.49
Base	0	0.46	0.33	0.29	0.38	0.33	0.31	0.29

5.2.2 Base aislada aislador elastomérico con núcleo de plomo

Tabla 172.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	m	m	m	m	m	m	m
Story4	20.68	0.35	0.29	0.32	0.23	0.22	0.25	0.26
Story3	16.26	0.34	0.27	0.31	0.23	0.22	0.24	0.25
Story2	11.84	0.32	0.25	0.30	0.23	0.21	0.22	0.24
Story1	7.42	0.30	0.23	0.30	0.22	0.21	0.21	0.23
losa de ais.	3	0.29	0.22	0.29	0.22	0.20	0.20	0.23

Tabla 173.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	m	m	m	m	m	m	m
Story4	20.68	0.35	0.25	0.36	0.23	0.24	0.16	0.20
Story3	16.26	0.33	0.24	0.34	0.21	0.23	0.15	0.19
Story2	11.84	0.31	0.24	0.32	0.20	0.22	0.14	0.18
Story1	7.42	0.29	0.23	0.30	0.18	0.21	0.13	0.17
losa de ais.	3	0.28	0.22	0.29	0.17	0.20	0.12	0.16

Tabla 174.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	20.68	13.26	13.26	13.26	8.84	8.84	8.84	8.84
Story3	16.26	17.68	17.68	17.68	13.26	13.26	17.68	13.26
Story2	11.84	17.68	17.68	17.68	13.26	13.26	17.68	13.26
Story1	7.42	13.26	13.26	13.26	8.84	8.84	8.84	8.84
losa de ais.	3	1.80	1.80	1.80	0.90	0.90	1.80	0.90

Tabla 175.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	20.68	17.68	8.84	17.68	8.84	13.26	8.84	8.84
Story3	16.26	17.68	13.26	22.10	13.26	13.26	8.84	13.26
Story2	11.84	17.68	13.26	22.10	17.68	13.26	13.26	13.26
Story1	7.42	13.26	8.84	17.68	13.26	8.84	8.84	8.84
losa de ais.	3	1.80	0.90	2.70	1.80	0.90	0.90	0.90

Tabla 176.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	20.68	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
Story3	16.26	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
Story2	11.84	0.004	0.004	0.004	0.003	0.003	0.004	0.003
Story1	7.42	0.003	0.003	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
losa de ais.	3	0.002	0.002	0.002	0.001	0.001	0.002	0.001

Tabla 177.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	20.68	0.004	0.002	0.004	0.002	0.003	0.002	0.002
Story3	16.26	0.004	0.003	0.005	0.003	0.003	0.002	0.003
Story2	11.84	0.004	0.003	0.005	0.004	0.003	0.003	0.003
Story1	7.42	0.003	0.002	0.004	0.003	0.002	0.002	0.002
losa de ais.	3	0.002	0.001	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001

Tabla 178.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	20.68	1549.68	1481.09	1951.64	1645.14	1236.16	1520.48	1175.92
Story3	16.26	2295.85	2432.99	3017.92	2422.97	2021.05	2581.03	1920.40
Story2	11.84	2731.07	2597.91	3158.65	2680.85	2415.24	2790.33	2639.02
Story1	7.42	2400.93	2241.52	2682.09	2296.70	2491.31	3095.26	2808.75
losa de ais.	3	1933.54	2064.07	2781.76	2639.21	2576.74	2944.81	2434.76

Tabla 179.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	17.68	1651.60	1711.54	1648.67	1279.21	1344.63	1424.31	1335.89
Story3	13.26	3076.01	2692.84	2698.78	2357.22	2255.88	2180.60	2169.21
Story2	8.84	3690.97	3237.13	3042.39	2980.66	2639.19	2618.65	2275.19
Story1	4.42	3447.93	3060.45	2778.59	2855.29	2588.12	2494.22	2315.84
losa de ais.	3	1933.54	2064.07	2781.76	2639.21	2576.7442	2944.81	2434.76

Tabla 180.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	20.68	0.44	0.40	0.45	0.44	0.37	0.42	0.33
Story3	16.26	0.25	0.23	0.29	0.28	0.23	0.25	0.23
Story2	11.84	0.21	0.17	0.30	0.24	0.17	0.22	0.20
Story1	7.42	0.25	0.23	0.26	0.24	0.20	0.24	0.18
losa de ais.	3	0.33	0.33	0.43	0.43	0.33	0.35	0.27

Tabla 181.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	20.68	0.45	0.44	0.45	0.36	0.38	0.39	0.39
Story3	16.26	0.32	0.30	0.26	0.26	0.25	0.25	0.21
Story2	11.84	0.16	0.26	0.17	0.21	0.18	0.20	0.16
Story1	7.42	0.30	0.25	0.26	0.20	0.24	0.22	0.22
losa de ais.	3	0.39	0.36	0.37	0.30	0.31	0.29	0.37

5.2.3 Base aislada aislador triple péndulo friccional

Tabla 182.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección XX

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 0 7	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	m	m	m	m	m	m	m
Story4	20.68	0.42	0.29	0.36	0.32	0.29	0.28	0.34
Story3	16.26	0.41	0.28	0.34	0.31	0.28	0.27	0.33
Story2	11.84	0.39	0.27	0.33	0.30	0.28	0.27	0.32
Story1	7.42	0.38	0.26	0.32	0.29	0.27	0.26	0.31
losa de ais.	3	0.36	0.26	0.31	0.29	0.26	0.25	0.30

Tabla 183.

Desplazamientos absolutos, análisis tiempo historia – dirección YY

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	m	m	m	m	m	m	m
Story4	20.68	0.33	0.30	0.39	0.24	0.26	0.19	0.21
Story3	16.26	0.32	0.29	0.37	0.23	0.25	0.18	0.20
Story2	11.84	0.30	0.27	0.35	0.22	0.24	0.17	0.20
Story1	7.42	0.28	0.26	0.32	0.21	0.23	0.16	0.19
losa de ais.	3	0.27	0.25	0.31	0.20	0.22	0.15	0.18

Tabla 184.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	20.68	8.84	4.42	8.84	4.42	4.42	4.42	4.42
Story3	16.26	13.26	8.84	13.26	8.84	8.84	8.84	8.84
Story2	11.84	17.68	8.84	13.26	13.26	8.84	8.84	13.26
Story1	7.42	13.26	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84	8.84
losa de ais.	3	1.80	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90	0.90

Tabla 185.*Desplazamientos relativos, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	mm	mm	mm	mm	mm	mm	mm
Story4	20.68	13.26	8.84	13.26	8.84	4.42	4.42	4.42
Story3	16.26	17.68	13.26	17.68	8.84	8.84	8.84	4.42
Story2	11.84	17.68	13.26	17.68	13.26	13.26	8.84	4.42
Story1	7.42	13.26	8.84	13.26	8.84	8.84	4.42	4.42
losa de ais.	3	0.90	0.90	1.80	0.90	0.90	0.90	0.81

Tabla 186.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	20.68	0.002	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001
Story3	16.26	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002
Story2	11.84	0.004	0.002	0.003	0.003	0.002	0.002	0.003
Story1	7.42	0.003	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002	0.002
losa de ais.	3	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001

Tabla 187.*Derivas de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	-	-	-	-	-	-	-
Story4	20.68	0.003	0.002	0.003	0.002	0.001	0.001	0.001
Story3	16.26	0.004	0.003	0.004	0.002	0.002	0.002	0.001
Story2	11.84	0.004	0.003	0.004	0.003	0.003	0.002	0.001
Story1	7.42	0.003	0.002	0.003	0.002	0.002	0.001	0.001
losa de ais.	3	0.001	0.001	0.002	0.001	0.001	0.001	0.001

Tabla 188.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	20.68	1033.12	742.42	1152.09	1095.04	987.39	1500.28	911.93
Story3	16.26	1930.09	1325.47	2090.80	1729.28	1772.38	2443.18	1717.28
Story2	11.84	2484.27	1589.61	2613.31	2082.06	2339.12	2589.28	2163.58
Story1	7.42	2635.50	1816.17	2553.16	2444.02	2660.44	2755.93	2596.46
losa de ais.	3	2667.17	2037.46	2758.44	2717.20	2913.82	3167.32	2896.06

Tabla 189.*Fuerzas cortantes de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf	tonf
Story4	17.68	1554.75	1216.83	1422.54	1083.85	837.75	1250.11	1379.34
Story3	13.26	2800.57	2048.31	2662.31	1886.59	1440.53	2105.09	2275.80
Story2	8.84	3356.07	2464.68	3436.68	2177.76	1965.61	2381.10	2623.80
Story1	4.42	3458.16	2698.64	3315.68	2620.23	2464.67	2025.48	2061.48
losa de ais.	3	3159.39	3004.74	3129.47	2875.78	2651.33	1942.34	2365.52

Tabla 190.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección XX*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	20.68	0.28	0.21	0.31	0.30	0.27	0.42	0.26
Story3	16.26	0.21	0.15	0.22	0.22	0.20	0.25	0.19
Story2	11.84	0.14	0.12	0.15	0.19	0.14	0.19	0.16
Story1	7.42	0.18	0.17	0.24	0.20	0.20	0.24	0.17
losa de ais.	3	0.23	0.17	0.27	0.27	0.24	0.30	0.23

Tabla 191.*Aceleraciones de entrepiso, análisis tiempo historia – dirección YY*

PISO	ELEVACION	LIMA 66	ANCASH 70	LIMA 74	AREQUIPA 01	ICA 07	LOMAS 18	AMAZONAS 21
	m	g	g	g	g	g	g	g
Story4	20.68	0.43	0.35	0.42	0.32	0.28	0.36	0.37
Story3	16.26	0.27	0.23	0.32	0.21	0.23	0.24	0.26
Story2	11.84	0.17	0.19	0.17	0.19	0.20	0.13	0.15
Story1	7.42	0.26	0.19	0.30	0.18	0.22	0.22	0.23
losa de ais.	3	0.31	0.25	0.36	0.26	0.23	0.32	0.34

5.3. *Discusión de resultados*

5.3.1 *Discusión respecto a los antecedentes de investigación*

De acuerdo a Mendoza & Sanchez (2020) y Korafi (2019), concluyen acerca del beneficio directo con la incorporación del sistema aislado que permite reducir las derivas a comparación de una estructura con base fija o empotrada. En tanto Follana & Cusipaucar (2023) mencionan una reducción del 77% usando LRB y una reducción del 89% usando TPF; en tanto en la presente investigación la reducción para un aislador LRB es del 86% y para el de TPF 89% aproximadamente.

Para el presente parámetro Follana & Cusipaucar (2023) en su investigación concluyen que disminuyeron las fuerzas cortantes aplicando dos tipos de sistemas de aislamiento uno de LRB con deslizador y uno de TPF con una disminución del 77% y un 67% respectivamente. Así también (Korafi Aponte, 2019) indica la disminución en un 38% usando el sistema de aislamiento de tipo LRB y en un 20% usando de tipo TPF; de igual forma Cango (2018) en su investigación concluye que se obtuvo una reducción en la cortante basal aproximado del 88% reduciendo así la demanda sísmica; en la presente investigación se redujo para un aislador LRB un 87% y para el de TPF un 88% .

Respecto al parámetro de aceleraciones Follana & Cusipaucar (2023) mencionan que con la implementación de sistemas de aislamiento sísmico para un centro educativo disminuyeron un 67% aplicando el aislador LRB y un 68% usando el de TPF; en caso de esta investigación los aisladores LRB alcanzaron una reducción del 83% mientras que el de TPF 85% aproximadamente.

Es así que tanto Korafi (2019), Follana & Cusipaucar (2023) y Mendoza & Sanchez (2020) coinciden en garantizar una mayor flexibilidad en consecuencia periodos altos (los cuales deben estar en el rango recomendado) para un mejor desempeño de los sistemas de aislamiento sísmico.

5.3.2 *Discusión respecto a las hipótesis de investigación*

5.3.2.1. *Derivas*

En este parámetro los resultados reflejaron una reducción de entre 75% al 92% en sentido X mientras que en el sentido Y una reducción entre 85 % al 93% para un aislador LRB, en tanto para el aislador TPF una reducción comprendida entre 79% al 94% en dirección X mientras que en la dirección Y se redujo entre el 86% al 96%.

5.3.2.2. *Fuerzas Cortantes.*

Las fuerzas cortantes disminuyeron entre el 83% al 91% en sentido X, en tanto para el sentido Y disminuyó entre el 82% y el 93% para el aislador de tipo LRB, en tanto para el aislador de TPF en el sentido X es del 84% y 93%, en el sentido Y la disminución es entre el 83% y el 93%.

5.3.2.3. *Aceleraciones*

En este tercer parámetro la mitigación de las aceleraciones está entre el 73% al 91% en el sentido X, en el sentido Y entre el 78% y el 92% para el aislador de tipo LRB, respecto al aislador de TPF en el sentido X se mitigó entre el 74% y 94%, para el sentido Y entre el 79% y el 93%.

Finalmente, como un punto adicional mencionaremos el tema de los periodos fundamentales donde para el aislador de tipo LRB es de 3.016 s y para el aislador de TPF 3.125 s, considerando que el periodo de nuestra base fija es de 0.856.

Conclusiones

General

La incorporación de sistemas de aislamiento sísmico en el hospital Santo Tomas influye en el comportamiento estructural frente a sismos de subducción, evidenciando el incremento de los periodos y la reducción global de las demandas sísmicas. Se obtuvo un periodo fundamental de 0.86 s en base fija a 3.016 s con aisladores LRB y 3.125 s con TPF. Logrando reducciones en fuerzas cortantes, aceleraciones y derivas

Específicas

- 1) De acuerdo al análisis dinámico T-H para los 07 registros acelerométricos usados en la investigación se concluye que la incorporación de aisladores de tipo LRB y TPF presentó reducciones en las derivas máximas que van en un intervalo del 75% al 93 % y 79% al 96 % respectivamente.
- 2) Conforme a los resultados obtenidos en el análisis dinámico tiempo-historia de los 07 registros acelerométricos, la integración de aisladores de tipo LRB y TPF presentó reducciones de las fuerzas cortantes de entre piso comprendidas entre 82% al 91% y 83% al 93% respectivamente.
- 3) A partir del análisis dinámico T-H realizado con los 07 registros acelerométricos empleados en la investigación, la implementación de los aisladores de tipo LRB y TPF presentó reducciones de aceleraciones comprendidas entre 73% al 92% y 74% al 94% respectivamente; contribuyendo efectivamente a limitar la transmisión de aceleraciones hacia la superestructura.

Recomendaciones

- 1) Se sugiere a universidades públicas y privadas incluir cursos especializados en aislamiento sísmico, análisis no lineal, diseño por desempeño e instrumentación sísmica, con el fin de fortalecer las competencias profesionales de futuros ingenieros estructurales.
- 2) Se establece como conveniente a las entidades correspondientes evaluar la implementación de sistemas de aislamiento sísmico en universidades, y lugares de alta densidad poblacional, debido a su potencial para reducir significativamente pérdidas humanas y daños no estructurales.
- 3) Se recomienda evitar el diseño de aisladores con rigideces efectivas demasiado altas, ya que esto disminuye la disipación de energía y hace menos eficiente el sistema de aislamiento tanto estructural como económicamente. Se debe buscar una rigidez óptima que garantice estabilidad sin comprometer el desplazamiento y la energía disipada.
- 4) Antes de modelar aisladores LRB o TPF en el software ETABS, se recomienda revisar con detalle los manuales técnicos de cada modelo. Esto reduce el riesgo de ingresar parámetros erróneos y garantiza un mejor resultado
- 5) Debido a la escasa información para el diseño de los aisladores TPF, se recomienda visitar la página web de Earthquake Protection Systems (EPS), empresa patente de este tipo de aislador.
- 6) Se plantea que, ante valores elevados de desplazamiento residual, especialmente en los aisladores ubicados en posiciones críticas o esquinas, se realice una inspección post-sismo especializada para verificar integridad, estabilidad, capacidad de recentrado y necesidad de mantenimiento, recentrado controlado o eventual sustitución del dispositivo.

- 7) Se propone implementar planes estrictos de mantenimiento, inspección y eventual reemplazo de aisladores LRB o TPF post evento sísmico severo.
- 8) Se aconseja desarrollar, en investigaciones futuras, un análisis comparativo de costos entre una edificación de base fija y una edificación con aislamiento sísmico, considerando no solo el costo inicial de implementación de aisladores LRB y TPF, sino también los beneficios asociados a la reducción del daño estructural, no estructural, pérdida de operatividad, costos de reparación y tiempo de interrupción del servicio. Esto permitiría evaluar la viabilidad técnica y económica de la aplicación de sistemas de aislamiento sísmico en edificaciones esenciales, como establecimientos de salud.
- 9) Se considera recomendable ampliar la base de registros acelerométricos empleados, incorporando un mayor número de sismos de tipo subducción, corticales o impulsivos, e incluso registros compatibles con diferentes condiciones de sitio, a fin de evaluar con mayor profundidad la variabilidad de la respuesta estructural y del sistema de aislamiento frente a distintos contenidos de frecuencia, duración significativa y demanda energética.
- 10) Se recomienda promover una adopción más amplia y sistemática de tecnologías de aislamiento sísmico en la región, dado que su implementación aún es limitada pese a la evidencia técnica que demuestra su eficacia en la reducción de demandas sísmicas y en la mejora del desempeño estructural y funcional de las edificaciones.
- 11) Los resultados obtenidos son representativos del modelo estructural analizado y permiten evaluar la influencia de los sistemas de aislamiento sísmico sobre la respuesta de la superestructura; sin embargo, estos podrían complementarse en estudios futuros mediante la incorporación de la interacción suelo-estructura, a fin de obtener una representación más integral del comportamiento estructural global.

Bibliografía

- Aguiar Falconí, R. (2015). *Análisis Sísmico por desempeño*.
- Arboleya Casanova, H., Zavala Sánchez, H. M., & Gómez Peña, E. G. (2018). Terremotos y salud: La organización de los servicios de atención médica. *Salud Publica de Mexico*, 60, 1–6.
- ASCE/SEI 7-16. (2017). Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures. In *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers (ASCE).
- Bonilla Sosa, L. M. (2012). *Teoría del Aislamiento Sísmico para Edificaciones*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Borja S., M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*.
- Bridgestone. (2017). *Seismic Isolation Product Line-up*.
- Buildings Can Be Designed to Withstand Earthquakes*. (n.d.). Retrieved April 5, 2026, from <https://www.nytimes.com/interactive/2019/06/03/us/earthquake-preparedness-usa-japan.html>
- Cango Puchaicela, A. D. (2018). *Diseño y análisis de edificaciones con aisladores de base tipo FPT*. Universidad de Cuenca.
- Chopra K., A. (2014). *Dinámica de Estructuras* (Pearson Educación, Ed.; Cuarta edición).
- Clough W., R. (1995). *Dinámica de las Estructuras*.
- Constantinou, M., Aguiar, R., Morales, E., & Caiza, P. (2016). Desempeño de Aislador FPT en el Análisis Sísmico del Centro de Investigación y Post Grado de la UFA-ESPE. In *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras* (Vol. 21).
- Constantinou, M. C., Kalpakidis, I., Filiatrault, A., & Ecker Lay, R. A. (2011). *LRFD-Based Analysis and Design Procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators*.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras*.
- Dynamic Isolation Systems. (2007). *Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes*.
- Federal Emergency Management Agency. (2018). *A Guide to State-of-the-Art Tools for Seismic Design and Assessment*.

- Fenz, D. M., & Constantinou, M. C. (2008). *Development, Implementation and Verification of Dynamic Analysis Models for Multi-Spherical Sliding Bearings*. <http://mceer.buffalo.edu>
- Follana Peralta, J. E., & Cusipaucar Cardenas, J. J. (2023). *Análisis comparativo de la respuesta sísmica del edificio “Pabellón inicial del colegio San Francisco de Asís” con base y fija y con aisladores LRB y TPF Cusco-2022*. Universidad Andina del Cusco.
- García Reyes, L. E. (1998). *Dinámica Estructural Aplicada al Diseño Sísmico*.
- Google Maps. (n.d.). Retrieved April 5, 2026, from <https://www.google.com/maps/>
- Google Earth. (n.d.). Retrieved April 5, 2026, from <https://www.google.es/intl/es/earth/index.html>
- Instituto Geofísico del Perú. (2014). *Memoria Institucional 2014*.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2018). *Estadísticas de Población, vivienda y hogar*.
- Korafi Aponte, E. (2019). *Análisis sísmico comparativo del diseño del hospital de Pacasmayo con aislamiento elastomérico LRB, y aislamiento pendular FPS-triple*. Universidad Nacional del Santa.
- Leyton Bradley, M. (2017). *Implementación de Aisladores Sísmicos en un edificio de viviendas en Lima, Perú*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mamani Yana, E. J. (2017). *Respuesta Sísmica de tanques de concreto armado para almacenamiento de agua apoyados sobre un sistema de aislación del tipo Péndulo Friccional*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Mendoza Vargas, J. L., & Sanchez Guevara, J. O. (2020). *Diseño de sistemas de aislamiento sísmico en la base con dispositivos LRB para un centro hospitalario aporticado según norma en la ciudad de Trujillo 2020*. Universidad Privada del Norte.
- Ministerio de Salud. (2011). *NORMA TÉCNICA DE SALUD N°021-MINSA-DGSP-V.03_LALEY*.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2006). *NORMA E.020 CARGAS*. www.gob.pe/sencico.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2018). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*.

- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. (2019). *Norma E.031 Aislamiento Sísmico*.
www.gob.pe/sencico.
- Naeim, F., & Kelly, J. M. (1999). *Design of Seismic Isolated Structures: From Theory to Practice*.
- NCN Nuevo Control. (n.d.). *Aisladores Sísmicos para Protección de Equipos Críticos*. Retrieved April 5, 2026, from <https://ncn.pe/index.php/productos/equipos-de-proteccion-sismica/aislador-sismico-de-base>
- Olivos Lara, O. E. (2018). *Protección Sísmica de Edificaciones Hospitalarias Peruanas por Aislamiento Sísmico*. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Organización Panamericana de la Salud. (2000). *Plan de acción para la instrumentación de las estrategias regionales*.
- Symans, M. D. (2013). *Seismic Protective Systems: Seismic Isolation*.
- Tar buck J., E., & Lutgens K., F. (2005). *Ciencias de la Tierra: Introducción a la Geología Física* (Octava edición). Pearson Prentice Hall.
- Villarreal Castro, G. (2006). *Dinámica Estructural* (Primera edición).
www.gennervillarrealcastro.blogspot.com

Anexos

Anexo 1: Matriz de consistencia

Anexo 2: Modelado del Hospital Santo Tomas con aislamiento sísmico en una estruct. aporticada

Anexo 3: Plano arquitectónico correspondiente al primer nivel del Hospital Santo Tomas.

Anexo 4: Plano arquitectónico correspondiente al segundo nivel del Hospital Santo Tomas.

Anexo 5: Plano arquitectónico correspondiente al tercer nivel del Hospital Santo Tomas

Anexo 6: Plano arquitectónico correspondiente al cuarto nivel del Hospital Santo Tomas

Anexo 7: Distribución de los dispositivos de aislamiento

Anexo 8: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte – MASW

Anexo 9: Perfil Unidimensional de Ondas de Corte – MAM

Anexo 10: Estudio de Mecánica de Suelos

Anexo 11: Cálculo de las propiedades límite inferior y límite superior

Anexo 12: Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación límite inferior

Anexo 13: Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación límite superior

Anexo 14: Espectro objetivo para un análisis dinámico modal espectral

Anexo 15: Desplazamiento SMC propiedades límite inferior en dirección x, y

Anexo 16: Desplazamiento SMC propiedades límite superior en dirección x, y

Anexo 17: Máximo desplazamiento por nivel en dirección x para propiedades límite inferior.

Anexo 18: Máximo desplazamiento por nivel en dirección y para propiedades límite inferior

Anexo 19: Máximo desplazamiento por nivel en dirección x para propiedades límite superior

Anexo 20: Máximo desplazamiento por nivel en dirección y para propiedades límite superior

Anexo 21: Fuerza cortante SMC propiedades de límite inferior en dirección X, Y

Anexo 22: Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades de límite inferior

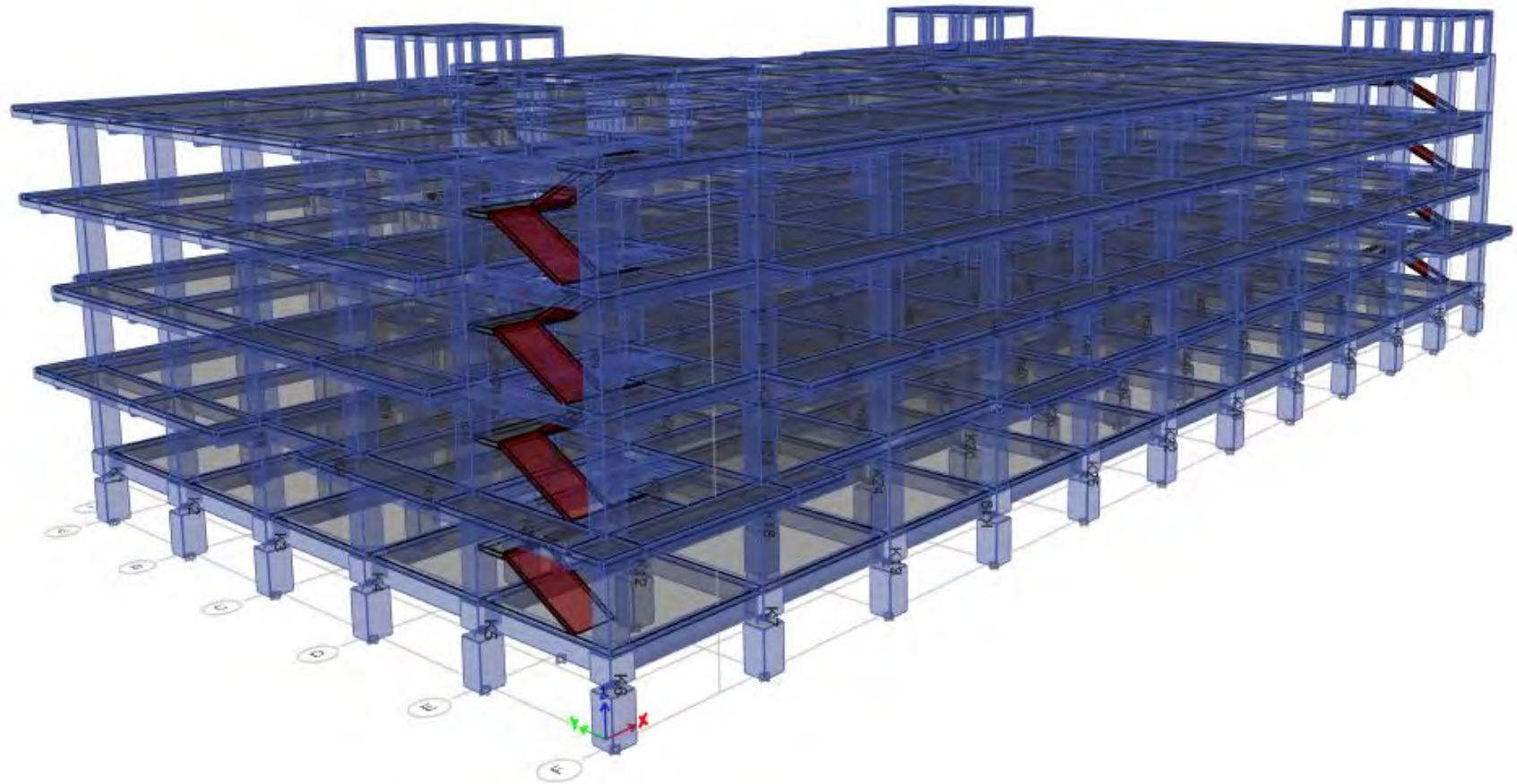
Anexo 23: Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades de límite inferior

- Anexo 24: Fuerza cortante SMC propiedades de límite superior en dirección X, Y
- Anexo 25: Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades de límite superior
- Anexo 26: Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades de límite superior
- Anexo 27: Interfaz del software SeismoSignal
- Anexo 28: Interfaz del software SeismoMatch
- Anexo 29: Desplazamiento residual
- Anexo 30: Ubicación y etiqueta de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico
- Anexo 31: Cálculo del balance energético
- Anexo 32: Cálculo de los regímenes límite inferior
- Anexo 33: Cálculo de los regímenes límite superior
- Anexo 34: Gráfico de fuerzas y desplazamientos para comprobación de fases PR.2475 años
- Anexo 35: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X para PR. 474 años
- Anexo 36: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y para PR. 474 años
- Anexo 37: Fuerzas cortantes para PR. 474 años
- Anexo 38: Aceleraciones para PR. 474 años
- Anexo 39: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X PR. 225 años
- Anexo 40: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y PR. 225 años
- Anexo 41: Fuerzas cortantes para PR. 225 años
- Anexo 42: Aceleraciones para PR. 225 años
- Anexo 43: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X para PR. 72 años
- Anexo 44: Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y para PR. 72 años
- Anexo 45: Fuerzas cortantes para PR.72 años
- Anexo 46: Aceleraciones para PR.72 años

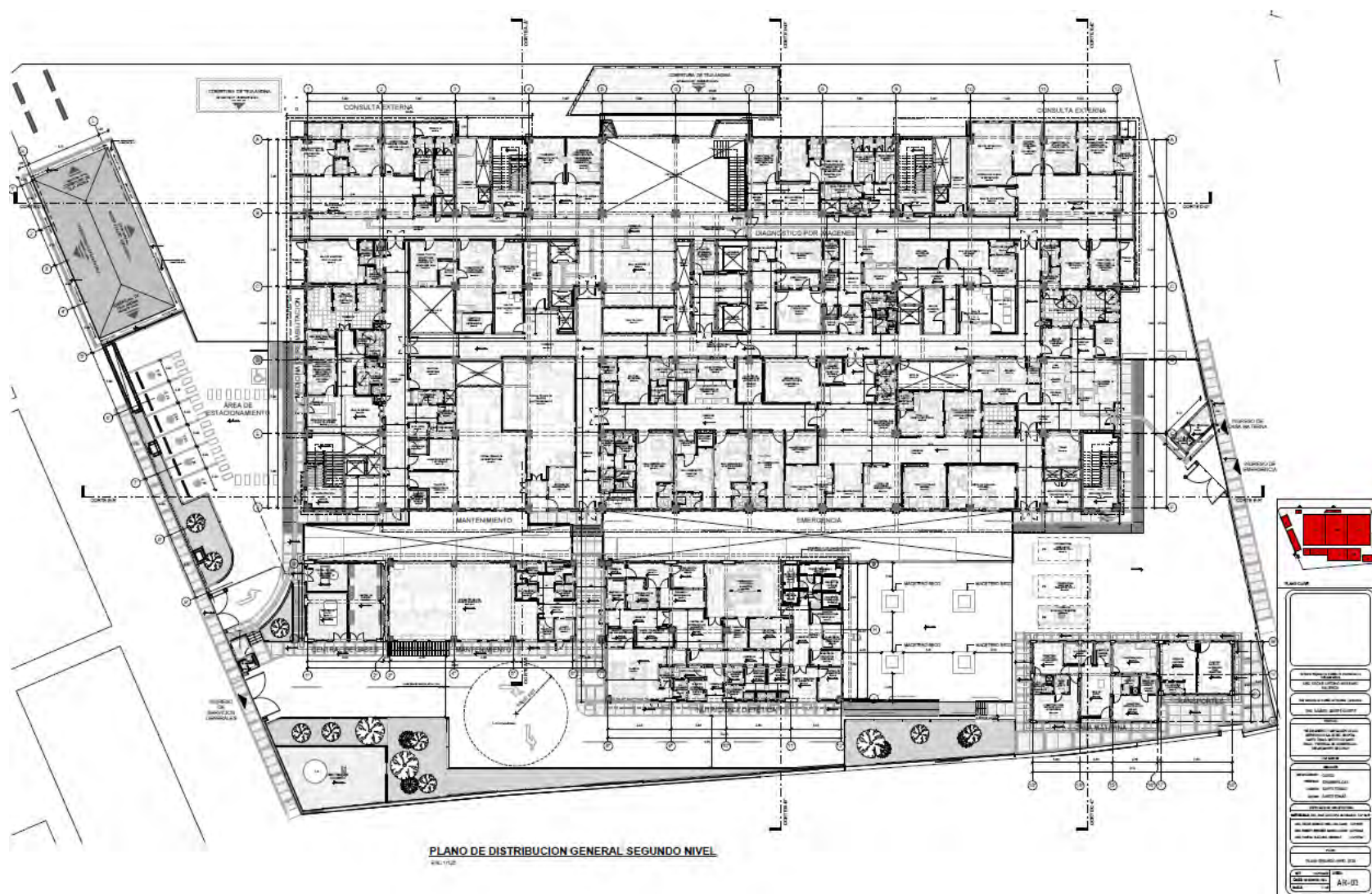
ANEXO 1. Matriz de consistencia

TÍTULO: “INFLUENCIA DE LOS SISTEMAS DE AISLAMIENTO SÍSMICO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL CONSIDERANDO SISMOS TIPO SUBDUCCIÓN EN EL HOSPITAL SANTO TOMÁS PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS DEPARTAMENTO DEL CUSCO - 2024”						
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPÓTESIS GENERAL	VARIABLES / DIMENSIONES	INDICADORES	INSTRUMENTOS	METODOLOGÍA
¿De qué manera influyen los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural, considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomás?	Evaluar la influencia de los sistemas de aislamiento sísmico en el comportamiento estructural considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomas.	Los sistemas de aislamiento sísmico influyen directamente en el comportamiento estructural considerando sismos tipo subducción en el hospital Santo Tomas.	V.D. (1) “Y” Comportamiento estructural • Análisis Dinámico modal espectral • Análisis Dinámico tiempo -historia	- Derivas - Fuerzas cortantes - Aceleraciones - Desplazamientos laterales	- Microsoft Word - Microsoft Excel - ETABs v. 20.3.0 - Seimosignal v. 2016 - Sesimomatch v. 2016 - Norma técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” - Normal técnica E031 “Aislamiento Sísmico”	Tipo: Aplicado Nivel: Descriptivo Diseño: No experimental Enfoque: Cuantitativo POBLACIÓN Y MUESTRA Población: Centro de Salud Hospital Santo Tomas provincia de Chumbivilcas departamento del Cusco. Muestra: No probabilística Tamaño muestral: Centro de Salud Hospital Santo Tomas provincia de Chumbivilcas departamento del Cusco. TÉCNICA E INSTRUMENTO DE RECOLECCIÓN DE DATOS: Técnicas de investigación: Estudio de material bibliográfico, utilización de Software, revisión de planos del perfil técnico, revisión de las normativas técnicas. MÉTODOS DE ANÁLISIS DE DATOS: Modelamientos estructurales en el programa ETABs, filtrado de registros acelerométricos en el software SeismoSignal y escalonamiento de los registros filtrados en el software SeismoMatch apoyados por el programa Excel.
PROBLEMA ESPECÍFICOS	OBJETIVO ESPECÍFICOS	HIPÓTESIS ESPECÍFICAS				
P.E.1: ¿Cuál es la variación en las derivas de entrepiso incorporando los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en el comportamiento estructural?	O.E.1: Determinar la variación de las derivas de entrepiso en el comportamiento estructural al incorporar sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional.	H.E.1: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional reducen las derivas de entrepiso en el comportamiento estructural.	V.I. (2) “X” Sistemas de aislamiento sísmico	- Rigidez - Amortiguamiento efectivo - Fuerza característica - Fuerza de Fluencia - Radio de superficie deslizante - Coefficientes de fricción - Disipación de energía		
P.E.2: ¿Cuál es la incidencia de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural?	O.E.2: Analizar la incidencia de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural.	H.E.2: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional disminuyen las fuerzas cortantes de entrepiso en el comportamiento estructural.	- Aislador de Núcleo de Plomo - Aislador de Triple Péndulo Friccional			
P.E.3: ¿Cuál es el efecto de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural?	O.E.3: Definir el efecto de los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional en las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural.	H.E.3: Los sistemas de aislamiento sísmico de núcleo de plomo y triple péndulo friccional mitigan las aceleraciones de entrepiso en el comportamiento estructural.				

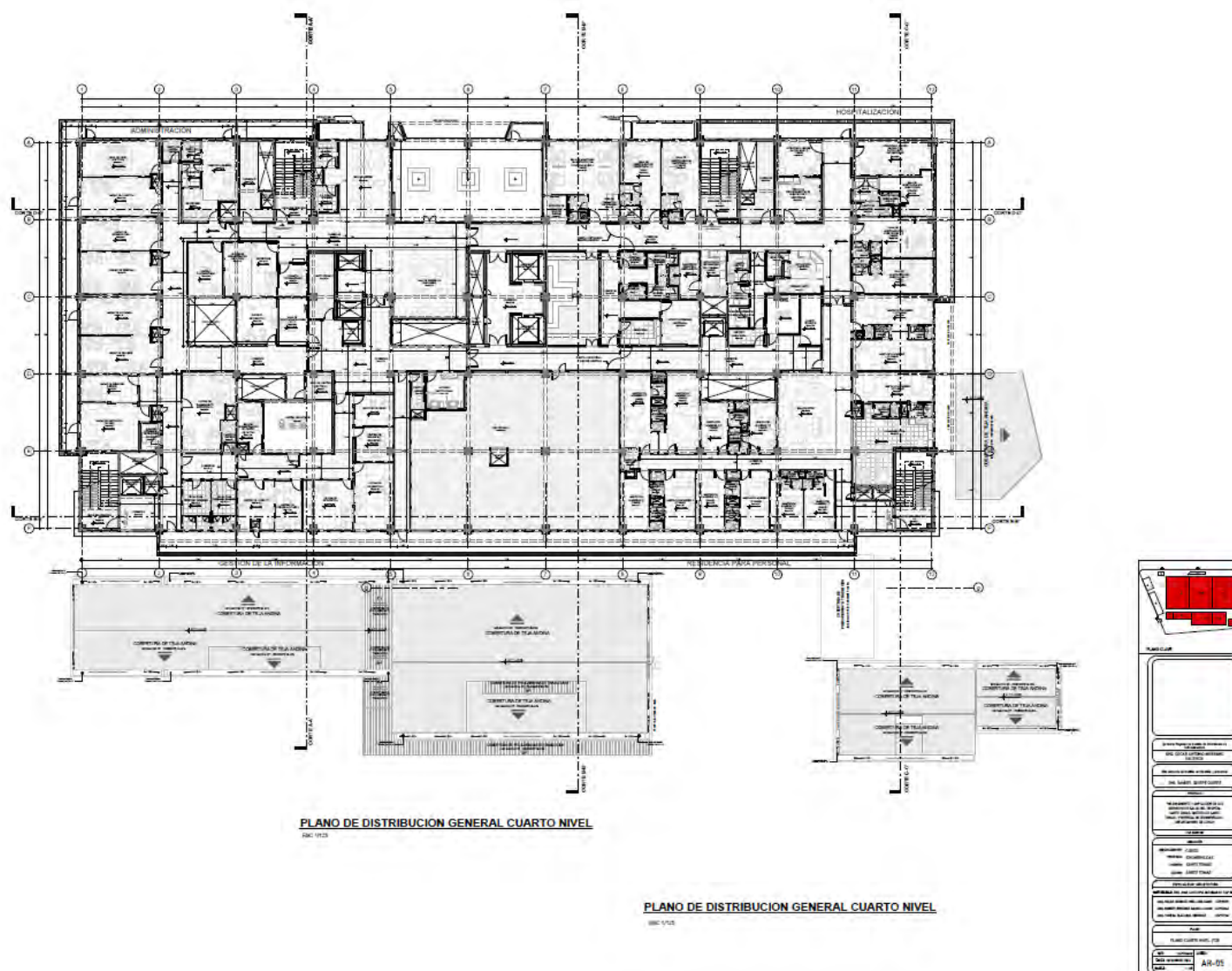
ANEXO 2. Modelado del Hospital Santo Tomas con aislamiento sísmico en una estructura aporticada



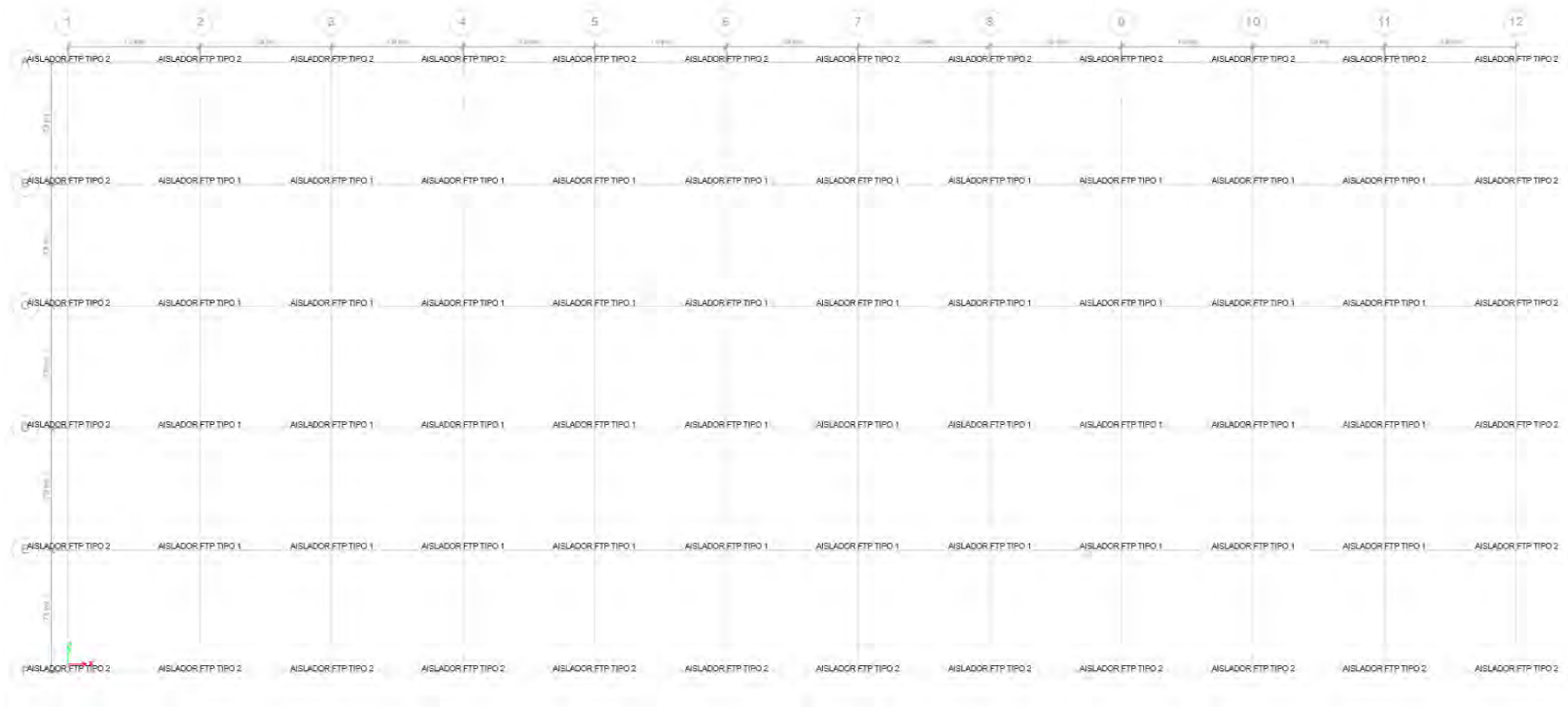
ANEXO 4. Plano arquitectónico correspondiente al segundo nivel del Hospital Santo Tomas.



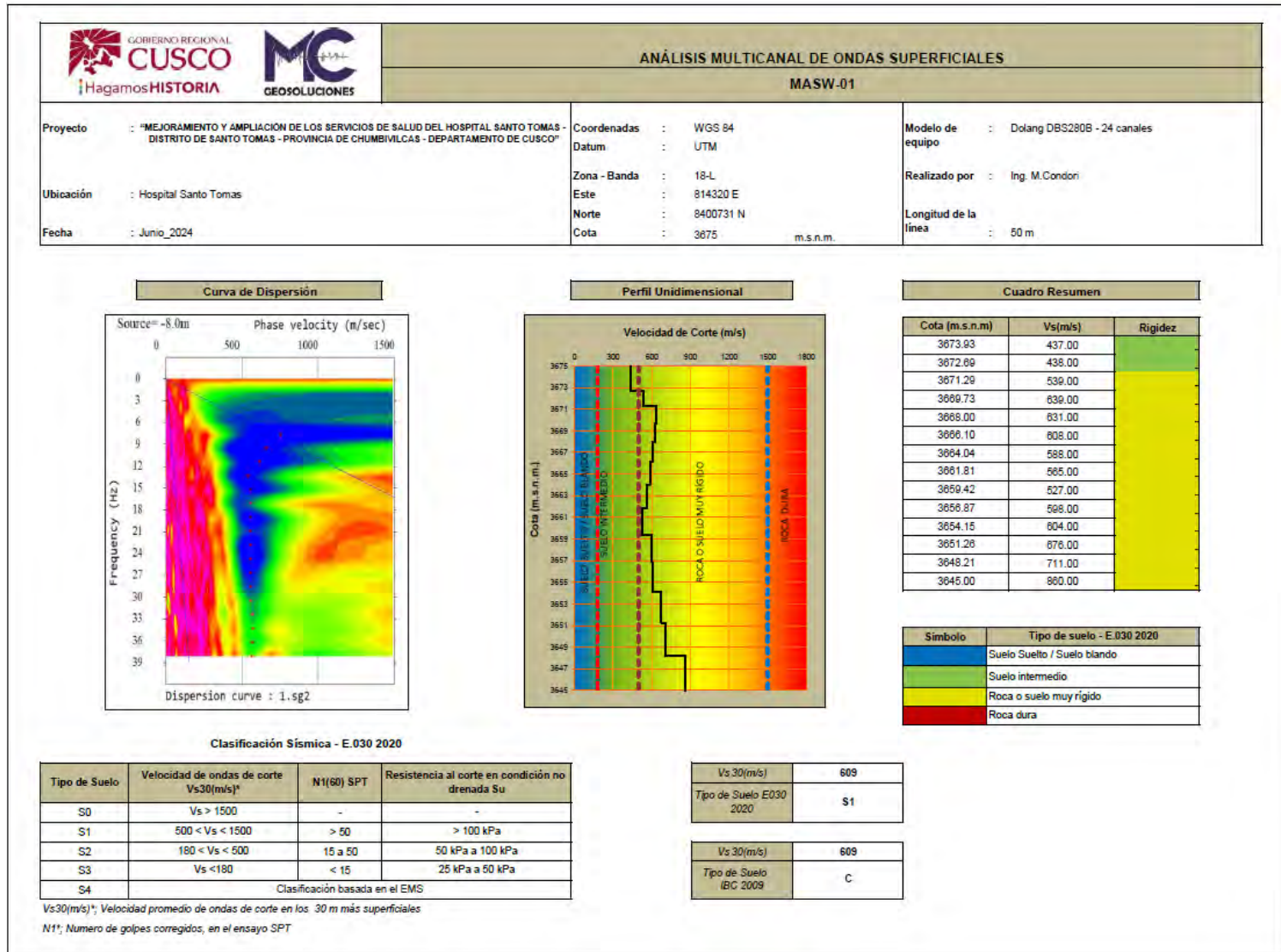
ANEXO 6. Plano arquitectónico correspondiente al cuarto nivel del Hospital Santo Tomas



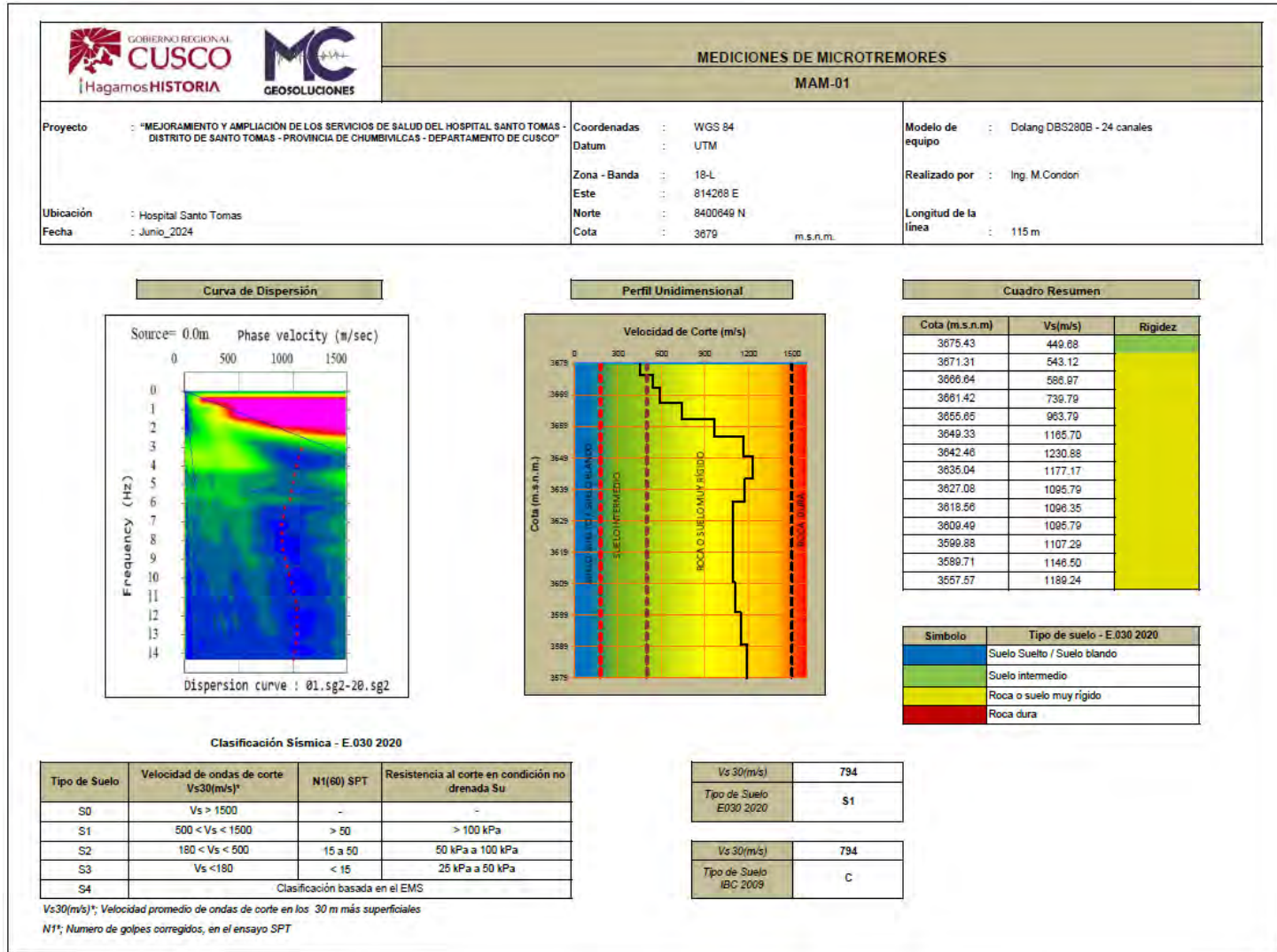
ANEXO 7. Distribución de los dispositivos de aislamiento sísmico



ANEXO 8. Perfil Unidimensional de Ondas de Corte – MASW



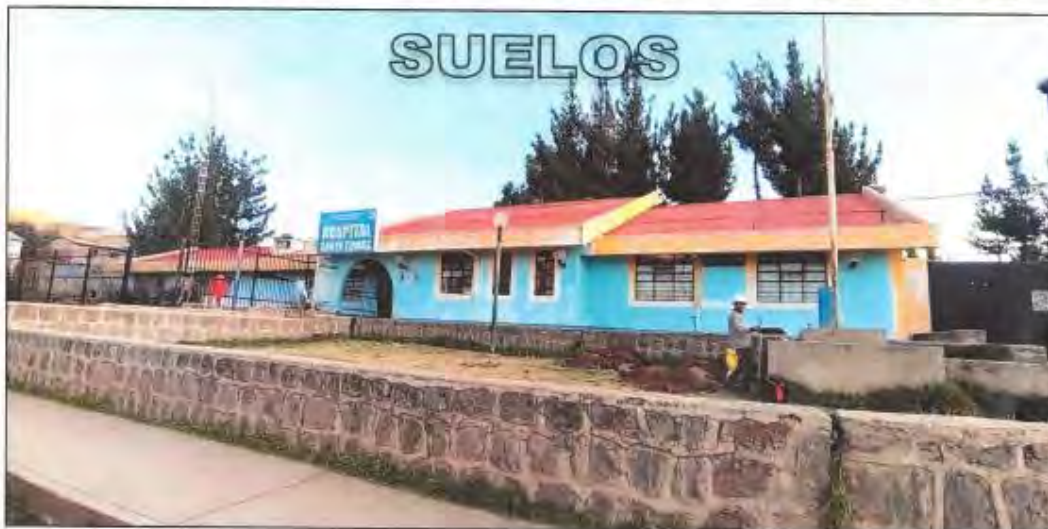
ANEXO 9. Perfil Unidimensional de Ondas de Corte – MAM



ANEXO 10. Estudio de Mecánica de Suelos



ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS



PROYECTO :

“MEJORAMIENTO Y AMPLIACIÓN DE LOS SERVICIOS DE SALUD DEL HOSPITAL SANTO TOMAS, DISTRITO DE SANTO TOMAS – PROVINCIA DE CHUMBIVILCAS – DEPARTAMENTO DE CUSCO”.

UBICACIÓN : DEPARTAMENTO : CUSCO
 PROVINCIA : CHUMBIVILCAS
 DISTRITO : SANTO TOMAS

SOLICITADO : GOBIERNO REGIONAL DEL CUSCO.

JUNIO, 2024.



ANEXO 11. Cálculo de las propiedades límite inferior y límite superior

$$\begin{array}{rcl} & \lambda_{inf} & \lambda_{sup} \\ K_d = & 0.8 & 1.3 \\ Q_d = & 0.8 & 1.5 \end{array}$$

TIPO 1 CENTRICO

- Rigidez post fluencia

$$\begin{array}{rcl} k_d = & 95.18 & \text{tonf/m} \\ k_{dinf} = & 76.14 & \text{tonf/m} \\ k_{dsup} = & 123.73 & \text{tonf/m} \end{array}$$

- Fuerza Histerética

$$\begin{array}{rcl} Q_d = & 21.00 & \text{tonf} \\ Q_{dinf} = & 16.80 & \text{tonf} \\ Q_{dsup} = & 31.50 & \text{tonf} \end{array}$$

- Rigidez elástica

$$\begin{array}{rcl} k_i = & 951.80 & \text{tonf/m} \\ k_{iinf} = & 761.40 & \text{tonf/m} \\ k_{isup} = & 1237.30 & \text{tonf/m} \end{array}$$

- Fuerza de fluencia

$$\begin{array}{rcl} F_y = & 23.33 & \text{tonf} \\ F_{yinf} = & 18.67 & \text{tonf} \\ F_{ysup} = & 35.00 & \text{tonf} \end{array}$$

- Desplazamiento de fluencia

$$\begin{array}{rcl} D_y = & 2.45 & \text{cm} \\ D_{yinf} = & 2.45 & \text{cm} \\ D_{ysup} = & 2.83 & \text{cm} \end{array}$$

- Desplazamiento traslacional

$$\begin{array}{rcl} D_M = & & \\ D_{Minf} = & & \end{array}$$

TIPO 2 EXCENTRICO Y ESQUINADO

$$\begin{array}{rcl} k_d = & 62.54 & \text{tonf/m} \\ k_{dinf} = & 50.03 & \text{tonf/m} \\ k_{dsup} = & 81.30 & \text{tonf/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} Q_d = & 14.00 & \text{tonf} \\ Q_{dinf} = & 11.20 & \text{tonf} \\ Q_{dsup} = & 21.00 & \text{tonf} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} k_i = & 625.40 & \text{tonf/m} \\ k_{iinf} = & 500.30 & \text{tonf/m} \\ k_{isup} = & 813.00 & \text{tonf/m} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} F_y = & 15.56 & \text{tonf} \\ F_{yinf} = & 12.44 & \text{tonf} \\ F_{ysup} = & 23.33 & \text{tonf} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} D_y = & 2.49 & \text{cm} \\ D_{yinf} = & 2.49 & \text{cm} \\ D_{ysup} = & 2.87 & \text{cm} \end{array}$$

$$\begin{array}{rcl} D_M = & 0.30 & \text{m} \\ D_{Minf} = & 0.40 & \text{m} \end{array}$$

		D_{Msup}=	0.24 m
• Rigidez efectiva			
k_{eff}=	165.18 tonf/m	k_{eff}=	109.21 tonf/m
k_{eff,inf}=	118.14 tonf/m	k_{eff,inf}=	78.03 tonf/m
k_{eff,sup}=	281.23 tonf/m	k_{eff,sup}=	186.30 tonf/m
• Fuerza máxima			
F_{max}=	49.55 tonf	F_{max}=	32.76 tonf
F_{max inf}=	47.26 tonf	F_{max inf}=	31.21 tonf
F_{max sup}=	56.25 tonf	F_{max sup}=	37.26 tonf
• Energía disipada por ciclo			
EDC=	23.14 tonf.m	EDC=	15.41 tonf.m
EDC_{inf}=	25.23 tonf.m	EDC_{inf}=	16.80 tonf.m
EDC_{sup}=	21.63 tonf.m	EDC_{sup}=	14.39 tonf.m
• Coeficiente de amortiguamiento horizontal (propiedad física del sistema)			
C_h=	33.61 tonf.s/m	C_h=	22.38 tonf.s/m
C_{hinf}=	23.97 tonf.s/m	C_{hinf}=	15.96 tonf.s/m
C_{hsup}=	54.79 tonf.s/m	C_{hsup}=	36.45 tonf.s/m
• Rigidez a compresión del aislador			
K_v=	127,558.57 tonf/m	K_v=	62,849.07 tonf/m
K_{vinf}=	127,558.57 tonf/m	K_{vinf}=	62,849.07 tonf/m
K_{vsup}=	127,558.57 tonf/m	K_{vsup}=	62,849.07 tonf/m
• Coeficiente de amortiguamiento vertical			
C_v=	223.94 tonf.s/m	C_v=	111.15 tonf.s/m
C_{vinf}=	223.94 tonf.s/m	C_{vinf}=	111.15 tonf.s/m
C_{vsup}=	223.94 tonf.s/m	C_{vsup}=	111.15 tonf.s/m

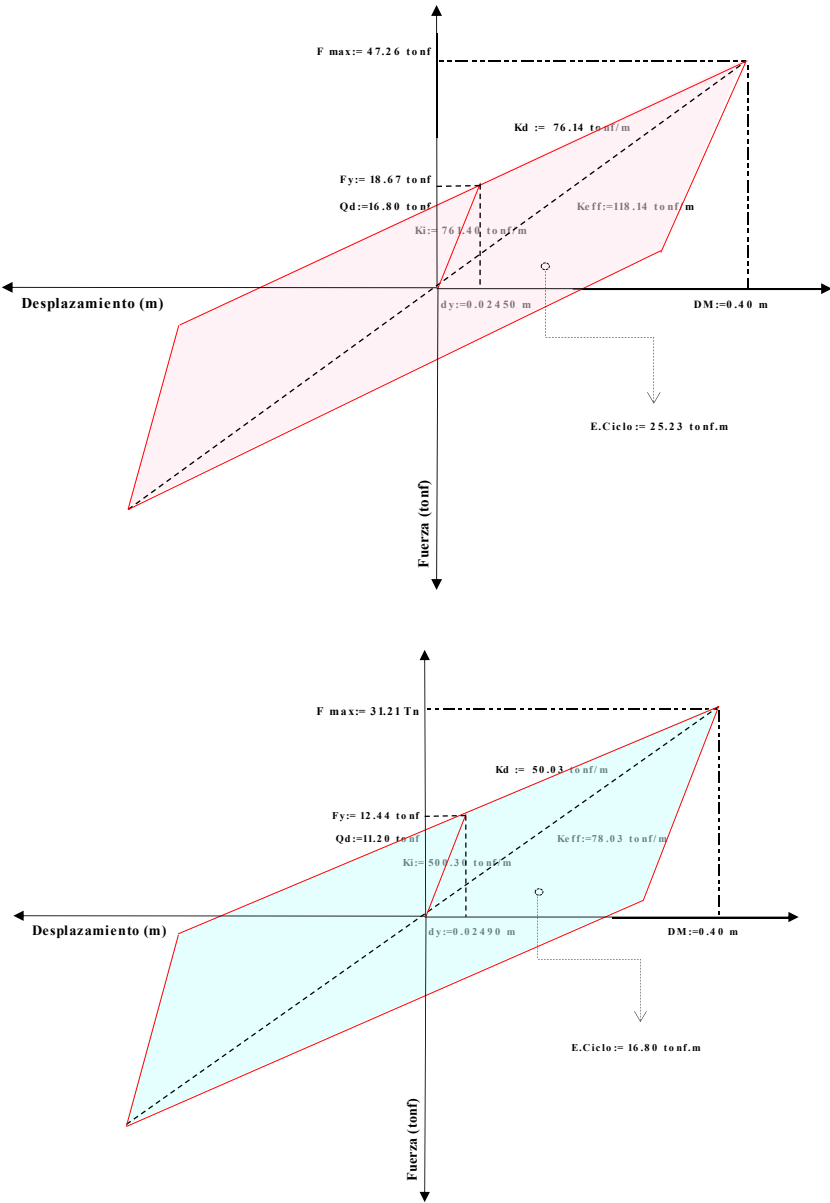
• Ratio

R =	0.1		R =	0.1
R _{inf} =	0.1		R _{inf} =	0.1
R _{sup} =	0.1		R _{sup} =	0.1

• Periodo efectivo

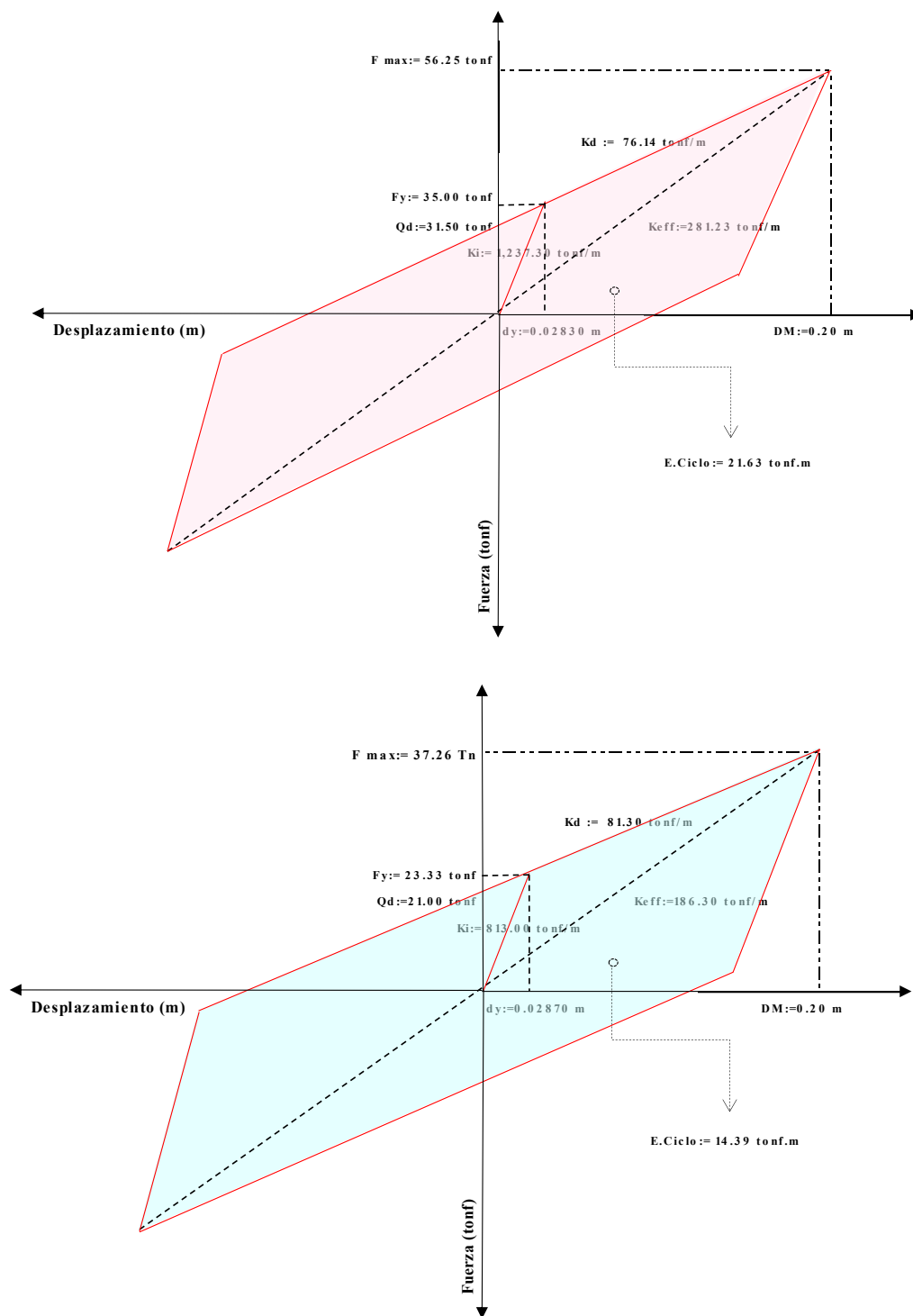
T _M =	2.90 s
T _{Minf} =	3.40 s
T _{Msup} =	2.20 s

ANEXO 12. Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación límite inferior



ANEXO 13.
superior

Propiedades nominales del modelo bilineal fuerza-deformación límite



ANEXO 14. Espectro objetivo para un análisis dinámico modal espectral

C	T (s)	SMC
1.00	0.00	0.60
1.25	0.02	0.75
1.50	0.04	0.91
1.75	0.06	1.06
2.00	0.08	1.21
2.25	0.10	1.36
2.50	0.12	1.51
2.50	0.14	1.51
2.50	0.16	1.51
2.50	0.18	1.51
2.50	0.20	1.51
2.50	0.25	1.51
2.50	0.30	1.51
2.50	0.35	1.51
2.50	0.40	1.51
2.50	0.45	1.51
2.50	0.50	1.51
2.50	0.55	1.51
2.50	0.60	1.51
2.31	0.65	1.39
2.14	0.70	1.29
2.00	0.75	1.21
1.88	0.80	1.13
1.76	0.85	1.07
1.67	0.90	1.01
1.58	0.95	0.95
1.50	1.00	0.91
1.36	1.10	0.82
1.25	1.20	0.75
1.07	1.40	0.65
1.00	1.50	0.60
0.94	1.60	0.57
0.88	1.70	0.53
0.83	1.80	0.50
0.79	1.90	0.48
0.75	2.00	0.45
0.62	2.20	0.37
0.52	2.40	0.31
0.44	2.60	0.27

0.38	2.80	0.23
0.33	3.00	0.20
0.19	4.00	0.11
0.12	5.00	0.07
0.08	6.00	0.05
0.06	7.00	0.04
0.05	8.00	0.03
0.04	9.00	0.02
0.03	10.00	0.02

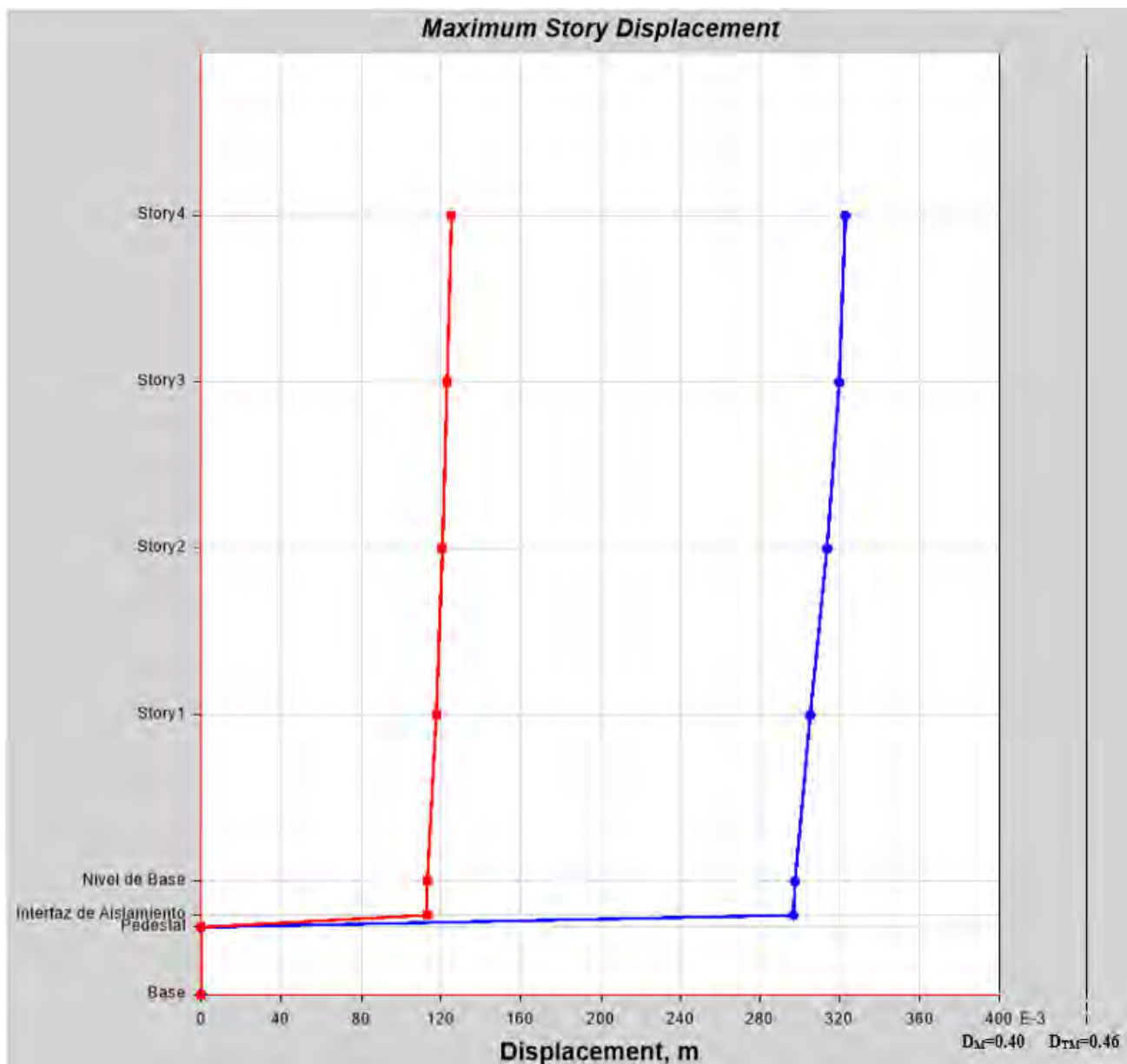
ANEXO 15. Desplazamiento SMC propiedades límite inferior en dirección x, y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		cm	cm
Story4	20.68	Top	32.29	37.70
Story3	16.26	Top	31.94	37.16
Story2	11.84	Top	31.34	36.33
Story1	7.42	Top	30.52	35.39
Nivel de aislamiento	3	Top	29.74	34.25
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	29.68	34.17
Pedestal	1.8	Top	0.03	0.03
Base	0	Top	0.00	0.00

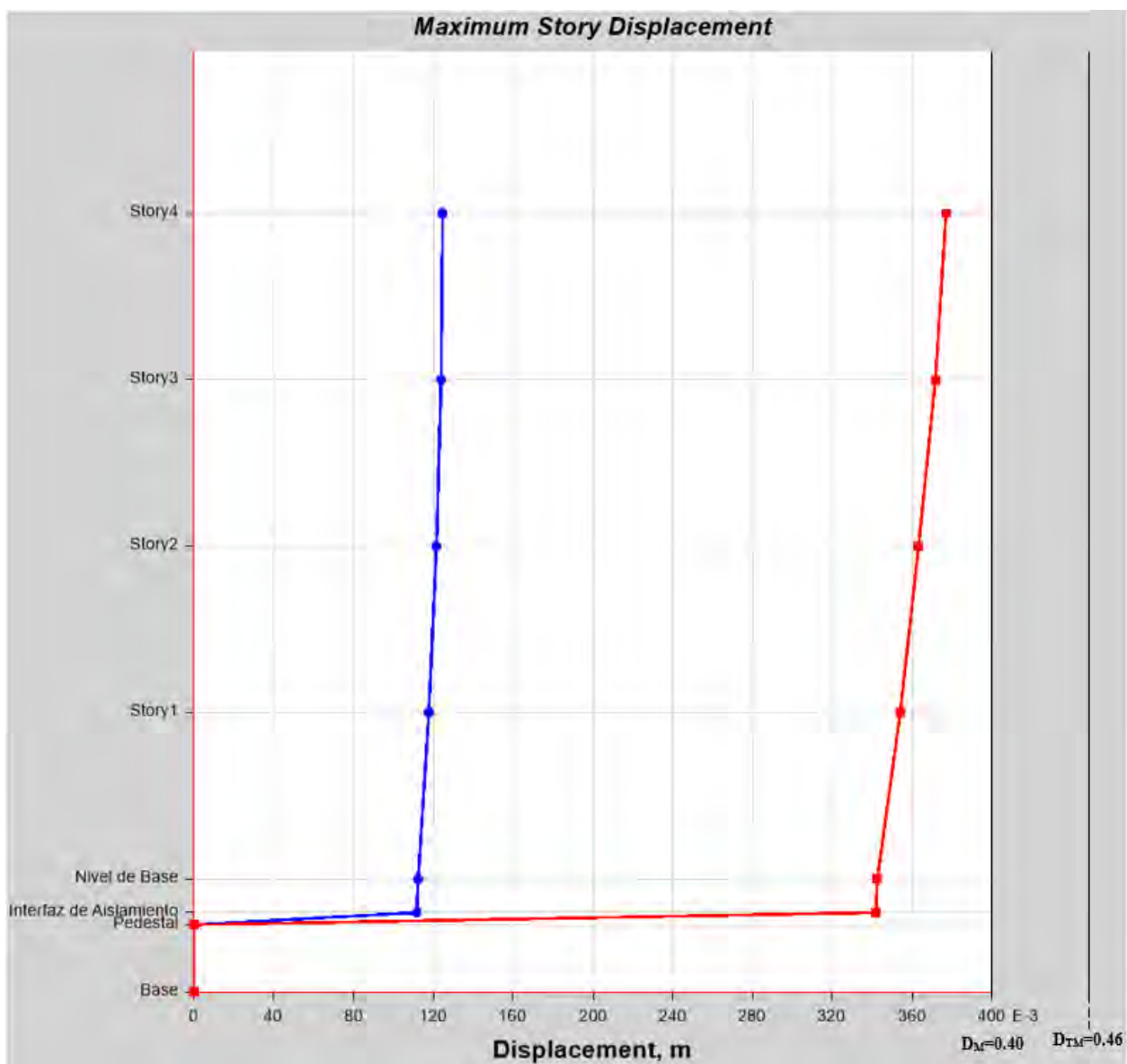
ANEXO 16. Desplazamiento SMC propiedades límite superior en dirección x, y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		cm	cm
Story4	20.68	Top	28.86	33.94
Story3	16.26	Top	28.12	32.88
Story2	11.84	Top	26.93	31.31
Story1	7.42	Top	25.40	29.44
Nivel de aislamiento	3	Top	24.03	27.59
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	23.91	27.44
Pedestal	1.8	Top	0.05	0.06
Base	0	Top	0.00	0.00

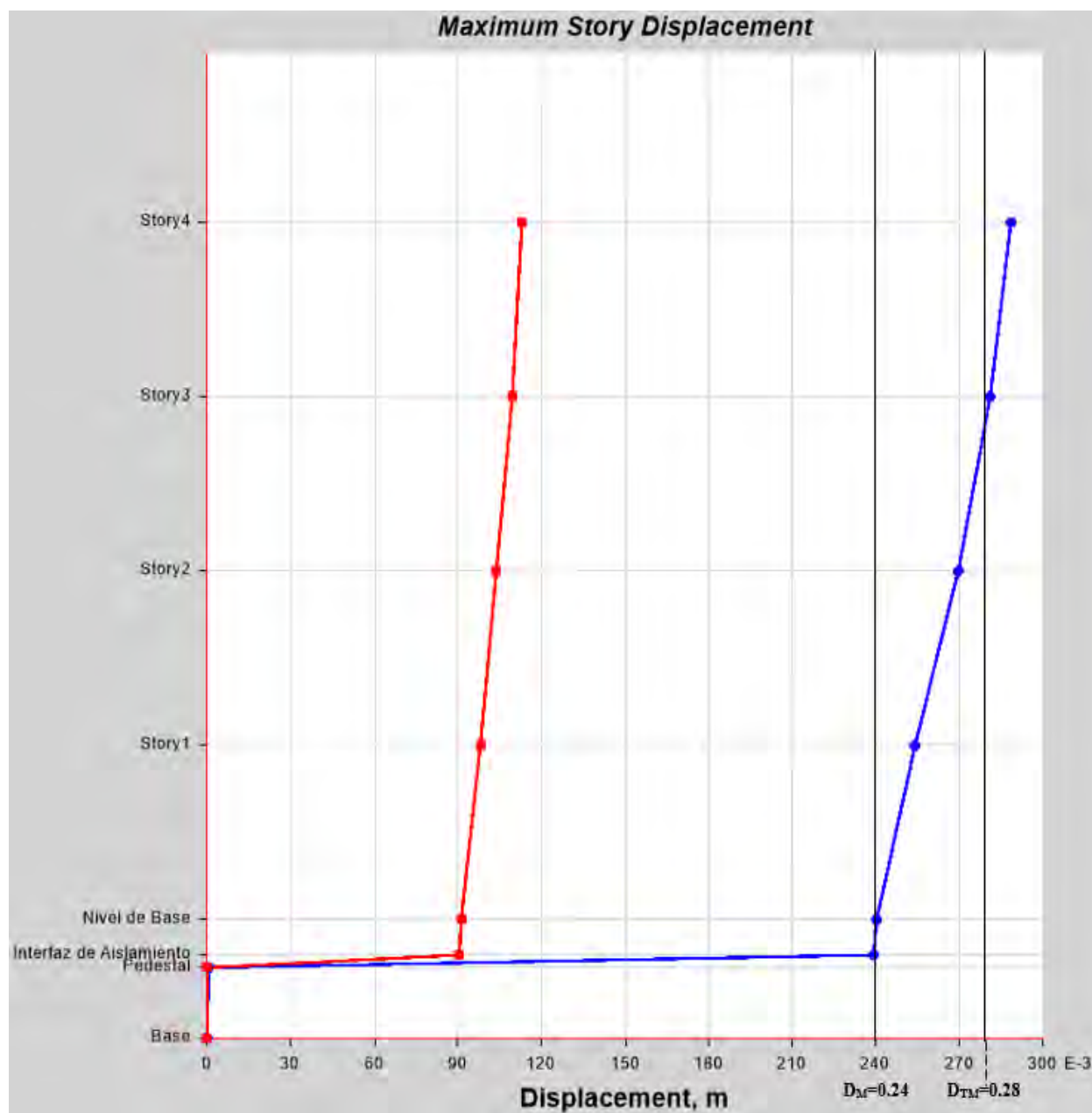
ANEXO 17. Máximo desplazamiento por nivel en dirección x para propiedades límite inferior



ANEXO 18. Máximo desplazamiento por nivel en dirección y para propiedades límite inferior

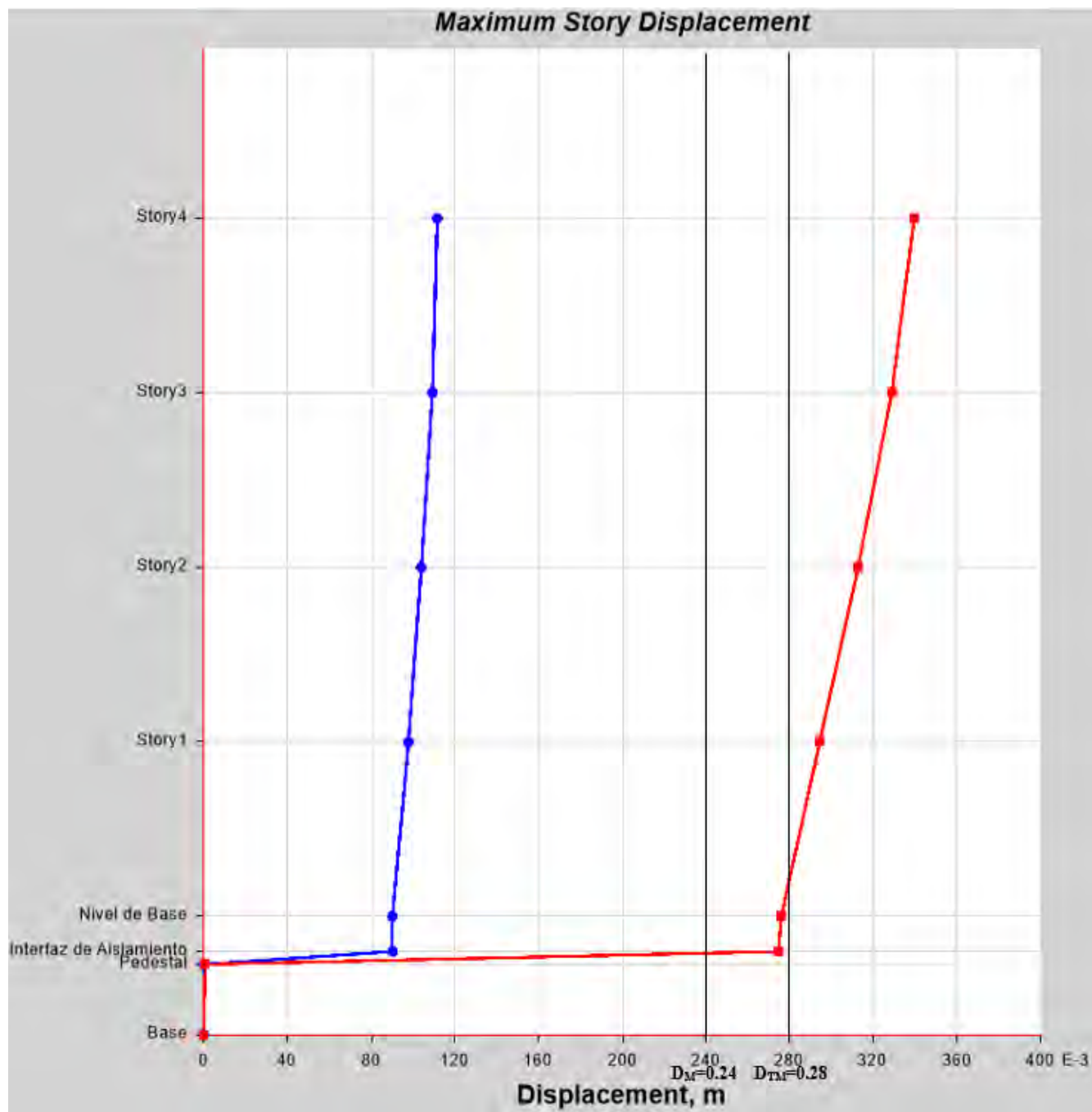


ANEXO 19. Máximo desplazamiento por nivel en dirección x para propiedades límite superior



ANEXO 20.
superior

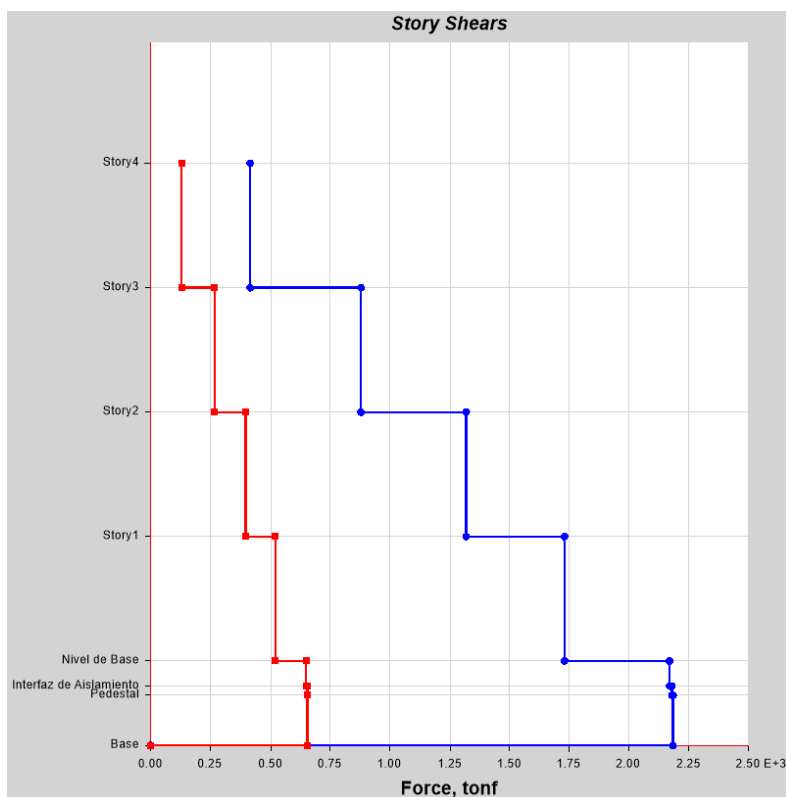
Máximo desplazamiento por nivel en dirección y para propiedades límite



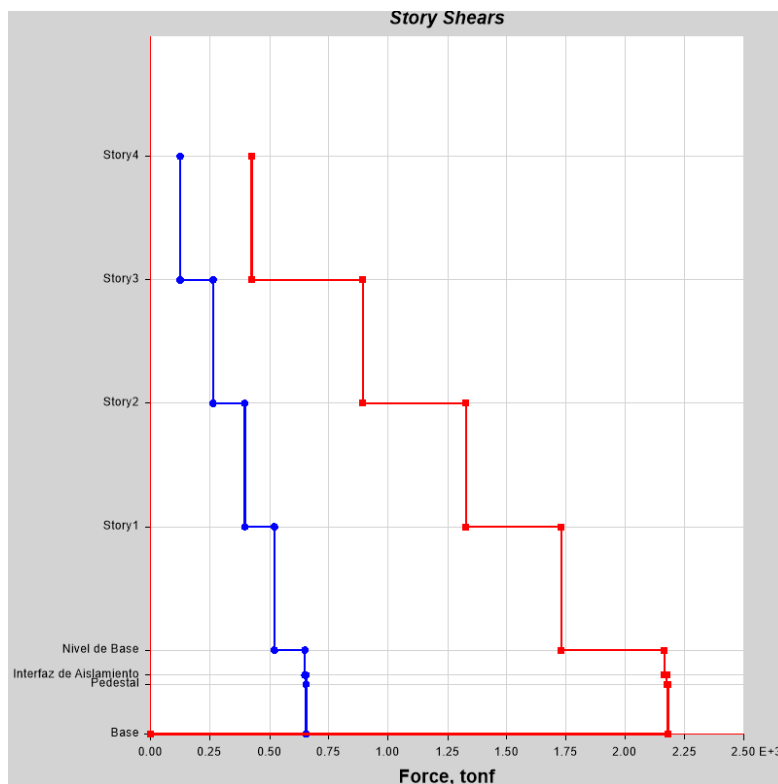
ANEXO 21. Fuerza cortante SMC propiedades de límite inferior en dirección X, Y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	415.43	426.19
Story3	16.26	Top	879.19	892.62
Story2	11.84	Top	1319.74	1327.27
Story1	7.42	Top	1731.56	1730.63
Nivel de Base	3	Top	2170.46	2164.21
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	2181.59	2175.29
Pedestal	1.8	Top	2184.76	2178.47
Base	0	Top	0	0

ANEXO 22. Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades de límite inferior



ANEXO 23. Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades de límite inferior

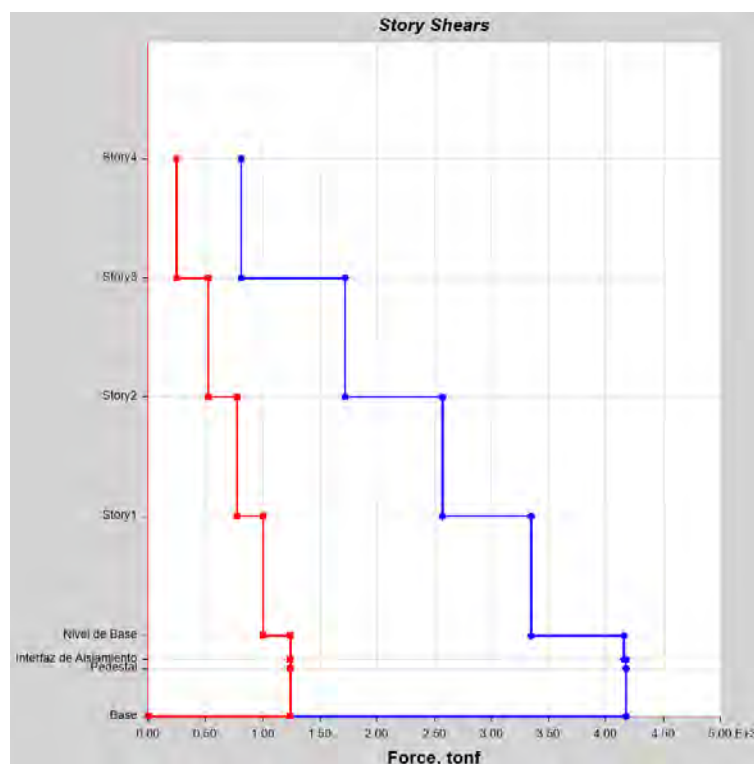


ANEXO 24. Fuerza cortante SMC propiedades de límite superior en dirección X, Y

Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	817.07	833.56
Story3	16.26	Top	1722.39	1739.91
Story2	11.84	Top	2570.91	2574.44
Story1	7.42	Top	3346.91	3332.24
Pedestal	1.8	Top	4179.54	4130.02
Nivel de Base	3	Top	4157.72	4150.39
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	4178.29	4151.66
Base	0	Top	0	0

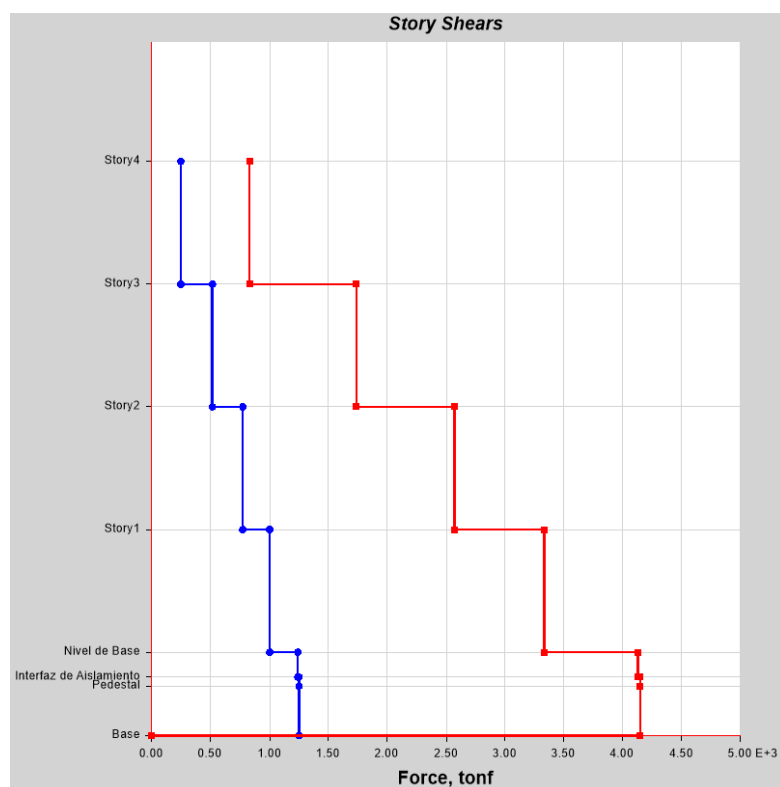
ANEXO 25. superior

Fuerzas cortantes por nivel en dirección X para propiedades de límite

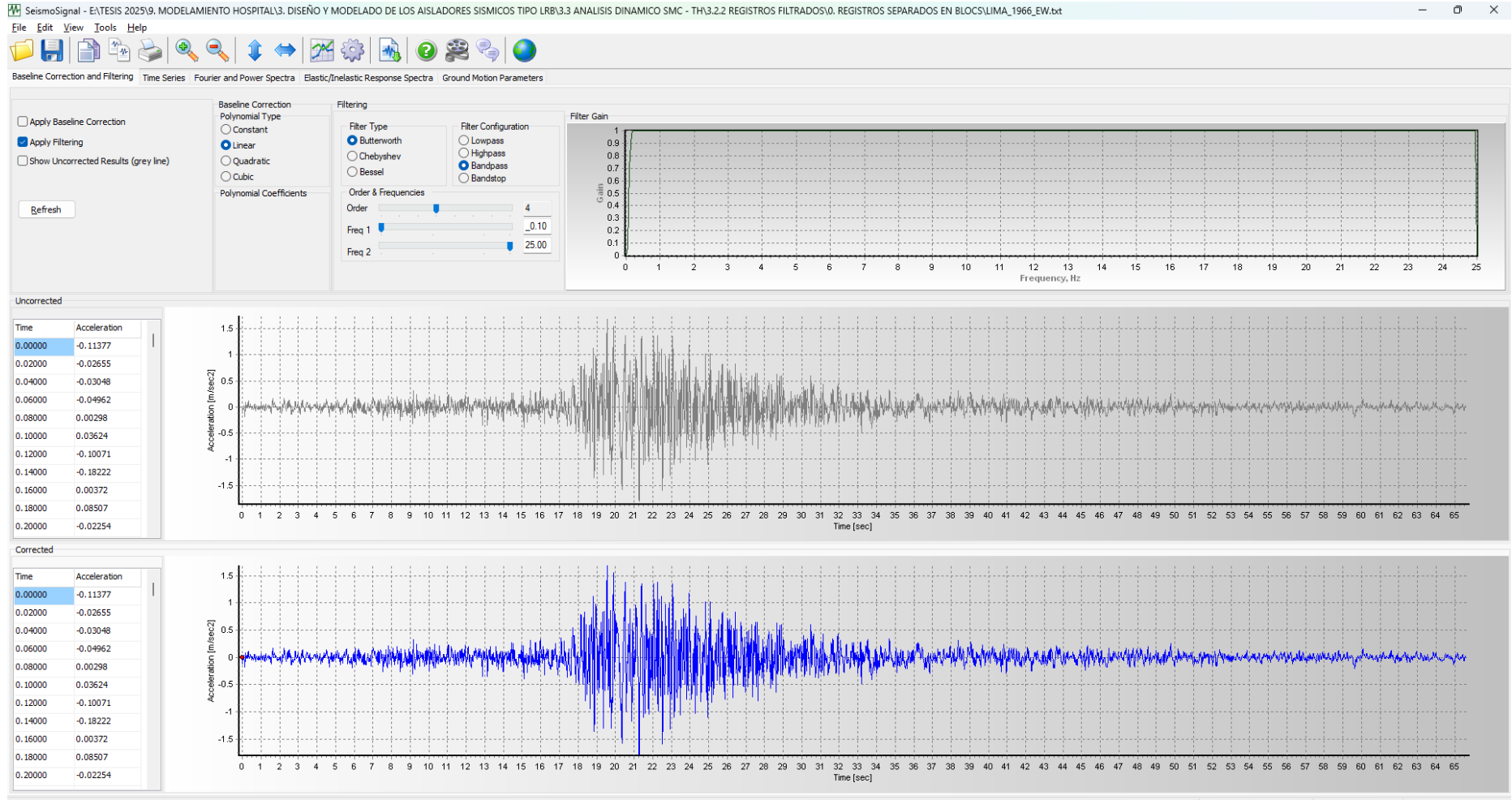


ANEXO 26. superior

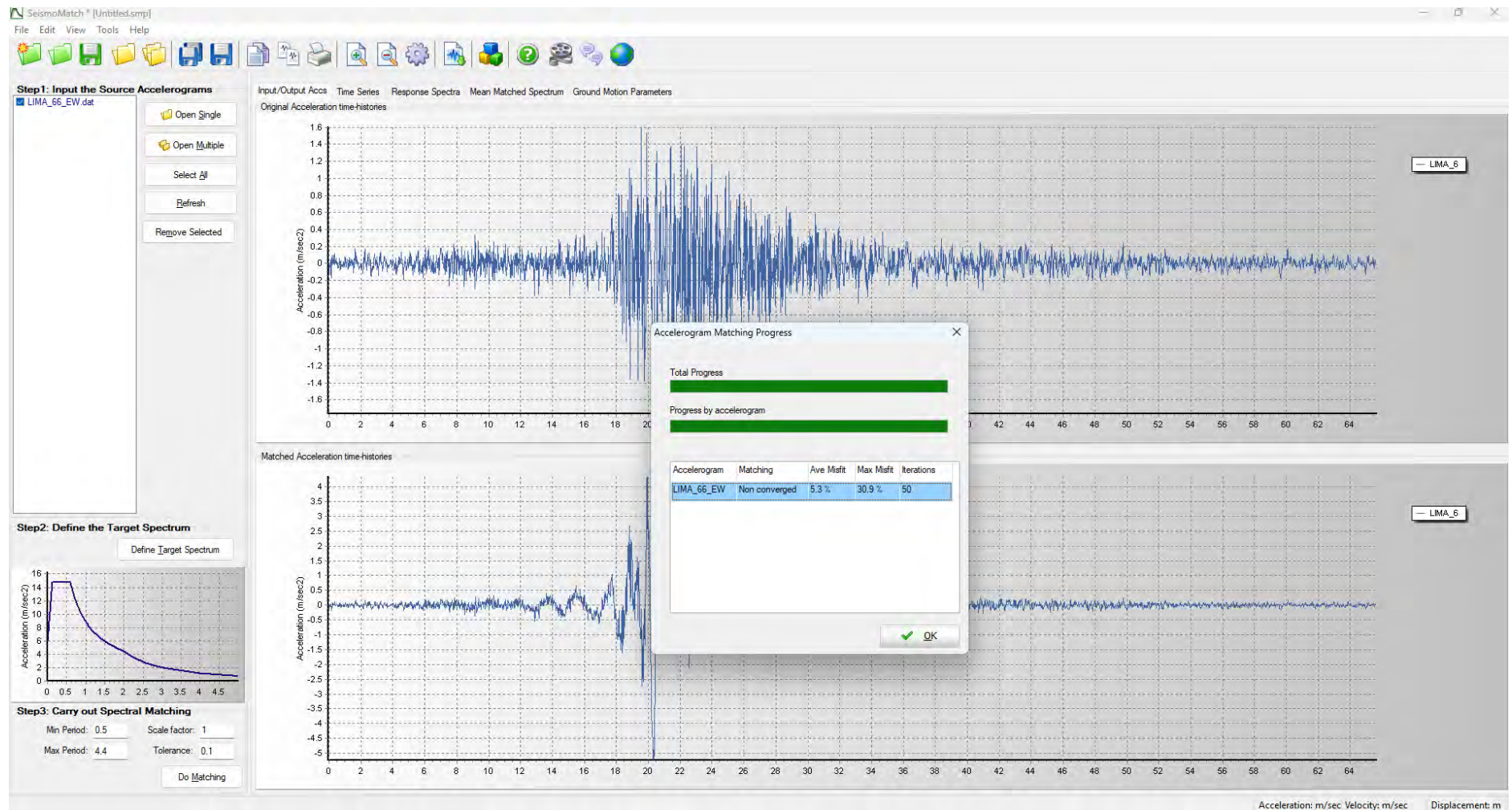
Fuerzas cortantes por nivel en dirección Y para propiedades de límite



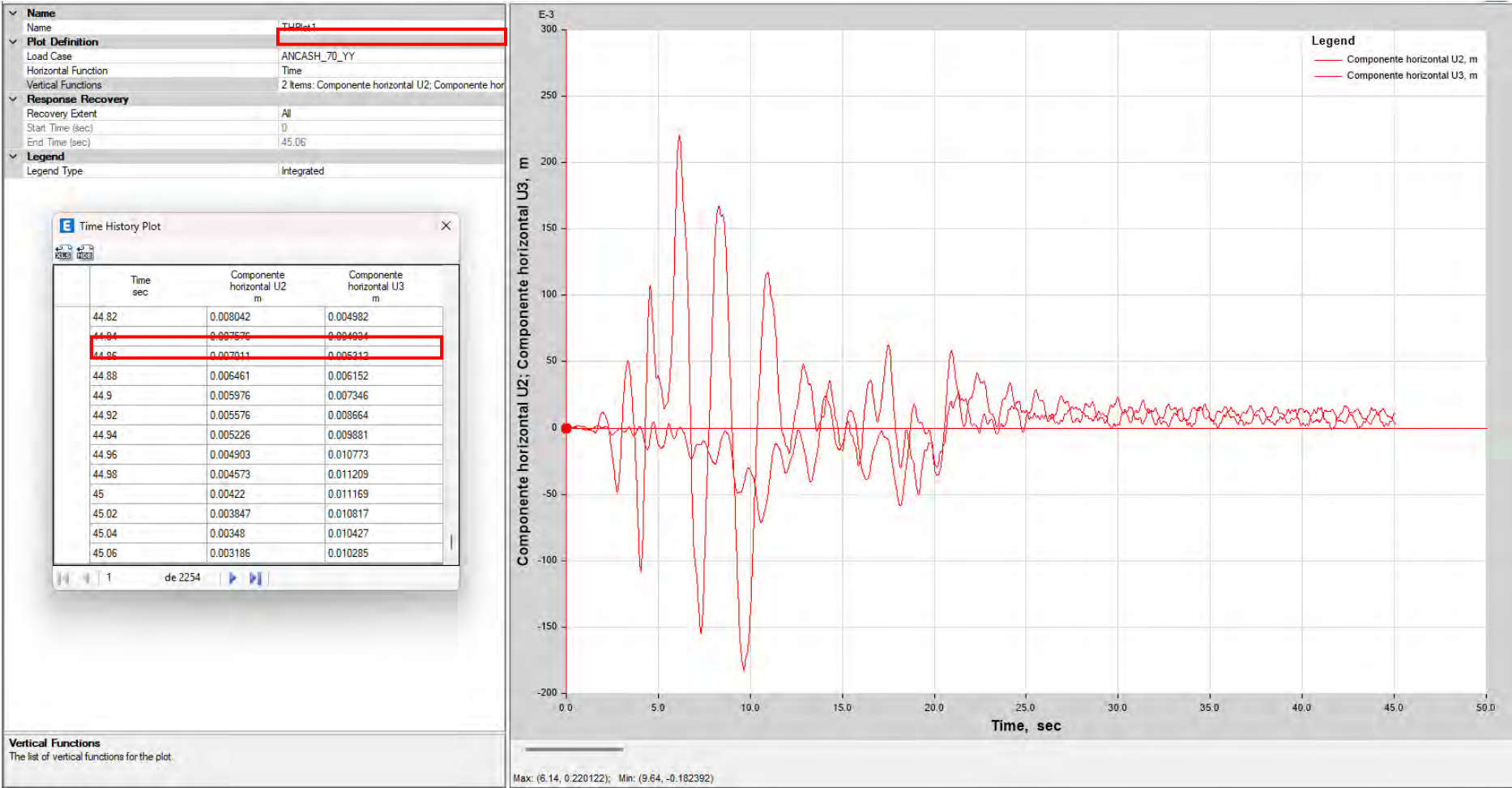
ANEXO 27. Interfaz del software SeismoSignal



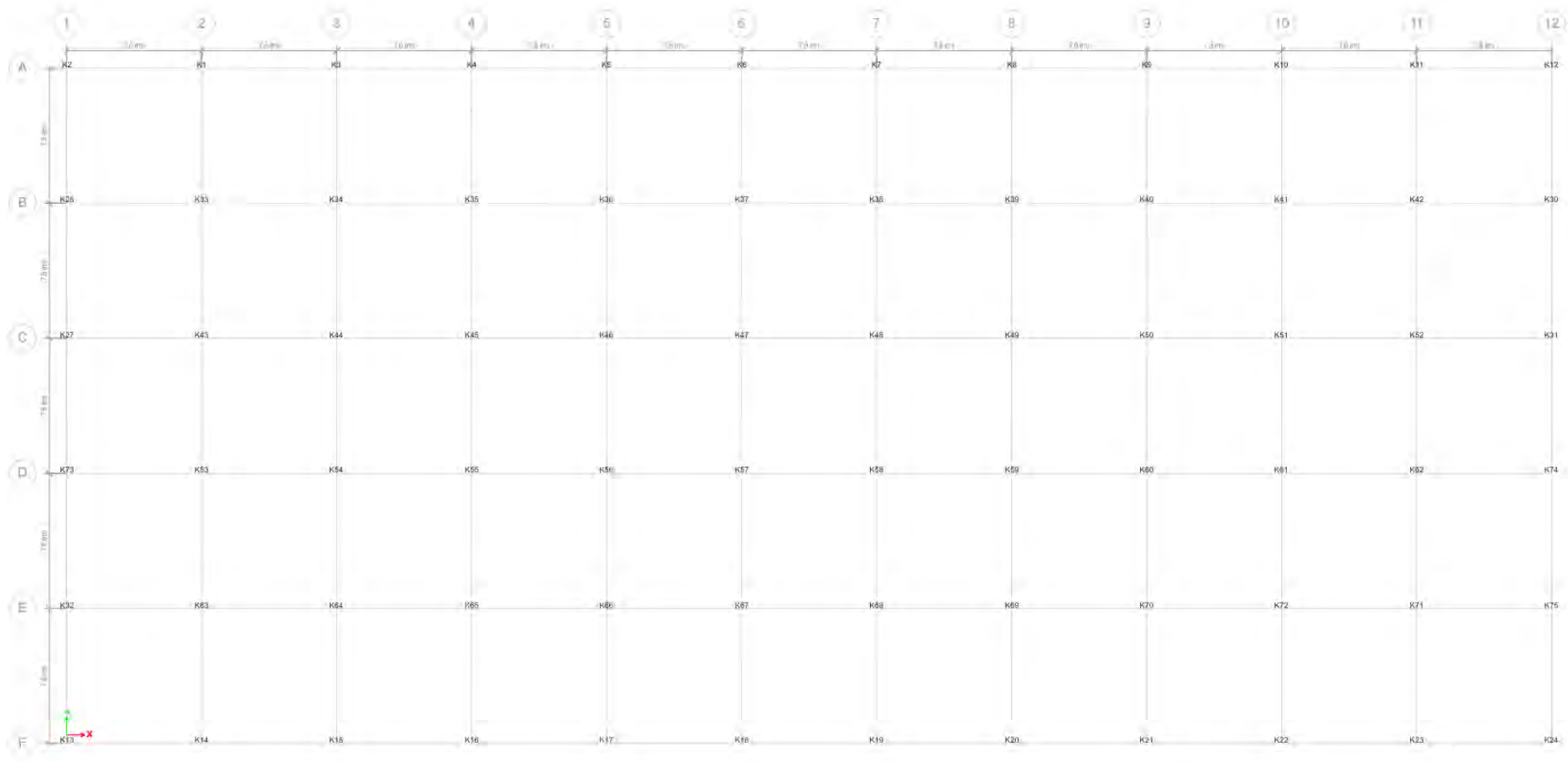
ANEXO 28. Interfaz del software SeismoMatch



ANEXO 29. Desplazamiento residual



ANEXO 30. Ubicación y etiqueta de los dispositivos del sistema de aislamiento sísmico



ANEXO 31. Cálculo del balance energético

Haciendo efectivo la siguiente formula:

$$\Delta E_i = \Delta E_k + \Delta E_p + \Delta E_d + \Delta E_{ais} + \Delta E_{err}$$

Donde:

ΔE_i : Energía de entrada incremental

ΔE_k : Energía cinética final

ΔE_p : Energía potencial

ΔE_d : Energía disipada por amortiguamiento global

ΔE_{ais} : Energía disipada por aisladores

ΔE_{err} : Error energético

Procedimiento:

Considerando los datos obtenidos del software para el registro del sismo de Ancash_70 para la dirección X

$$\Delta E_{in,max} = 20285785.00 \text{ tonf.m}$$

$$\Delta E_{in,0} = 20282995.60 \text{ tonf.m}$$

$$\Delta E_{ais} = 2789.40 \text{ tonf.m}$$

$$\Delta E_d = 0 \text{ (no se tiene amortiguamiento viscoso)}$$

$$\Delta E_k = 0 \text{ (al final del registro)}$$

$$\Delta E_{err} = -0.3454 \text{ tonf.m}$$

Entonces:

$$\Delta E_{in} = 20285785.00 - 20282354.00 = 3431.00 \text{ tonf.m}$$

Es así que se tiene la energía potencial:

$$\Delta E_p = \Delta E_{in} - \Delta E_k - \Delta E_d - \Delta E_{ais} - \Delta E_{err}$$

$$\Delta E_p = 3431.00 - 0 - 0 - 2789.40 - (-0.3454)$$

$$\Delta E_p = 641.95 \text{ tonf.m}$$

Energía disipada por aisladores:

$$\frac{2789.40}{3431.00} \times 100\% = 81.30\%$$

Energía potencial final almacenada en el sistema:

$$\frac{641.95}{3431.00} \times 100 = 18.69\%$$

Error energético:

$$\frac{0.3454}{3431.00} \times 100 = 0.01\%$$

ANEXO 32. Cálculo de los regímenes límite inferior

Fase I de desplazamiento o Régimen 1

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u1} = 2 * (\mu_1 - \mu_2) * R_{eff2} = 2 * (4.8\% - 1.6\%) * 25.40 \text{ cm} = 1.63 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * D'_{u1} + F_{f2} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 * 25.40 \text{ cm}} * 1.63 \text{ cm} + 5.21 \text{ tonf} = 15.63 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{15.63 \text{ tonf}}{0.0163 \text{ m}} = 961.60 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} * 2 * D'_{u1} = 15.63 \text{ tonf} * 2 * 0.0163 \text{ m} = 0.51 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} * D'_{u1}}{2} = \frac{15.63 \text{ tonf} * 0.0163 \text{ m}}{2} = 0.13 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 * \pi * E_{E1}} = \frac{0.51 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 0.13 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u1} = 2 * (\mu_1 - \mu_2) * R_{eff2} = 2 * (4.8\% - 1.6\%) * 25.40 \text{ cm} = 1.63 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * D'_{u1} + F_{f2} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 * 25.40 \text{ cm}} * 1.63 \text{ cm} + 3.08 \text{ tonf} = 9.25 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{9.25 \text{ tonf}}{0.0163 \text{ m}} = 569.02 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} * 2 * D'_{u1} = 9.25 \text{ tonf} * 2 * 0.0163 \text{ m} = 0.30 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} * D'_{u1}}{2} = \frac{9.25 \text{ tonf} * 0.0163 \text{ m}}{2} = 0.08 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 * \pi * E_{E1}} = \frac{0.47 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 0.12 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Fase II de desplazamiento o Régimen 2

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 * d_1 = 1.63 \text{ cm} + 2 * 19.05 \text{ cm} = 39.73 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (39.73 \text{ cm} - 1.63 \text{ cm}) + 15.63 \text{ tonf} = 58.48 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{58.48 \text{ tonf}}{0.3973 \text{ m}} = 147.21 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D2} = 4 * (D'_{u1} * F_{f2} - D'_{u1} * F_{m2} + D'_{u2} * F_{f1})$$

$$= 4 * (1.63 \text{ cm} * 5.21 \text{ tonf} - 1.63 \text{ cm} * 58.48 \text{ tn} + 39.73 \text{ cm} * 15.63 \text{ tonf})$$

$$= 21.37 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 191.57 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} * D'_{u1} = 15.63 \text{ tonf} - 191.57 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0163 \text{ m} = 12.52 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} * D'_{u2}}{2} = \frac{58.48 \text{ tonf} * 0.39 \text{ m}}{2} = 11.62 \text{ tn.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 * \pi * E_{E2}} = \frac{21.37 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 11.62 \text{ tn.m}} = 15\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 * d_1 = 1.63 \text{ cm} + 2 * 19.05 \text{ cm} = 39.73 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (39.73 \text{ cm} - 1.63 \text{ cm}) + 9.25 \text{ tonf}$$

$$= 34.62 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{36.94 \text{ tonf}}{0.3973 \text{ m}} = 87.16 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D2} = 4 * (D'_{u1} * F_{f2} - D'_{u1} * F_{m2} + D'_{u2} * F_{f1})$$

$$= 4(1.63 \text{ cm} * 3.08 \text{ tonf} - 1.62 \text{ cm} * 34.62 \text{ tonf} + 39.73 \text{ cm} * 9.25 \text{ tonf})$$

$$= 12.65 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 113.44 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} * D'_{u1} = 9.25 \text{ tonf} - 113.44 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.016256 \text{ m} = 7.41 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} * D'_{u2}}{2} = \frac{34.62 \text{ tonf} * 0.39 \text{ m}}{2} = 6.88 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 * \pi * E_{E2}} = \frac{12.65 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 6.88 \text{ tn.m}} = 15\%$$

Fase III de desplazamiento o Régimen 3

El movimiento de esta fase se presenta ante un sismo de gran intensidad donde las placas 2 y 3 llegan al tope de las superficies cóncavas 1 y 4.

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u3} = 2 * d_1 + 2 * d_2 = 2 * 19.05 \text{ cm} + 2 * 1.02 \text{ cm} = 40.14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_{m3} &= \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \\ &= \frac{325.67}{2 * 25.40 \text{ cm}} * (40.14 - 39.73) + \frac{325.67}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (39.73 - 1.63) + 15.63 \\ &= 61.11 \text{ tonf} \end{aligned}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{61.11 \text{ tonf}}{0.3973 \text{ m}} = 153.81 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D3} = 2 * E_{D1} + E_{D2} = 2 * 0.51 \text{ tonf.m} + 21.37 \text{ tonf.m} = 22.39 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} * D'_{u3}}{2} = \frac{61.11 \text{ tonf} * 0.4014 \text{ m}}{2} = 12.26 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{62.39 \text{ tonf} - 19.54 \text{ tn}}{40.13 \text{ cm} - 2.03 \text{ cm}} = 112.47 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} * D'_{u1} = 15.63 \text{ tonf} - 112.47 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.016 \text{ m} = 13.80 \text{ tn}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 * \pi * E_{E3}} = \frac{22.39 \text{ tn.m}}{4 * \pi * 12.26 \text{ tn.m}} = 15\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u3} = 2 * d_1 + 2 * d_2 = 2 * 19.05 \text{ cm} + 2 * 1.02 \text{ cm} = 40.14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned} F_{m3} &= \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \\ &= \frac{192.84}{2 * 25.40 \text{ cm}} * (40.14 - 39.73) + \frac{192.84}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (39.73 - 1.63) + 9.25 \\ &= 36.18 \text{ tonf} \end{aligned}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{34.62 \text{ tn}}{0.3973 \text{ m}} = 91.06 \text{ tn/m}$$

$$E_{D3} = 2 * E_{D1} + E_{D2} = 2 * 0.30 \text{ tonf.m} + 12.65 \text{ tonf.m} = 13.25 \text{ tn.m}$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} * D'_{u3}}{2} = \frac{36.18 \text{ tonf} * 0.4014 \text{ m}}{2} = 7.26 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{34.63 \text{ tonf} - 9.25 \text{ tn}}{39.73 \text{ cm} - 1.63 \text{ cm}} = 66.60 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} * D'_{u1} = 9.25 \text{ tonf} - 66.60 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0163 \text{ m} = 8.17 \text{ tn}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 * \pi * E_{E3}} = \frac{13.25 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 7.26 \text{ tonf.m}} = 15\%$$

ANEXO 33. Cálculo de los regímenes límite superior

Fase I de desplazamiento o Régimen 1

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u1} = 2 * (\mu_1 - \mu_2) * R_{eff2} = 2 * (9.6\% - 3.2\%) * 25.40 \text{ cm} = 3.25 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * D'_{u1} + F_{f2} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 * 25.40 \text{ cm}} * 3.25 \text{ cm} + 10.42 \text{ tonf} = 31.26 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{31.26 \text{ tonf}}{0.0325 \text{ m}} = 961.62 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} * 2 * D'_{u1} = 31.26 \text{ tonf} * 2 * 0.0325 \text{ m} = 2.03 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} * D'_{u1}}{2} = \frac{31.26 \text{ tonf} * 0.0325 \text{ m}}{2} = 0.51 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 * \pi * E_{E1}} = \frac{0.51 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 0.13 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u1} = 2 * (\mu_1 - \mu_2) * R_{eff2} = 2 * (9.6\% - 3.2\%) * 25.40 \text{ cm} = 3.25 \text{ cm}$$

$$F_{m1} = \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * D'_{u1} + F_{f2} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 * 25.40 \text{ cm}} * 3.25 \text{ cm} + 6.17 \text{ tonf} = 18.51 \text{ tonf}$$

$$K_{eff} = \frac{F_{m1}}{D'_{u1}} = \frac{18.51 \text{ tonf}}{0.0325 \text{ m}} = 569.41 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D1} = F_{m1} * 2 * D'_{u1} = 18.51 \text{ tonf} * 2 * 0.0325 \text{ m} = 1.20 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E1} = \frac{F_{m1} * D'_{u1}}{2} = \frac{18.51 \text{ tonf} * 0.0325 \text{ m}}{2} = 0.30 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r1} = \frac{E_{D1}}{4 * \pi * E_{E1}} = \frac{1.20 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 0.30 \text{ tonf.m}} = 32\%$$

Fase II de desplazamiento o Régimen 2

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 * d_1 = 3.25 \text{ cm} + 2 * 19.05 \text{ cm} = 41.35 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{325.67 \text{ tonf}}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (41.35 \text{ cm} - 3.25 \text{ cm}) + 31.26 \text{ tonf} = 74.11 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{74.1 \text{ tonf}}{0.4135 \text{ m}} = 179.23 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D2} = 4 * (D'_{u1} * F_{f2} - D'_{u1} * F_{m2} + D'_{u2} * F_{f1})$$

$$= 4$$

$$* (3.25 \text{ cm} * 10.42 \text{ tonf} - 3.25 \text{ cm} * 74.11 \text{ tonf} + 41.35 \text{ cm} * 31.26 \text{ tonf})$$

$$= 43.43 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{325.67 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 191.57 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} * D'_{u1} = 31.26 \text{ tonf} - 191.57 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0325 \text{ m} = 25.03 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} * D'_{u2}}{2} = \frac{74.11 \text{ tonf} * 0.41 \text{ m}}{2} = 15.32 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 * \pi * E_{E2}} = \frac{43.43 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 15.32 \text{ tn.m}} = 23\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u2} = D'_{u1} + 2 * d_1 = 3.25 \text{ cm} + 2 * 19.05 \text{ cm} = 41.35 \text{ cm}$$

$$F_{m2} = \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1}$$

$$= \frac{192.84 \text{ tonf}}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (41.35 \text{ cm} - 3.25 \text{ cm}) + 18.51 \text{ tonf} = 43.88 \text{ tonf}$$

$$K_{eff2} = \frac{F_{m2}}{D'_{u2}} = \frac{43.88 \text{ tonf}}{0.4135 \text{ m}} = 106.13 \text{ tonf/m}$$

$$\begin{aligned}
E_{D2} &= 4 * (D'_{u1} * F_{f2} - D'_{u1} * F_{m2} + D'_{u2} * F_{f1}) \\
&= 4(3.25 \text{ cm} * 6.17 \text{ tonf} - 3.25 \text{ cm} * 43.88 \text{ tonf} + 41.35 \text{ cm} * 18.51 \text{ tonf}) \\
&= 26.72 \text{ tonf.m}
\end{aligned}$$

$$K_{d2} = \frac{P_u}{R_{eff1} + R_{eff3}} = \frac{192.84 \text{ tonf}}{1.45 \text{ m} + 0.25 \text{ m}} = 113.44 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d2} = F_{f1} - K_{d2} * D'_{u1} = 18.51 \text{ tonf} - 113.44 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0325 \text{ m} = 14.82 \text{ tonf}$$

$$E_{E2} = \frac{F_{m2} * D'_{u2}}{2} = \frac{43.88 \text{ tonf} * 0.41 \text{ m}}{2} = 9.07 \text{ tonf.m}$$

$$\beta_{r2} = \frac{E_{D2}}{4 * \pi * E_{E2}} = \frac{25.72 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 9.72 \text{ tonf.m}} = 23\%$$

Fase III de desplazamiento o Régimen 3

Para los dispositivos tipo I

$$D'_{u3} = 2 * d_1 + 2 * d_2 = 2 * 19.05 \text{ cm} + 2 * 1.02 \text{ cm} = 40.14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
F_{m3} &= \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \\
&= \frac{325.67}{2 * 25.40 \text{ cm}} * (40.14 - 41.35) + \frac{325.67}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (41.35 - 3.25) + 31.26 \\
&= 66.30 \text{ tonf}
\end{aligned}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{66.30 \text{ tonf}}{0.4014 \text{ m}} = 165.17 \text{ tonf/m}$$

$$E_{D3} = 2 * E_{D1} + E_{D2} = 2 * 2.03 \text{ tonf.m} + 43.43 \text{ tonf.m} = 47.49 \text{ tonf.m}$$

$$E_{E3} = \frac{F_{m3} * D'_{u3}}{2} = \frac{66.30 \text{ tonf} * 0.4014 \text{ m}}{2} = 13.31 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{66.30 \text{ tonf} - 31.26 \text{ tn}}{41.35 \text{ cm} - 3.25 \text{ cm}} = 91.96 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} * D'_{u1} = 31.26 \text{ tonf} - 91.96 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0325 \text{ m} = 28.27 \text{ tn}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 * \pi * E_{E3}} = \frac{47.49 \text{ tn.m}}{4 * \pi * 13.31 \text{ tn.m}} = 28\%$$

Para los dispositivos tipo II

$$D'_{u3} = 2 * d_1 + 2 * d_2 = 2 * 19.05 \text{ cm} + 2 * 1.02 \text{ cm} = 40.14 \text{ cm}$$

$$\begin{aligned}
F_{m3} &= \frac{P_u}{2 * R_{eff2}} * (D'_{u3} - D'_{u2}) + \frac{P_u}{2 * R_{eff1}} * (D'_{u2} - D'_{u1}) + F_{f1} \\
&= \frac{192.84}{2 * 25.40 \text{ cm}} * (40.14 - 41.35) + \frac{192.84}{2 * 144.78 \text{ cm}} * (41.35 - 3.25) + 18.51 \\
&= 39.29 \text{ tonf}
\end{aligned}$$

$$K_{eff3} = \frac{F_{m3}}{D'_{u3}} = \frac{39.29 \text{ tonf}}{0.4014 \text{ m}} = 97.88 \text{ tn/m}$$

$$E_{D3} = 2 * E_{D1} + E_{D2} = 2 * 1.20 \text{ tonf.m} + 25.72 \text{ tonf.m} = 28.12 \text{ tonf.m}$$

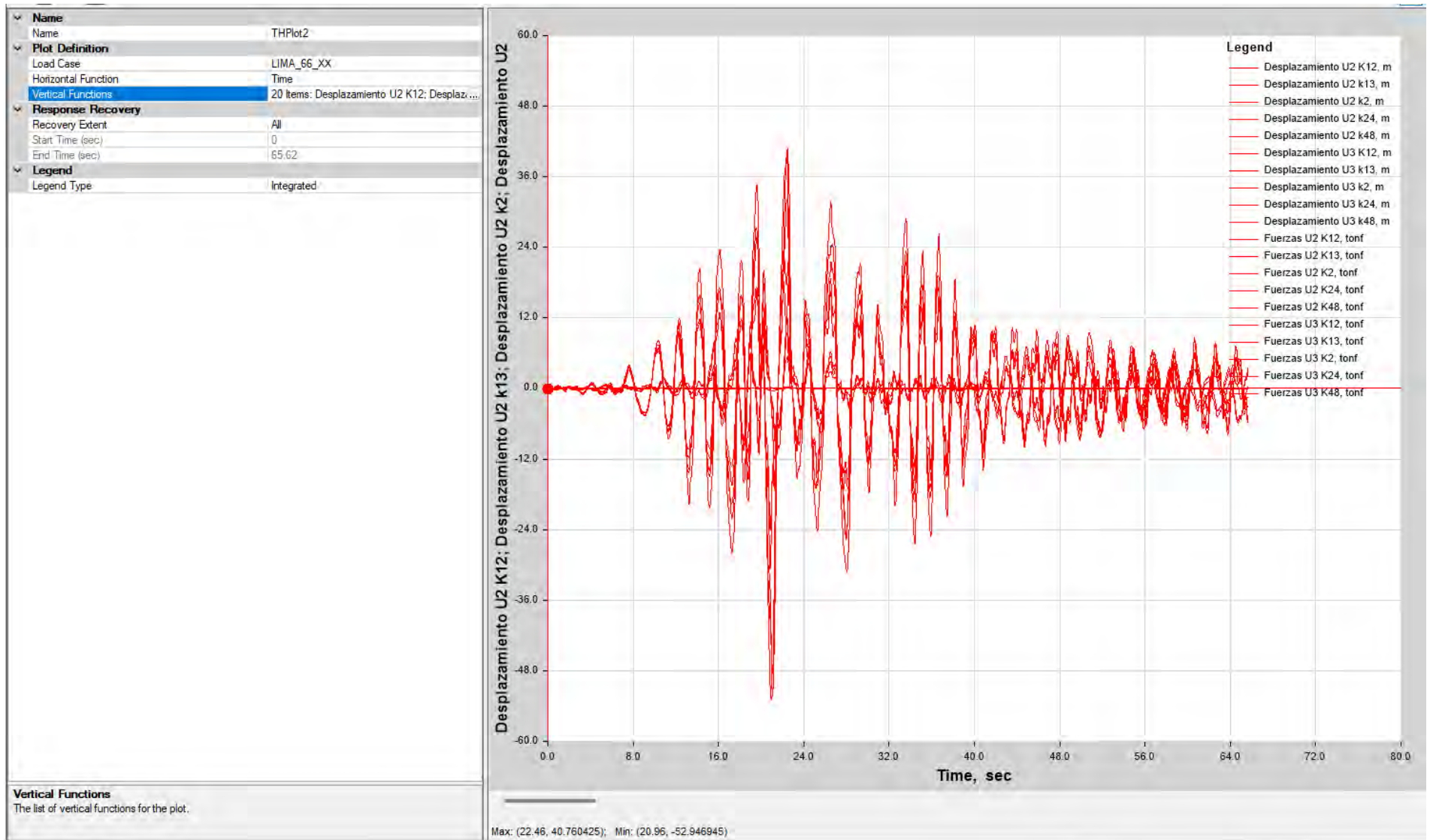
$$E_{E3} = \frac{F_{m3} * D'_{u3}}{2} = \frac{39.29 \text{ tonf} * 0.4014 \text{ m}}{2} = 7.89 \text{ tonf.m}$$

$$K_{d3} = \frac{F_{m2} - F_{f1}}{D'_{u2} - D'_{u1}} = \frac{43.88 \text{ tonf} - 18.51 \text{ tonf}}{41.35 \text{ cm} - 3.25 \text{ cm}} = 66.59 \text{ tonf/m}$$

$$Q_{d3} = F_{f1} - K_{d3} * D'_{u1} = 18.51 \text{ tonf} - 66.60 \frac{\text{tonf}}{\text{m}} * 0.0325 \text{ m} = 16.35 \text{ tn}$$

$$\beta_{r3} = \frac{E_{D3}}{4 * \pi * E_{E3}} = \frac{28.12 \text{ tonf.m}}{4 * \pi * 7.89 \text{ tonf.m}} = 28\%$$

ANEXO 34. Gráfico de fuerzas y desplazamientos para comprobación de regímenes – pr 2475 años



ANEXO 35. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X para pr 474 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA 66 XX	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LIMA 66 XX	0.002	0.005	OK
Story2	D2	LIMA 66 XX	0.003	0.005	OK
Story1	D1	LIMA 66 XX	0.002	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK

ANEXO 36. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y para pr 474 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG.	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA 66 YY	0.002	0.005	OK
Story3	D3	LIMA 66 YY	0.002	0.005	OK
Story2	D2	LIMA 66 YY	0.002	0.005	OK
Story1	D1	LIMA 66 YY	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.28 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.17 m

ANEXO 37. Fuerzas cortantes para pr 474 años

Lima_66				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	846.38	2184.80
Story3	16.26	Top	1621.19	2233.38
Story2	11.84	Top	2110.47	875.85
Story1	7.42	Top	2252.96	2253.53
Pedestal	1.8	Top	2094.77	1671.89
Nivel de Base	3	Top	2093.20	2108.99
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	2097.41	2225.76
Base	0	Top	0	0

Ancash_70				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	595.47	754.28
Story3	16.26	Top	984.70	1286.60
Story2	11.84	Top	1220.20	1587.45
Story1	7.42	Top	1494.33	1934.82
Pedestal	1.8	Top	1757.85	2127.55
Nivel de Base	3	Top	1768.77	2137.30
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1775.04	2145.18
Base	0	Top	0	0

Lima_74				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	1129.14	1186.63
Story3	16.26	Top	2062.93	2135.97
Story2	11.84	Top	2342.85	2552.28
Story1	7.42	Top	2350.15	2343.80
Pedestal	1.8	Top	2225.17	1929.40
Nivel de Base	3	Top	2249.70	1949.55
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	2288.42	1965.02
Base	0	Top	0	0

ANEXO 38. Aceleraciones para pr 474 años

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_66	2.2954	2.3988
Story3	LIMA_66	1.6934	1.7291
Story2	LIMA_66	1.2516	1.1483
Story1	LIMA_66	1.6091	1.7362
Nivel de Base	LIMA_66	1.8269	1.8955

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	ANCASH_70	1.715	2.0679
Story3	ANCASH_70	1.1975	1.5899
Story2	ANCASH_70	1.2342	1.2817
Story1	ANCASH_70	1.0776	1.4866
Nivel de Base	ANCASH_70	1.3968	1.8241

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_74	1.5034	3.3744
Story3	LIMA_74	1.059	2.2485
Story2	LIMA_74	0.9008	1.0229
Story1	LIMA_74	1.0892	2.2515
Nivel de Base	LIMA_74	1.2191	2.9388

ANEXO 39. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X pr 225 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_XX	0.00	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_XX	0.0009	0.005	OK

ANEXO 40. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y pr 225 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_YY	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_YY	0.0009	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.10 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.09 m

ANEXO 41. Fuerzas cortantes para pr 225 años

Lima_66				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	593.52	514.45
Story3	16.26	Top	1015.79	1059.30
Story2	11.84	Top	1247.86	1409.49
Story1	7.42	Top	1377.93	1560.30
Pedestal	1.8	Top	1529.19	1750.44
Nivel de Base	3	Top	1532.78	1741.59
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1550.03	1750.71
Base	0	Top	0	0

Ancash_70				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	504.22	509.83
Story3	16.26	Top	875.98	905.94
Story2	11.84	Top	1153.49	1183.81
Story1	7.42	Top	1283.66	1311.79
Pedestal	1.8	Top	1418.41	1491.37
Nivel de Base	3	Top	1424.74	1496.38
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1420.03	1494.65
Base	0	Top	0	0

Lima_74				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	733.43	678.89
Story3	16.26	Top	1251.88	1228.32
Story2	11.84	Top	1496.13	1530.84
Story1	7.42	Top	1555.56	1573.09
Pedestal	1.8	Top	1712.13	1563.19
Nivel de Base	3	Top	1727.12	1576.54
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1711.60	1567.40
Base	0	Top	0	0

ANEXO 42. Aceleraciones para pr 225 años

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_66	1.624	1.4244
Story3	LIMA_66	1.1833	1.2279
Story2	LIMA_66	0.9874	0.8989
Story1	LIMA_66	1.0694	1.1349
Nivel de Base	LIMA_66	1.3541	1.2432

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	ANCASH_70	1.3606	1.3953
Story3	ANCASH_70	1.0251	1.1202
Story2	ANCASH_70	0.7631	0.908
Story1	ANCASH_70	0.9823	0.9779
Nivel de Base	ANCASH_70	1.0684	1.1735

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_74	1.9553	1.9924
Story3	LIMA_74	1.3637	1.3856
Story2	LIMA_74	1.0237	0.9944
Story1	LIMA_74	1.2973	1.3618
Nivel de Base	LIMA_74	1.5214	1.8982

ANEXO 43. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección X para pr 72 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_XX	0.0007	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_XX	0.001	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_XX	0.0008	0.005	OK

ANEXO 44. Derivas sismo de Lima 1966 en la dirección Y para pr 72 años

Derivas de Piso					
NIVEL	DIAFRAG	Output Case	Deriva	CONTROL - E031 Deriva <E.031	
Story4	D4	LIMA_66_YY	0.0004	0.005	OK
Story3	D3	LIMA_66_YY	0.0006	0.005	OK
Story2	D2	LIMA_66_YY	0.0008	0.005	OK
Story1	D1	LIMA_66_YY	0.0006	0.005	OK
Nivel de aislamiento	DAISLA	LIMA_66_YY	0.0006	0.005	OK

Desplazamiento del aislador en X: 0.09 m

Desplazamiento del aislador en Y: 0.08 m

ANEXO 45. Fuerzas cortantes para pr 72 años

Lima_66				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	365.27	534.51
Story3	16.26	Top	695.05	1008.57
Story2	11.84	Top	948.47	1341.87
Story1	7.42	Top	1184.26	1417.89
Pedestal	1.8	Top	1367.18	1401.45
Nivel de Base	3	Top	1367.48	1412.14
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1364.30	1391.94
Base	0	Top	0	0

Ancash_70				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	350.56	393.60
Story3	16.26	Top	602.81	722.28
Story2	11.84	Top	855.70	941.75
Story1	7.42	Top	1017.64	1076.14
Pedestal	1.8	Top	1225.53	1208.02
Nivel de Base	3	Top	1234.77	1208.89
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1227.98	1223.93
Base	0	Top	0	0

Lima_74				
Nivel	Elevación	Locación	X-Dir	Y-Dir
	m		tonf	tonf
Story4	20.68	Top	430.47	368.38
Story3	16.26	Top	832.25	828.89
Story2	11.84	Top	1003.33	1089.73
Story1	7.42	Top	1215.82	1283.67
Pedestal	1.8	Top	1400.78	1253.54
Nivel de Base	3	Top	1437.42	1292.27
Interfaz de Aislamiento	2.1	Top	1431.40	1268.44
Base	0	Top	0	0

ANEXO 46. Aceleraciones para pr 72 años

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_66	1.2568	1.0124
Story3	LIMA_66	0.8833	0.8967
Story2	LIMA_66	0.7874	0.6835
Story1	LIMA_66	1.0023	1.0358
Nivel de Base	LIMA_66	1.1237	1.0429

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	ANCASH_70	1.1214	1.1543
Story3	ANCASH_70	0.9552	0.9201
Story2	ANCASH_70	0.683	0.7839
Story1	ANCASH_70	0.7789	0.7482
Nivel de Base	ANCASH_70	0.8942	0.9132

Piso	Sismo	Max UX m/s ^s	Max UY m/s ^s
Story4	LIMA_74	1.3853	1.3792
Story3	LIMA_74	1.0291	1.0382
Story2	LIMA_74	0.9521	0.9325
Story1	LIMA_74	1.1023	1.286
Nivel de Base	LIMA_74	1.2561	1.469