

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



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE
UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR CON REFORZAMIENTO SÍSMICO
MEDIANTE TRES TIPOS DE AISLADORES, JULIACA-2023**

TESIS

Presentada por:

Bach. Carlos Gabriel Tipula Yanapa
ORCID: 0000-0002-0147-8829

Asesor:

Mtro. Chaparro Quispe Edgar Hipólito
ORCID: 0000-0003-3709-2247

Para Obtener el Grado Académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA – PERÚ

2024

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



**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE
UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR CON REFORZAMIENTO SÍSMICO
MEDIANTE TRES TIPOS DE AISLADORES, JULIACA-2023**

TESIS

Presentada por:

Bach. Carlos Gabriel Tipula Yanapa
ORCID: 0000-0002-0147-8829

Asesor:

Mtro. Chaparro Quispe Edgar Hipólito
ORCID: 0000-0003-3709-2247

Para Obtener el Grado Académico de:

MAESTRO EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS

TACNA – PERÚ

2024

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

Tesis

“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR CON
REFORZAMIENTO SÍSMICO MEDIANTE TRES TIPOS DE
 AISLADORES, JULIACA-2023”

Presentada por:

Bach. Carlos Gabriel Tipula Yanapa

Tesis sustentada y aprobada el día 02 de mayo del año 2024; ante el jurado examinador:

PRESIDENTE : Mtra. Dina Marlene COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mag. Henry Antonio AGUILAR CHUQUIMIA

VOCAL : Mtro. Wilber Percy MENDOZA RAMÍREZ

ASESOR : Mtro. Edgar Hipólito CHAPARRO QUISPE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Carlos Gabriel Tipula Yanapa en calidad de Maestrando de la Maestría en Ingeniería Civil con Mención en Estructuras de la Escuela de Postgrado de la Universidad Privada de Tacna, identificado con DNI N° 74526302.

Soy autor de la tesis titulada:

“Análisis Comparativo del Comportamiento Estructural de una Edificación Multifamiliar con Reforzamiento Sísmico mediante tres tipos de Aisladores, Juliaca-2023”, con asesor: Mtro. Edgar Hipólito CHAPARRO QUISPE.

DECLARO BAJO JURAMENTO

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

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

Declaro, que después de la revisión de la tesis con el software Turnitin se declara 20 % de similitud, además que el archivo entregado en formato PDF corresponde exactamente al texto digital que presento junto al mismo.

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

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

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

Lugar y fecha: Tacna, 02 de mayo del 2024



Carlos Gabriel Tipula Yanapa

DNI N° 74526302

DEDICATORIA

Dedico la presente tesis a mis padres
Tipula Mullisaca Hilario y Yanapa Condori Nora
por su paciencia, por haberme forjado
disciplinadamente, por ser la motivación
para poder lograr mis metas y por todo el apoyo
que me brindaron a lo largo de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Primeramente, a Dios por el don de la vida, por brindarme fuerzas y apoyo en momentos de necesidad y dificultades.

Agradezco a mis padres: Tipula Mullisaca Hilario y Yanapa Condori Nora, por ser las personas que más influyeron en mi vida en términos de apoyar mis sueños y por confiar en mi y por brindarme buenos consejos, una moral sólida y principios y valores sólidos.

Agradezco A la Universidad Privada de Tacna, por permitirme efectuar la Maestría en Ingeniería Civil con mención en Estructuras.

A mi asesor Mtro. Edgar Hipólito Chaparro Quispe por su orientación y asesoramiento para el desarrollo de la presente Tesis.

INDICE DE CONTENIDOS

CARÁTULA.....	i
PÁGINA DE RESPETO.....	ii
CARÁTULA INTERIOR.....	iii
PÁGINA DE JURADO.....	iv
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD.....	v
DEDICATORIA.....	vii
AGRADECIMIENTO.....	viii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xiii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xvi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
RESUMEN.....	xix
ABSTRACT.....	xx
INTRODUCCIÓN.....	xxi
CAPÍTULO I. EL PROBLEMA.....	1
1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	1
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	3
1.2.1 Interrogante principal.....	3
1.2.2 Interrogantes secundarias.....	3
1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN.....	4
1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	5
1.4.1 Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO	6
2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	6
2.2. BASES TEÓRICAS.....	10
2.2.1. Comportamiento sísmico	10
2.2.2. Comportamientos sísmicos de estructuras aporricadas	10
2.2.3. Análisis estructural sísmico	10

2.2.4.	Análisis estático o de fuerzas equivalentes	11
2.2.5.	Análisis dinámico modal espectral.....	12
2.2.6.	Análisis tiempo historia	13
2.3.	DEFINICIÓN DE CONCEPTOS	14
2.3.1.	Diseño Sismo resistente	14
2.3.2.	Sismo.....	15
2.3.3.	Deriva de entrepiso	15
2.3.4.	Amplitud	15
2.3.5.	Periodo objetivo	15
2.3.6.	Onda.....	15
2.3.7.	Espectro de diseño	16
2.3.8.	Fuerzas sísmicas.....	16
2.3.9.	Fuerza cortante basal.....	16
2.3.10.	Aceleración espectral	16
2.3.11.	Registro de aceleración	16
2.3.12.	Magnitud de los sismos.....	17
2.3.13.	Centro de masa.....	18
2.3.14.	Centro de rigidez.....	18
2.3.15.	Norma E.031 Aislamiento sísmico	18
2.3.16.	Sistema de Protección Sísmica	19
2.3.17.	Reforzamiento estructural	19
2.3.18.	Amortiguamiento	19
2.3.19.	Espectro de respuesta.....	20
2.3.20.	Disipación de energía.....	20
2.3.21.	Aisladores sísmicos.....	20
2.3.22.	Aisladores con núcleo de plomo (LRB).....	24
2.3.23.	Aisladores de péndulo de fricción doble.....	26
2.3.24.	Aisladores de péndulo de fricción triple	28
CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO.....		30
3.1.	HIPÓTESIS.....	30
3.1.1.	Hipótesis general.....	30
3.1.2.	Hipótesis específicas	30
3.2.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	31

3.2.1.	Identificación de la variable independiente.....	31
3.2.1.1.	Indicadores.....	31
3.2.1.2.	Escala para la medición de la variable	31
3.2.2.	Identificación de la variable dependiente.....	31
3.2.2.1.	Indicadores.....	31
3.2.2.2.	Escala para la medición de la variable	32
3.3.	TIPO DE INVESTIGACIÓN	32
3.4.	NIVEL DE INVESTIGACIÓN	32
3.5.	ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN.....	32
3.6.	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	33
3.7.	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	33
3.7.1.	Población.....	33
3.7.2.	Muestra	33
3.8.	PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS	33
3.8.1.	Procedimiento	33
3.8.2.	Técnicas	34
3.8.3.	Instrumentos.....	34
CAPÍTULO IV. RESULTADOS		35
4.1.	DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO	35
4.2.	DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS.....	39
4.2.1.	Modelamiento estructural de la edificación sin aisladores.....	39
4.2.1.1.	Materiales de la edificación:	39
4.2.1.2.	Elementos estructurales:	40
4.2.1.3.	Asignación de cargas	43
4.2.1.4.	Parámetros Sísmicos	44
4.2.1.5.	Análisis Estático:.....	50
4.2.1.6.	Análisis Dinámico Modal Espectral:	52
4.2.1.7.	Análisis Tiempo Historia:	55
4.2.2.	Diseño y Modelamiento con los Aisladores LRB	67
4.2.3.	Diseño y Modelamiento con los Aisladores Péndulo de Fricción Doble..	81
4.2.4.	Diseño y Modelamiento con los Aisladores Péndulo de Fricción Triple..	98
4.3.	RESULTADOS.....	110

4.3.1.	Edificación Sin Aisladores.....	110
4.3.1.1.	Modos y periodos de vibración.....	110
4.3.1.2.	Análisis Estático.....	111
4.3.1.3.	Análisis Dinámico Modal	116
4.3.1.4.	Análisis Tiempo Historia	119
4.3.2.	Edificación Con Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo	123
4.3.2.1.	Modos y periodos de vibración	123
4.3.2.2.	Análisis Estático.....	123
4.3.2.3.	Análisis Dinámico Modal	128
4.3.2.4.	Análisis Tiempo Historia	131
4.3.3.	Edificación Con Aislador de Péndulo de Fricción Doble	134
4.3.3.1.	Modos y periodos de vibración.....	134
4.3.3.2.	Análisis Estático.....	134
4.3.3.3.	Análisis Dinámico Modal	139
4.3.3.4.	Análisis Tiempo Historia	142
4.3.4.	Edificación Con Aislador de Péndulo de Fricción Triple	145
4.3.4.1.	Modos y periodos de vibración	145
4.3.4.2.	Análisis Estático.....	145
4.3.4.3.	Análisis Dinámico Modal	150
4.3.4.4.	Análisis Tiempo Historia	153
4.3.5.	Comparación de resultados	156
4.4.	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS	168
4.5.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	169
	CONCLUSIONES.....	174
	RECOMENDACIONES.....	176
	REFERENCIAS.....	177
	APÉNDICE.....	181

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Aplicación de fuerzas laterales distribuidas	11
Figura 2. Aplicación de fuerzas laterales distribuidas	13
Figura 3. Secuencia del cálculo del análisis tiempo - historia	14
Figura 4. Edificación con y sin aislador.....	21
Figura 5. Aislador de caucho natural	22
Figura 6. Aislador elastomérico	23
Figura 7. Aislador de fricción	24
Figura 8. Aislador LRB.....	25
Figura 9. Aislador – péndulo de fricción simple y doble.....	26
Figura 10. Fuerza lateral superando fuerza de fricción del aislador	27
Figura 11. Aislador de péndulo de fricción triple	29
Figura 12. Planta típica de la estructura de 6 niveles.....	36
Figura 13. Plano arquitectónico de planta del primer nivel de la edificación de 6 niveles	37
Figura 14. Plano arquitectónico planta del segundo al sexto nivel de la edificación de 6 niveles	38
Figura 15. Propiedades del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en el Etabs.....	40
Figura 16. Especificaciones de la Columna 1 en el Software Etabs	40
Figura 17. Especificaciones de la Columna 2 en el Software Etabs	41
Figura 18. Especificaciones de la Viga P1 en el Software Etabs.....	41
Figura 19. Especificaciones de la Viga P2 en el Software Etabs.....	42
Figura 20. Especificaciones de la losa aligerada de 20 cm en el Etabs.....	42
Figura 21. Modelamiento de la edificación sin aisladores.....	49
Figura 22. Modos de vibración de la edificación sin ningún Aislador	49
Figura 23. Pesos de cada nivel en tonf.....	50
Figura 24. Inserción de fuerzas laterales en el eje X en el Software Etabs.....	51
Figura 25. Inserción de fuerzas laterales en el eje Y en el Software Etabs.....	52
Figura 26. Espectro de Pseudo – Aceleración en el eje X	53
Figura 27. Espectro de Pseudo – Aceleración en el eje Y	54
Figura 28. Espectro de pseudo-aceleraciones en el Etabs.....	54
Figura 29. Registro de Sismo en La Libertad del 03/02/2022	55
Figura 30. Registro de Sismo en Lambayeque del 30/07/2021	55
Figura 31. Registro de Sismo en Piura del 18/03/2023.....	56
Figura 32. Inserción del registro sísmico de Piura en E-O en el Software SeismoSignal.	56
Figura 33. Corrección del sismo Piura en E-O en el Software Seismosignal	57
Figura 34. Inserción del registro sísmico de Piura en N-S en el Software SeismoSignal.....	57
Figura 35. Corrección del sismo Piura en N-S en el Software Seismosignal	58
Figura 36. Espectro de diseño con $R=1$	60
Figura 37. Escalamiento de acelerogramas al Espectro de diseño.....	61
Figura 38. Definición de la Función Tiempo – Historia.	62
Figura 39. Inserción de registros acelerométricos en el Etabs	62

Figura 40. Inserción del nombre del sismo en el Etabs.....	63
Figura 41. Búsqueda de acelerogramas con la opción “Browse” en el Etabs.....	63
Figura 42. Inserción de los registros acelerometricos del Sismo La Libertad	64
Figura 43. Inserción de los registros acelerometricos del Sismo Lambayeque	64
Figura 44. Inserción de los registros acelerometricos del Sismo Piura.....	65
Figura 45. Creación de casos de carga para el Sismo La Libertad	65
Figura 46. Creación de casos de carga para el Sismo Lambayeque.....	66
Figura 47. Creación de casos de carga para el Sismo Piura.....	66
Figura 48. Masa por piso de la edificación.	67
Figura 49. Factor de amortiguamiento.	68
Figura 50. Carga última Axial extraída del Software Etabs.....	71
Figura 49. Peso de servicio obtenido del Software Etabs.	73
Figura 52. Paso 01 del modelamiento del aislador LRB.....	78
Figura 53. Paso 02 del modelamiento del aislador LRB.....	78
Figura 54. Paso 03 del modelamiento del aislador LRB.....	79
Figura 55. Paso 04 del modelamiento del aislador LRB.....	79
Figura 56. Paso 05 del modelamiento del aislador LRB.....	80
Figura 57. Paso 06 del modelamiento del aislador LRB.....	80
Figura 58. Edificación modelada con aisladores LRB.....	81
Figura 59. Masa por piso de la edificación.	81
Figura 60. Factor de amortiguamiento.	83
Figura 61. Carga última Axial con la primera combinación - Etabs.....	84
Figura 62. Carga última Axial con la segunda combinación - Etabs	85
Figura 63. Sección transversal de Aislador de Péndulo Friccional Doble	87
Figura 64. Régimen II del aislador de péndulo friccional doble	91
Figura 65. Paso 01 del modelamiento del aislador PFD	94
Figura 66. Paso 02 del modelamiento del aislador PFD	94
Figura 67. Paso 03 del modelamiento del aislador PFD	95
Figura 68. Paso 04 del modelamiento del aislador PFD	95
Figura 69. Paso 05 del modelamiento del aislador PFD	96
Figura 70. Paso 06 del modelamiento del aislador PFD	97
Figura 71. Edificación modelada con aisladores PFD	97
Figura 72. Masa por piso de la edificación.	98
Figura 73. Factor de amortiguamiento.	99
Figura 74. Geometría del aislador FPT8833/12-12/8-5	103
Figura 75. Paso 01 del modelamiento del aislador PFT.....	105
Figura 76. Paso 02 del modelamiento del aislador PFT.....	105
Figura 77. Paso 03 del modelamiento del aislador PFT.....	106
Figura 78. Paso 04 del modelamiento del aislador PFD	107
Figura 79. Paso 05 del modelamiento del aislador PFT.....	107
Figura 80. Paso 06 del modelamiento del aislador PFT.....	108
Figura 81. Edificación modelada con aisladores PFT.....	109
Figura 82. Periodos y frecuencias de la edificación sin aislamiento sísmico.	110
Figura 83. Modos y periodos de la edificación sin aislamiento sísmico.....	111

Figura 84. Derivas de entrepiso en dirección X sin aisladores sísmicos.....	112
Figura 85. Gráfico de deriva máxima en el Eje X sin aisladores sísmicos.	112
Figura 86. Derivas de entrepiso en dirección Y sin aisladores sísmicos.....	113
Figura 87. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y sin aisladores sísmicos.	113
Figura 88. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X sin aisladores sísmicos	114
Figura 89. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y sin aisladores sísmicos	115
Figura 90. Distribución de fuerzas cortantes en el eje X sin aisladores sísmicos	115
Figura 91. Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y sin aisladores sísmicos	116
Figura 92. Derivas de entrepiso en dirección X sin aisladores sísmicos.....	116
Figura 93. Gráfico de deriva máxima en el Eje X sin aisladores sísmicos.	117
Figura 94. Derivas de entrepiso en dirección Y sin aisladores sísmicos.....	117
Figura 95. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y sin aisladores sísmicos.	118
Figura 96. Resultado gráfico del Sismo La Libertad, sin aisladores sísmicos	119
Figura 97. Resultado gráfico del Sismo La Lambayeque, sin aisladores sísmicos	119
Figura 98. Resultado gráfico del Sismo Piura, sin aisladores sísmicos	120
Figura 99. Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Sin aisladores	120
Figura 100. Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Sin aisladores.....	121
Figura 101. Derivas del análisis TH del sismo Piura – Sin aisladores.....	122
Figura 102. Periodos y frecuencias de la edificación con aislador LRB.....	123
Figura 103. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador LRB.....	124
Figura 104. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador LRB.	124
Figura 105. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador LRB.....	124
Figura 106. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador LRB.	125
Figura 107. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador LRB	126
Figura 108. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador LRB	127
Figura 109. Distribución de fuerzas cortantes en el eje X con el Aislador LRB	127
Figura 110. Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y con el Aislador LRB	128
Figura 111. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador LRB.....	128
Figura 112. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador LRB	129
Figura 113. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador LRB.....	129
Figura 114. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador LRB	130
Figura 115. Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador LRB	131
Figura 116. Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador LRB	131
Figura 117. Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador LRB	132
Figura 118. Periodos y frecuencias de la edificación con aislador PFD	134
Figura 119. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFD	135
Figura 120. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador PFD.....	135
Figura 121. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFD	136
Figura 122. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador PFD.....	136
Figura 121. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador PFD.....	137
Figura 124. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador PFD.....	138
Figura 125. Distribución de fuerzas cortantes en el eje X con el Aislador PFD.....	138
Figura 126. Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y con el Aislador PFD.....	139
Figura 127. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFD	139

Figura 128. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador PFD	140
Figura 129. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFD	140
Figura 130. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador PFD	141
Figura 131. Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFD.....	142
Figura 132. Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFD.....	143
Figura 133. Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFD.....	144
Figura 134. Periodos y frecuencias de la edificación con aislador PFT	145
Figura 135. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFT.....	146
Figura 136. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador PFT.	146
Figura 137. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFT.....	147
Figura 138. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador PFT.	147
Figura 139. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador PFT	148
Figura 140. Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador PFT	149
Figura 141. Distribución de fuerzas cortante en el eje X con aislador PFT.....	149
Figura 142. Distribución de fuerzas cortante en el eje Y con aislador PFT.....	150
Figura 143. Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFT.....	150
Figura 144. Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador PFT	151
Figura 145. Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFT.....	151
Figura 146. Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador PFT	152
Figura 147. Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFT	153
Figura 148. Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFT	154
Figura 149. Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFT	155

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Escala de Richter	17
Tabla 2 Factores de zonificación	45
Tabla 3 Factor de Suelo	45
Tabla 4 Factores TL y Tp.....	46
Tabla 5 Sistema estructural y coeficiente de reducción básico.....	46
Tabla 6 Verificación de irregularidades en altura	48
Tabla 7 Verificación de irregularidades en planta	48
Tabla 8 Fuerzas laterales en cada piso en el eje X.....	51
Tabla 9 Fuerzas laterales en cada piso en el eje Y	51
Tabla 10 Espectro de diseño en el eje X y eje Y.....	52
Tabla 11 Valores para hallar el Espectro de diseño	59
Tabla 12 Valores del Espectro de diseño con R=1	59
Tabla 13 Periodo mínimo y máximo para escalar los acelerogramas	61
Tabla 14 Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.	67
Tabla 15 Carga última Axial extraída del Software Etabs	71
Tabla 16 Propiedades histeréticas del fabricante de aislador LRB	72
Tabla 17 Peso de servicio obtenido del Software Etabs.	74
Tabla 18 Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del aislador.	77
Tabla 19 propiedades del aislador LRB a insertar al Software Etabs.	77
Tabla 20 Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.	82
Tabla 21 Carga última Axial con la primera combinación - Etabs	84
Tabla 22 Carga última Axial con la segunda combinación - Etabs	86
Tabla 23 Lista de diámetros de radio de curvatura y de la superficie.....	88
Tabla 24 Coeficientes de fricción recomendados por su uso.....	89
Tabla 25 Propiedades de rigidez a corte del aislador de péndulo de fricción doble.	90
Tabla 26 Propiedades del régimen I.....	91
Tabla 27 Propiedades del régimen II	92
Tabla 28 Propiedades dinámicas del aislador de péndulo de fricción doble.....	92
Tabla 28 Coeficientes de amortiguamiento del aislador de doble péndulo de fricción. ...	93
Tabla 30 Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.	98
Tabla 31 Calculo del peso sísmico de la edificación – tabla extraída del Etabs	101
Tabla 32 Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y sin aisladores.	114
Tabla 33 Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y sin aisladores.....	118
Tabla 34 Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Sin aisladores sísmicos.....	121
Tabla 35 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Sin aisladores sísmicos.....	122
Tabla 36 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Sin aisladores sísmicos	122
Tabla 37 Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador LRB.....	126
Tabla 38 Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador LRB	130
Tabla 39 Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador LRB	131
Tabla 40 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador LRB	132
Tabla 41 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador LRB	133

Tabla 37 Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador PFD	137
Tabla 43 Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador PFD	141
Tabla 44 Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFD	142
Tabla 45 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFD	143
Tabla 46 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFD	144
Tabla 47 Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador PFT.	148
Tabla 48 Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador PFT	152
Tabla 49 Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFT	153
Tabla 50 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFT	154
Tabla 51 Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFT	155
Tabla 52 Resultados de derivas estáticas sin aislador y con aislador LRB – Eje X.....	156
Tabla 53 Resultados de derivas estáticas con aislador PFD y PFT – Eje X	156
Tabla 54 Resultados de derivas estáticas sin aislador y con aislador LRB – Eje Y.....	157
Tabla 55 Resultados de derivas estáticas con aislador PFD y PFT – Eje Y	157
Tabla 56 Resultados de derivas dinámicas sin aislador y con aislador LRB – Eje X.....	158
Tabla 57 Resultados de derivas dinámicas con aislador PFD y PFT – Eje X.....	158
Tabla 58 Resultados de derivas dinámicas sin aislador y con aislador LRB – Eje Y	159
Tabla 59 Resultados de derivas dinámicas con aislador PFD y PFT – Eje Y	159
Tabla 60 Derivas en el Sismo La Libertad sin aislador y con aislador LRB – Eje X	160
Tabla 61 Derivas en el Sismo La Libertad TH con aislador PFD y PFT – Eje X.....	160
Tabla 62 Derivas en el Sismo La Libertad sin aislador y con aislador LRB – Eje Y	161
Tabla 63 Derivas en el Sismo La Libertad TH con aislador PFD y PFT – Eje Y.....	161
Tabla 64 Derivas en el Sismo Lambayeque sin aislador y con aislador LRB – Eje X ...	162
Tabla 65 Derivas en el Sismo Lambayeque TH con aislador PFD y PFT – Eje X.....	162
Tabla 66 Derivas en el Sismo Lambayeque sin aislador y con aislador LRB – Eje Y ...	163
Tabla 67 Derivas en el Sismo Lambayeque TH con aislador PFD y PFT – Eje Y	163
Tabla 68 Derivas en el Sismo Piura sin aislador y con aislador LRB – Eje X	164
Tabla 69 Derivas en el Sismo Piura TH con aislador PFD y PFT – Eje X	164
Tabla 70 Derivas en el Sismo Piura sin aislador y con aislador LRB – Eje Y	165
Tabla 71 Derivas en el Sismo Piura TH con aislador PFD y PFT – Eje Y	165
Tabla 72 Comparación de periodos de vibración con y sin aisladores.	166
Tabla 75 Comparación de Fuerzas sísmicas sin y con aisladores LRB.	167
Tabla 76 Comparación de Fuerzas sísmicas con aisladores PFD y PFT.	167

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 01. Matriz de consistencia

Anexo 02. Matriz de operacionalización de variables

RESUMEN

La presente tesis tiene por objetivo realizar el análisis comparativo de cuatro situaciones de comportamiento sísmico de una edificación de seis niveles, los cuales son el diseño convencional basado en la Norma E030 y los otros tres con los Aisladores LRB, PFD y PFT; la Edificación Analizada se encuentra en la Ciudad de Juliaca en una zona 3, se siguieron los siguientes pasos: Primero se realizó el análisis estructural convencional de la edificación, como segundo paso se realizó el diseño del Aislador LRB y su modelamiento, como tercer paso se realizó el diseño del Aislador PFD y su modelamiento, como cuarto paso se realizó el diseño del Aislador PFT y su modelamiento y como quinto paso se realizó el Análisis comparativo de la edificación sin Aisladores y con los Aisladores mencionados aplicando los análisis aplicando los análisis estático, dinámico modal espectral y el análisis tiempo historia, para poder realizar los diseños de los Aisladores se aplicó los lineamientos de la Norma E031 Aisladores Sísmicos, la Norma ASCE/SEI 7-16, los resultados nos dieron a conocer que el comportamiento es mejor con los Aisladores, se obtuvo una reducción de derivas con el análisis estático alcanzando un 93.75% con el Aislador LRB, 92.65% con el Aislador PFD y 92.95 % con el Aislador PFT, en dónde se concluye que el Aislador LRB es el que tuvo mejor comportamiento sísmico y también tuvo mayor reducción de fuerzas sísmicas, siendo este la mejor alternativa para la Edificación de estudio.

Palabras clave: Aisladores Elastoméricos, Aisladores Friccionantes, Derivas de entrepiso, Comportamiento Sísmico.

ABSTRACT

The objective of this thesis is to perform a comparative analysis of four situations of seismic behavior of a six-story building, which are the conventional design based on the E030 Standard and the other three with the LRB, PFD and PFT Isolators; the analyzed building is located in the city of Juliaca in zone 3, the following steps were followed: First the conventional structural analysis of the building was performed, as a second step the design of the LRB Isolator and its modeling was performed, as a third step the design of the PFD Isolator and its modeling was performed, as a fourth step the design of the PFT Isolator and its modeling was performed and as a fifth step the comparative analysis of the building without Isolators and with the mentioned Isolators was performed applying the analyses applying the static, In order to design the isolators, the guidelines of Standard E031 Seismic Isolators, the ASCE/SEI 7-16 Standard were applied, the results showed that the behavior is better with the isolators, a reduction of drifts was obtained with the static analysis reaching a 93.75% with the LRB Isolator, 92.65% with the PFD Isolator and 92.95% with the PFT Isolator, where it is concluded that the LRB Isolator is the one that had the best seismic behavior and also had a greater reduction of seismic forces, being this the best alternative for the building under study.

Keywords: Elastomeric Insulators, Friction Insulators, Mezzanine Drifts, Seismic Behavior.

INTRODUCCIÓN

En zonas geográficas propensas a la actividad sísmica, la seguridad y la resiliencia de las edificaciones son aspectos fundamentales para garantizar la protección de vidas humanas y minimizar los daños materiales, nuestro país se ubica en una zona sísmicamente activa, lo que hace que el estudio y la implementación de técnicas de reforzamiento estructural sean de crucial importancia. En este contexto, el presente trabajo se centra en un análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación multifamiliar, abordando específicamente la eficacia de tres variedades de aisladores sísmicos en la mejora de su respuesta ante sismos.

Se espera que este estudio proporcione información valiosa sobre la efectividad de los diferentes tipos de aisladores sísmicos en Edificaciones, los resultados podrían tener implicaciones significativas para futuros proyectos de construcción en zonas sísmicas similares, al ofrecer orientación sobre la selección y aplicación de técnicas de refuerzo sísmico adecuadas. Con la creciente necesidad de mejorar la resiliencia de las edificaciones ante desastres naturales, esta investigación contribuye al avance del conocimiento en ingeniería sísmica y al desarrollo de estructuras más seguras y confiables.

Actualmente se pueden identificar diversos tipos de aisladores de base, en dónde entre los más principales tenemos los Aisladores Elastoméricos, Aisladores Friccionantes de Péndulo Simple, Doble y Triple, Aisladores Deslizantes entre otros.

La presente Tesis se enfoca específicamente en la respuesta comparativa de los Aisladores con Núcleo de Plomo (LRB), Aislador de Péndulo de Fricción Doble (PFD) y Aislador de Péndulo de Fricción Triple (PFT) y la presente investigación se encuentra estructurado en 5 capítulos: 1) El Problema, 2) Marco Teórico, 3) Marco Metodológico, 4) Resultados y en la parte final las Conclusiones y Recomendaciones.

Dónde en la Primera parte que es el planteamiento del problema en dónde se da a conocer la importancia de tener protección sísmica en nuestra edificación, y una

alternativa para que nuestra edificación tenga un mejor comportamiento es la aplicación de los Aisladores de base y se plantea el problema general y específicos , seguidamente se tienen las justificaciones, y luego se plantearon los objetivos de la investigación, seguidamente se tiene el Capítulo 2, en dónde en la primera parte se mencionan los antecedentes a nivel Nacional y Antecedentes a nivel Internacional referidos a los Aisladores de base y su importancia y aplicación, luego se tiene las bases teóricas y definición de conceptos referidas al análisis comparativo de los tres tipos de Aisladores que son el Aislador LRB, PFD y PFT y los análisis que se realizaron que fueron el análisis estático, análisis dinámico modal espectral y el análisis tiempo historia, después en el Capítulo 3, se presenta la hipótesis, variables, tipo, nivel de investigación, así como también la Población y Muestra, el procedimiento y las técnicas e instrumentos a usar para poder efectuar adecuadamente la presente investigación, en el Cuarto Capítulo se presenta la descripción del trabajo de campo, el diseño de la presentación de resultados, luego se muestran los resultados obtenidos con cada diseño de cada aislador, seguidamente se realizó una comparación de resultados, como también se realizó las discusiones de resultados y finalmente en la quinta y última parte se muestran las conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO I. EL PROBLEMA

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Los sismos que ocurrieron anteriormente en nuestro país, nos mostraron sucesos de grandes sismos destructivos que se dieron desde el pasado siglo, lo cual originó inmensas pérdidas humanas y pérdida material, en lo cual se busca aplicar tecnologías nuevas para poder evitar que ocurran estas pérdidas, como el del uso de aisladores en edificaciones, la parte sur del Perú, se encuentra localizada sobre el cinturón del pacífico, el cual está ubicado entre las placas de nazca y la sudamericana, el cual es vulnerable a los eventos sísmicos de magnitud baja y alta. (Arcaya Pancca, 2020)

EL territorio peruano es muy vulnerable a que pueda sufrir fenómenos naturales como desplazamientos de tierra o sismos, a pesar de esto, la autoconstrucción es una práctica muy continua, lo cual trae por consecuencia que la población que la practique esté dentro de un sector de muy alto riesgo. (Espinoza & LLamocca, 2019)

Según estima el Ministerio de Vivienda, casi el 70% de las edificaciones de todo el Perú son informales, lo cual indica que son construidas por el dueño de vivienda y la ayuda de un maestro de obra, por tal razón la edificación en la mayoría de veces presenta deficiencias, y como resultado se tiene edificaciones muy vulnerables a sismos. (Kuroiwa, 2016)

Los sismos severos. son grandes eventos naturales de liberación de energía que fue acumulada dentro de la tierra, la finalidad del aislamiento sísmico es que el movimiento del sismo sea absorbido por estos dispositivos de aislación sísmicas, y su principal característica es que su rigidez sea baja, se busca que la edificación sea resiliente, esto quiere decir que la edificación no sufra daños estructurales y que se mantenga operativa o en el caso más crítico que sea mínimamente el daño que sufra, para que con un monto menor de dinero recuperar la estabilidad de la vivienda. (Vidaurre, 2021)

La primera edificación en aplicar en el Perú los aisladores sísmicos fue la Universidad Nacional de Ingeniería – Lima, el cual está formado por 20 dispositivos de aislación sísmica, los cuales tienen la finalidad de disipar las cargas sísmicas y cumple con lo establecido en las normas E.030 Y E.031 del Reglamento Nacional de edificaciones. (Agencia Nacional de Noticias, 2012)

La protección de una edificación mediante aisladores en las edificaciones es fundamental para el comportamiento de las estructuras, sobre todo en países en desarrollo, el aislamiento de edificios implica añadir una capa flexible entre el suelo y la estructura para disminuir las fuerzas causadas por los movimientos sísmicos. (Korswagen et al., 2012)

La técnica de aislamiento sísmico en la base consiste en separar la estructura del edificio de los movimientos horizontales del suelo, mediante la inserción de elementos de baja rigidez horizontal entre la base y la estructura. Esto permite suavizar la respuesta ante los temblores, logrando una frecuencia fundamental inferior a la de una base rígida convencional.(Arcaya Pancca, 2020)

Los dispositivos de aislamiento sísmico son herramientas de seguridad implementadas en construcciones con el propósito de optimizar la reacción de la estructura durante terremotos. Estos dispositivos incrementan los intervalos temporales y ofrecen capacidad de absorción y disipación de energía. En naciones como Estados Unidos y Japón, se emplean con regularidad estos dispositivos en edificios, con el fin de prevenir deterioros en la integridad estructural. (Herrera, 2018)

1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1 Interrogante principal

¿Qué tipo de aislador entre núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional genera un mejor comportamiento estructural sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023?

1.2.2 Interrogantes secundarias

- ¿Cómo será el análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?
- ¿Cómo será el análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?
- ¿Cómo será el análisis tiempo – historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?

1.3 JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

Desde el punto de vista práctico, en la investigación presente se examinará la importancia de implementar reforzamientos en edificaciones, como el aislador con núcleo de plomo, el aislador de doble péndulo friccional y el aislador de triple péndulo friccional en edificaciones de aparcadas de concreto armado que albergan un amplia multitud de individuos, de tal forma salvaguardar las vidas de los ocupantes en caso de un movimiento sísmico repentino. Desde una perspectiva práctica, se analizará y demostrará la relevancia de dichos refuerzos que en la tesis presente son los tres tipos de Aisladores.

Desde el punto de vista teórico, el presente estudio se realizará con la finalidad de generar una contribución de conocimiento en relación con la técnica de aislamiento sísmico en estructuras de edificios con sistemas de concreto armado, permitiéndonos comprender cómo estos elementos contribuyen en la disipación de energía durante un evento sísmico.

En términos metodológicos, la elaboración de aisladores y la ejecución de evaluaciones sísmicas mediante el uso del programa Etabs, posibilitarán confirmar el cumplimiento de las directrices establecidas en las normativas E.030, E.031 y ASCE 7-16, con el propósito de compartir la técnica empleada.

Desde el punto de vista social, se desarrollará con la finalidad informar a aquellos individuos interesados en fortalecer sus edificaciones, con el fin de evitar la necesidad de demoler dichas construcciones. De esta forma, se les proporcionarán múltiples alternativas para aplicar mejoras estructurales en sus hogares, asegurando tanto su seguridad personal como la preservación de la infraestructura con daños reducidos.

1.4 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1 Objetivo general

Evaluar y comparar los comportamientos estructurales entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023

1.4.2 Objetivos específicos

- Efectuar el análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.
- Efectuar el análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.
- Efectuar el análisis tiempo - historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.

CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

Se buscó varias investigaciones previas relacionadas a Aisladores, con el fin de lograr el avance que se pretende en la presente investigación, por lo cual en el ámbito internacional tenemos a:

Aguiar et al. (2014), en el presente artículo académico muestran el marco teórico respecto a como diseñar los aisladores de Péndulo Friccional de generación 1 y 2, y también sobre los aisladores sísmicos con núcleo de plomo, entonces analizaron asientos de apoyo de Simple Péndulo friccional y apoyo elastomérico, como metodología utilizaron el programa Matlab y como conclusiones indican que los aisladores sísmicos con Simple Péndulo friccional y elastoméricos son una opción eficiente en estructuras situadas en zona con alta peligrosidad sísmica.

Villavicencio (2015), la presente tesis de maestría en estructuras consideró como objetivo realizar la comparación técnica entre los aisladores de fricción y elastoméricos en suelos diferentes, como metodología aplicó dos aisladores los cuales son el Aislador Simple Péndulo friccional y el Aislador elastoméricos con núcleo de plomo, el análisis estructural se realizó en dos edificaciones de diez niveles, simétricos en planta y elevación, el primero aporticado y el segundo con muros de corte, como resultados se tuvo que en la edificación aporticada con el aislador con núcleo de plomo se obtuvo una reducción máxima del 62.58 % y con el aislador péndulo de fricción hubo una reducción de 58.98 % y en el edificio con muro de corte se obtuvo una reducción máxima de 66.22 %, y con el aislador péndulo de fricción hubo una reducción de 50.83 %, el que mejor respuesta presenta ante eventos sísmicos es el aislador LRB, tanto para edificaciones con muros de corte como aporticados.

Reveco & Silva (2015), la presente tesis consideró como objetivo analizar las ventajas técnicas que brinda el uso de la aislación sísmica basal elastomérico en una edificación de 13 niveles, como metodología utilizó el uso de aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB) en la base, estos fueron diseñados de acuerdo a normas constitutivas, para la realizar la comparación se consideró usar el análisis modal y un

análisis dinámico tiempo historia, en los resultados se tiene que se logró reducir un 52.45 % de los desplazamientos de entrepiso en la estructura con aislador con núcleo de plomo respecto a la convencional, y en el corte por piso se logró una reducción del 70.45 %, lo que indica las ventajas estructurales al usar el aislador LRB, finalmente en los resultados del análisis tiempo historia del terremoto de Antofagasta de 1995 se tuvo una reducción del 93 % en desplazamientos y 87.5 % de aceleraciones por nivel.

Merino (2019), su tesis planteó como propósito realizar el análisis de cómo las estructuras responden en diferentes situaciones, que en esta tesis, las situaciones fueron de una edificación convencional frente a una con reforzamiento de aislador sísmico con núcleo de plomo, como metodología utilizó el análisis estático y dinámico de modo espectral en una edificación de siete niveles con 3 sótanos usando la norma Ecuatoriana de Construcción NEC – 15, usando un aislador en donde las dimensiones se obtuvo usando las cargas mínimas y máximas de acuerdo a las recomendaciones de la normas, en los resultados se tuvo que se redujeron las distorsiones de entrepiso máximas en el eje X se redujeron de 0.0131 a 0.0109 y en el eje Y de 0.0131 a 0.0124, en conclusión indica que la estructura con aislador con núcleo de plomo LRB garantiza un mejor comportamiento de la edificación porque disminuye daños estructurales y no estructurales.

Chiriboga (2013), quien en su investigación plantea por objetivo es llevar a cabo el análisis y diseño de un edificio, tanto con aisladores sísmicos como sin ellos en el Edificio Bloque de Hospitalización “D” DEL Hospital Provincial de Ambato, usó como metodología los análisis estático y dinámico y los aisladores que empleó fueron los elastoméricos y de péndulo friccional, según los resultados, se destaca que el sistema de aisladores mixtos, combinando los aisladores HDR y LRB, fue el que ofreció el mejor rendimiento. Esta combinación logró niveles significativos de protección sísmica tanto para la estructura del edificio como para los elementos no estructurales y respecto a la parte económica el costo es bastante competitivo, y mejorando estos diseños a largo plazo podría disminuir los costos, y concluyen que los aisladores sísmicos en la base mejoran el comportamiento estructural de la edificación.

En los antecedentes nacionales se tiene los siguientes:

Angulo & Escobedo (2020), el propósito que tuvieron fue llevar a cabo el análisis sísmico del edificio SKY UP empleando tanto disipadores como aisladores. Para lograrlo, adoptaron un enfoque metodológico que incluyó análisis estáticos, así como análisis dinámicos en los modos espectrales y tiempo historia. Este proceso permitió establecer una comparación entre los resultados obtenidos con y sin el reforzamiento. Los resultados de los análisis efectuados en la estructura con el reforzamiento de aisladores evidenciaron una reducción del desplazamiento máximo del edificio en un 53.29 % en comparación con la situación sin reforzamiento.

Maquera (2019), consideró como propósito el realizar el comportamiento sísmico del Hospital ubicado en Tacna y se denomina “Hipólito Unanue”, en dónde en el análisis consideró a la estructura sin aisladores y con aisladores de Péndulo de Fricción Triple, como metodología empleó el análisis de modo espectral y el análisis tiempo historia, y como resultados obtuvieron que entre los resultados máximos de la Edificación sin reforzamiento respecto a las derivas fueron de 0.0054 y 0.0082 en los ejes X y Y respectivamente y aplicando el Aislador Péndulo Friccional Triple estos bajaron a 0.0005 y a 0.0006 lo que nos indica una reducción de derivas del 90.74% y de 92.68 % en los ejes X y Y respectivamente en las distorsiones de entrepiso, los cuales cumplen con la Norma E030 y concluyó que la Edificación que muestra un mejor comportamiento estructural fue con el Aislador Péndulo Friccional Triple.

Vidaurre (2021), consideró como objetivo realizar el análisis sísmico de una edificación de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos en Lince – Lima, como metodología utilizaron los análisis estático, dinámico y tiempo historia usando dos tipos de aisladores que son los de núcleo de plomo y doble péndulo friccional, como resultado indica que con los aisladores de núcleo de plomo se obtuvo una reducción de derivas del 50.16 % y con la de doble péndulo friccional obtuvo una reducción de 37.67 %, habiendo una variación de 12.54 % entre estos dos tipos de aislador y llegando a la conclusión que con el aislador de núcleo de plomo se obtuvo una mejor reducción.

E. Garcia (2021), consideró como objetivo hallar la respuesta sísmica de una edificación multifamiliar aplicando aisladores elastoméricos, como metodología empezó a realizar el modelamiento convencional con base fija y seguidamente utilizó dos tipos de aisladores elastoméricos que fueron los aisladores elastoméricos de núcleo de plomo (LRB) y de alto amortiguamiento (HDR), como resultado indica que ambos aisladores reducen en gran medida el porcentaje de derivas, en derivas se redujo un 86 % y respecto a la cortante basal se tuvo una reducción del 82%, concluye que con un reforzamiento de aisladores se disminuye en gran medida las derivas generando así que en la edificación el daño sea menor.

Ruiz (2017), en su tesis planteó como objetivo obtener la respuesta sísmica y el análisis estructural en edificios con aisladores sísmicos de un edificio hospitalario de cuatro niveles, la metodología usada fue realizar el análisis de fuerzas equivalentes, análisis dinámico espectral y tiempo historia no lineal, aplicando la norma ASCE 7-10 y FEMA 750, según el análisis de fuerzas equivalentes, la deriva máxima de entrepiso del edificio con aislador de péndulo de fricción doble en el análisis dinámico modal fue de 1.6 % y en el análisis tiempo historia no lineal fue de 2.4 %, y respecto al aislador de péndulo de fricción triple se obtuvo que en el análisis dinámico modal fue de 1.6 % y en el de tiempo historia no lineal fue de 2.0 %, según estos resultados ambas edificaciones cumplen con los requisitos de funcionalidad continua, respecto a los valores de la reducción de fuerza cortante en la del aislador de fricción doble fue de 9.9 % y en la de fricción triple fue de 8.8 %.

Quispe y Quispe (2021), tuvo como objetivo comparar técnica y económicamente un edificio de siete niveles implementando aisladores con núcleo de plomo (LRB) y aislador de péndulo de fricción simple (FPS), como metodología se utilizó los análisis estático, análisis dinámico modal espectral y análisis tiempo historia en donde como resultados se obtuvieron que respecto a las derivas máximas en el eje X esta se encontró en el tercer piso, en donde la deriva sin reforzamiento, con aislador LRB y aislador FPS fueron de 0.0063, 0.0024 y 0.0026 respectivamente y en el Y la deriva sin reforzamiento, con aislador LRB y aislador FPS fueron de 0.0058, 0.0031 y 0.0032 respectivamente, se llegó a la conclusión que la reducción de las derivas con estos dos tipos de aisladores son

casi similares, Y la reacción ante movimientos sísmicos del sistema que utiliza aisladores con núcleo de plomo y péndulo simple es más favorable en comparación con el sistema soportado rígidamente, debido a que logra disminuir a la mitad las inclinaciones laterales de la estructura y mantiene las aceleraciones entre pisos por debajo del valor de 0.5.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. Comportamiento sísmico

El comportamiento sísmico es una característica fundamental de las estructuras, y los movimientos horizontales son los que provocan la mayoría de los daños en estos eventos. Por lo tanto, las edificaciones deben ser diseñadas para soportar la máxima aceleración horizontal y mejorar su respuesta sísmica. Estos conceptos son fundamentales para el diseño de estructuras sismorresistentes que puedan salvaguardar las vidas de las personas y sus pertenencias materiales en caso de sismo, últimamente se realizaron varios estudios de investigación sobre el comportamiento estructural de las edificaciones en zonas de alta sismicidad. Para mejorar la capacidad sismorresistente de estas estructuras, se han propuesto soluciones basadas en criterios de redundancia estructural y ductilidad que permiten reducir significativamente las fuerzas generadas por un terremoto severo. (Tapia, 2020)

2.2.2. Comportamientos sísmicos de estructuras aporticadas

El sistema de pórtico en una estructura es encargado de resistir las cargas laterales mediante las deformaciones de flexión de elementos en caso de edificaciones aporticadas son las vigas y columnas, por tanto, respecto a la resistencia y rigidez a cargas laterales, estas cargas pueden ser relativamente bajas a menos que los elementos posean un área de sección transversal gruesa. En términos generales, las estructuras con sistemas de pórticos presentan una alta flexibilidad y plantean un desafío crítico en cuanto a la gestión de los desplazamientos laterales, con el objetivo de mantenerlos dentro de los límites establecidos por las regulaciones vigentes. (Cotrado, 2021)

2.2.3. Análisis estructural sísmico

En el caso de edificaciones regulares puede realizarse de manera independiente el análisis en direcciones ortogonales (fuerza sísmica en eje X y en Y). En una estructura

irregular, se estima que la fuerza sísmica actúa en la dirección que cause el mayor perjuicio para el diseño de la misma. En este caso, las orientaciones que resultan en las mayores deformaciones globales, tales como giros o derivas, y las orientaciones que generan la mayor demanda de fuerzas internas para cada componente o eje sismorresistente son las que deben ser consideradas para su diseño. Esta consideración es crucial para garantizar la sismorresistencia de las estructuras irregulares y es necesaria para cumplir con los estándares de seguridad vigentes. (RNE E-030 Diseño sismorresistente, 2019)

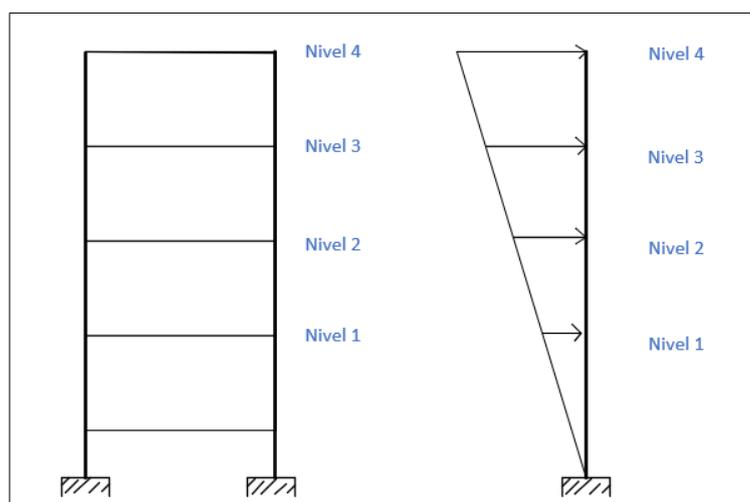
2.2.4. Análisis estático o de fuerzas equivalentes

El análisis sísmico estático implica la reducción de las fuerzas sísmicas a una serie de fuerzas estáticas equivalentes aplicados a la estructura completa, como se muestra en la figura 1.

Para llevar a cabo este tipo de análisis, se utiliza un solo conjunto de fuerzas aplicadas de manera estática en la estructura. Aunque es posible analizar un edificio en dos o tres dimensiones, este tipo de análisis se refiere a un método estático y único para la evaluación de la estructura. (Pique del Pozo & Scaletti Farina, 1991)

Figura 1.

Aplicación de fuerzas laterales distribuidas



Nota: Fuente Elaboración propia

La fuerza cortante en la base se calcula usando la ecuación mostrada a continuación:

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

Dónde:

V: Fuerza cortante de la base

Z: Coeficiente de zonificación

U: Coeficiente de uso

C: Amplificación sísmica

S: Coeficiente de suelo

R: Coeficiente de reducción

P: Peso sísmico de la edificación

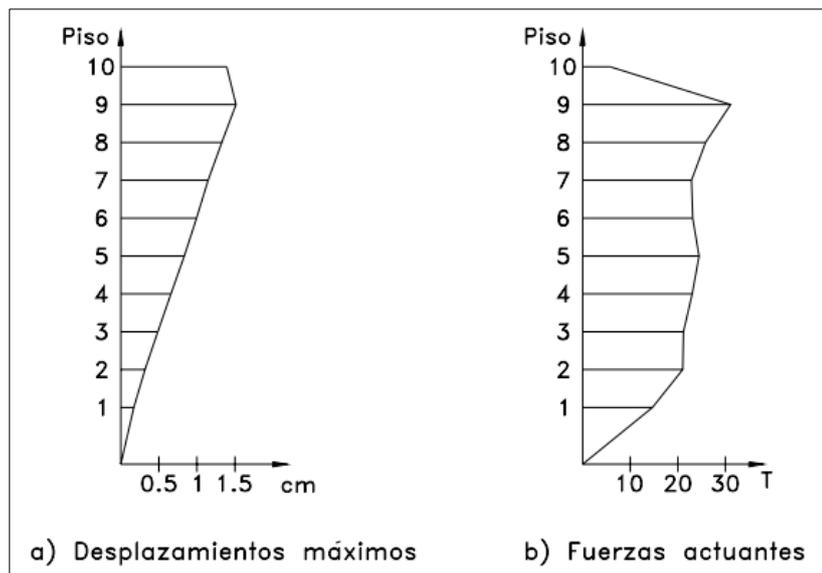
2.2.5. Análisis dinámico modal espectral

El análisis espectral representa una táctica contemporánea en el diseño sísmico, que toma en cuenta las características en movimiento de una edificación al calcular las cargas sísmicas y examinar los efectos específicos que se busquen identificar. (Flores, 2023)

Hasta la década de 1980, la aplicación de este tipo de análisis se veía limitada debido a la complejidad de los cálculos, la obligación de emplear maquinaria para procesar y los procedimientos necesarios para identificar las características dinámicas de la estructura, junto con las labores adicionales para determinar y fusionar los efectos modales. Sin embargo, con la disponibilidad y capacidad de las computadoras personales modernas, el análisis dinámico se ha convertido en la herramienta más adecuada para calcular las fuerzas sísmicas en edificios de gran altura, ya que los métodos estáticos equivalentes resultan excesivamente conservadores. En situaciones como estas, la manera en que se distribuyen las fuerzas máximas a lo largo de la altura del edificio difiere considerablemente de la distribución triangular que se supone en los códigos. (Pique del Pozo & Scaletti Farina, 1991)

En el análisis modal espectral, la evaluación de los efectos producidos por la superposición de todos los modos de vibración solamente puede realizarse de manera aproximada combinando las respuestas o participaciones modales y no mediante la superposición de dichos modos. Este enfoque permite determinar la respuesta global de la estructura ante las sollicitaciones sísmicas y proporciona resultados precisos al tener en cuenta las diferentes fases de vibración en la estructura. (Flores, 2023)

Figura 2.
Aplicación de fuerzas laterales distribuidas



Nota: Fuente (Pique del Pozo & Scaletti Farina, 1991)

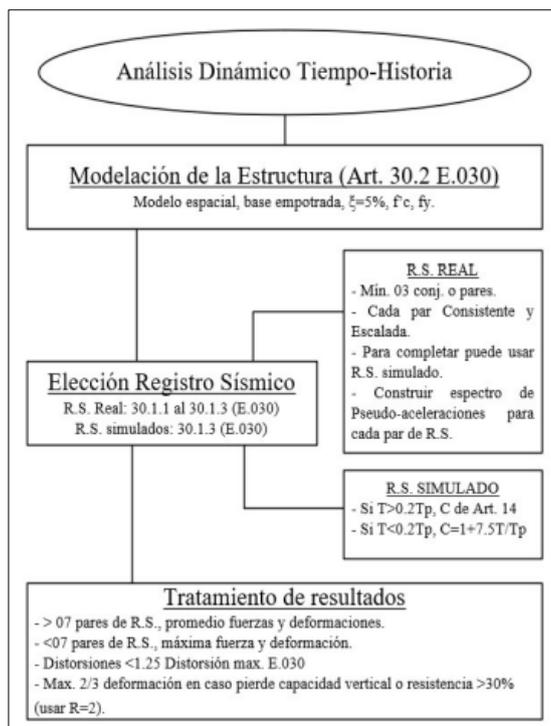
Según se puede observar en la figura presentada, los desplazamientos máximos de cada piso muestran configuraciones que no se ajustan a las simplificaciones establecidas en la hipótesis del análisis estático equivalente. Además, cuando las características de la estructura inducen la participación de modos adicionales junto con el modo fundamental en la respuesta, existe el riesgo de subestimar significativamente los efectos locales en los pisos más bajos y más altos. Actualmente, existen procedimientos de análisis sísmico ampliamente utilizados que ofrecen una mayor precisión en este tipo de análisis. Como resultado, en la actualidad, con la facilidad de realizar este tipo de análisis, carece de sentido continuar utilizando procedimientos estáticos equivalentes. (Pique del Pozo & Scaletti Farina, 1991)

2.2.6. Análisis tiempo historia

En el análisis de tiempo historia, se utilizan registros sísmicos representativos del lugar donde se construirá el edificio, los cuales deben ser compatibles con el espectro de diseño propuesto por la norma. Es necesario que el espectro de cada registro sea compatible con el espectro de diseño para poder realizar el análisis correctamente. Durante este proceso, se somete al edificio al registro sísmico para evaluar su comportamiento ante un sismo. (Flores, 2023)

Figura 3.

Secuencia del cálculo del análisis tiempo - historia



Nota: Fuente (Flores, 2023)

El análisis tiempo-historia de la norma no considera sismos frecuentes, sino que se enfoca en sismos raros con un periodo de retorno de 500 años. Para poder expresar los resultados del análisis en el caso de sismos frecuentes, es necesario hacer una escala del sismo. (Quispe, 2021)

2.3. DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

2.3.1. Diseño Sismo resistente

El diseño sismo resistente es capaz de resistir cargas sísmicas y su desempeño es aceptable. Se basa en la resistencia lateral y puede absorber la energía de manera estable durante muchos ciclos. La disipación de energía ocurre en las zonas donde se encuentran elementos estructurales, como vigas y columnas, con rótulas plásticas dúctiles, las cuales también están sometidas a cargas gravitatorias. Las áreas plásticas que concentran los daños son conocidas como pórticos de gravedad. (Angulo & Escobedo, 2020)

El propósito de la norma E030 es fijar los requisitos mínimos para diseñar las edificaciones de manera resistente a los terremotos. También establece que en casos donde no existan normas nacionales específicas para estructuras que se comporten de

manera diferente a una edificación, se deben usar los valores Z y S de esta norma aumentados según la importancia de la estructura, siguiendo prácticas internacionales. (RNE E-030 Diseño sismorresistente, 2019)

2.3.2. Sismo

Se hace referencia a la liberación de una considerable cantidad de energía que se propaga en forma de ondas en el subsuelo terrestre. Una vez que estas ondas alcanzan la superficie terrestre, son registradas por las estaciones sísmicas y también son perceptibles para la población. Las estructuras son las más susceptibles a ser afectadas por estas ondas. (Tavera, 2012)

2.3.3. Deriva de entrepiso

Es el desplazamiento horizontal entre dos puntos y esto se da entre dos niveles que son consecutivos en algún tipo de edificación. (Cordova & Merino, 2022)

2.3.4. Amplitud

La máxima altura que alcanza la onda sísmica identificada en un registro o sismograma es conocida como la amplitud máxima. Esta amplitud es una señal que está directamente relacionada con la cantidad de energía liberada durante el terremoto, lo que permite calcular su magnitud. (Tavera, 2012)

2.3.5. Periodo objetivo

Es el tiempo estimado que se requiere para que la estructura aislada disminuya las fuerzas que afectan a la superestructura. (Quispe, 2021)

2.3.6. Onda

Una onda es un desplazamiento que se propaga desde su punto de origen en un medio hasta que se debilita y se dispersa. A diferencia de otras formas de ondas, como las electromagnéticas, las ondas requieren de un medio elástico que se deforme y recupere su forma en respuesta a la vibración de la onda. En el ámbito de la sismología, estas ondas se conocen como ondas sísmicas y su período puede variar según su propagación y la naturaleza de los materiales que atraviesan. (Tavera, 2012)

2.3.7. Espectro de diseño

Los reglamentos relacionados con el diseño sismorresistente emplean los espectros de diseño, debido a que estos únicamente representan el impacto de un único registro de aceleración. Los espectros de diseño se definen por la amenaza sísmica inherente a una región específica y se representan mediante gráficas que presentan curvas suavizadas. Estas curvas difieren de manera significativa de las curvas exhibidas por los espectros de respuesta. (Crisafulli, 2018)

2.3.8. Fuerzas sísmicas

Se aplica una fuerza horizontal en el punto donde se concentra el peso de una estructura, para compensar las fuerzas horizontales generadas por las partes que la conforman, debido a sus diferentes masas. (Quispe, 2021)

2.3.9. Fuerza cortante basal

La fuerza lateral total en una edificación es la suma de las fuerzas cortantes acumuladas en cada piso, las cuales son la consecuencia de las fuerzas inerciales generadas por la estructura. (Cordova & Merino, 2022)

2.3.10. Aceleración espectral

Cada dirección de análisis horizontal es evaluada mediante la utilización de un espectro inelástico de pseudo-aceleración, el cual está definido por la fórmula proporcionada. Por otro lado, en la dirección vertical se emplea un espectro compuesto por los dos tercios de los valores del espectro horizontal. Una respuesta espectral se refiere a un diagrama que representa la máxima respuesta de un oscilador unidimensional en función de su período, cuando se somete a un registro sísmico particular. (RNE E-030 Diseño sismorresistente, 2019)

2.3.11. Registro de aceleración

Se deben utilizar al menos tres registros de aceleraciones en las dos direcciones ortogonales de análisis, norte-sur y este-oeste. Estas aceleraciones se obtienen a partir de eventos sísmicos cuya magnitud, distancia del epicentro y mecanismo se consideran como sismos máximos. En situaciones en las que no haya registros apropiados, lo más

recomendable es utilizar registros sísmicos sintéticos para cumplir con el mínimo recomendado por la normativa. (RNE E-030 Diseño sismorresistente, 2019)

2.3.12. Magnitud de los sismos

La introducción de la escala de Richter en 1935 ha tenido un rol esencial en la evaluación de la magnitud de los terremotos, al cuantificar la energía liberada durante los eventos sísmicos. Esta escala no sigue una progresión lineal, lo que implica que un aumento de un grado en ella puede indicar una liberación de energía significativamente mayor que en el grado anterior. Esta característica no lineal se debe a la naturaleza exponencial con que las ondas sísmicas se propagan y los movimientos telúricos se registran. Por ejemplo, un incremento de un grado en la escala puede conllevar a una liberación de energía hasta quince veces mayor que en el grado inmediatamente inferior. En la tabla siguiente se detalla la escala de Richter, donde se relacionan los grados específicos de energía liberada y sus correspondientes descripciones cualitativas de los impactos del terremoto. Esta escala ha sido complementada por enfoques más modernos y precisos, como la escala de magnitud de momento, que brindan una evaluación más integral de la energía liberada y los efectos de los terremotos. (Trujillo P et al., 2010)

Tabla 1
Escala de Richter

Magnitud de Escala de Richter	Efectos del terremoto
Menos de 3.5	Generalmente no es percibido, pero es lecturado
3.5 a 5.4	Frecuentemente, se experimenta una sensación perceptible, pero sólo causa daños menores
5.5 a 6.0	Provoca daños menores en las estructuras de los edificios.
6.1 a 6.9	Tiene el potencial de provocar daños significativos en zonas densamente pobladas.
7.0 a 7.9	Un terremoto de gran magnitud. Provoca daños severos.
8 a mayor	Un terremoto de gran magnitud que resulta en la completa destrucción de comunidades cercanas.

Nota :Fuente (Trujillo P et al., 2010)

La escala de Mercalli, una herramienta ampliamente utilizada para evaluar la intensidad de los terremotos, fue concebida por el especialista en sismos Giuseppe Mercalli en el año 1902, luego, en 1931, fue revisada y mejorada por otros especialistas en sismología. A diferencia de la escala Richter, que se basa en registros sismográficos, la escala de Mercalli se centra en los efectos producidos por el terremoto, como los daños en las estructuras y las sensaciones percibidas por las personas. Esta escala consta de doce niveles, representados con números romanos, que van desde el nivel I, indicando una "Sacudida percibida por muy pocas personas", hasta el nivel XII, que indica una "Destrucción total, ondas visibles en el terreno, alteración en el nivel de ríos, lagos y mares, y objetos arrojados hacia arriba en el aire" (Trujillo P et al., 2010)

2.3.13. Centro de masa

El centro de masa se define como el punto en un sistema donde se concentra toda la masa de los objetos que lo componen. Además, puede ser conceptualizado como el centro geométrico del sistema. El punto en el cual la suma total de las fuerzas gravitatorias generadas por todos los cuerpos se cancelan.(Villafuerte, 2020)

2.3.14. Centro de rigidez

El punto central de los elementos verticales de la estructura es el encargado de soportar las fuerzas laterales, y cuando estas fuerzas son aplicadas, la estructura experimenta desplazamiento, pero no rotación. Este punto se refiere al centro geométrico de la rigidez de los elementos estructurales de un piso específico, particularmente en el nivel del entrepiso. Cuando se ejerce una fuerza de corte sobre el nivel, este experimentará un desplazamiento sin rotación en relación a los niveles inferiores.(Villafuerte, 2020)

2.3.15. Norma E.031 Aislamiento sísmico

La Norma Técnica vigente establece los requisitos mínimos obligatorios que deben ser cumplidos en el diseño y construcción de edificios que cuenten con sistemas de aislamiento sísmico. Además, dicha norma también regula el proceso de ensayo necesario para verificar el comportamiento de estos dispositivos utilizados en el aislamiento sísmico. (RNE E-031 Aislamiento sísmico.Diario El Peruano, 2019)

La finalidad de esta norma es mejorar la resistencia sísmica de los edificios, asegurar la integridad estructural y el contenido, y fomentar su operatividad continua. En todo el

territorio nacional, la Norma Técnica debe ser aplicada en todos los edificios con Aisladores, y también considerando aquellos establecidos en la Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. (RNE E-031 Aislamiento sísmico. Diario El Peruano, 2019)

2.3.16. Sistema de Protección Sísmica

Los sistemas de protección sísmica son beneficiosos tanto para puentes como para edificios. En el caso de los puentes, se emplean tecnologías que permiten aislar, amortiguar y monitorear los movimientos del puente. En el caso de los edificios, estos sistemas brindan seguridad en todo tipo de construcciones, incluso durante los terremotos más severos. Actualmente, existen diferentes tipos de sistemas de protección sísmica, que van desde diseños simples hasta sistemas automatizados avanzados. Estos sistemas se clasifican en cuatro categorías: sistemas activos, sistemas semiactivos, sistemas pasivos y sistemas híbridos. (Quispe, 2021)

2.3.17. Reforzamiento estructural

El proceso de reforzamiento de estructuras implica aumentar la capacidad de los elementos estructurales y, por lo tanto, la capacidad de la estructura en su totalidad. Este aumento de capacidad es necesario cuando se presenta alguna deficiencia de la estructura debido a las nuevas solicitudes de demanda, como el viento o los terremotos. El objetivo del reforzamiento es mejorar el comportamiento de la estructura a través de la adición de elementos que reduzcan la demanda sísmica y aumenten la capacidad original. (Proaño, 2014)

2.3.18. Amortiguamiento

Es una característica estructural que influye en las respuestas sísmicas de una edificación, la cual está afectada por su construcción interna, incluyendo la fricción entre sus elementos, los apoyos y la presencia de elementos no estructurales. (Quispe, 2021)

2.3.19. Espectro de respuesta

Una representación gráfica que exhibe la respuesta más intensa resultante de una acción dinámica particular en una estructura o en un oscilador con una única dirección de movimiento. En esta representación visual, se captura de manera destacada el punto donde la estructura experimenta la mayor amplitud de vibración debido a la influencia de una fuerza dinámica específica. (Quispe, 2021)

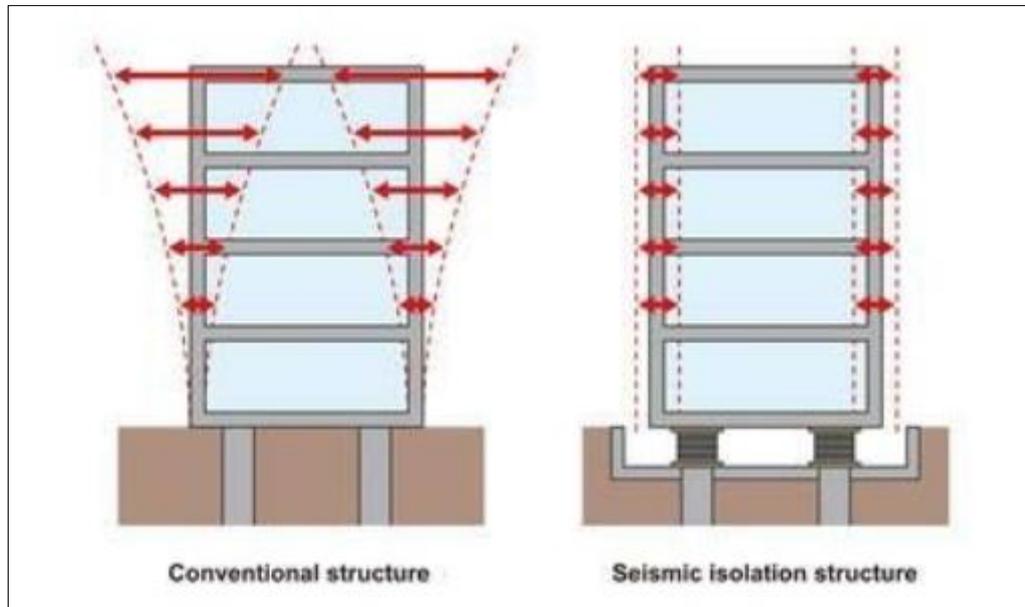
2.3.20. Disipación de energía

Los edificios convencionales tienen limitaciones en la forma en que pueden disipar la energía sísmica debido a las deformaciones elásticas generadas por los materiales de la estructura. Para mejorar la respuesta sísmica, se han ideado aisladores que se deforman transversalmente durante el movimiento oscilatorio del sismo, disipando una gran cantidad de energía a través de varios ciclos de histéresis en un rango inelástico. El amortiguamiento efectivo se refiere al porcentaje de la energía que se disipa y al desplazamiento relativo a ella, y se utiliza un coeficiente de reducción para la aceleración espectral en el diseño práctico. (Quispe, 2021)

2.3.21. Aisladores sísmicos

En los Estados Unidos y Nueva Zelanda, el aislamiento sísmico se considera actualmente como un método aceptado para fortalecer puentes y edificaciones de altura media y baja. Este sistema de aislamiento implica la colocación de una capa flexible entre la estructura y la cimentación, y esto genera que se incremente el periodo fundamental de la edificación y la hace menos vulnerable a la resonancia con la excitación sísmica. El tipo de capa flexible más comúnmente utilizado en este sistema son los cojinetes elastoméricos, los cuales soportan las cargas en el sentido vertical de la edificación y son flexibles en el movimiento horizontal pero rígidos en el desplazamiento vertical. Es importante tener en cuenta que este sistema no protege contra la acción del viento y es recomendable para muy altos edificios ni para terrenos blandos. Sin embargo, puede ser utilizado de manera efectiva en la rehabilitación de estructuras existentes, especialmente en edificios históricos y de valor patrimonial. (A. Garcia & Quiroz, 2019)

Figura 4.
Edificación con y sin aislador.



Nota: Fuente (A. Garcia & Quiroz, 2019)

Se recurre a dispositivos amortiguadores adicionales con el objetivo de reducir la sensibilidad del sistema ante las frecuencias vibratorias del suelo y su susceptibilidad frente a pulsos prolongados que surgen en registros cercanos al epicentro de un terremoto. La firmeza inicial otorgada por estos amortiguadores desempeña un papel en el control de las vibraciones menores y en la mejora del confort para los usuarios. Además, es viable emplear tanto aisladores flexibles como mecanismos de fricción para transmitir las cargas verticales hacia la base de la estructura. Por lo tanto, es esencial gestionar la firmeza y la resistencia vertical de estos componentes a fin de prevenir el colapso de la edificación.

Los aisladores elastoméricos y los de caucho natural se componen de laminados compuestos que se adhieren entre sí, presentando la capacidad necesaria para soportar cargas verticales y confinar el núcleo de plomo. Estos aisladores deben presentar características como firmeza vertical elevada, flexibilidad horizontal, resistencia torsional, durabilidad, capacidad de resistir cambios de temperatura y fuerzas cortantes. Estas propiedades deben ser validadas en laboratorio antes de su implementación en una estructura. (Oviedo & Duque, 2007)

Figura 5.
Aislador de caucho natural



Nota Fuente (Oviedo & Duque, 2007)

Mediante la utilización de dispositivos tales como aisladores flexibles y dispositivos de fricción deslizante, en conjunto con amortiguadores, se obtiene una reducción parcial de la energía sísmica antes de su transmisión a la superestructura. La función de los aisladores que actúan como elementos flexibles es que operan dentro del rango elástico y su propósito es extender el período de vibración de la estructura para disminuir la energía, mientras que los aisladores de fricción lo hacen minimizando la energía mediante el deslizamiento entre el edificio y los cimientos. Ambos tipos de dispositivos operan como sistemas de transmisión de cargas verticales hacia cimentación. Por lo tanto, es esencial controlar la rigidez y la resistencia vertical de la estructura para evitar posibles colapsos. (A. Garcia & Quiroz, 2019)

Los requisitos que deben ser satisfechos por los aisladores sísmicos son los siguientes:

- Capacidad de deformarse horizontalmente
- Elevada resistencia vertical
- Longevidad
- Capacidad de soportar fuerzas cortantes
- Capacidad de resistir variaciones abruptas de temperatura

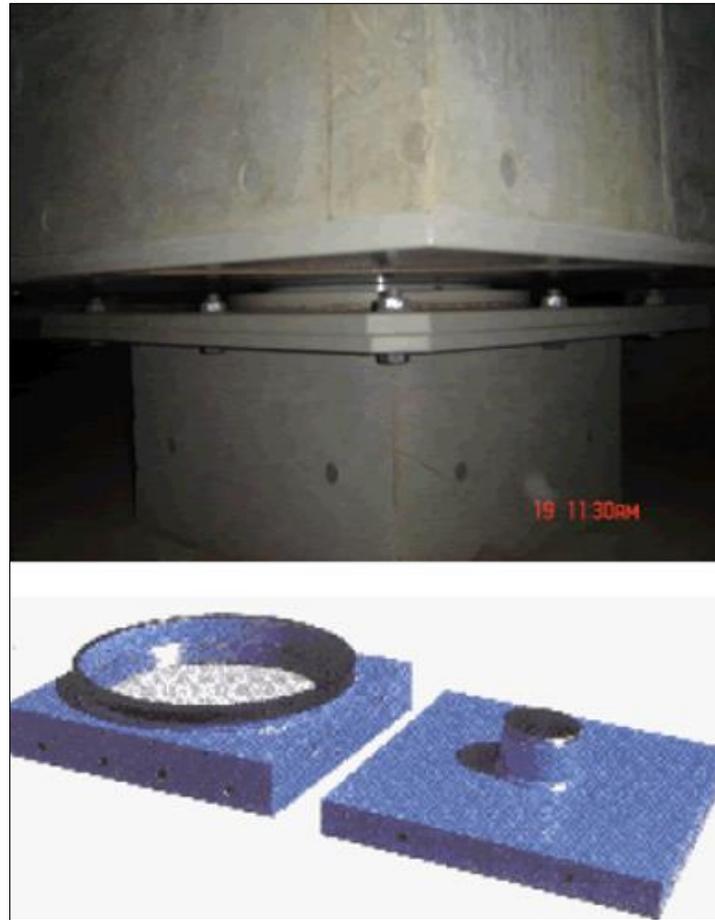
Figura 6.
Aislador elastomérico



Nota: Fuente (A. Garcia & Quiroz, 2019)

Se mencionan dos tipos de aisladores de fricción: los aisladores de péndulo friccional y aisladores deslizantes, en los aisladores deslizantes las columnas se apoyan en elementos de deslizamiento de teflón, lo cual produce amortiguamiento por fricción. Los apoyos basculantes constan de una base cóncava, un patín esférico articulado y una platina de cubierta. El patín esférico articulado y la platina de cubierta permiten que el sistema regrese a su posición original después de un sismo, y las superficies deslizantes disipan la energía producida por la fricción. Durante un sismo, se produce un movimiento similar al de un péndulo dentro del dispositivo.

Figura 7.
Aislador de fricción



Nota: Fuente (Oviedo & Duque, 2007)

2.3.22. Aisladores con núcleo de plomo (LRB)

Los aisladores (LRB) son una variante de aisladores elastoméricos que comprenden capas delgadas de caucho natural intercaladas con placas de acero. Estas placas de acero presentan una abertura en el centro, la cual se rellena con un núcleo compuesto de plomo. La conexión entre las placas, el material elastomérico y el núcleo de plomo se establece mediante un proceso de vulcanización de alta presión. La inclusión del núcleo de plomo desempeña un papel fundamental en la mejora de la capacidad de absorción de energía, permitiendo que el aislador se deforme lateralmente durante los movimientos sísmicos. En esta situación, el núcleo de plomo experimenta flujo y deformaciones plásticas, lo que a su vez conduce a la disipación de energía en forma de calor. Además de esto, el núcleo de plomo confiere rigidez frente a las cargas verticales. (López, 2022)

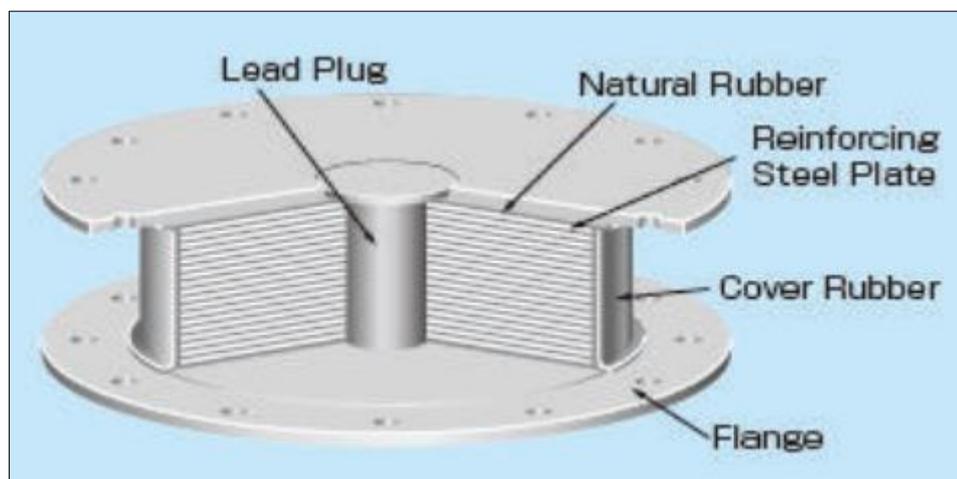
En la concepción de aislantes destinados a dispositivos sismorresistentes, se establece que las gomas de elastómero tienen la función principal de regular la rigidez que se manifiesta después de la fase de fluencia del dispositivo. Por su parte, el núcleo de plomo contribuye en un porcentaje aproximado del 10% a esta rigidez. No obstante, se ha constatado que el núcleo de plomo ejerce control sobre aspectos como la rigidez inicial, la fuerza y el desplazamiento de fluencia del dispositivo.

Según lo establecido por la norma NCh2745 (2003), en casos de deformación lateral, se evidencia una transformación en forma de corte puro que conduce a una tensión que ronda los 10 MPa a temperatura ambiente. Esto provoca la generación de múltiples ciclos histeréticos estables. Cuando se proyectan aislantes con un núcleo hecho de plomo, es imperativo recopilar información como el diámetro exterior del aislante, el diámetro interno del núcleo de plomo, la altura y la cantidad de placas de confinamiento. (Villavicencio, 2015)

Características de los aisladores con núcleo de plomo (LRB):

- El amortiguamiento crítico está entre el 15 y 35%
- El valor del esfuerzo de deformación a corte de plomo se considera de 10 MPa.
- La rigidez del aislador inicialmente se considera de 6.5 y 10 veces su rigidez post-fluencia

Figura 8.
Aislador LRB



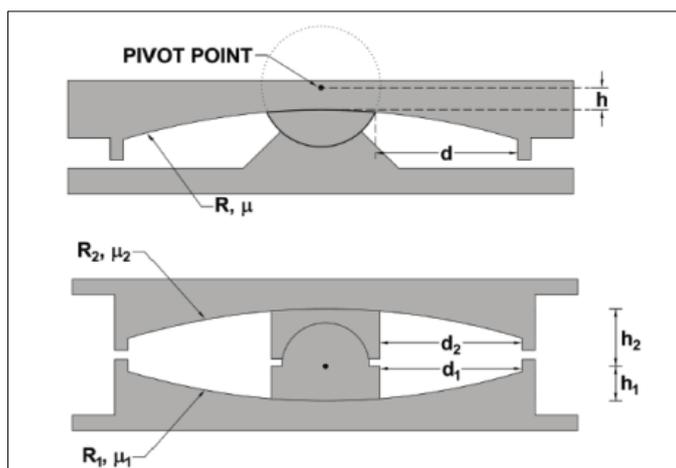
Nota: Fuente Catálogo Bridgestone – aislamiento sísmico.

2.3.23. Aisladores de péndulo de fricción doble

Los dispositivos aisladores de tipo péndulo, tanto en su variante de fricción simple como en la de doble fricción, presentan comportamientos análogos, si bien se distinguen en cuanto al número de radios de curvatura que incorporan. En específico, el aislador de fricción simple se caracteriza por tener un único radio de curvatura (R), mientras que el modelo de fricción doble dispone de dos radios de curvatura, uno superior (R_1) y otro inferior (R_2). Esta configuración se ilustra de manera gráfica en la siguiente figura. (Ruiz, 2017)

Figura 9.

Aislador – péndulo de fricción simple y doble



Nota: Fuente (Constantinou et al., 2011)

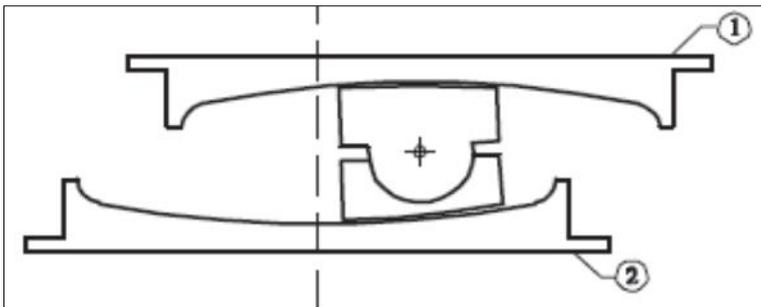
El sistema de doble curvatura de péndulo de fricción pasa por múltiples etapas antes de alcanzar su máxima capacidad de desplazamiento. En la primera etapa, el edificio se comporta de forma convencional, ya que la fuerza lateral aplicada es mucho menor que la fuerza de fricción entre las dos superficies cóncavas. (Villavicencio, 2015)

En el caso en que la fuerza lateral se incremente y sobrepase la resistencia a la fricción en el dispositivo, esto señala que el coeficiente de fricción de la superficie inferior (s_2) es menor que el coeficiente de fricción de la superficie superior (s_1), o viceversa. La

siguiente figura ejemplifica cómo se originará un desplazamiento inicial y se ocasionarán desplazamientos horizontales de menor magnitud.(Villavicencio, 2015)

Figura 10.

Fuerza lateral superando fuerza de fricción del aislador



Nota: Fuente (Constantinou et al., 2011)

En líneas generales, cuando se trata de péndulos dobles, se puede considerar un radio efectivo que es la suma de los radios R_1 y R_2 . En comparación con los aisladores de péndulo simple, los péndulos dobles tienen un radio de curvatura mayor, generalmente el doble, lo que les confiere una mayor capacidad de desplazamiento. Sin embargo, su capacidad de desplazamiento es menor en comparación con los aisladores de péndulo triple, que cuentan con tres radios de curvatura.(Ruiz, 2017)

La carga axial aplicada al aislador genera una fuerza restauradora en dirección opuesta al movimiento del péndulo, lo que intenta devolver el aislador a su posición inicial. Esta carga crea una fuerza de restauración que busca restablecer la posición original del aislador. Durante este proceso, la energía se disipa al convertirse en calor mediante la fricción entre el deslizador articulado y la superficie cóncava. El deslizador curvado determina la fuerza del aislador de péndulo simple, que se compone de dos factores: la fuerza restitutiva, asociada al movimiento pendular, y la fuerza de fricción, relacionada con el contacto entre las superficies. Ambas fuerzas contribuyen a la formación del diagrama de histéresis del aislador friccional..(Ruiz, 2017)

Características del aislador de péndulo de fricción doble

Este sistema puede ajustar de manera gradual diversas propiedades de comportamiento durante distintas fases de la respuesta al desplazamiento. Las propiedades dinámicas se generan mediante dos péndulos de fricción que actúan de manera independiente respecto a la entrada sísmica. Su capacidad de ajustar tanto el amortiguamiento como la rigidez en proporción a los desplazamientos posibilita un rendimiento optimizado en función de distintos niveles de fuerza sísmica de entrada.

2.3.24. Aisladores de péndulo de fricción triple

El aislador de péndulo de fricción de triple curvatura, clasificado como tercera generación, marca un salto tecnológico significativo en relación a sus antecesores: el péndulo de fricción de única curvatura (FPS) y el péndulo de fricción de doble curvatura (DFPS). Este dispositivo de vanguardia se compone de cuatro superficies cóncavas y tres sistemas pendulares autónomos, lo que representa un logro extraordinario en la evolución de esta tecnología. Este innovador dispositivo consta de cuatro superficies cóncavas y tres mecanismos pendulares independientes. (Villavicencio, 2015)

El aislador es un dispositivo compuesto por un deslizador externo que posee superficies cóncavas en la parte superior e inferior. Dentro de este recinto externo se aloja un deslizador interior que incluye un cilindro caracterizado por un coeficiente de fricción mínimo en ambas superficies, dando lugar a la formación de un mecanismo de péndulo primario. El propósito de este sistema es mitigar las aceleraciones máximas tanto en la estructura aislada como en sus elementos constituyentes. Esto se logra al disminuir la influencia de los modos superiores de la estructura y reducir la fuerza de corte generada por los movimientos sísmicos de menor escala. (Villavicencio, 2015)

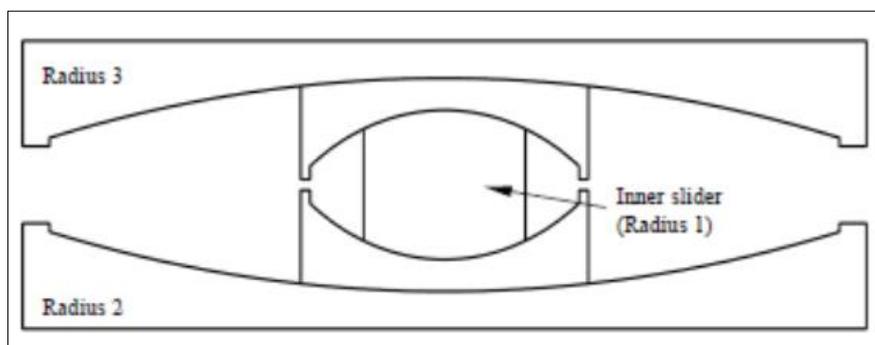
El mecanismo de péndulo se origina mediante el deslizamiento en movimiento de las porciones superior e inferior de las placas, al mismo tiempo que la superficie interna del cilindro esférico experimenta un desplazamiento con relación a la placa externa inferior. En conjunto, este sistema posibilita la reducción al mínimo de las fuerzas de corte que se generan en el sistema durante un episodio sísmico de diseño. (Morgan & Mahin, 2011)

Además, en la parte superior del aislador, hay un deslizador que se desliza en contacto con una superficie esférica de un radio de curvatura específico, constituyendo

así el tercer mecanismo del péndulo. Esta configuración tiene la finalidad de minimizar los desplazamientos de los rodamientos durante eventos sísmicos de mayor intensidad. En la figura presentada se muestra un esquema ilustrativo de un péndulo de fricción triple.(Villavicencio, 2015)

Figura 11.

Aislador de péndulo de fricción triple



Nota:Fuente (Morgan & Mahin, 2011)

Características del aislador de péndulo de fricción triple

- El período de oscilación del sistema del péndulo no depende de la masa, sino que se determina seleccionando el radio de rodamiento
- El coeficiente de fricción influye en el grado de amortiguamiento, mientras que el núcleo central del péndulo absorbe la carga axial.
- Si aumentamos el desplazamiento, el péndulo se vuelve más largo, lo que aumenta el amortiguamiento y reduce las fuerzas sísmicas. Se han elegido distintas propiedades para los tres péndulos, de manera que cada uno se activa en respuesta a esfuerzos sísmicos específicos.

CAPÍTULO III. MARCO METODOLÓGICO

3.1.HIPÓTESIS

3.1.1. Hipótesis general

Los comportamientos estructurales difieren significativamente entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional en una edificación multifamiliar sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023.

3.1.2. Hipótesis específicas

- Existen diferencias en los resultados análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional , Juliaca – 2023.

- Existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional , Juliaca – 2023.

- Existen diferencias en los resultados del análisis tiempo – historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.

3.2. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

3.2.1. Identificación de la variable independiente

(X) = Tipos de aisladores

3.2.1.1. Indicadores

Aisladores con núcleo de plomo

- Coeficiente de amortiguamiento (%)
- Rigidez efectiva (ton/m)
- Características del aislador (m)

Aisladores de doble péndulo de fricción

- Coeficiente de amortiguamiento (%)
- Rigidez efectiva (ton/m)
- Coeficiente de fricción (m)

Aisladores de triple péndulo de fricción

- Coeficiente de amortiguamiento (%)
- Rigidez efectiva (ton/m)
- Coeficiente de fricción (m)

3.2.1.2. Escala para la medición de la variable

Razón

3.2.2. Identificación de la variable dependiente

(Y) = Comportamiento estructural de la edificación multifamiliar

3.2.2.1. Indicadores

Análisis estático

- Fuerza cortante basal (kgf)
- Fuerzas sísmicas (kgf)
- Derivas (m)

Análisis modal espectral

- Periodos (%)
- Derivas (m)

Análisis tiempo - historia

- Aceleraciones (cm/s²)
- Derivas (m)

3.2.2.2. Escala para la medición de la variable

Razón

3.3. TIPO DE INVESTIGACIÓN

El tipo de investigación es básica por que se enfoca en la generación de conocimiento conceptual y teórico, sin una aplicación inmediata, el objetivo de este tipo de investigación es ampliar el conocimiento de los principios de un área determinada, en la presente investigación se está analizando y comparando tres tipos de aisladores en edificaciones y esto no con el propósito de crear un producto o solución sino con el propósito de comprender mejor el comportamiento de estos aisladores.

3.4. NIVEL DE INVESTIGACIÓN

El nivel de investigación es descriptivo porque se esta realizando un descripción detallada y sistemática de como los tres tipos de aisladores afectan al comportamiento sísmico de una edificación, en vez de manipular variables, la presente investigación se centra en observar, documentar y presenta las diferencias y similitudes en el comportamiento sísmico de una edificación utilizando distinto tipos de aisladores.

3.5. ENFOQUE DE INVESTIGACIÓN

El enfoque es cuantitativo porque en la presente tesis se utiliza medidas numéricas para obtener datos objetivos y medibles sobre el comportamiento sísmico de edificaciones con tres tipos de aisladores.

3.6. DISEÑO DE INVESTIGACIÓN

El diseño es no experimental por que en la presente tesis no se está interviniendo en el entorno de estudio para modificar o controlar las variables, en lugar de esto se está recopilando y observando datos sin intervenir en el ambiente natural.

3.7. POBLACIÓN Y MUESTRA

3.7.1. Población

La población de estudio, estará compuesto por las viviendas multifamiliares aporticadas de la ciudad de Juliaca.

3.7.2. Muestra

La muestra tomada es una edificación multifamiliar aporticada de 6 pisos ubicada en el Jr. 2 de Mayo N° 131 en la ciudad de Juliaca.

La matriz de operacionalización se muestra en el Anexo 02.

3.8. PROCEDIMIENTO, TÉCNICAS E INSTRUMENTOS

3.8.1. Procedimiento

- Como primer paso: Se realizó el modelamiento y análisis estructural de una edificación de seis niveles ubicada en la ciudad de Juliaca aplicando los análisis estático, dinámico espectral y tiempo historia, comparando los resultados con la Norma E030 del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Como segundo paso: Se realizó el diseño del Aislador Elastomérico de Núcleo de Plomo (LRB) para luego realizar el modelamiento y análisis estructural de la misma edificación considerando el aislador LRB con los análisis estático, dinámico espectral y tiempo historia.

- Como tercer paso: Se realizó el diseño del Aislador de Péndulo de Fricción Doble (FPD) para luego realizar el modelamiento y análisis estructural de la misma edificación considerando el aislador FPD con los análisis estático, dinámico espectral y tiempo historia.

- Como cuarto paso: Se realizó el diseño del Aislador de Péndulo de Fricción Triple (PFT) para luego realizar el modelamiento y análisis estructural de la misma edificación considerando el aislador FPT con los análisis estático, dinámico espectral y tiempo historia.

- Como Quinto paso: Se realizó el análisis comparativo de los resultados de la edificación sin aisladores, de la edificación con el Aislador LRB, de la edificación con el Aislador PFD y de la edificación con el Aislador PFT y así poder determinar cual de los resultados obtenidos es el que genera mejor comportamiento estructural en la edificación.

3.8.2. Técnicas

Como la presente tesis se basa en el modelamiento y análisis estructural de la edificación sin aisladores, con el aislador LRB, con el aislador PFD y PFT, se usó la técnica de la observación de resultados con el fin de verificar que con cual aislador la edificación tiene una mejor respuesta estructural, y a la vez se podrá visualizar un procedimiento de diseño los aisladores, modelamiento y análisis estructural individualmente de la edificación con cada tipo de Aislador.

3.8.3. Instrumentos

El propósito de este trabajo de tesis es emplear listas de verificación con el fin de llevar a cabo la confrontación de los resultados derivados de distintos análisis que incorporan aisladores, utilizando para ello el software Etabs.

CAPÍTULO IV. RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN DEL TRABAJO DE CAMPO

La edificación a analizar se encuentra en la ciudad de Juliaca, provincia San Román y departamento de Puno, cuyo lugar pertenece a la zona 3, según la Norma E030.

Esta área geográfica está delimitada al sur por dos distritos (Cabana y Caracoto), al norte colinda con los distritos de Calapuja y Caminaca, pertenecientes a las provincias de Lampa y Azángaro respectivamente. Hacia el este limita con los distritos de Pusi y Samán, ubicados en las provincias de Huancané y Azángaro respectivamente. Finalmente, al oeste limita con el distrito de Lampa, perteneciente a la provincia de Lampa.

Las características de la edificación de 6 niveles a analizar son las siguientes:

Este edificio tiene un área total de 255.75 m² y un perímetro de 64 ml, dónde esta edificación tiene una planta típica ya que es destinado a uso de viviendas, la altura del primer nivel es de 3 m y de los siguientes niveles es de 2.50 m.

A continuación, se muestra la planta típica de la edificación de 6 niveles, dónde esta en el eje X tiene una dimensión de 15.50 ml y en el eje Y tiene una dimensión de 16.50 ml, y como se muestra en la siguiente figura esta tiene ejes del 1 al 5 en X y de la A la E en Y.

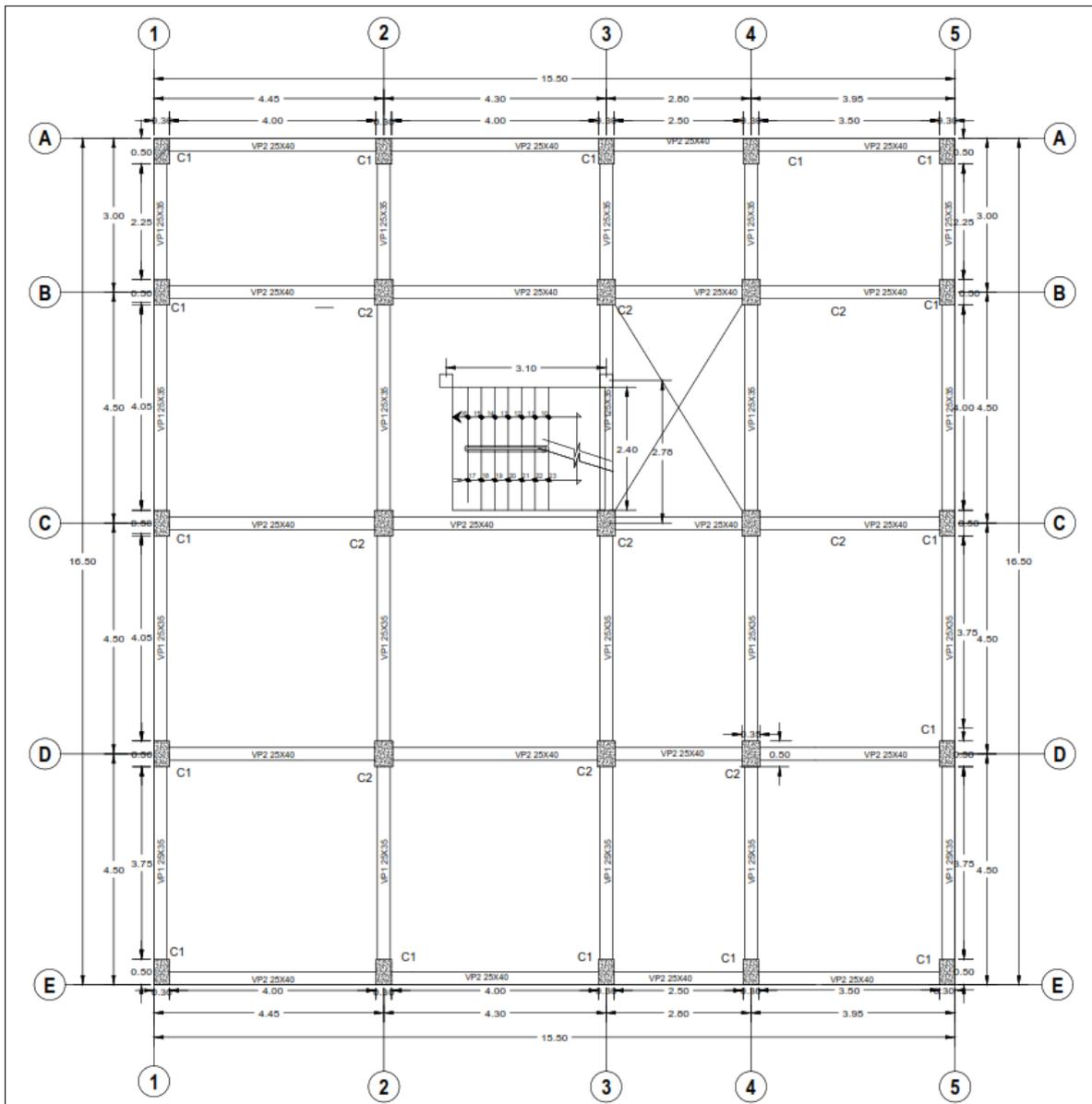
Figura 12.*Planta típica de la estructura de 6 niveles**Nota: Fuente propia*

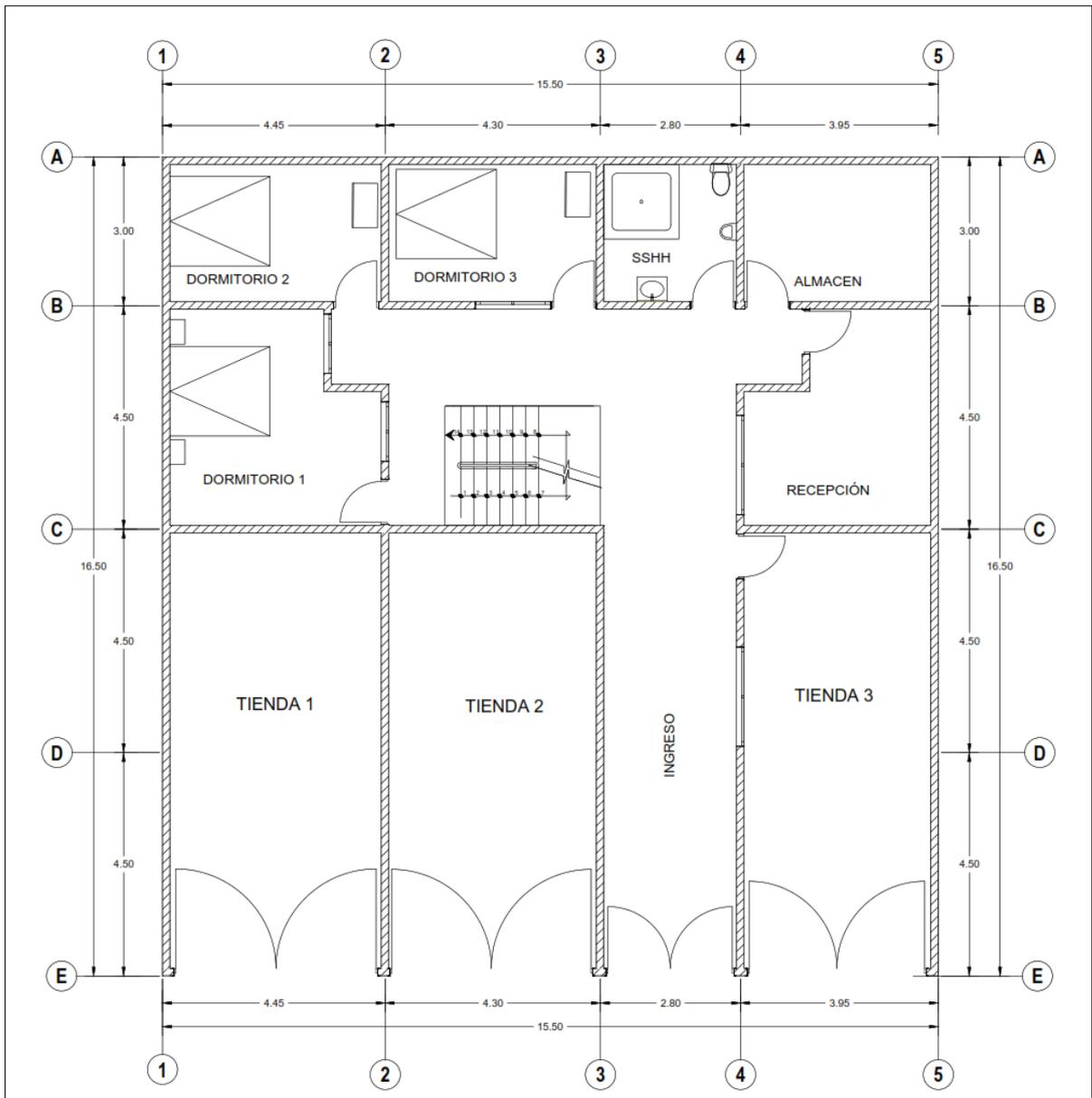
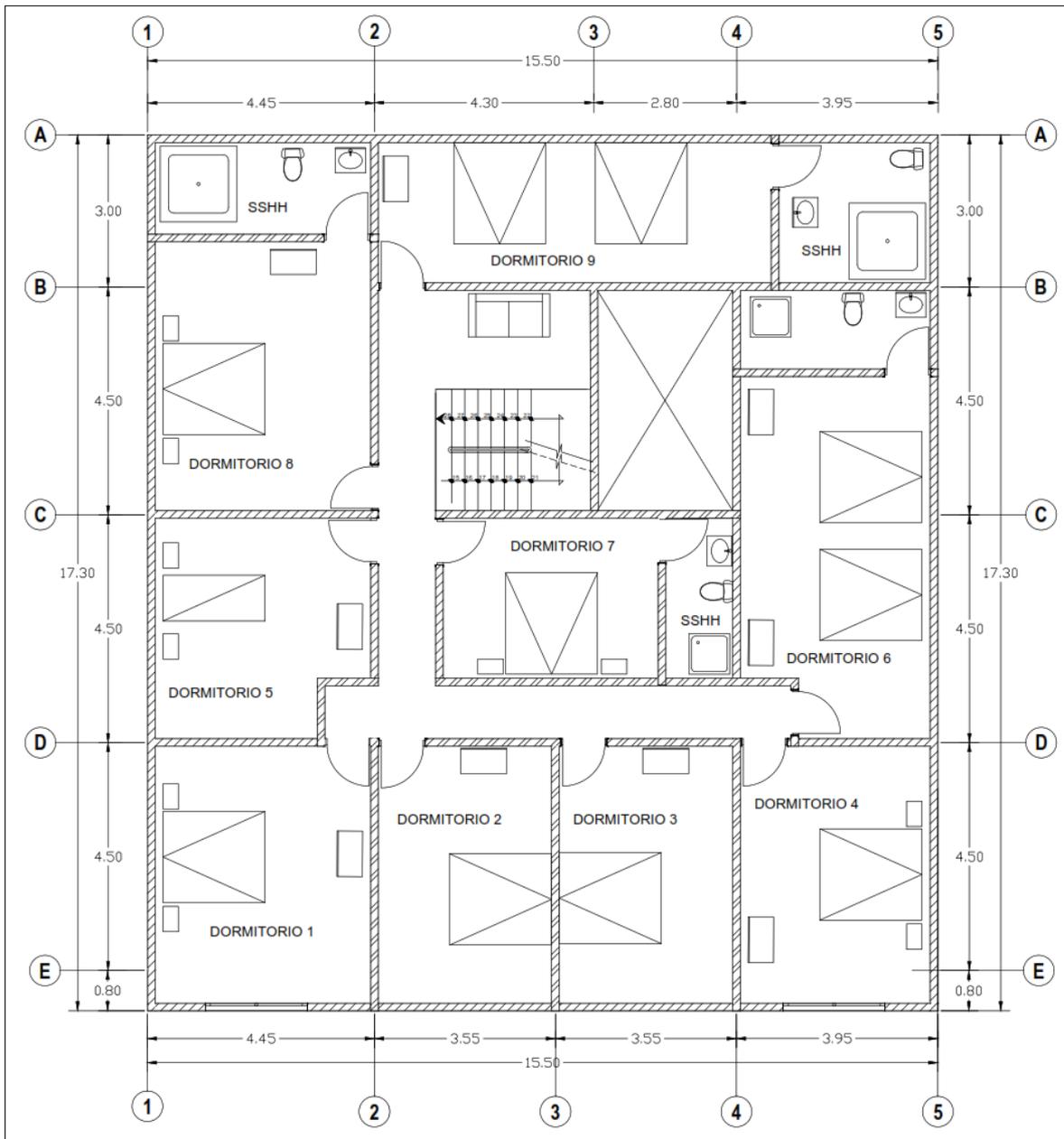
Figura 13.*Plano arquitectónico de planta del primer nivel de la edificación de 6 niveles**Nota: Fuente propia*

Figura 14.

Plano arquitectónico planta del segundo al sexto nivel de la edificación de 6 niveles



Nota: Fuente propia

4.1.1. Normas empleadas

Las normas a usar en el presente análisis están basadas en la normativa del Reglamento Nacional de Edificaciones, en el cual se usará las mencionadas a continuación:

- NTP E.020 – CARGAS
- NTP E.030 – DISEÑO SISMO RESISTENTE
- NTP E031 – AISLADORES SÍSMICOS
- NTP E.050 – SUELOS Y CIMENTACIONES
- NTP E.060 – CONCRETO ARMADO

Para el diseño de los aisladores se aplicará el código ASCE 7-16, el cual fue realizado por la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.

4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

4.2.1. Modelamiento estructural de la edificación sin aisladores

4.2.1.1. Materiales de la edificación:

- Concreto.
 - Resistencia a la compresión ($F'c$) = 210 kg/cm²
 - Densidad del concreto (γ_c) = 2.40 Tonf/m³
 - Módulo de elasticidad (E_c) = 217000 kg/cm²

Figura 15.
Propiedades del concreto $f'c=210\text{kg/cm}^2$ en el Etabs

Nota:Fuente propia

4.2.1.2. Elementos estructurales:
 Columna C-01 (0.30x0.50m)

Figura 16.
Especificaciones de la Columna 1 en el Software Etabs

Nota:Fuente propia

Columna C-02 (0.35x0.50m)

Figura 17.
Especificaciones de la Columna 2 en el Software Etabs

Nota:Fuente propia

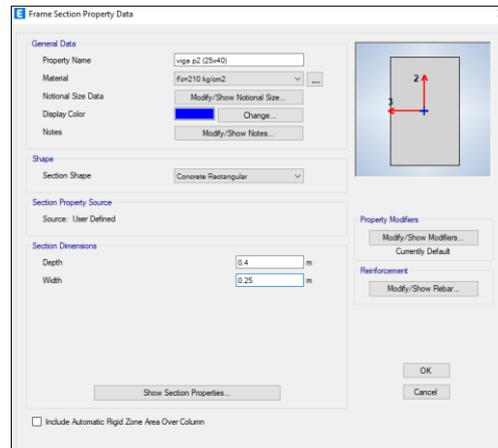
Viga P1 (0.25x0.35m)

Figura 18.
Especificaciones de la Viga P1 en el Software Etabs

Nota:Fuente propia

Viga P2 (0.25x0.40m)

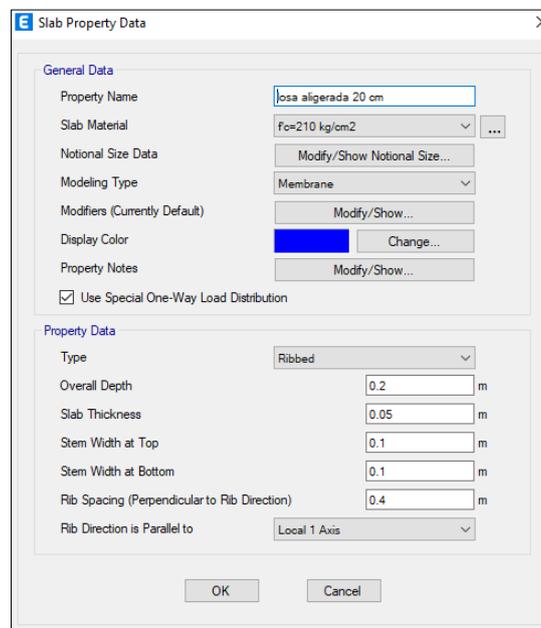
Figura 19.
Especificaciones de la Viga P2 en el Software Etabs



Nota:Fuente propia

Losa aligerada de espesor de 20 cm

Figura 20.
Especificaciones de la losa aligerada de 20 cm en el Etabs



Nota:Fuente propia

4.2.1.3. Asignación de cargas

El metrado de cargas está realizado con la normativa vigente E.020 Cargas, del Reglamento Nacional de Edificaciones, y a continuación se muestra las cargas que se consideraron y también el detalle del cálculo de carga de la escalera que se consideró en la Edificación de seis niveles.

Carga Muerta (CM):

- Carga (losa aligerada) = 300 kg/cm²
- Carga (tabiquería) = 100 kg/m²
- Carga (piso terminado) = 115 kg/m²
- Carga (escalera) = 1725 kg/m
- Muros laterales restándole la ventana de 40 cm = 466 kg/m
- Muros de los volados = 233 kg/m

Carga viva (CV):

- Sobrecarga para vivienda = 200 kg/m²
- Sobrecarga en azotea = 100 kg/m²
- Carga (escalera) = 300 kg/m
- Método para computar las cargas sobre la escalera.

El grosor del descanso se consideró aplicando la Relación de la Longitud entre 20, lo cual nos dio un valor de 15.

Grosor del descanso:

$$hm = \frac{0.15 * \sqrt{0.25^2 - 0.18^2}}{0.25} + \frac{0.18}{2}$$

$$hm = 19.4 \text{ cm} \approx 20 \text{ cm}$$

- ✓ Descanso

Carga de la losa = 360 kgf/m

Carga del piso = 100 kgf/m

Carga del peso de descanso (W1) = 460 kgf/m

✓ Tramo inclinado

Longitud equivalente = 28 cm

Carga de losa = 672 kgf/m

Carga del piso = 100 kgf/m

Carga total en el tramo inclinado (W2) = 772 kgf/m

$W1+W2= 460 \text{ kgf/m} + 772 \text{ kgf/m} = 1232 \text{ kg/m}^2$

$1232 \text{ kg/m}^2 * 1.40 \text{ m} = 1725 \text{ kgf/m}$

✓ Carga Viva de la escalera

Conforme a lo indicado por la normativa E020 del Reglamento Nacional de Edificaciones, una escalera utilizada en una vivienda está sometida a una sobrecarga de 200 kgf/m².

Esta sobrecarga se multiplica por la base de la escalera

$200 \text{ kgf/m}^2 * 1.50 \text{ m} = 300 \text{ kgf/m}$

4.2.1.4. Parámetros Sísmicos

Estos parámetros fueron considerados de acuerdo al lugar, al tipo de suelo y a la estructuración de esta, según la Norma E.030 Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones.

- Factor de zonificación (Z):

Se estableció tomando en cuenta la región donde está situado el edificio de seis pisos. Dado que la estructura está emplazada en Juliaca, de acuerdo con las pautas de la norma E030, se especifica un coeficiente de zonificación de 0.35.

Tabla 2
Factores de zonificación

FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
1	0.10
2	0.25
3	0.35
4	0.45

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

- Tipo de perfil de suelo:
Según el tipo de suelo de la edificación, este corresponde a un suelo Intermedio (S2), para la presente Tesis se consideró como suelo intermedio (debido a ser el suelo predominante en el entorno urbano de la ciudad de Juliaca).
- Coeficiente de Suelo "S"
Después de determinar el tipo de suelo y obtener el cálculo de zonificación previo, se llevó a cabo el cálculo del coeficiente de suelo "S", que asciende a 1.15. Este valor se obtuvo siguiendo las directrices de la normativa E030.

Tabla 3
Factor de Suelo

ZONA	Z1	Z2	Z3	Z4
SUELO				
S ₀	0.80	0.80	0.80	0.80
S ₁	1.00	1.00	1.00	1.00
S ₂	1.60	1.20	1.15	1.05
S ₃	2.00	1.40	1.20	1.10

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

- Parámetros del sitio Tp y TL

Una vez obtenido el coeficiente de suelo, se realizó el cálculo de los períodos T_L y T_p empleando las directrices establecidas en la normativa E030 del RNE. De acuerdo con la tabla 4, los valores resultantes fueron 0.6 y 2 respectivamente.

Tabla 4

Factores T_L y T_p

	Perfil de suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_p(s)$	0.3	0.4	0.6	1
$T_L(s)$	3	2.5	2	1.6

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

- Factor de Uso (U):

De acuerdo a las categorías establecidas en la normativa E030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), la edificación que fue objeto de representación en el modelo corresponde a una residencia, lo que lo ubica en la categoría C según esta normativa. En consecuencia, se requiere emplear el factor de multiplicación 1 para dicho tipo de edificación.

- Factor de amplificación sísmica (C):

La determinación del coeficiente de aumento sísmico se lleva a cabo considerando los intervalos en las coordenadas horizontal X y vertical Y. Después de este proceso, se aplicaron las fórmulas que se presentan enseguida:

Si T es menor al valor de T_p por consiguiente el valor de C es: 2.5

Si T es mayor T_p pero menor a T_L , se toma un valor de C de $2.5 * (T_p/T)$

Si Si T es mayor a T_L se toma un valor de C es: $2.5 * (T_p * T_L / T^2)$

- Factor de reducción (R):

Para determinar el coeficiente de reducción, es necesario reconocer el tipo de sistema estructural en uso. En el caso de nuestro edificio de seis pisos, el sistema estructural empleado es de tipo aperticado. De acuerdo con la tabla 5, esta elección nos lleva a un valor de 8 para el factor de reducción R.

Tabla 5
Sistema estructural y coeficiente de reducción básico

Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R_o (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistente a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7 (**)

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

- Factores de irregularidad (I_a , I_p):

Se realizó la verificación de irregularidades en la edificación, dónde no se encontró ninguna irregularidad ni en altura ni en planta.

Tabla 6
Verificación de irregularidades en altura

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA		
Irregularidad Estructural	VERIFICACIÓN	Factor de Irregularidad $I_a = 1$
1. Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	NO ES IRREGULAR	
2. Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	NO ES IRREGULAR	
3. Irregularidad Extrema de Rigidez	NO ES IRREGULAR	
4. Irregularidad Extrema de Resistencia	NO ES IRREGULAR	
5. Irregularidad de Masa o Peso	NO ES IRREGULAR	
6. Irregularidad Geométrica Vertical	NO ES IRREGULAR	
7. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	NO ES IRREGULAR	
8. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	NO ES IRREGULAR	

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

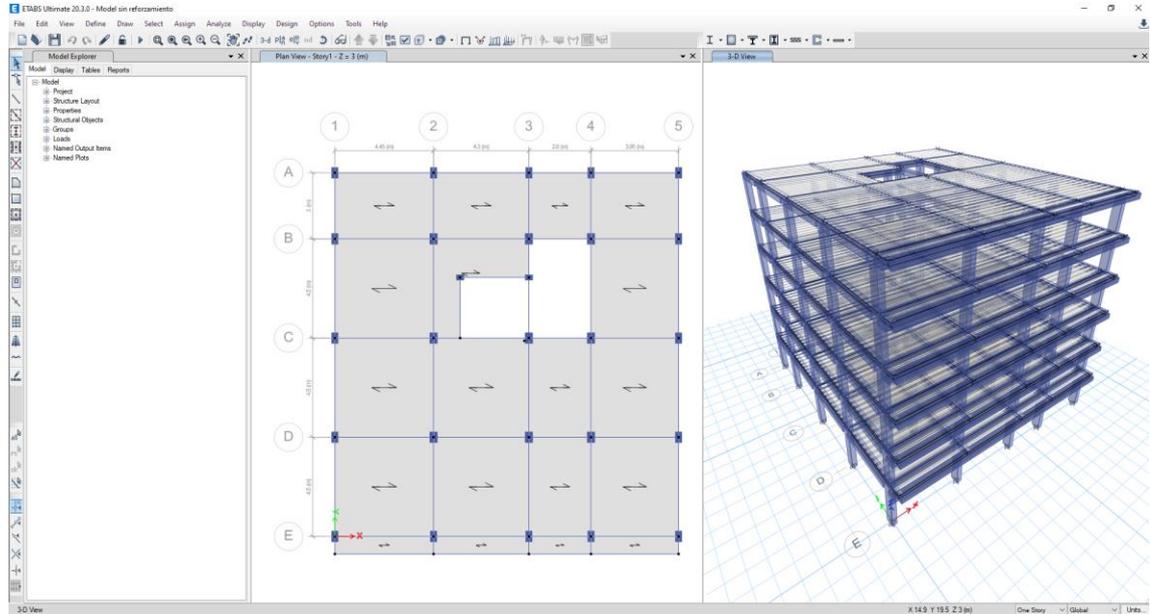
Tabla 7
Verificación de irregularidades en planta

IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA		
Irregularidad Estructural	VERIFICACIÓN	Factor de Irregularidad $I_a = 1$
1. Irregularidad Torsional	NO ES IRREGULAR	
2. Irregularidad Torsional Extrema	NO ES IRREGULAR	
3. Esquinas Entrantes	NO ES IRREGULAR	
4. Discontinuidad del Diafragma	NO ES IRREGULAR	
5. Sistemas no Paralelos	NO ES IRREGULAR	

Nota :Fuente Normativa E030 del RNE

En la figura 19 se muestra el modelamiento de la edificación sin reforzamiento.

Figura 21.
Modelamiento de la edificación sin aisladores



Nota: Fuente propia

Seguidamente se muestra los modos de vibración de la edificación sin aisladores, a lo que llamamos modo de vibración natural.

Figura 22.
Modos de vibración de la edificación sin ningún Aislador

Modal Participating Mass Ratios

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.769	0.8624	0.0023	0	0.8624	0.0023	0	0.0005	0.1385	0.0042	0.0005	0.1385	0.0042
Modal	2	0.71	0.0066	0.4512	0	0.0069	0.4535	0	0.0089	0.0015	0.3932	0.0089	0.1401	0.3974
Modal	3	0.668	0.0002	0.3885	0	0.0002	0.3842	0	0.0797	0.0002	0.461	0.1692	0.1403	0.8584
Modal	4	0.247	0.0514	0.0001	0	0.0506	0.8421	0	0.0005	0.7321	0.0002	0.1697	0.8724	0.8596
Modal	5	0.223	0.0002	0.0394	0	0.0008	0.8815	0	0.2522	0.0021	0.0567	0.4218	0.8745	0.9173
Modal	6	0.209	9.358E-07	0.064	0	0.0008	0.9456	0	0.4147	1.821E-05	0.0364	0.8366	0.8745	0.9536
Modal	7	0.139	0.0259	5.879E-06	0	0.0008	0.9456	0	2.23E-05	0.0559	1.32E-05	0.8366	0.9304	0.9536
Modal	8	0.122	5.019E-06	0.0069	0	0.0008	0.9525	0	0.0155	1.088E-05	0.0234	0.8521	0.9304	0.977
Modal	9	0.113	5.908E-07	0.027	0	0.0008	0.9795	0	0.0601	2.255E-06	0.0062	0.9122	0.9304	0.9833
Modal	10	0.094	0.0093	1.41E-06	0	0.0001	0.9795	0	2.313E-06	0.0569	0	0.9122	0.9873	0.9833
Modal	11	0.08	0	0.0017	0	0.0001	0.9812	0	0.0078	0	0.0101	0.92	0.9873	0.9934
Modal	12	0.072	2.714E-06	0.0124	0	0.0001	0.9935	0	0.0585	8.203E-06	0.0014	0.9786	0.9873	0.9948
Modal	13	0.07	0.0032	6.972E-06	0	0.0001	0.9935	0	3.456E-05	0.0088	9.023E-07	0.9786	0.9961	0.9948
Modal	14	0.058	6.032E-06	0.0004	0	0.0001	0.994	0	0.0014	2.833E-05	0.0038	0.9799	0.9961	0.9906
Modal	15	0.057	0.0007	4.561E-06	0	1	0.994	0	1.505E-05	0.0039	2.425E-05	0.98	1	0.9987
Modal	16	0.051	0	0.0048	0	1	0.9888	0	0.0148	0	0.0004	0.9948	1	0.999
Modal	17	0.047	0	0.0001	0	1	0.9869	0	0.0004	0	0.0009	0.9951	1	0.9999
Modal	18	0.04	0	0.0011	0	1	1	0	0.0049	0	0.0001	1	1	1

Record: << < 1 > >> of 18

Nota: Fuente propia

4.2.1.5. Análisis Estático:

Para poder realizar el análisis estático, requerimos de los pesos de cada nivel, para lo cual la Norma E030 nos recomienda usar el 100% de la Carga Muerta y el 25% de la Carga Viva.

Figura 23.
Pesos de cada nivel en tonf

Story	Output Case	Case Type	Location	P tonf	VX tonf	VY tonf	T tonf-m	MX tonf-m	MY tonf-m
Story6	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	187.5724	0	0	0	1435.0391	-1448.9692
Story5	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	447.4896	0	0	0	3519.9005	-3463.485
Story4	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	707.4067	0	0	0	5804.7618	-5490.507
Story3	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	967.3239	0	0	0	7689.6232	-7505.0227
Story2	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	1227.2411	0	0	0	9774.4846	-9532.0447
Story1	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	1492.1383	0	0	0	11903.3934	-11586.525

Nota: Fuente propia

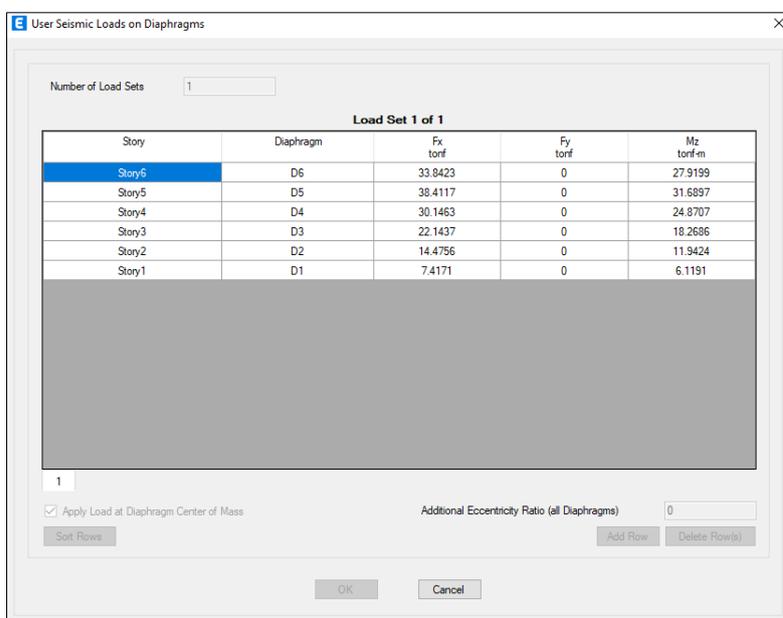
El peso total que se obtuvo fue de 1492.1383 Tonf, donde, para adquirir el valor de la fuerza cortante, se sustituye este dato en la ecuación, tal como es especificado por las directrices de la normativa E030 sobre Diseño Sismorresistente del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). La expresión correspondiente se presenta de la siguiente manera:

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

A continuación, se llevó a cabo el cálculo del coeficiente correspondiente a cada nivel. Este coeficiente se multiplicó por el valor de la fuerza cortante basal, lo que resultó en las fuerzas laterales tanto en el eje horizontal X como en el eje vertical Y. Estos valores están presentados en la tabla 8 y 9, respectivamente.

Tabla 8*Fuerzas laterales en cada piso en el eje X*

PISO	P (kg)	h	hi	hi ^k	p*h ^k	alfa	Fi	V	MT accidental
6	187572.38	2.5	15.5	22.409	4203394.97	0.231	33842.3157	33842.3157	27919.91
5	259917.17	2.5	13	18.356	4770937.23	0.262	38411.7042	72254.0199	31689.66
4	259917.18	2.5	10.5	14.406	3744331.11	0.206	30146.3071	102400.327	24870.70
3	259917.17	2.5	8	10.582	2750366.44	0.151	22143.7124	124544.039	18268.56
2	259917.18	2.5	5.5	6.917	1797945.23	0.099	14475.5919	139019.631	11942.36
1	264897.17	3	3	3.478	921237.021	0.051	7417.05082	146436.682	6119.07

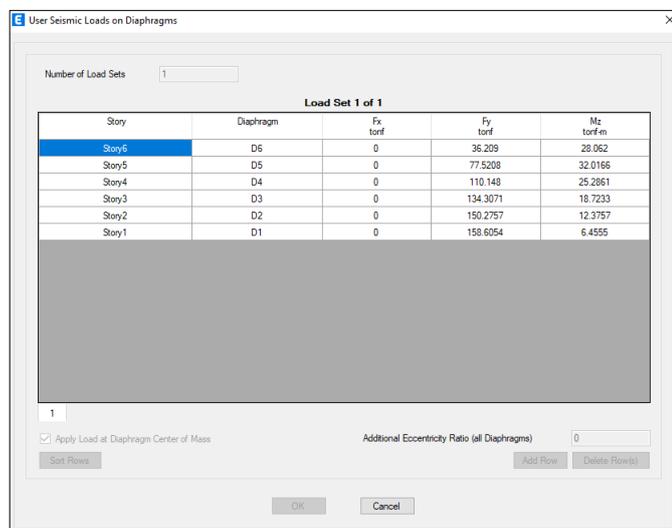
*Nota :Fuente propia***Figura 24.***Inserción de fuerzas laterales en el eje X en el Software Etabs**Nota:Fuente propia***Tabla 9***Fuerzas laterales en cada piso en el eje Y*

PISO	P (kg)	h	hi	hi ^k	p*h ^k	alfa	Fi	V (Tn)	MT accidental
6	187572.38	2.5	15.5	20.669	3876907.29	0.2283	36209.0085	36209.01	28061.98
5	259917.17	2.5	13	17.018	4423259.04	0.26047	41311.7499	77520.76	32016.61
4	259917.18	2.5	10.5	13.44	3493406.81	0.20571	32627.2432	110148.00	25286.11
3	259917.17	2.5	8	9.9521	2586719.91	0.15232	24159.0929	134307.09	18723.30
2	259917.18	2.5	5.5	6.5781	1709762.39	0.10068	15968.6049	150275.70	12375.67
1	264897.17	3	3	3.3668	891859.217	0.05252	8329.66476	158605.36	6455.49

Nota :Fuente propia

Figura 25.

Inserción de fuerzas laterales en el eje Y en el Software Etabs



Nota:Fuente propia

4.2.1.6. Análisis Dinámico Modal Espectral:

Según la indicado en la Norma E030 para poder realizar el análisis modal espectral, se requiere de datos como el Espectro de diseño, el cual se muestra en la tabla 10.

Tabla 10

Espectro de diseño en el eje X y eje Y

T	Sa Dir X- X	Sa Dir Y- Y	T	Sa Dir X- X	Sa Dir Y- Y
0	0.12578	0.12578	0.85	0.08879	0.08879
0.01	0.12578	0.12578	0.9	0.08385	0.08385
0.02	0.12578	0.12578	0.95	0.07944	0.07944
0.03	0.12578	0.12578	1	0.07547	0.07547
0.04	0.12578	0.12578	1.1	0.06861	0.06861
0.05	0.12578	0.12578	1.2	0.06289	0.06289
0.06	0.12578	0.12578	1.3	0.05805	0.05805
0.08	0.12578	0.12578	1.4	0.05391	0.05391
0.1	0.12578	0.12578	1.5	0.05031	0.05031
0.12	0.12578	0.12578	1.6	0.04717	0.04717
0.14	0.12578	0.12578	1.7	0.04439	0.04439
0.16	0.12578	0.12578	1.8	0.04193	0.04193
0.18	0.12578	0.12578	1.9	0.03972	0.03972
0.2	0.12578	0.12578	2	0.03773	0.03773
0.25	0.12578	0.12578	2.25	0.02981	0.02981
0.3	0.12578	0.12578	2.5	0.02415	0.02415

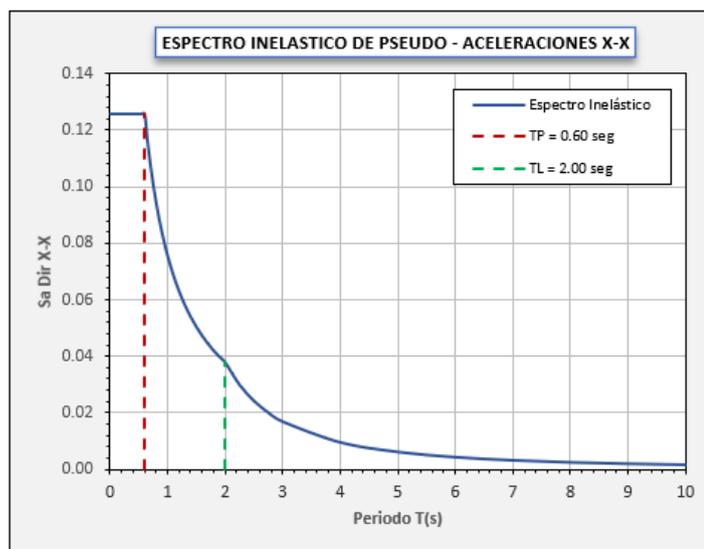
0.35	0.12578	0.12578	2.75	0.01996	0.01996
0.4	0.12578	0.12578	3	0.01677	0.01677
0.45	0.12578	0.12578	4	0.00943	0.00943
0.5	0.12578	0.12578	5	0.00604	0.00604
0.55	0.12578	0.12578	6	0.00419	0.00419
0.6	0.12578	0.12578	7	0.00308	0.00308
0.65	0.11611	0.11611	8	0.00236	0.00236
0.7	0.10781	0.10781	9	0.00186	0.00186
0.75	0.10063	0.10063	10	0.00151	0.00151
0.8	0.09434	0.09434			

Nota :Fuente propia

Y con estos datos podemos graficar los espectros de pseudo aceleraciones tanto en el Eje X como en el Eje Y. los cuales visualizamos en las figuras 24 y 25.

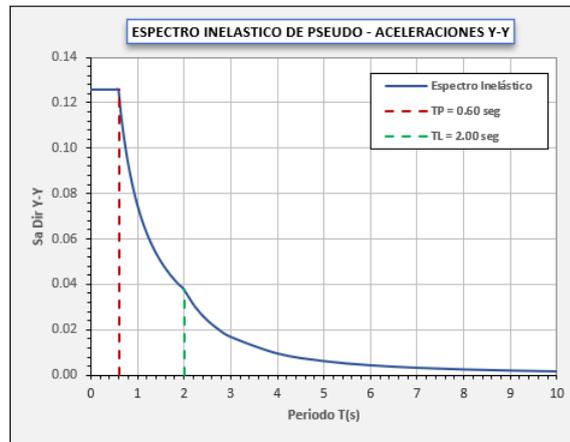
Figura 26.

Espectro de Pseudo – Aceleración en el eje X



Nota:Fuente propia

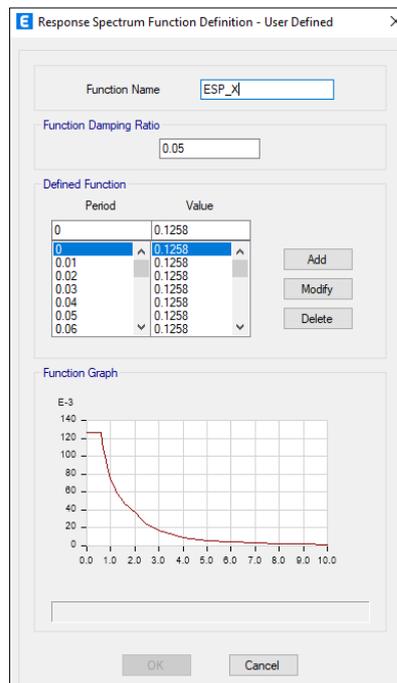
Figura 27.
Espectro de Pseudo – Aceleración en el eje Y



Nota: Fuente propia

Ahora procedemos a la inserción de los valores del espectro de diseño en el eje X y Y, esto lo realizamos en el Software Etabs tal como se muestra en la figura 26.

Figura 28.
Espectro de pseudo-aceleraciones en el Etabs



Nota: Fuente propia

4.2.1.7. Análisis Tiempo Historia:

Según la Norma E030 Diseño sismorresistente nos indica que como mínimo se deben de tomar 3 sismos, por lo cual se tomó los sismos mencionados a continuación:

- Registro de Sismo en La Libertad del 03/02/2022:

Figura 29.

Registro de Sismo en La Libertad del 03/02/2022

```
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
OBSERVATION CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING (CEOIS)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU
e-mail : f_lazares@uni.edu.pe
web-site : http://www.cismid.uni.edu.pe

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
  NETWORK : EL SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACION PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - SENCICO
  STATION : SCTRU (Gerencia Zonal SENCICO, Trujillo, La Libertad)
  LATITUDE : -8.090062
  LONGITUDE : -79.00764
  ACCELEROMETER MODEL : Obsidian Kinematics
  SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
  DATE (LOCAL) : 2022-02-03
  ORIGIN TIME (LOCAL) : 10:58:55
  LATITUDE : -4.49
  LONGITUDE : -77.06
  DEPTH (km) : 139
  MAGNITUDE : 6.8
  INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
  RECORD TIME (UTC-0) : 2022-02-03 15:59:30
  NUMBER OF SAMPLES : 40000
  DATA UNITS : cm/s2
  MAXIMUM ACCELERATION : 8.02 -6.76 -4.21
```

Nota:Fuente CISMID

- Registro de Sismo en Lambayeque del 30/07/2021

Figura 30.

Registro de Sismo en Lambayeque del 30/07/2021

```
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
OBSERVATION CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING (CEOIS)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid.uni.edu.pe

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
  NETWORK: SC (EL SERVICIO NACIONAL DE CAPACITACION PARA LA INDUSTRIA DE LA CONSTRUCCION - SENCICO)
  STATION: SCCHI (Gerencia Zonal Sencico Chiclayo, Chiclayo, Lambayeque.)
  CHANNELS: EO NS UD
  SAMPLING FREQUENCY (Hz): 200
  COORDINATES: -6.776752,-79.873489

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
  DATE (LOCAL): 2021-07-30
  ORIGIN TIME (LOCAL): 12:10:18
  LATITUDE: -4.89
  LONGITUDE: -80.8
  DEPTH (km): 36
  MAGNITUDE: M 6.1
  INFORMATION SOURCE: IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
  START_TIME (UTC-0): 2021-07-30T17:10:00.000000Z
  NUMBER DATA: 42000
  DATA UNITS: cm/s2
  MAXIMUM ACCELERATION: -8.196845 7.980290 -4.005875
```

Nota:Fuente CISMID

- Registro de Sismo en Piura del 18/03/2023

Figura 31.

Registro de Sismo en Piura del 18/03/2023

NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING	
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING	
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)	
OBSERVATION CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING (CEOIS)	
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU	
e-mail : f_lazares@uni.edu.pe	
web-site : http://www.cismid.uni.edu.pe	
1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION	
NETWORK	: CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN TRANSFORMACIÓN DIGITAL EN INGENIERÍA (CITDI) - UNIDAD DE POSGRADO DE LA FIC-UNI
STATION	: UNIPE (UNIPETRO, Talara, Piura)
LATITUDE	: -4.5518
LONGITUDE	: -81.1794
ACCELEROMETER MODEL	: 130-SMA REFTEK
SAMPLING FREQUENCY (Hz)	: 200
2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE	
DATE (LOCAL)	: 2023-03-18
ORIGIN TIME (LOCAL)	: 12:12:52
LATITUDE	: -2.81
LONGITUDE	: -79.95
DEPTH (km)	: 78.0
MAGNITUDE	: M 6.7
INFORMATION SOURCE	: IGP
3. INFORMATION ABOUT THE RECORD	
RECORD TIME (UTC-0)	: 2023-03-18 17:13:10
NUMBER OF SAMPLES	: 56000
DATA UNITS	: cm/s ²
MAXIMUM ACCELERATION	: 6.81 -6.38 -3.96

Nota: Fuente CISMID

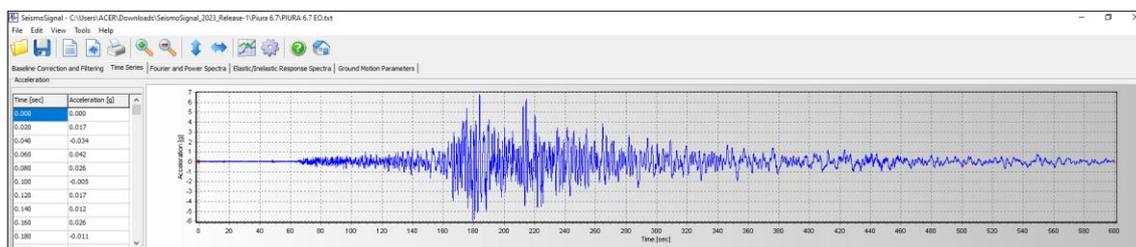
Para poder realizar el modelamiento con el análisis tiempo historia, se realizó la corrección por línea base y filtrado de ruido mediante el Software SeismoSignal, esto para los tres registros sísmicos escogidos.

A continuación se muestra el procedimiento para realizar la corrección por línea base y filtrado de ruido.

En la Figura 30, se puede ver la inserción del sismo de Piura en el sentido Este-Oeste.

Figura 32.

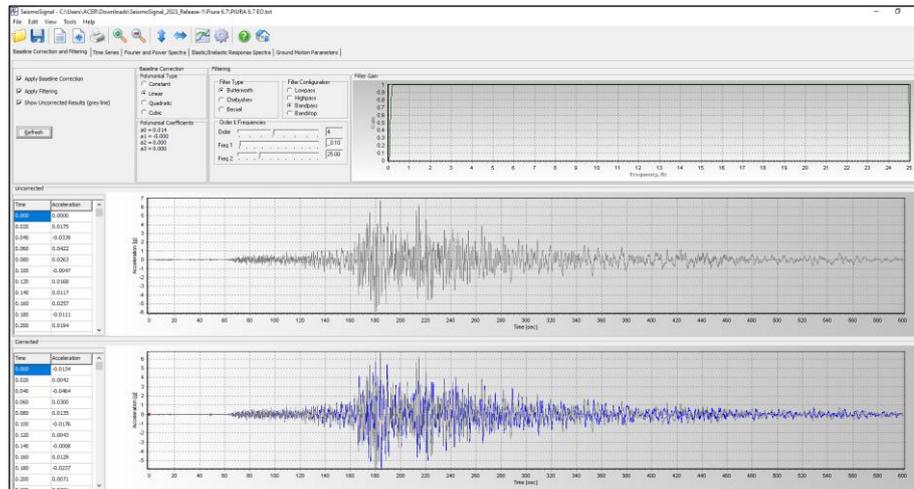
Inserción del registro sísmico de Piura en E-O en el Software SeismoSignal.



Nota: Fuente propia

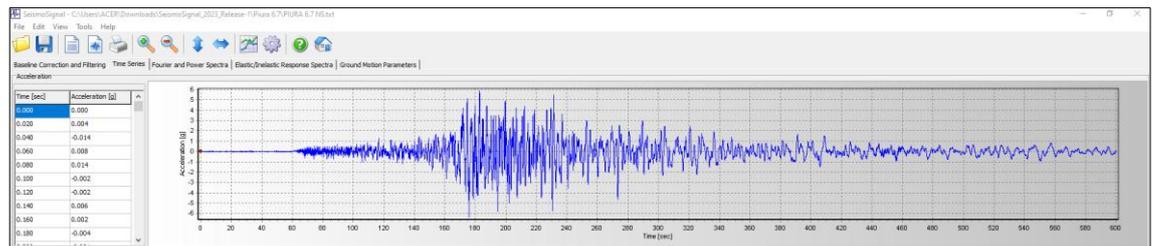
Seguidamente en la Figura 31, se puede ver la corrección del sismo de Piura en el sentido Este-Oeste en el Software SeismoSignal

Figura 33.
Corrección del sismo Piura en E-O en el Software SeismoSignal



Nota:Fuente propia

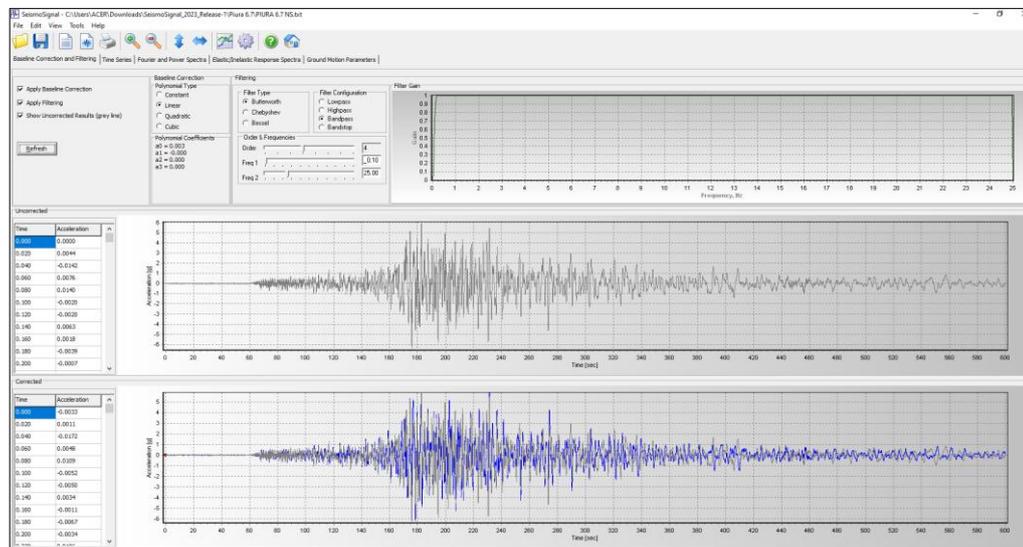
Figura 34.
Inserción del registro sísmico de Piura en N-S en el Software SeismoSignal.



Nota:Fuente propia

Figura 35.

Corrección del sismo Piura en N-S en el Software Seismosignal



Nota: Fuente propia

Una vez corregido por línea base y filtrado de ruido, se procedió a realizar el Escalamiento del acelerograma de los sismos al Espectro de diseño, para esto se tiene en cuenta lo siguiente:

- Espectro de diseño:

Para poder realizar el escalamiento de los acelerogramas al espectro de diseño requerimos usar de los parámetros sísmicos que nos brinda la Norma E.030, que serán los mismos que se emplearon en la edificación sin aisladores, con la diferencia que el factor de reducción sísmica será de 1.

Tenemos los datos de la siguiente tabla para poder hallar el Espectro de diseño con el factor $R=1$.

Tabla 11*Valores para hallar el Espectro de diseño*

DATOS	FACTORES	DATOS	DIR X-X	DIR Y-Y
Z	0.35	RO	1	1
U	1.00	Ia	1.00	0.60
S	1.15	Ip	1.80	0.34
TP	0.60	R	1.8	0.20250781
TL	2.00	g	1	

Nota :Fuente propia

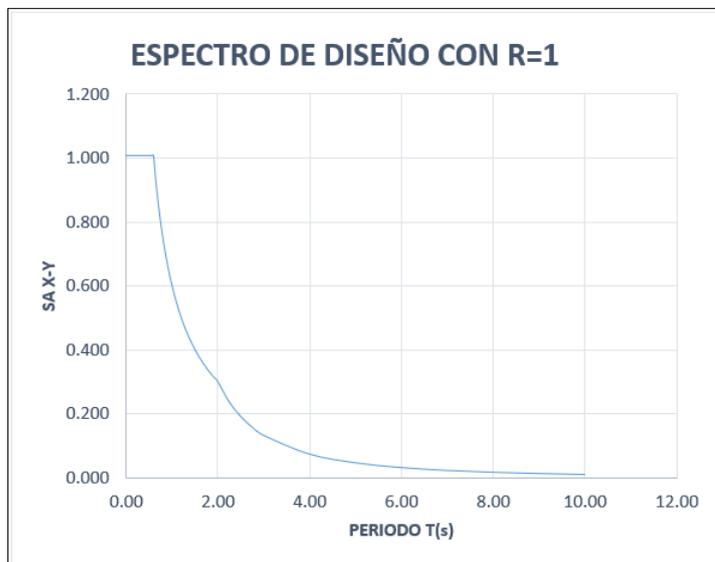
Dónde el Espectro de diseño con $R=1$, se visualiza en la siguiente tabla.

Tabla 12*Valores del Espectro de diseño con $R=1$*

T	Sa X-Y	T	Sa X-Y
0.00	1.006	0.90	0.671
0.02	1.006	0.95	0.636
0.04	1.006	1.00	0.604
0.06	1.006	1.10	0.549
0.08	1.006	1.20	0.503
0.10	1.006	1.30	0.464
0.12	1.006	1.40	0.431
0.14	1.006	1.50	0.403
0.16	1.006	1.60	0.377
0.18	1.006	1.70	0.355
0.20	1.006	1.80	0.335
0.25	1.006	1.90	0.318
0.30	1.006	2.00	0.302
0.35	1.006	2.25	0.239
0.40	1.006	2.50	0.193
0.45	1.006	2.75	0.160
0.50	1.006	3.00	0.134
0.55	1.006	4.00	0.075
0.60	1.006	5.00	0.048
0.65	0.929	6.00	0.034
0.70	0.863	7.00	0.025
0.75	0.805	8.00	0.019
0.80	0.755	9.00	0.015
0.85	0.710	10.00	0.012

Nota :Fuente propia

En la siguiente figura se muestra el Espectro de diseño con $R=1$

Figura 36.*Espectro de diseño con $R=1$* *Nota: Fuente propia*

Existe una serie de escalamientos como son en dominio de la frecuencia la que se basa en la distribución espacial, escalamiento en el dominio de energía, la que se basa en la energía liberada por un terremoto, el escalamiento del dominio en el espacio la que se basa en generar eventos sísmicos en diferentes ubicaciones y la del dominio en el tiempo la que en lugar de crear terremotos desde cero esta usa un evento sísmico existente y mantiene su forma pero alterando su magnitud y duración.

El escalamiento en el dominio del tiempo es una técnica utilizada para poder simular sismos de diferentes magnitudes de intensidad, el cual se aplicará en la presente tesis, la que al ajustar la intensidad de los sismos simulados podremos evaluar el comportamiento sísmico de la estructura a analizar, por lo tanto, escalamos acelerogramas al espectro de diseño con la ayuda del Software SeismoMatch, para lo cual requerimos del periodo mínimo y máximo los cuales según la Norma E.030 Diseño Sismorresistente nos indica que el periodo mínimo se calcula como 0.2 por el

periodo Natural de la edificación y el periodo máximo como 1.5 por el periodo Natural de la edificación, cuyos valores se muestra en la tabla 13.

Tabla 13

Periodo mínimo y máximo para escalar los acelerogramas

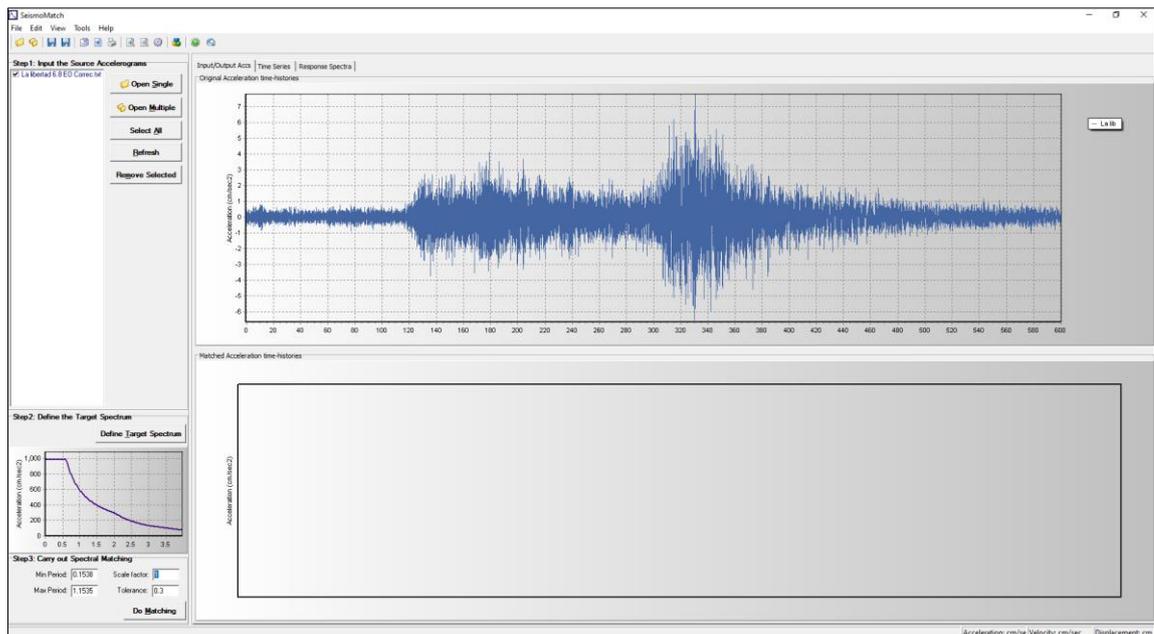
Min	0.1538
Max	1.1535

Nota :Fuente propia

Con los datos que tenemos, procedemos a escalar los acelerogramas al espectro de diseño con $R=1$ en el Software SeismoSignal, como se muestra en la figura 35.

Figura 37.

Escalamiento de acelerogramas al Espectro de diseño



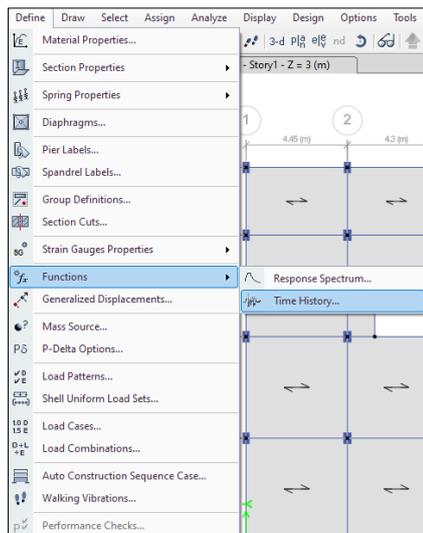
Nota: Fuente propia

Luego guardamos estos acelerogramas para poder insertarlos en el Software Etabs para realizar el análisis tiempo-historia, para lo cual seguimos los pasos mostrados a continuación:

1. Definimos la Función Tiempo – Historia como se muestra en la Figura 36.

Figura 38.

Definición de la Función Tiempo – Historia.

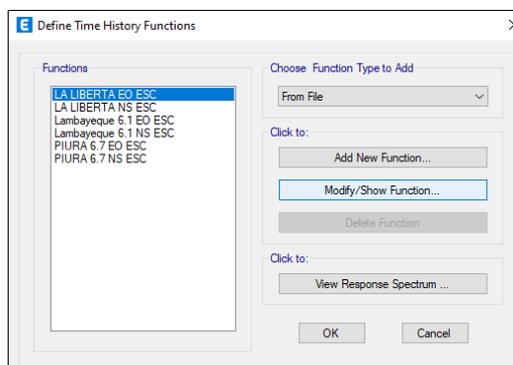


Nota:Fuente propia

2. En la pestaña que nos aparece pulsamos From File y seguidamente Add New Fuction, como se muestra en la figura 37.

Figura 39.

Inserción de registros acelerométricos en el Etabs

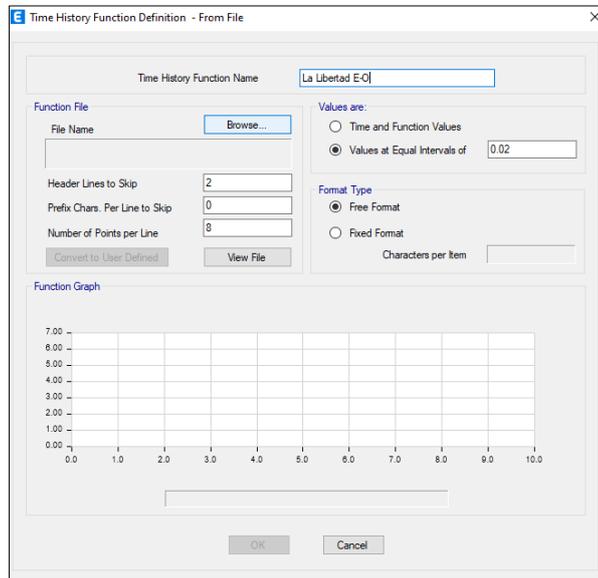


Nota:Fuente propia

3. Luego colocamos nombre tanto para el eje Este-Oeste como para Norte-Sur.

Figura 40.

Inserción del nombre del sismo en el Etabs

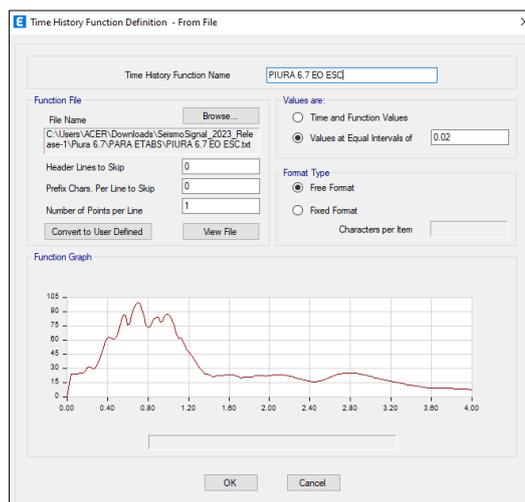


Nota:Fuente propia

4. Procedemos a buscar los acelerogramas para insertarlos.

Figura 41.

Busqueda de acelerogramas con la opción "Browse" en el Etabs



Nota:Fuente propia

Y esto realizamos para los 3 sismos seleccionados en el sentido de Este-Oeste como en el Sentido Norte-Sur así como se muestran en las figuras mostradas.

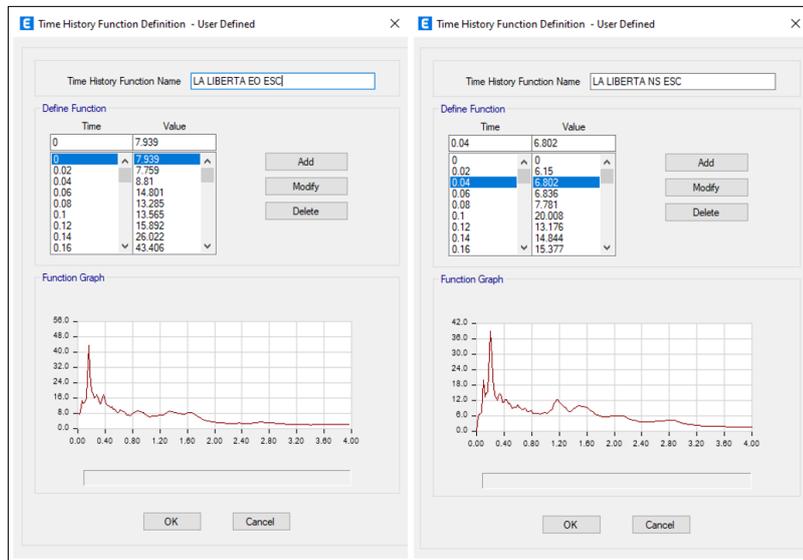
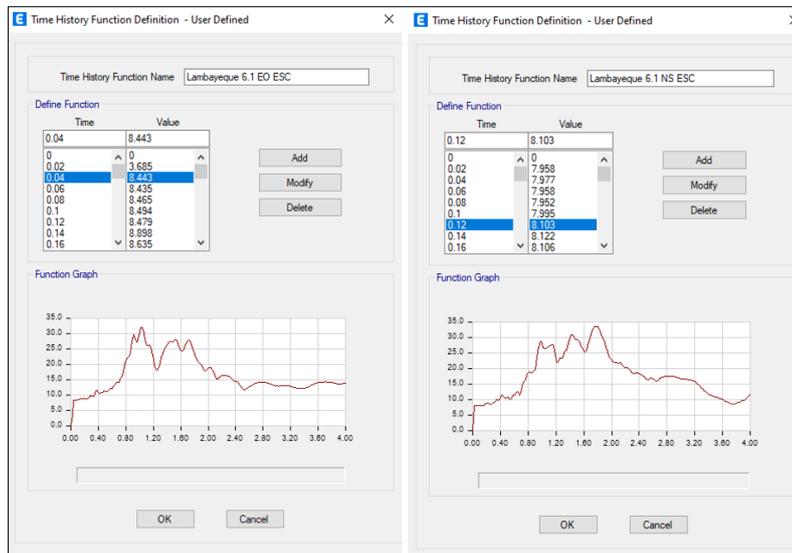
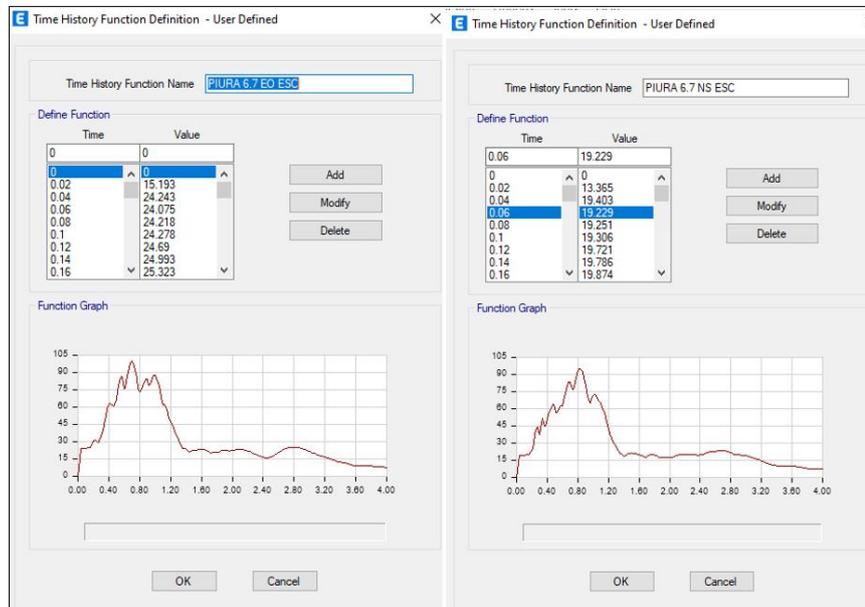
Figura 42.*Inserción de los registros acelerometricos del Sismo La Libertad**Nota:Fuente propia***Figura 43.***Inserción de los registros acelerometricos del Sismo Lambayeque**Nota:Fuente propia*

Figura 44.
Inserción de los registros acelerometricos del Sismo Piura



Nota: Fuente propia

Por ultimo creamos los casos de carga para los tres sismos seleccionados.

Figura 45.
Creación de casos de carga para el Sismo La Libertad

Load Case Data

General

Load Case Name: Sismo La Libertad

Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal

Mass Source: Previous (PESO SIMICO)

Analysis Model: Default

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	LA LIBERTA EO ESC	0.01
Acceleration	U2	LA LIBERTA NS ESC	0.01

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Time History Motion Type: Transient

Number of Output Time Steps: 100

Output Time Step Size: 0.1 sec

Modal Damping: Constant at 0.05

Nota: Fuente propia

Figura 46.
Creación de casos de carga para el Sismo Lambayeque

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
 - Load Case Name: Sismo Lambayeque
 - Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal
 - Mass Source: Previous (PESO SISMICO)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	Lambayeque 6.1 EO...	0.01
Acceleration	U2	Lambayeque 6.1 NS...	0.01
- Other Parameters:**
 - Modal Load Case: Modal
 - Time History Motion Type: Transient
 - Number of Output Time Steps: 100
 - Output Time Step Size: 0.1 sec
 - Modal Damping: Constant at 0.05

Nota: Fuente propia

Figura 47.
Creación de casos de carga para el Sismo Piura

The screenshot shows the 'Load Case Data' dialog box with the following settings:

- General:**
 - Load Case Name: Sismo Piura
 - Load Case Type/Subtype: Time History / Linear Modal
 - Mass Source: Previous (PESO SISMICO)
 - Analysis Model: Default
- Loads Applied:**

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	PIURA 6.7 EO ESC	0.01
Acceleration	U2	PIURA 6.7 NS ESC	0.01
- Other Parameters:**
 - Modal Load Case: Modal
 - Time History Motion Type: Transient
 - Number of Output Time Steps: 100
 - Output Time Step Size: 0.1 sec
 - Modal Damping: Constant at 0.05

Nota: Fuente propia

4.2.2. Diseño y Modelamiento con los Aisladores LRB

Para poder efectuar el diseño de este aislador se aplicó la normativa del ASCE 7-16 y la Norma E.031, dónde se siguió los siguientes pasos:

1. Datos de la edificación: Figura 48. *Masa por piso de la edificación.*

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	8.0476	8.7946
Story2	D2	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0441	8.7183
Story3	D3	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0403	8.6845
Story4	D4	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0356	8.6669
Story5	D5	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0302	8.6553
Story6	D6	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	8.0276	8.6436

Nota: Fuente propia

En dónde observando en la figura 46, el peso total de todos los pisos es de 149.79 tonf-s²/m, y teniendo en cuenta la masa de un nivel más al considerar los aisladores colocados por lo tanto la masa total sería de 176.15 tonf-s²/m.

Los periodos de la edificación sin aisladores fueron los mostrados en la tabla 14.

Tabla 14
Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.

Modo 1	X	0.769
Modo 2	Y	0.71
Modo 3	Z	0.666

Nota :Fuente propia

El periodo de la edificación aislada debe ser tres veces el periodo fijo, según la Norma E.031 del Reglamento Nacional de Edificaciones, y a la vez recomienda que estos valores se encuentren entre los rangos de 2.5 s a 3 s.

Por lo tanto el periodo para la edificación de análisis será de 2.5 s.

Se consideró un total de 25 aisladores, debido a que se tiene la misma cantidad de columnas. Empotradas.

2. Cálculo del desplazamiento total máximo:

- Rigidez del aislador

Como ya tenemos los datos del periodo y también de la masa, procedemos a calcular la rigidez del aislador con la fórmula mostrada a continuación:

$$K_{ais} = \frac{4\pi^2}{T_{ais}^2} * M = \frac{4\pi^2}{(2.5)^2} * (176.15) = 1112.66 \text{ Tn/m}$$

Dividimos este valor entre la cantidad de aisladores que tenemos, entonces nos sale una rigidez de 50.56 Tn/m.

3. Factor de amortiguamiento:

De acuerdo a lo que indica el código ASCE 7-16, nos brinda la Figura 47.

Figura 49.

Factor de amortiguamiento.

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+1}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Nota: Fuente Norma ASCE 7-16

La figura 47, nos da el valor del amortiguamiento en función al amortiguamiento efectivo β , para lo cual asumimos un valor de β de 15%, e interpolando en la tabla tenemos un valor de 1.40 de βM .

4. Cálculo del coeficiente espectral

Para esto se tomó en cuenta la Norma UBC 97, este valor se denomina como S_{d1} en donde se consideró de 0.56

5. Cálculo del desplazamiento máximo lateral

Usando la norma E.031 Aislamiento sísmico, nos brinda el dato de que como mínimo el diseño del aislador debe resistir el desplazamiento lateral máximo, para esto nos da la fórmula siguiente:

$$D_M = \frac{g * S_{d1} * T_M}{4 * \pi^2 * B_M}$$

Reemplazando en la ecuación los valores obtenidos anteriormente, tenemos un Desplazamiento Máximo Lateral de 25 cm.

6. Cálculo del total de desplazamiento máximo

Para obtener este valor, la Norma E.031 Aisladores Sísmicos, nos muestra la fórmula siguiente:

$$D_{TM} = DM * \left[1 + y * \frac{12e}{b^2 + d^2} \right]$$

Se tiene:

b = dimensión reducida en planta de la estructura

d = dimensión larga en planta de la estructura

e = excentricidad actual y accidental combinada

y = distancia entre el centro de rotación del sistema de aisladores y el elemento de interés más alejado, en una dirección perpendicular a la del sismo.

A continuación se presentan los resultados obtenidos con los datos recopilados:
Dirección "X":

$$y = 8.25 \text{ m}$$

$$e = 0.415$$

$$b = 15.5 \text{ m}$$

$$d = 16.5 \text{ m}$$

$$DTM = 0.2699 \text{ m}$$

Dirección "Y"

$$y = 7.75 \text{ m}$$

$$e = 0.3875$$

$$b = 15.5 \text{ m}$$

$$d = 16.5 \text{ m}$$

$$DTM = 0.2676 \text{ m}$$

Procedemos a realizar la verificación, en dónde se compara el Desplazamiento Máximo Total con el 1.1 multiplicado al Desplazamiento Máximo Lateral, dónde se tiene lo siguiente:

$$DTM \leq 1.1 * dm$$

$$0.2675 \leq 0.275 \text{ (Cumple)}$$

7. Cálculo de la carga axial última

Se usó las ecuaciones mostradas en la Norma E.031.

$$P_{um\acute{a}x} = 1.25CM + 1.25CV + SISMO$$

Inicialmente recomienda considerar el 30% de la Carga Muerta como la carga de sismo.

Entonces reemplazando se tendría lo siguiente:

Figura 50.
Carga última Axial extraída del Software Etabs

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m
Base	1	2	Pu máx	Combination	0.3541	-0.4171	46.4307	0.1303	0.3348	-0.0011
Base	2	9	Pu máx	Combination	-0.0340	-0.5720	65.6416	0.2847	-0.0089	-0.0011
Base	3	16	Pu máx	Combination	-0.1077	-0.4555	54.4904	0.154	-0.164	-0.0011
Base	4	23	Pu máx	Combination	0.1129	-0.4317	52.6572	0.1676	0.1543	-0.0011
Base	5	30	Pu máx	Combination	-0.2929	-0.3994	43.1019	0.1455	-0.2836	-0.0011
Base	6	37	Pu máx	Combination	-0.2778	0.7568	70.2669	-0.9337	-0.2813	-0.0011
Base	7	44	Pu máx	Combination	-0.2896	0.1571	88.4854	-0.3739	-0.2893	-0.0011
Base	8	51	Pu máx	Combination	-0.2792	0.1841	88.3896	-0.3805	-0.2761	-0.0011
Base	9	58	Pu máx	Combination	-0.2767	-0.396	74.969	0.1442	-0.2704	-0.0011
Base	10	65	Pu máx	Combination	0.3068	0.8125	75.5886	-0.0173	0.2775	-0.0011
Base	11	72	Pu máx	Combination	-0.0407	0.7005	110.3232	-0.9037	-0.0547	-0.0011
Base	12	79	Pu máx	Combination	-0.1556	0.6384	94.5208	-0.8369	-0.1646	-0.0011
Base	13	86	Pu máx	Combination	0.0350	0.6082	89.8945	-0.8031	0.0184	-0.0011
Base	14	93	Pu máx	Combination	0.34	0.1832	95.3677	-0.4299	0.3125	-0.0011
Base	15	100	Pu máx	Combination	0.298	0.1899	95.2939	-0.4361	0.2757	-0.0011
Base	16	107	Pu máx	Combination	0.3408	-0.4112	81.0388	0.1248	0.3199	-0.0011
Base	17	114	Pu máx	Combination	-0.0582	0.1704	135.9601	-0.4505	-0.0752	-0.0016
Base	18	121	Pu máx	Combination	0.3562	-0.0599	127.382	-0.2356	0.3243	-0.0016
Base	19	128	Pu máx	Combination	-0.0771	-0.3675	111.6676	0.0515	-0.0827	-0.0016
Base	20	135	Pu máx	Combination	-0.2346	0.1816	115.4471	-0.4508	-0.243	-0.0016
Base	21	142	Pu máx	Combination	-0.2575	-0.8733	90.0373	0.5338	-0.2595	-0.0016
Base	22	149	Pu máx	Combination	-0.2002	0.4971	75.3162	-0.7452	-0.1998	-0.0016
Base	23	156	Pu máx	Combination	0.1992	0.1581	111.2268	-0.4221	0.0841	-0.0016
Base	24	163	Pu máx	Combination	0.1891	0.0112	102.2256	-0.285	0.1653	-0.0016
Base	25	170	Pu máx	Combination	0.1853	-0.2751	87.6565	-0.0179	0.1669	-0.0016

A continuación se muestra la carga última axial que se extrajo del software Etabs, en la cual usaremos el dato máximo para poder calcular el diámetro del Aislador.

Tabla 15
Carga última Axial extraída del Software Etabs

Pu máx
tonf
46.4307
65.6416
54.4904
52.6572
43.1019
70.2669
88.4854
88.3896
74.969
75.5886
110.3232
94.5208
89.8945
95.3677
95.2939
81.0388
135.9601
127.382
111.6676
115.4471

90.0373
75.3162
111.2268
102.2256
87.6565
40.5092
37.7908

Nota: Fuente propia

$$P_{um\acute{a}x} = 1.25CM + 1.25CV + SISMO$$

$$P_{um\acute{a}x} = 135.96 T$$

8. En este paso se muestra el cálculo del diámetro del Aislador

Considerando la carga axial última y el desplazamiento total máximo se calcula el diámetro con la siguiente ecuación:

$$DI = 1.5 * DTM$$

$$DI = 0.4014 \text{ m}$$

9. En este paso se muestra la elección del tipo de Aisladores

A continuación mostramos las propiedades histeréticas del aislador del fabricante.

Tabla 16

Propiedades histeréticas del fabricante de aislador LRB

DEVICE				MOUNTING PLATE					
Isolator Diameter D	Isolator Height r	Number of Rubbers	Lead Diameter	L	t	Hole	Hole Ø	A (mm)	B (mm)
305	125-280	4-14	0-100	355	25	4	27	50	-
355	150-305	5-16	0-100	405	25	4	27	50	-
405	175-330	6-20	0-125	455	25	4	27	50	-
455	175-355	6-20	0-125	510	25	4	27	50	-
520	205-380	8-24	0-180	570	25	8	27	50	50
570	205-380	8-24	0-180	620	25	8	27	50	50
650	205-380	8-24	0-205	700	32	8	27	50	50
700	205-430	8-30	0-205	750	32	8	33	65	75
750	230-455	8-30	0-230	800	32	8	33	65	75
800	230-510	8-33	0-230	850	32	8	33	65	75
850	230-535	8-35	0-255	900	38	12	33	65	95
900	255-560	9-37	0-255	955	38	12	33	65	95
950	255-585	10-40	0-280	1005	38	12	33	65	95

1000	255-635	11-40	0-280	1055	38	12	40	75	115
1050	255-710	12-45	0-305	1105	44	12	40	75	115
1160	330-760	14-45	0-330	1205	44	12	40	75	115
1260	355-760	16-45	0-355	1335	44	16	40	75	115
1360	405-760	18-45	0-380	1435	51	16	40	75	115
1450	430-760	20-45	0-405	1525	51	20	40	75	115
1550	455-760	22-45	0-405	1625	51	20	40	75	115

Nota :Fuente Sistemas de aislamiento sísmico

A través de la tabla proporcionada, se exponen las propiedades del productor, permitiendo seleccionar aquel que se ajuste a los intervalos particulares en función de estas cualidades.

10. Cálculo de Qd (Fuerza de histéresis).

Para esto se considera de 3 a 10% del peso de servicio máximo de la estructura.

Figura 51.

Peso de servicio obtenido del Software Etabs.

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m
Base	1	2	Pservicio	Combination	0.2361	-0.2786	30.8273	0.0884	0.2234	-0.0007
Base	2	9	Pservicio	Combination	-0.023	-0.3822	43.5388	0.1911	-0.0244	-0.0007
Base	3	16	Pservicio	Combination	-0.1114	-0.3045	36.1494	0.1243	-0.1089	-0.0007
Base	4	23	Pservicio	Combination	0.0756	-0.2883	34.94	0.1129	0.0699	-0.0007
Base	5	30	Pservicio	Combination	-0.195	-0.2686	28.6223	0.0979	-0.1887	-0.0007
Base	6	37	Pservicio	Combination	-0.1846	0.5039	46.6218	-0.6212	-0.1867	-0.0007
Base	7	44	Pservicio	Combination	-0.1925	0.1038	58.6843	-0.2478	-0.1922	-0.0007
Base	8	51	Pservicio	Combination	-0.1857	0.1087	58.6269	-0.2524	-0.1835	-0.0007
Base	9	58	Pservicio	Combination	-0.1842	-0.2657	49.7434	0.0971	-0.1799	-0.0007
Base	10	65	Pservicio	Combination	0.2046	0.541	50.1481	-0.6765	0.1853	-0.0007
Base	11	72	Pservicio	Combination	-0.0269	0.4663	73.1258	-0.6008	-0.036	-0.0007
Base	12	79	Pservicio	Combination	-0.1031	0.4249	62.6427	-0.5565	-0.1088	-0.0007
Base	13	86	Pservicio	Combination	0.0246	0.4047	59.591	-0.5339	0.0133	-0.0007
Base	14	93	Pservicio	Combination	0.2268	0.121	63.394	-0.2846	0.2087	-0.0007
Base	15	100	Pservicio	Combination	0.2001	0.1254	63.3457	-0.2886	0.1853	-0.0007
Base	16	107	Pservicio	Combination	0.2274	-0.275	53.7572	0.0851	0.2136	-0.0007
Base	17	114	Pservicio	Combination	-0.0392	0.1124	90.152	-0.2981	-0.0502	-0.0011
Base	18	121	Pservicio	Combination	0.219	-0.0451	84.2502	-0.1512	0.1989	-0.0011
Base	19	128	Pservicio	Combination	-0.0515	-0.2451	73.9717	0.0355	-0.0551	-0.0011
Base	20	135	Pservicio	Combination	-0.1555	0.1194	76.4363	-0.298	-0.1609	-0.0011
Base	21	142	Pservicio	Combination	-0.1638	-0.5799	59.3949	0.3547	-0.1653	-0.0011
Base	22	149	Pservicio	Combination	-0.1327	0.3332	49.9042	-0.4975	-0.1323	-0.0011
Base	23	156	Pservicio	Combination	0.0736	0.1044	73.6525	-0.2796	0.0571	-0.0011
Base	24	163	Pservicio	Combination	0.1263	0.0068	67.7357	-0.1886	0.1107	-0.0011
Base	25	170	Pservicio	Combination	0.1239	-0.1839	58.133	-0.1005	0.1118	-0.0011

Nota: Fuente propia

Para obtener la carga de servicio se considera una mayoración del 100 % de la Carga Muerta y un 50 % de la Carga viva, y se utiliza el 6% de W.

Tabla 17

Peso de servicio obtenido del Software Etabs.

P servicio
tonf
30.8273
43.5388
36.1494
34.94
28.6223
46.6218
58.6843
58.6269
49.7434
50.1481
73.1258
62.6427
59.591
63.394
63.3457
53.7572
90.152
84.2502
73.9717
76.4363
59.3949
49.9042
73.6525
67.7357
58.133
26.7278
24.7274

Nota: Fuente propia

De la tabla mostrada tenemos que para la carga axial última máxima le corresponde una carga de servicio de 90.152 Tn, calculando el 6% de este valor tenemos un resultado de:

$Q_d = 6\% W = 5.40912 \text{ Tn.}$

11. Cálculo del diámetro del núcleo de plomo

$$A_{plomo} = \frac{F_y}{\sigma_y (10 \text{MPa})}$$

$$F_y = 1.1 * Q_d$$

$$D_L = \sqrt{\frac{4 * 1.10 * Q_d}{\pi * \sigma_y}}$$

En el catálogo Dynamic Isolation Systems (DIS), cada diámetro tiene un rango DL.

$$F_y = 5.95$$

$$DL = 0.08619 \text{ m}$$

12. Cálculo de la altura del aislador sin usar algún tipo de plantas (H)

Esta medida se establece en relación con el nivel de deformación cortante, con un umbral máximo del 250%, y el desplazamiento total máximo (DTM).

$$HI = \frac{DTM}{2.5}$$

$$HI = 0.1070 \text{ m}$$

13. Cálculo de Kd o K2

Depende principalmente del caucho, cuyo cálculo implica el uso del módulo de corte (G), el área de caucho y la altura de este material.

$$K_d = \frac{\pi * (D_i^2 - D_L^2) * G}{4 * H_i}$$

El valor de G=0.4 a 0.7 MPA, en la presente investigación se trabajó con 40.78 T/m².

$$K_d = 45.98 \text{ Tn/m}$$

14. Cálculo de Keff

$$K_{eff} = \frac{Q_d}{D_{TM}} + K_d$$

$$K_{eff} = 46.31 \text{ Tn/m}$$

15. Cálculo de B_{eff}

$$B_{eff} = \frac{4Q_d(D_{TM} - F_Y / 10K_d)}{2\pi * K_{eff \max} D_{TM}^2}$$

$$B_{eff} = 0.2645 \text{ m}$$

16. Cálculo de la rigidez vertical

$$K_V = \frac{E_c A}{H_l}$$

E_c = Módulo de elasticidad que viene a ser de las láminas de caucho y acero.

A = Área transversal del aislador.

Para el cálculo de “ E_c ”, se aplica la ecuación siguiente:

$$E_c = \frac{6GS^2K}{6GS^2K + K}$$

Se tiene:

G = Módulo de corte del material de caucho, se asume un rango de valores entre 0.38 a 0.70 Mpa (Para este estudio, se empleó un valor de 0.5 Mpa = 50.985 Tn/m²).

S = Coeficiente de forma, obtenido al dividir el diámetro del aislador D entre cuatro veces el grosor de una lámina de caucho t .

K = Módulo de compresibilidad del caucho, recomendable es el valor de 2000MPA.

$$T = 8 \text{ mm}$$

$$S = 14.3955$$

$$E_c = 48361.2289 \text{ Tn/m}^2$$

$$A = 0.3618 \text{ m}^2$$

$$K_v = 163475.0688 \text{ Tn/m}$$

17. Cálculo de la rigidez elástica K_e

$$K_e = 10 * K_d$$

$$K_e = 459.84 \text{ Tn/m}$$

A continuación, se presentan las características físicas y mecánicas del aislador recién diseñado.

Tabla 18

Resumen de las propiedades físicas y mecánicas del aislador.

DI	HI	K_{eff}	β_{eff}	K_e	F_y	K_d/K_e	Puman	K_v
460.656042	107.031707	46.3061509	0.26447805	459.840263	5.950032	0.1	135.96	163475.07
mm	mm	T/m		T/m	T		T	T/m

Nota :Fuente propia

A continuación se puede visualizar las propiedades del aislador LRB a insertar al Software Etabs.

Tabla 19

propiedades del aislador LRB a insertar al Software Etabs.

Dirección	Propiedades	Cantidad	Unidad
Ejes X y Y	Rigidez efectiva lineal=	46.3061509	T/m
	Amortiguamiento efectivo lineal	0.2	T.s/m
	Rigidez no lineal=	459.840263	T/m
	Fluencia	5.950032	T
	Radio de rigidez post fluencia=	0.1	
Eje Z	Rigidez efectiva=	163475.069	T/m
	Amortiguamiento efectivo lineal=	0.2	T.s/m

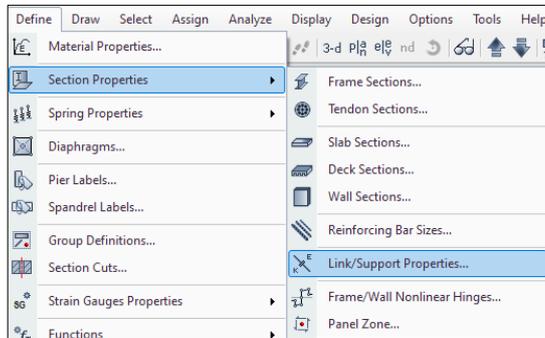
Nota :Fuente propia

A continuación se muestran los pasos para la inserción de los datos del aislador LRB diseñado en el software Etabs:

Paso 01: Seleccionamos la opción Define luego Section Properties y después la opción Link/Support Properties.

Figura 52.

Paso 01 del modelamiento del aislador LRB

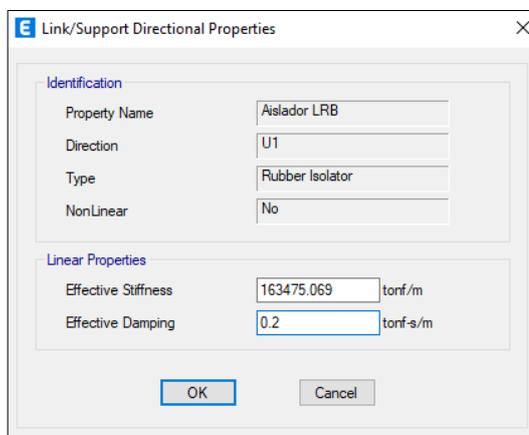


Nota: Fuente propia

Paso 02: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje Z

Figura 53.

Paso 02 del modelamiento del aislador LRB

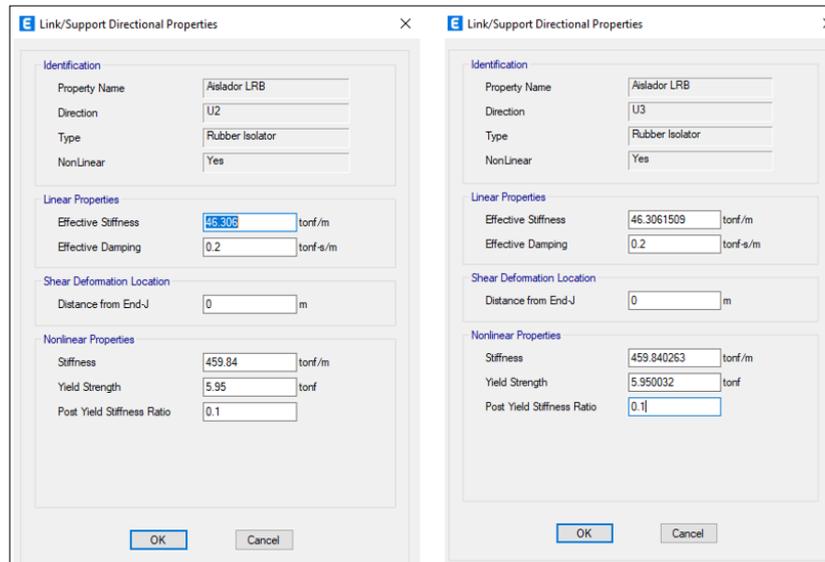


Nota: Fuente propia

Paso 03: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje X (U2) y Y (U3)

Figura 54.

Paso 03 del modelamiento del aislador LRB

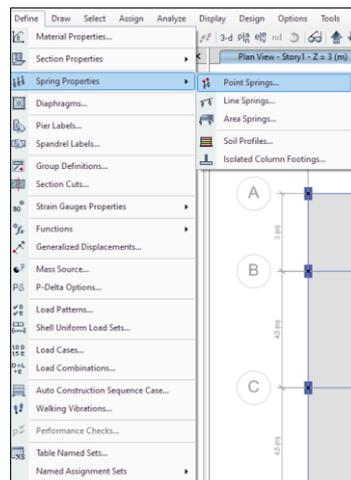


Nota: Fuente propia

Paso 04: Una vez colocados los datos del aislador, procedemos a la definición del mismo yendo a la opción Define luego a Spring Properties y después a Point Spring.

Figura 55.

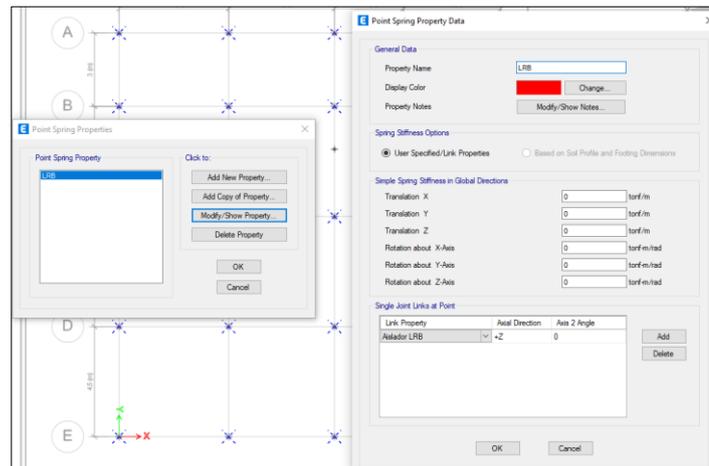
Paso 04 del modelamiento del aislador LRB



Nota: Fuente propia

Paso 05: Seguidamente Definimos el Aislador LRB creando una nueva propiedad y colocando el nombre “Aislador LRB” y luego escogiéndola esta y colocamos la opción “OK”.

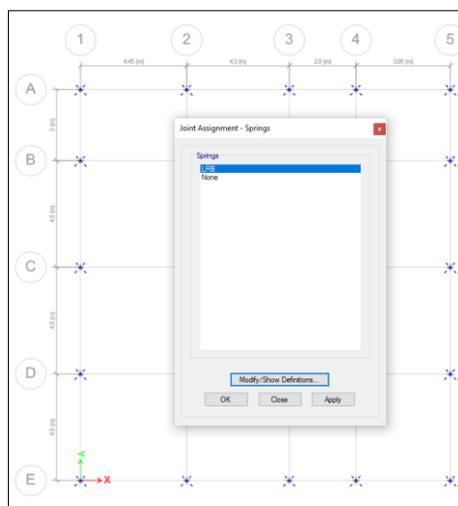
Figura 56.
Paso 05 del modelamiento del aislador LRB



Nota:Fuente propia

Paso 06: Seguidamente seleccionamos los nodos de la base en donde iran los aisladores LRB y lo asignamos con la opción “Join Assignment Spring”.

Figura 57.
Paso 06 del modelamiento del aislador LRB

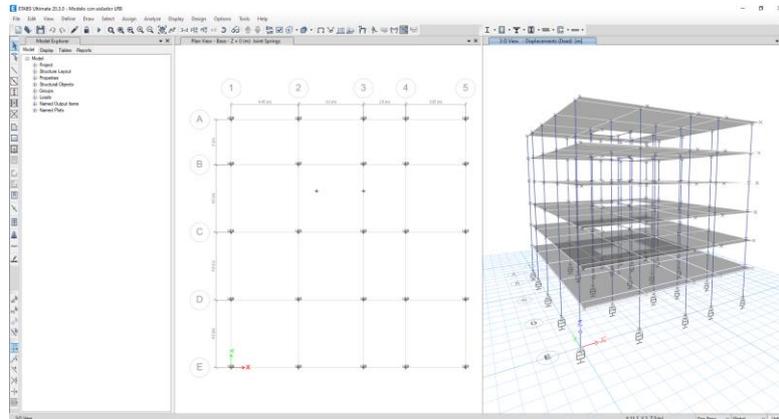


Nota:Fuente propia

Finalmente se puede apreciar la edificación modelada con los Aisladores LRB.

Figura 58.

Edificación modelada con aisladores LRB



Nota: Fuente propia

4.2.3. Diseño y Modelamiento con los Aisladores Péndulo de Fricción Doble

Para el diseño del aislador de doble péndulo friccional se toma en cuenta los siguientes pasos:

1. Datos de la edificación:

Figura 59.

Masa por piso de la edificación.

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	8.0476	8.7946
Story2	D2	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0441	8.7183
Story3	D3	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0403	8.6845
Story4	D4	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0356	8.6669
Story5	D5	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0302	8.6553
Story6	D6	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	8.0276	8.6436

Nota: Fuente propia

En dónde observando en la figura 57, el peso total de todos los pisos es de 149.79 tonf-s²/m, y tomando en consideración la masa adicional de otro nivel al incorporar los aisladores, esta masa total resultante ascendería a 176.15 tonf-s²/m.

Los periodos de la edificación sin aisladores fueron los mostrados en la tabla 20.

Tabla 20

Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.

Modo 1	X	0.769
Modo 2	Y	0.71
Modo 3	Z	0.666

Nota :Fuente propia

Según nos brinda el 17.4.1 de la Norma E031, esta nos indica que el periodo de aislamiento sísmico debe ser tres veces más al periodo de base empotrada, por lo tanto el periodo que se considera será de 2.037 s.

A la vez la Norma E.031 nos recomienda que este valor este dentro de los rangos entre 2.5 – 3 s, por lo cual se consideró un periodo de la edificación aislada de 2.5 s.

Se consideró un total de 25 aisladores, debido a que se tiene la misma cantidad de columnas. Empotradas.

2. Cálculo del desplazamiento total máximo:

- Rigidez del aislador

Una vez obtenidos los datos del periodo y también de la masa, procedemos a calcular la rigidez del aislador con la fórmula mostrada a continuación:

$$K_{ais} = \frac{4\pi^2}{T_{ais}^2} * M = \frac{4\pi^2}{(2.5)^2} * (176.15) = 1112.66 \text{ Tn/m}$$

Dividimos este valor entre la cantidad de aisladores que tenemos, entonces nos sale una rigidez de 50.56 Tn/m.

3. Factor de amortiguamiento:

De acuerdo a lo que indica el código ASCE 7-16, nos brinda la Figura 58.

Figura 60.

Factor de amortiguamiento.

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+I}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Nota: Fuente Norma ASCE 7-16

La figura 58 nos da el valor del amortiguamiento en función al amortiguamiento efectivo β , para lo cual asumimos un valor de β de 15%, e interpolando en la tabla tenemos un valor de 1.40 de βM .

4. Cálculo del coeficiente espectral

Para esto se tomó en cuenta la Norma UBC 97, este valor se denomina como S_{d1} en dónde se consideró de 0.56

5. Cálculo del desplazamiento máximo lateral

Usando la norma E.031 Aislamiento sísmico, nos brinda el dato de que como mínimo el diseño del aislador debe de resistir el desplazamiento lateral máximo, para esto nos da la fórmula siguiente:

$$D_M = \frac{g * S_{d1} * T_M}{4 * \pi^2 * B_M}$$

Reemplazando en la ecuación los valores obtenidos anteriormente, tenemos un Desplazamiento Máximo Lateral de 25 cm.

6. Propiedades de resistencia del aislador de péndulo de fricción doble:

- Esfuerzo axial permisible en servicio del teflón = 2243 Tn.m2
- Esfuerzo axial permisible en combinación del teflón = 4598 Tn.m2

Respecto al peso, se tomó consideró dos criterios:

- Primera combinación: 1.5 de la Carga Muerta y de 1.25 de la Carga Viva.
- Segunda combinación: 1.5 de la Carga Muerta y de 1.25 de la Carga Viva y adicionalmente el sismo

Los cuales se muestran en las figura 59 y 60 respectivamente.

Figura 61.

Carga última Axial con la primera combinación - Etabs

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf.m	MY tonf.m	MZ tonf.m
Base	1	2	Pu max	Combination	0.3541	-0.4171	46.4307	0.1303	0.3343	-0.0011
Base	2	9	Pu max	Combination	-0.0348	-0.5728	65.6416	0.2847	-0.3369	-0.0011
Base	3	16	Pu max	Combination	-0.1677	-0.4565	54.4904	0.134	-0.164	-0.0011
Base	4	23	Pu max	Combination	0.1129	-0.4317	52.6572	0.1676	0.1403	-0.0011
Base	5	30	Pu max	Combination	-0.2929	-0.3994	43.1019	0.1455	-0.2638	-0.0011
Base	6	37	Pu max	Combination	-0.2778	0.7568	70.2669	-0.9337	-0.2813	-0.0011
Base	7	44	Pu max	Combination	-0.2898	0.1571	88.4854	-0.3739	-0.2893	-0.0011
Base	8	51	Pu max	Combination	-0.2792	0.1841	98.2696	-0.3885	-0.2761	-0.0011
Base	9	58	Pu max	Combination	-0.2707	-0.385	74.969	0.1442	-0.2794	-0.0011
Base	10	65	Pu max	Combination	0.3868	0.8125	75.8888	-1.0173	0.2775	-0.0011
Base	11	72	Pu max	Combination	-0.0407	0.7005	110.3232	-0.9037	-0.0547	-0.0011
Base	12	79	Pu max	Combination	-0.1558	0.0384	94.5208	-0.8389	-0.3648	-0.0011
Base	13	86	Pu max	Combination	0.0358	0.0002	89.0945	-0.0031	0.0164	-0.0011
Base	14	93	Pu max	Combination	0.34	0.1832	95.3077	-0.4289	0.3125	-0.0011
Base	15	100	Pu max	Combination	0.298	0.1899	95.2939	-0.4381	0.2757	-0.0011
Base	16	107	Pu max	Combination	0.3408	-0.4112	81.0388	0.1248	0.3199	-0.0011
Base	17	114	Pu max	Combination	-0.0502	0.1704	120.633	-0.4055	-0.0752	-0.0018
Base	18	121	Pu max	Combination	0.3562	-0.0599	127.362	-0.2586	0.3243	-0.0018
Base	19	128	Pu max	Combination	-0.0771	-0.3675	111.6676	0.0616	-0.0827	-0.0018
Base	20	135	Pu max	Combination	-0.2348	0.1818	115.4471	-0.4588	-0.243	-0.0018
Base	21	142	Pu max	Combination	-0.2575	-0.0733	96.0373	0.5338	-0.2595	-0.0018
Base	22	149	Pu max	Combination	-0.2002	0.0871	79.2162	-0.7452	-0.1988	-0.0018
Base	23	156	Pu max	Combination	0.1902	0.1681	111.2388	-0.4221	0.2841	-0.0018
Base	24	163	Pu max	Combination	0.1891	0.0112	102.2295	-0.285	0.1653	-0.0018
Base	25	170	Pu max	Combination	0.1853	-0.2751	87.0585	-0.0178	0.1669	-0.0018

Nota: Fuente propia

En la siguiente tabla se muestra la extracción de resultados de la carga última axial con la primera combinación que es la de 1.5 CM y 1.25 CV

Tabla 21

Carga última Axial con la primera combinación - Etabs

Pu máx
tonf
46.4307
65.6416
54.4904
52.6572
43.1019
70.2669
88.4854

88.3896
74.969
75.5886
110.3232
94.5208
89.8945
95.3677
95.2939
81.0388
135.9601
127.382
111.6676
115.4471
90.0373
75.3162
111.2268
102.2256
87.6565
40.5092
37.7908

Nota: Fuente propia

Figura 62.

Carga última Axial con la segunda combinación - Etabs

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX total	FY total	FZ total	MX total.m	MY total.m	MZ total.m
Base	1	2	1.SCM-1.25C.	Combination	0.7206	-0.8519	93.4447	0.2769	0.682	-0.0022
Base	2	9	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.0696	-1.1672	131.7765	0.5884	-0.0733	-0.0022
Base	3	16	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.3384	-0.9327	109.4435	0.3885	-0.3303	-0.0022
Base	4	23	1.SCM-1.25C.	Combination	0.2321	-0.8817	105.8132	0.36	0.215	-0.0022
Base	5	30	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.5933	-0.8144	86.7842	0.3028	-0.5739	-0.0022
Base	6	37	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.5601	1.5338	141.177	-1.8688	-0.5657	-0.0022
Base	7	44	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.5847	0.3125	177.5873	-0.7489	-0.5626	-0.0022
Base	8	51	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.5943	0.3286	177.4416	-0.784	-0.5599	-0.0022
Base	9	58	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.5925	-0.0116	150.638	0.3004	-0.5483	-0.0022
Base	10	65	1.SCM-1.25C.	Combination	0.6246	1.6469	151.834	-2.0057	0.5687	-0.0022
Base	11	72	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.6806	1.4187	221.0899	-1.8251	-0.1073	-0.0022
Base	12	79	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.3114	1.2927	189.3621	-1.6905	-0.328	-0.0022
Base	13	86	1.SCM-1.25C.	Combination	0.0786	1.2308	180.203	-1.6216	0.0448	-0.0022
Base	14	93	1.SCM-1.25C.	Combination	0.6923	0.3642	192.5077	-0.8585	0.6379	-0.0022
Base	15	100	1.SCM-1.25C.	Combination	0.6166	0.3768	192.3648	-0.8703	0.6721	-0.0022
Base	16	107	1.SCM-1.25C.	Combination	0.6943	-0.8428	162.7306	0.268	0.6206	-0.0022
Base	17	114	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.1214	0.337	272.7395	-0.8991	-0.1935	-0.0032
Base	18	121	1.SCM-1.25C.	Combination	0.6306	-0.161	253.8928	-0.4342	0.5274	-0.0032
Base	19	128	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.1579	-0.748	223.4482	0.1136	-0.1678	-0.0032
Base	20	135	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.4703	0.3563	230.7129	-0.8971	-0.4854	-0.0032
Base	21	142	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.4637	-1.7584	178.2727	1.0765	-0.4688	-0.0032
Base	22	149	1.SCM-1.25C.	Combination	-0.4011	1.0242	150.8052	-1.5206	-0.3992	-0.0032
Base	23	156	1.SCM-1.25C.	Combination	0.2283	0.3136	222.3585	-0.8444	0.1793	-0.0032
Base	24	163	1.SCM-1.25C.	Combination	0.3883	0.0179	204.6967	-0.5684	0.3387	-0.0032
Base	25	170	1.SCM-1.25C.	Combination	0.3798	-0.5634	175.9117	-0.6209	0.3437	-0.0032

Nota: Fuente propia

Tabla 22
Carga última Axial con la segunda combinación - Etabs

1.5CM+1.25CV+SISMO
tonf
93.4447
131.7765
109.4435
105.8132
86.7842
141.177
177.5873
177.4416
150.638
151.834
221.0989
189.3621
180.203
192.5077
192.3648
162.7308
272.7305
253.8928
223.4482
230.7129
178.2727
150.8052
222.3585
204.6967
175.9117
80.2467
73.2845

Nota: Fuente propia

Extrayendo los datos, se tiene el siguiente resultado:

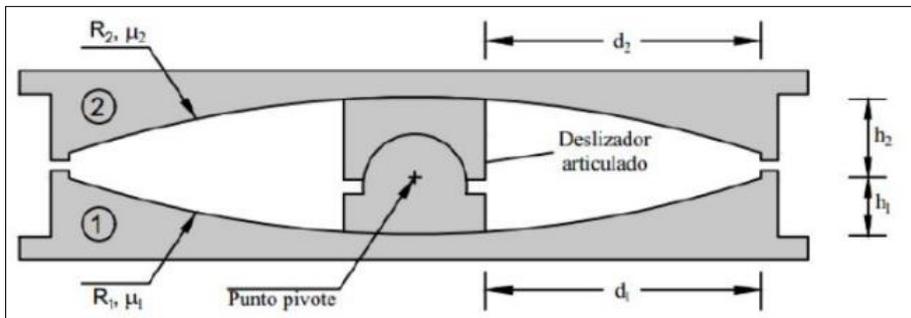
- Peso a = 135.96 Tn

- Peso b = 272.73 Tn

Estos datos numéricos obtenidos son de vital importancia para poder llegar a obtener las propiedades histeréticas del aislador de péndulo de fricción doble a diseñar, y también para poder comprender la composición de este aislador.

Figura 63.

Sección transversal de Aislador de Péndulo Friccional Doble



Nota: Fuente DIESCON Ingenieros

7. Determinación del diámetro del teflón, del POT y del deslizador:

Con la información que se tiene, hallamos el área mínima y máxima del aislador con la siguiente ecuación:

$$A = \max\left(\frac{Pa}{\sigma_s}, \frac{Pb}{\sigma_u}\right)$$

Reemplazando en la ecuación mostrada, obtenemos los siguientes valores:

$$A_{\text{máx}} = 0.061 \text{ m}^2.$$

$$A_{\text{mín}} = 0.059 \text{ m}^2.$$

Para poder determinar el diámetro se escoge el área máxima, por lo que el diámetro de teflón se calcula con la ecuación mostrada.

$$D_{t_min} = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}} = \sqrt{\frac{4 * 0.061}{\pi}}$$

$$D_{t_min} = 0.2787 \text{ m} \cong 28 \text{ cm}$$

Por otro lado, para poder determinar el diámetro del POT, se considera añadir 2.5 cm en cada lado, obteniendo un valor de 33 cm esto ya que el POT está referida a parte segunda interna del aislador de péndulo de fricción doble, esto debajo de la placa principal.

Por lo tanto, obtenemos la quinta parte del POT, cuyo resultado nos da 5.6 cm.

8. Determinación del radio de curvatura y efectivo:

El radio de curvatura se puede calcular con la siguiente ecuación:

$$R = \left(\frac{T}{2 * \pi}\right)^2 * g$$

Teniendo en cuenta que el periodo objetivo es de 2.5 s, se tiene un valor de radio de curvatura de 1.55 m, seguidamente empleamos la tabla mostrada a continuación:

Tabla 23

Lista de diámetros de radio de curvatura y de la superficie

TABLE 4-2 Partial List of Standar Sizes of FP Bearing Concave Plates	
Radius of Curvature, mm (inch)	Diameter of Concave Surface, mm (inch)
1555 (61)	356 (14)
	457 (18)
	559 (22)
	787 (31)
	914 (36)
2235 (88)	686 (27)
	787 (31)
	914 (36)
	991 (39)
	1041 (41)
	1118 (44)
	1168 (46)
	1295 (51)
1422 (56)	
3048 (120)	686 (27)
	1422 (56)
3692 (156)	1600 (63)
	1778 (70)
	2692 (106)
	3150 (124)
6045 (238)	1981 (78)
	2388 (94)
	2692 (106)
	3327 (131)
	3632 (143)

Nota : Fuente Constantinou et al, 2011

Seguidamente, se considerará un radio efectivo 1 y 2 de un valor de 1.45 m para los siguientes cálculos.

9. Propiedades histeréticas del aislador

- Coeficiente de fricción:

Este dato numérico es un porcentaje que se da al aislador de péndulo de fricción doble al existir el rozamiento entre el deslizador y la superficie cóncava, por lo que se tomará el valor usando la tabla mostrada a continuación:

Tabla 24

Coefficientes de fricción recomendados por su uso.

Use	Value
Análisis bajo condiciones de carga sísmica (alta velocidad)	0.06
Análisis bajo condiciones de carga sísmica (baja velocidad)	0.03
Diseño de apoyo, subestructura y superestructura bajo condiciones de carga de servicio*	0.10
Diseño de apoyo, subestructura y superestructura bajo condiciones de carga sísmica	0.15
* Utilice el valor de 0.06 únicamente al verificar la ecuación (7-1)	

Nota :Fuente (Constantinou et al, 2011)

Considerando la importancia del coeficiente en ambos análisis, se ha optado por elegir 0.04 como el valor inicial del coeficiente de fricción (u_1). En el contexto de los aisladores de péndulo de fricción doble, surgen dos coeficientes para cada superficie cóncava. En consecuencia, para calcular el segundo coeficiente de fricción (u_2), se aplicó la fórmula correspondiente:

$$u_2 = \frac{1}{3} * \left(\frac{D_M}{R_{eff1}} - u_1 \right)$$

En la ecuación, el R_{eff1} es el radio de curvatura 1, el D_M es el desplazamiento máximo y u_1 es el primero coeficiente de fricción, reemplazando los valores obtenidos en la ecuación, obtenemos un valor de 5.74 % como el segundo coeficiente de fricción (u_2).

10. Propiedades de rigidez a corte:

En la siguiente tabla de muestra las propiedades de rigidez al corte de un aislador de péndulo de fricción doble.

Tabla 25

Propiedades de rigidez a corte del aislador de péndulo de fricción doble.

Coeficiente de fricción absoluto			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Reff1	1.45	m	$u_e = \frac{u_1 * R_{eff1} + u_2 * R_{eff2}}{R_{eff1} + R_{eff2}}$
Reff2	1.45	m	
u1	4		
u2	5.74		
ue	4.87		
Fuerza de histéresis			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
P. aislador	135.96	Tn	$Qd = u_e * P$
ue	4.87		
Qd	6.621252	Tn	
Rigidez post fluencia			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
P. aislador	135.96	Tn	$Kd = \frac{P}{R_{eff1} + R_{eff2}}$
Reff1	1.45	m	
Reff2	1.45	m	
Kd	46.8827586	Tn/m	
Rigidez efectiva			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Qd	6.621252	Tn	$Kef = Kd + \frac{Qd}{D_M}$
DM	0.25	m	
Kd	46.8827586	Tn/m	
Kef	73.3677666	Tn/m	
Fuerza efectiva			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Kef	73.3677666	Tn/m	$F = Kef * D_M$
DM	0.25	m	
F	18.3419417	Tn	

Nota :Fuente propia

- Propiedades del régimen I:

Principalmente se conoce como la fase inicial del deslizamiento sobre superficies cóncavas, en la cual se cumple la condición de que el coeficiente de fricción 1 es inferior al coeficiente de fricción 2.

Tabla 26

Propiedades del régimen I

Fuerza de fricción 1			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Paislador	135.96	Tn	$F_{f1} = u_1 * P$
u1	4%	%	
Ff1	5.4384	Tn	
Desplazamiento de fricción 1			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
F	18.34	Tn	$D_{u1} = (F - F_{f1}) * \frac{R_{eff1}}{P}$
Ff1	5.4384	Tn	
Reff1	1.45	m	
Paislador	135.96	Tn	
Dui1	13.7594	cm	

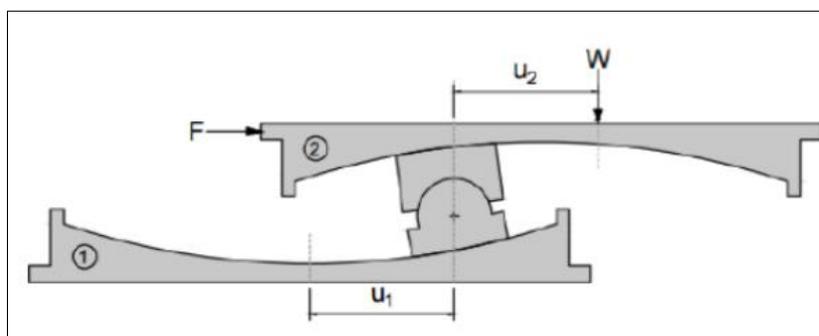
Nota :Fuente propia

- Propiedades del régimen II:

Se refiere además como la segunda instancia en la que el deslizador se mueve sobre superficies cóncavas, en la cual se verifica que el coeficiente de fricción 1 es equivalente al coeficiente de fricción 2.

Figura 64.

Régimen II del aislador de péndulo friccional doble



Fuente: DIESCON Ingenieros

Las propiedades correspondientes referidas a este régimen son los siguientes:

Tabla 27

Propiedades del régimen II

Fuerza de fricción 2			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Paislador	135.96	Tn	$F_{f2} = u_2 * P$
u2	5.74%	%	
Ff2	7.804104	Tn	
Desplazamiento de fricción 1			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
F	18.34	Tn	$D_{u2} = (F - F_{f2}) * \frac{R_{eff2}}{P}$
Ff2	7.804104	Tn	
Reff2	1.45	m	
Paislador	135.96	Tn	
Du2	11.2364	cm	

Nota :Fuente propia

- Propiedades dinámicas:

Tabla 28

Propiedades dinámicas del aislador de péndulo de fricción doble

Energía disipada			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Qd	6.62125	Tn	$ED = 4 * Qd * D_M$
DM	0.25	m	
ED	6.62125	Tn	
Energía elástica			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Kef	73.3677	Tn/m	$E_E = K_{ef} * (D_M)^2$
DM	0.25	m	
EE	4.58548125	tn.m	
Amortiguamiento efectivo			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
ED	6.62125	Tn.m	$\beta = \frac{ED}{2 * \pi * EE}$
EE	4.58548125	Tn.m	
Beta	22.98	%	

Nota :Fuente propia

- Coeficientes de amortiguamiento:

Tabla 29

Coeficientes de amortiguamiento del aislador de doble péndulo de fricción.

Coeficiente de amortiguamiento vertical			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
Kv	408399	Tn/m	$C_V = 2 * 5\% \sqrt{Kv * \frac{P_a}{g}}$
Pa	135.96	Tn	
g	9.81	m/s ²	
Cv	237.91	Tn-s/m	
Energía elástica			
Valor	Cantidad	Unid.	Fórmula
ED	6.62125	Tn.m	$C_H = \frac{E_D * T_a}{2 * \pi^2 * D_M^2}$
Taislado	2.5	s	
DM	0.25	m	
CH	13.42	Tn-s/m	

Nota :Fuente propia

Propiedades del aislador de péndulo friccional doble a insertar al Software Etabs.

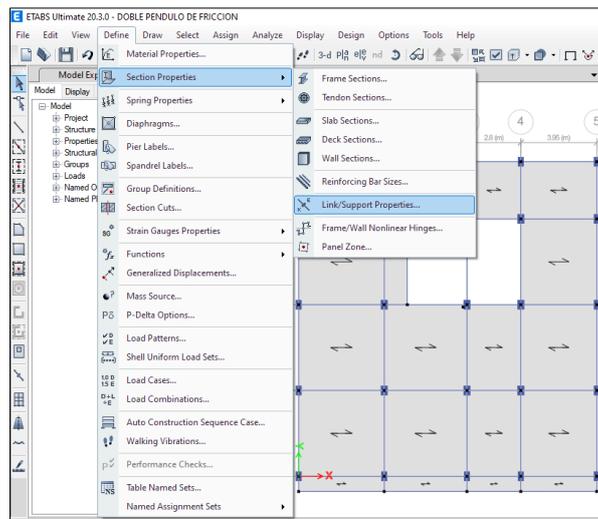
Dirección	Propiedades	Cantidad	Unidad
Ejes X y Y	Rigidez efectiva lineal (Kef)	73.34	Tn
	Coeficiente de amortiguamiento horizontal (CH)	13.42	Tn/m
	Rigidez	1800	Tn-s/m
	Índice de fricción lento (u)	0.04	
	Índice de fricción rápido (u)	0.06	
	Factor de tasa	1	s/m
	Radio neto del péndulo	1000	M
Eje Z	Rigidez efectiva (kv)	408399	Tn.m
	Factor de amortiguamiento vertical (Cv)	237.91	Tn-s/m

Nota :Fuente propia

A continuación se muestran los pasos para la inserción de los datos del aislador PFD diseñado en el software Etabs:

Paso 01: Seleccionamos la opción Define luego Section Properties y después la opción Link/Support Properties.

Figura 65.
Paso 01 del modelamiento del aislador PFD



Nota :Fuente propia

Paso 02: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje Z

Figura 66.
Paso 02 del modelamiento del aislador PFD

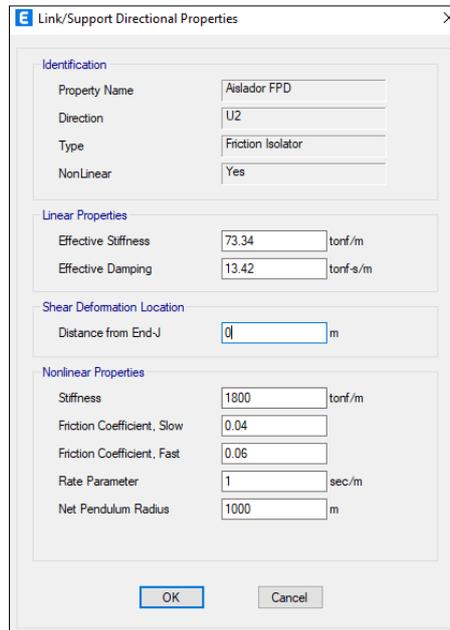
Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	Aislador PFD
Direction	U1
Type	Friccion Isolator
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	408399 tonf/m
Effective Damping	237.91 tonf-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	408399 tonf/m
Damping Coefficient	237.91 tonf-s/m
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Nota :Fuente propia

Paso 03: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje X (U2) y Y (U3)

Figura 67.

Paso 03 del modelamiento del aislador PFD

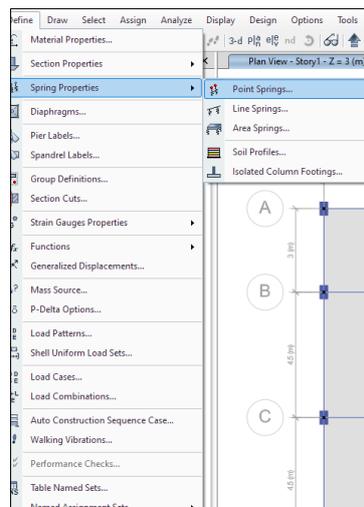


Nota :Fuente propia

Paso 04: Una vez colocados los datos del aislador, procedemos a la definición del mismo yendo a la opción Define luego a Spring Properties y después a Point Spring.

Figura 68.

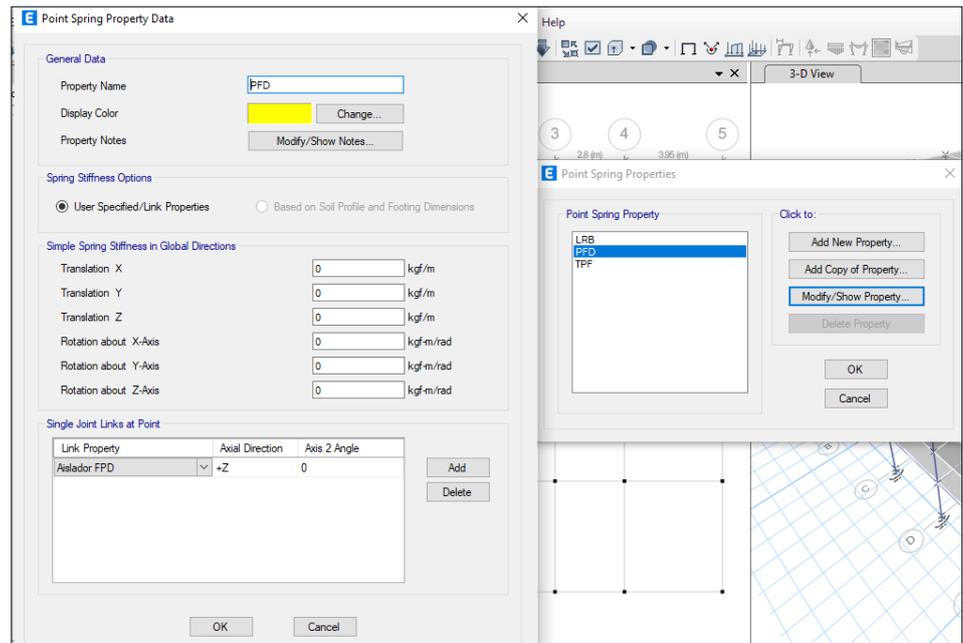
Paso 04 del modelamiento del aislador PFD



Nota :Fuente propia

Paso 05: Seguidamente Definimos el Aislador PFD creando una nueva propiedad y colocando el nombre “Aislador PFD” y luego escogiéndola esta y colocamos la opción “OK”.

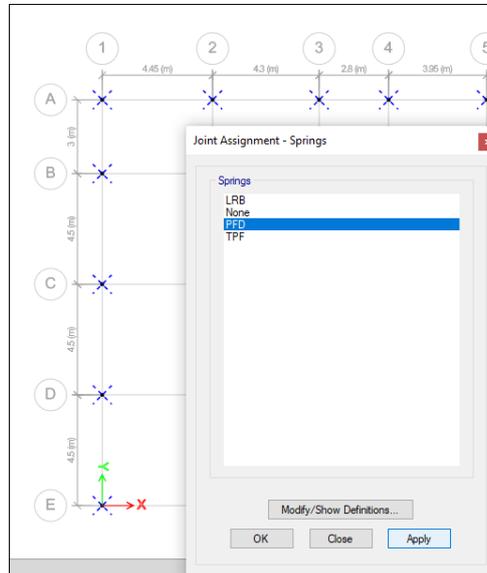
Figura 69.
Paso 05 del modelamiento del aislador PFD



Nota: Fuente propia

Paso 06: Seguidamente seleccionamos los nodos de la base en donde irán los aisladores PFD y lo asignamos con la opción “Join Assignment Spring”.

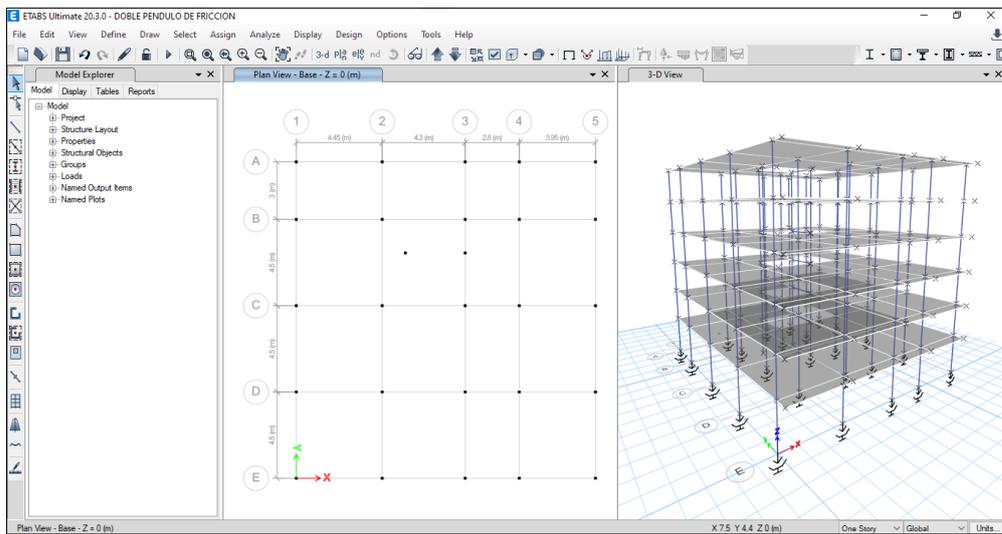
Figura 70.
Paso 06 del modelamiento del aislador PFD



Nota: Fuente propia

Finalmente se puede apreciar la edificación modelada con los Aisladores PFD.

Figura 71.
Edificación modelada con aisladores PFD



Nota: Fuente propia

4.2.4. Diseño y Modelamiento con los Aisladores Péndulo de Fricción Triple

Para poder efectuar el diseño del aislador de Péndulo de Fricción Triple se aplicó la normativa del ASCE 7-16 y la Norma E.031, dónde se siguió los siguientes pasos:

1. Datos de la edificación:

Figura 72.

Masa por piso de la edificación.

Story	Diaphragm	Mass X tonf-s ² /m	Mass Y tonf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X tonf-s ² /m	Cum Mass Y tonf-s ² /m	XCCM m	YCCM m	XCR m	YCR m
Story1	D1	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	26.61596	26.61596	8.546	8.8747	8.0476	8.7946
Story2	D2	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0441	8.7183
Story3	D3	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0403	8.6845
Story4	D4	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	26.36206	26.36206	8.5919	8.8667	8.0356	8.6669
Story5	D5	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	26.36206	26.36206	8.5436	8.8667	8.0302	8.6553
Story6	D6	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	17.73333	17.73333	8.5016	8.402	8.0276	8.6436

Nota: Fuente propia

En dónde observando en la figura 70 el peso total de todos los pisos es de 149.79 tonf-s²/m, y teniendo en cuenta la masa de un nivel más al considerar los aisladores colocados por lo tanto la masa total sería de 176.15 tonf-s²/m.

Los periodos de la edificación sin aisladores fueron los mostrados en la tabla 30.

Tabla 30

Modos y periodos fundamentales de la edificación sin aisladores.

Modo 1	X	0.769
Modo 2	Y	0.71
Modo 3	Z	0.666

El periodo de la edificación aislada debe ser tres veces el periodo fijo, según la Norma E.031 del Reglamento Nacional de Edificaciones, y a la vez recomienda que estos valores se encuentren entre los rangos de 2.5 s a 3 s.

Por lo tanto el periodo para la edificación de análisis será de 2.5 s.

Se consideró un total de 25 aisladores, debido a que se tiene la misma cantidad de columnas. Empotradas.

2. Cálculo del desplazamiento total máximo:

- Rigidez del aislador

Como ya tenemos los datos del periodo y también de la masa, procedemos a calcular la rigidez del aislador con la fórmula mostrada a continuación:

$$K_{ais} = \frac{4\pi^2}{T_{ais}^2} * M = \frac{4\pi^2}{(2.5)^2} * (176.15) = 1112.66 \text{ Tn/m}$$

Dividimos este valor entre la cantidad de aisladores que tenemos, entonces nos sale una rigidez de 50.56 Tn/m.

3. Factor de amortiguamiento:

De acuerdo a lo que indica el código ASCE 7-16, nos brinda la Figura 71.

Figura 73.

Factor de amortiguamiento.

Effective Damping, β (percentage of critical)	$B_{v+I}, B_{1D}, B_R, B_{1M}, B_{mD}, B_{mM}$ (where period of the structure $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Nota: Fuente Norma ASCE 7-16

La figura 71 nos da el valor del amortiguamiento en función al amortiguamiento efectivo β , para lo cual asumimos un valor de β de 15%, e interpolando en la tabla tenemos un valor de 1.40 de βM .

4. Cálculo del coeficiente espectral

Para esto se tomó en cuenta la Norma UBC 97, este valor se denomina como S_{d1} en dónde se consideró de 0.56

5. Cálculo del desplazamiento máximo lateral

Tomando en cuenta lo indicado en la Norma E031, nos brinda el dato de que como mínimo el diseño del aislador debe de resistir el desplazamiento lateral máximo, para esto nos da la fórmula siguiente:

$$D_M = \frac{g * S_{d1} * T_M}{4 * \pi^2 * B_M}$$

Reemplazando en la ecuación los valores obtenidos anteriormente, tenemos un Desplazamiento Máximo Lateral de 25 cm.

6. Cálculo de la carga promedio en el aislador de Péndulo de Fricción Triple

Para realizar este diseño se requiere los datos calculados anteriormente como a la vez también se requiere del diámetro del deslizador rígido (DR).

El diámetro de este aislador no puede ser menor a 8 pulgadas (Constantinou ,2011)

Para poder realizar el diseño requerimos del peso sísmico de la edificación, el cual está mostrado en la tabla 31.

Tabla 31

Calculo del peso sísmico de la edificación – tabla extraída del Etabs

TABLE: Story Forces						
Story	Output Case	Case Type	Location	P	MX	MY
				kgf	kgf-m	kgf-m
Story6	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	187572.38	1435039.13	1448969.24
Story5	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	447489.55	3519900.48	3463485.02
Story4	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	707406.73	5604761.84	5490506.97
Story3	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	967323.9	7689623.19	7505022.75
Story2	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	1227241.08	9774484.55	-9532044.7
Story1	P 100CM+25CV	Combination	Bottom	1492138.25	11903393.4	-11586525

Nota: Fuente propia

Procedemos a dividir el peso entre el número de aisladores que en la presente tesis son 25.

$$P_{med} = \frac{W_s}{n}$$

Dónde:

P_{med} = Carga promedio

W_s = Peso sísmico de la edificación

n = Número de aisladores

Reemplazando tenemos lo siguiente.

$$P_{med} = \frac{1492.14 \text{ Tn}}{25}$$

$$P_{med} = 59.69 \text{ Tn}$$

Aplicando el criterio de estabilidad, tenemos:

$$\frac{h_2 + h_3}{D_R} \leq 1.0$$

Entonces:

- Cálculo del diámetro DR.

Para calcular el diámetro del deslizador rígido se usará la ecuación mostrada a continuación:

$$D_R \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{P_{med}}{10}}$$

Reemplazando los datos en la ecuación mostrada, tenemos:

$$D_R \geq \sqrt{\frac{4}{\pi} * \frac{59.69}{10}}$$

$$D_R \geq 2.76 \text{ pulgadas}$$

Como el diámetro debe ser mayor a 2.75 pulgadas

asumimos un diámetro de 8 pulgadas.

Usamos el criterio de estabilidad:

$$\frac{h_2 + h_3}{D_R} \leq 1$$

$$\frac{2h_2}{8} \leq 1$$

$$h_2 = h_3 \leq 4$$

Como el valor de h2 debe ser menor o igual a 4, asumimos un valor de 2.5 pulgadas.

Para las alturas h1=h4, consideramos que el espesor de las placas 2 y 3 en el centro es igual a 1 pulgada.

$$h_1 + h_4 \geq h_2 + h_3 + 2 \text{ pulg}$$

$$h_1 = h_4 = 4 \text{ pulgadas}$$

Entonces tenemos las alturas de:

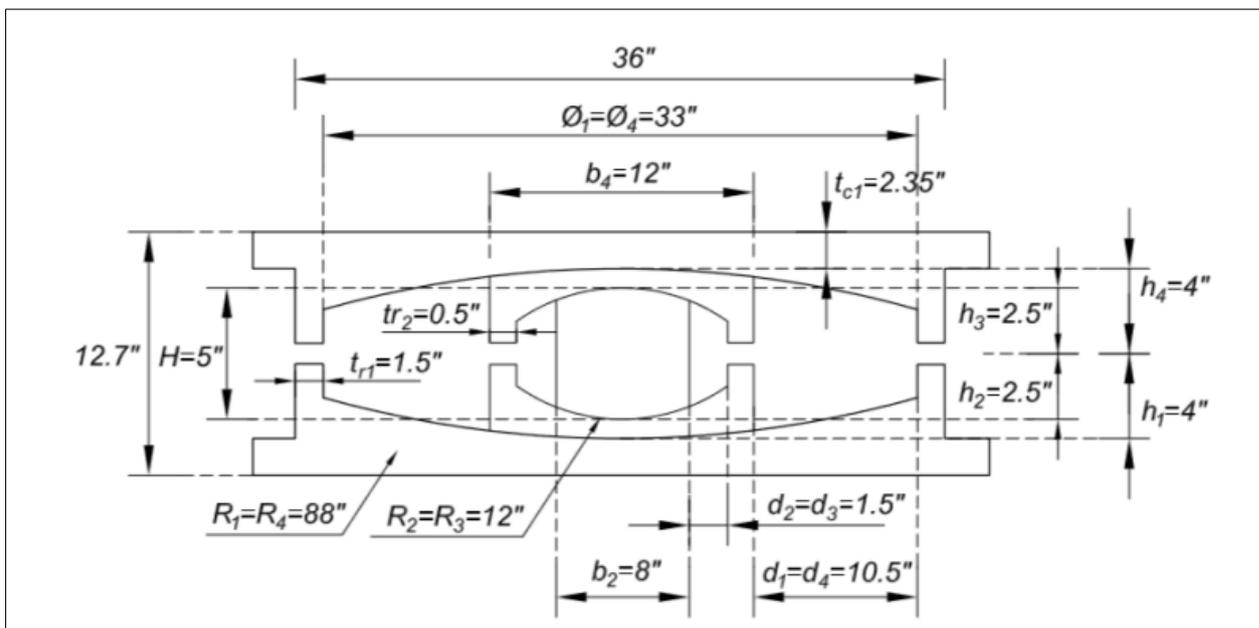
$$h_2 = h_3 = 2.5 \text{ pulg}$$

$$h_1 = h_4 = 4 \text{ pulg}$$

Cuyas alturas coinciden con las dimensiones del Aislador FPT8833/12-12/8-5, la cual se muestra en la figura 72.

Figura 74.

Geometría del aislador FPT8833/12-12/8-5



Nota: Fuente Constantinou (2011)

De dónde también extraemos los Radios que son:

$$R_1 = R_4 = 88 \text{ "}$$

$$R_2 = R_3 = 12 \text{ "}$$

Al igual que las distancias de la placa interna que es de 1.5" y de la placa externa que es 10.5", las cuales nos servirán para poder realizar el análisis en el Etabs.

De acuerdo a la condición mostrada, el diámetro debe de ser mayor a 2.76 pulgadas y también se debe tener en consideración la sección de las columnas, es decir el aislador debe ser proporcional a la sección sobre este, por tal razón se asume un diámetro de 5 pulgadas para el diámetro de curvatura, ya que valores inferiores a este no concordarían con la geometría de fabricación en dispositivos FTP de catálogo, en los cuales los diámetros toman datos desde las 5 pulgadas.

- Cálculo de la rigidez efectiva vertical

Usamos 70 veces la rigidez horizontal. Lo cual nos da un valor de:

$$1112.66 \frac{Tn}{m} * 70 = 77886.2 Tn/m$$

- Propiedades para modelar en Etabs del Aislador FPT8833/12-12/8-5

- Peso del aislador: $W = 2.26796$ tonf
- Masa del aislador: $M = 0.23127$ tonf-s²/m
- Inercia rotacional en las direcciones horizontales
- Rigidez parte superior exterior = 1260 Tonf/m
- Rigidez parte superior interior = 840 Tonf/m

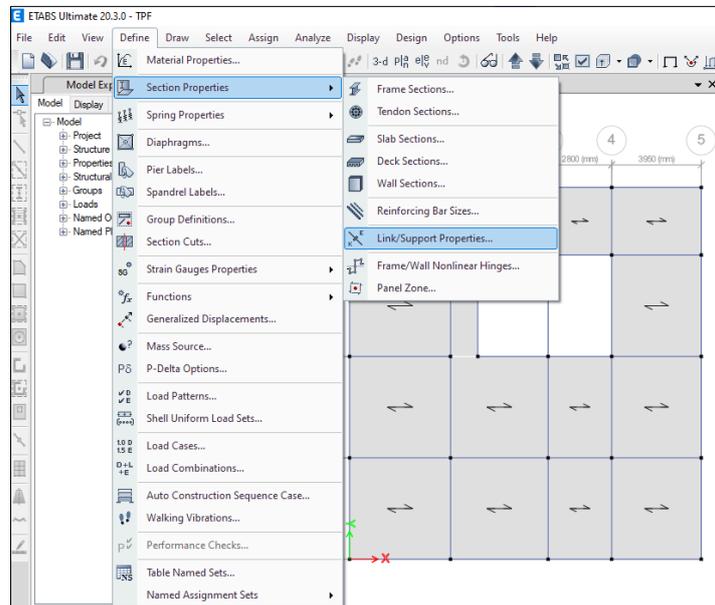
$$I_z = 0.0967 \text{ Ton.m-s}^2$$

$$I_x = I_y = \frac{I_z}{2} = \frac{0.0967}{2} = 0.0483 \text{ Ton.m-s}^2$$

Seguidamente se presentan una secuencia de pasos a seguir para la inserción de los datos del aislador PFT diseñado en el software Etabs:

Paso 01: Seleccionamos la opción Define luego “Section Properties” y después la opción “Link/Support Properties”.

Figura 75.
Paso 01 del modelamiento del aislador PFT



Nota :Fuente propia

Paso 02: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje Z

Figura 76.
Paso 02 del modelamiento del aislador PFT

Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	Aislador TPF
Direction	U1
Type	Triple Pendulum Isolator
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	77886.2 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	77886.2 tonf/m
Damping Coefficient	0 tonf-s/m
<input type="button" value="OK"/> <input type="button" value="Cancel"/>	

Nota :Fuente propia

Paso 03: Colocamos los datos del diseño del aislador referidos al eje X (U2) y Y (U3)

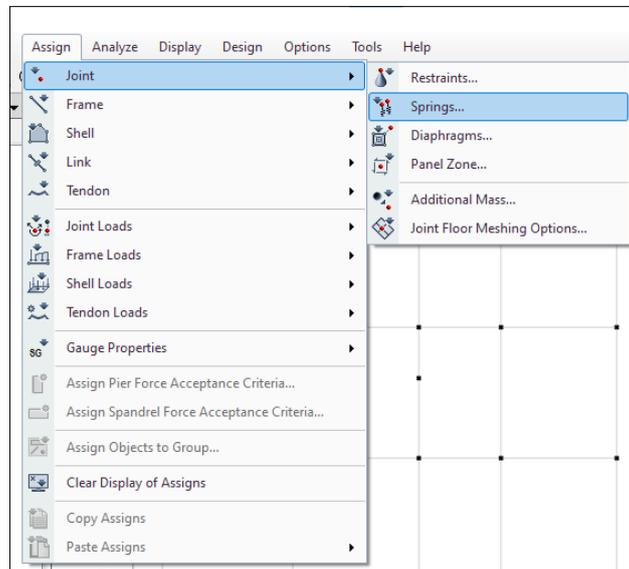
Figura 77.

Paso 03 del modelamiento del aislador PFT

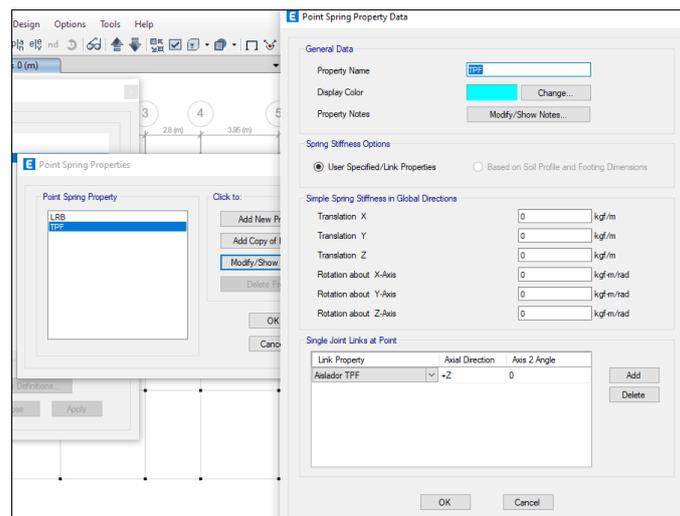
Link/Support Directional Properties					
Identification					
Property Name	Aislador TPF		Type	Triple Pendulum Isolator	
Direction	U2; U3		NonLinear	Yes	
Linear Properties					
Effective Stiffness - U2	60	tonf/m	Effective Stiffness - U3	60	tonf/m
Effective Damping - U2	10.99	tonf-s/m	Effective Damping - U3	10.99	tonf-s/m
Shear Deformation Location					
Distance from End-J - U2	0	m	Distance from End-J - U3	0	m
Height and Symmetry of Sliding Surfaces					
Height for Outer Surfaces	0.203	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Outer Bottom Surface is Symmetric to Outer Top Surface	
Height for Inner Surfaces	0.127	m	<input checked="" type="checkbox"/>	Inner Bottom Surface is Symmetric to Inner Top Surface	
Nonlinear Properties for Directions U2 and U3					
	Outer Top	Outer Bottom	Inner Top	Inner Bottom	
Stiffness	1260	1260	840	840	tonf/m
Friction Coefficient, Slow	0.048	0.048	0.048	0.048	
Friction Coefficient, Fast	0.0969	0.0969	0.06	0.06	
Rate Parameter	50	50	50	50	sec/m
Radius of Sliding Surface	2.2352	2.2352	0.305	0.305	m
Stop Distance	0.3048	0.3048	0.1143	0.1143	m

Nota : Fuente propia

Paso 04: Una vez colocados los datos del aislador, procedemos a la definición del mismo yendo a la opción Define luego a Spring Properties y después a Point Spring.

Figura 78.*Paso 04 del modelamiento del aislador PFD**Nota :Fuente propia*

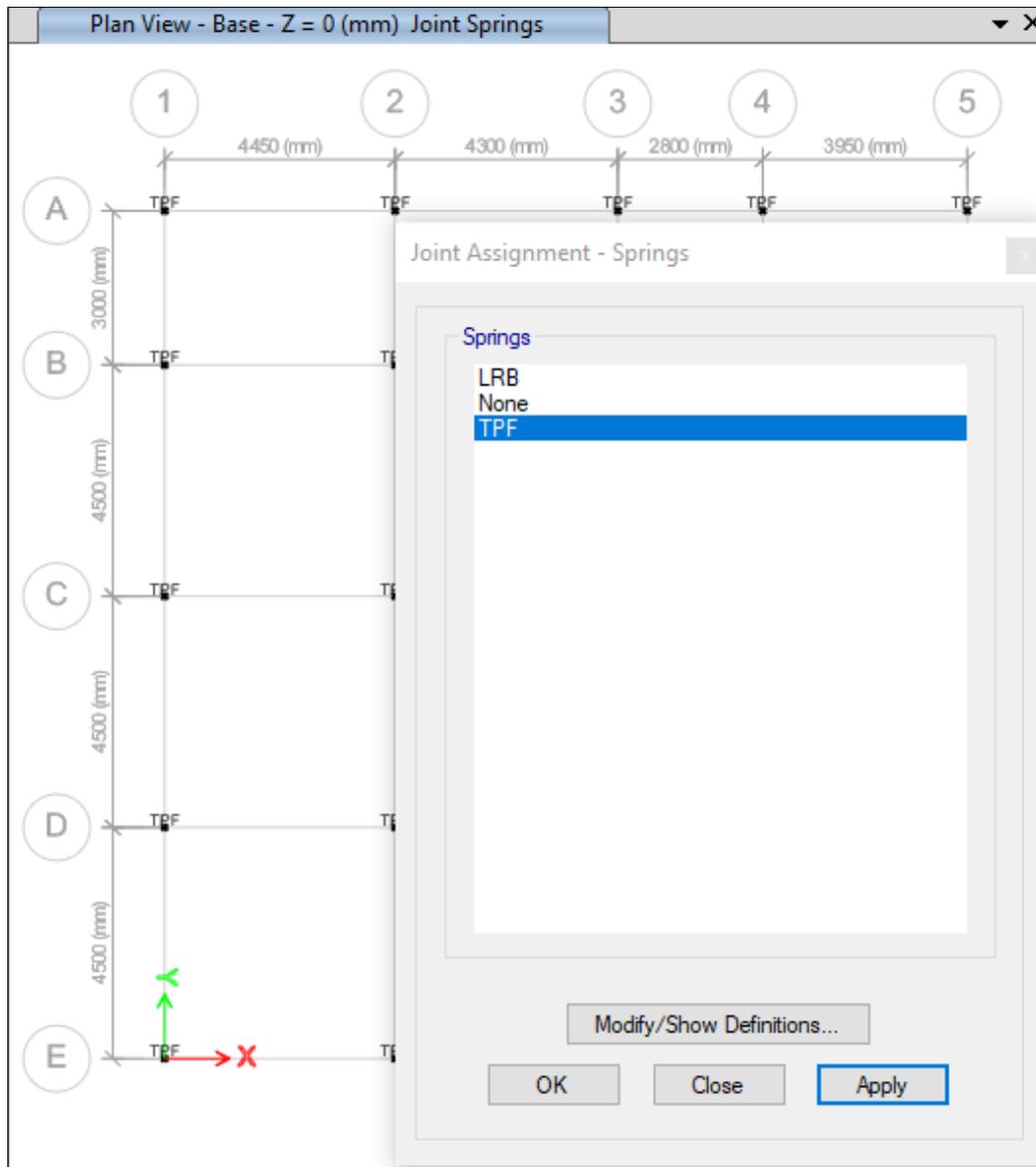
Paso 05: Seguidamente Definimos el Aislador PFT creando una nueva propiedad y colocando el nombre “Aislador PFD” y luego escogiéndola esta y colocamos la opción “OK”.

Figura 79.*Paso 05 del modelamiento del aislador PFT**Nota:Fuente propia*

Paso 06: Seguidamente seleccionamos los nodos de la base en donde iran los aisladores PFT y lo asignamos con la opción “Join Assignment Spring”.

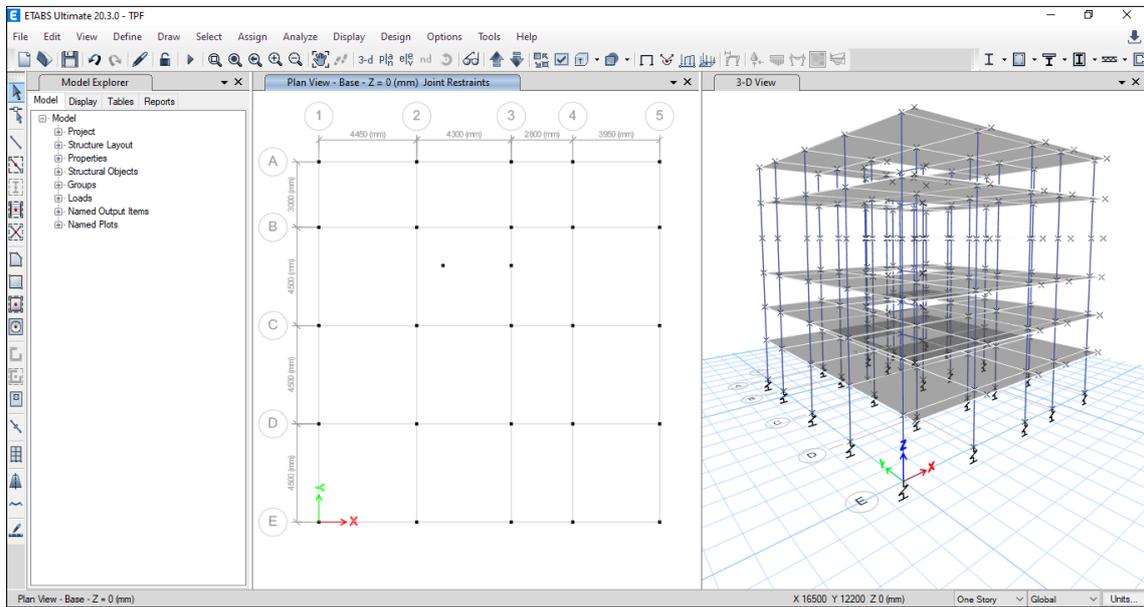
Figura 80.

Paso 06 del modelamiento del aislador PFT



Nota: Fuente propia

Finalmente se puede apreciar la edificación modelada con los Aisladores PFT.

Figura 81.*Edificación modelada con aisladores PFT**Nota: Fuente propia*

4.3. RESULTADOS

4.3.1. Edificación Sin Aisladores

4.3.1.1. Modos y periodos de vibración

En la siguiente figura se muestra los valores de los periodos de vibración y las frecuencias, dónde el periodo fundamental es de 0.769 segundos.

Figura 82.

Periodos y frecuencias de la edificación sin aislamiento sísmico.

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	0.769	1.301	8.1726	66.7922
Modal	2	0.71	1.408	8.8476	78.2805
Modal	3	0.666	1.502	9.4387	89.089
Modal	4	0.247	4.048	25.4336	646.8671
Modal	5	0.223	4.479	28.141	791.9144
Modal	6	0.209	4.791	30.1011	906.078
Modal	7	0.139	7.194	45.1982	2042.8754
Modal	8	0.122	8.171	51.3426	2636.058
Modal	9	0.113	8.885	55.8233	3116.243
Modal	10	0.094	10.69	67.1668	4511.3824
Modal	11	0.08	12.495	78.5098	6163.7853
Modal	12	0.072	13.884	87.2342	7609.8105
Modal	13	0.07	14.334	90.0637	8111.4762
Modal	14	0.058	17.24	108.3214	11733.5172
Modal	15	0.057	17.407	109.3694	11961.6601
Modal	16	0.051	19.684	123.6766	15295.8998
Modal	17	0.047	21.484	134.9867	18221.4132
Modal	18	0.04	25.042	157.3464	24757.9

Nota: Fuente propia

En la siguiente figura se muestra los valores de los modos y periodos de vibración, dónde podemos observar que el primer modo de vibración se da en el eje X, el segundo modo en el eje Y y el tercer modo en el eje Z.

Figura 83.

Modos y periodos de la edificación sin aislamiento sísmico.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX	RY	RZ	SumRX	SumRY	SumRZ
Modal	1	0.769	0.8624	0.0023	0	0.8624	0.0023	0	0.0005	0.1385	0.0042	0.0005	0.1385	0.0042
Modal	2	0.71	0.0066	0.4512	0	0.869	0.4535	0	0.089	0.0015	0.3932	0.0895	0.1401	0.3974
Modal	3	0.666	0.0002	0.3885	0	0.8692	0.842	0	0.0797	0.0002	0.461	0.1692	0.1403	0.8584
Modal	4	0.247	0.0914	0.0001	0	0.9606	0.8421	0	0.0005	0.7321	0.0002	0.1697	0.8724	0.8586
Modal	5	0.223	0.0002	0.0394	0	0.9608	0.8815	0	0.2522	0.0021	0.0587	0.4218	0.8745	0.9173
Modal	6	0.209	9.358E-07	0.064	0	0.9608	0.9456	0	0.4147	1.821E-05	0.0364	0.8366	0.8745	0.9536
Modal	7	0.139	0.0259	5.679E-06	0	0.9668	0.9456	0	2.23E-05	0.0559	1.32E-05	0.8366	0.9304	0.9536
Modal	8	0.122	5.019E-06	0.0069	0	0.9668	0.9525	0	0.0155	1.088E-05	0.0234	0.8521	0.9304	0.977
Modal	9	0.113	5.908E-07	0.027	0	0.9668	0.9795	0	0.0601	2.255E-06	0.0062	0.9122	0.9304	0.9833
Modal	10	0.094	0.0093	1.41E-06	0	0.9961	0.9795	0	2.313E-06	0.0569	0	0.9122	0.9873	0.9833
Modal	11	0.08	0	0.0017	0	0.9961	0.9812	0	0.0078	0	0.0101	0.92	0.9873	0.9934
Modal	12	0.072	2.714E-06	0.0124	0	0.9961	0.9935	0	0.0585	8.203E-06	0.0014	0.9786	0.9873	0.9948
Modal	13	0.07	0.0032	6.972E-06	0	0.9993	0.9935	0	3.456E-05	0.0088	9.023E-07	0.9786	0.9961	0.9948
Modal	14	0.058	6.032E-06	0.0004	0	0.9993	0.994	0	0.0014	2.833E-05	0.0036	0.9799	0.9961	0.9966
Modal	15	0.057	0.0007	4.561E-06	0	1	0.994	0	1.505E-05	0.0039	2.425E-05	0.98	1	0.9987
Modal	16	0.051	0	0.0048	0	1	0.9988	0	0.0148	0	0.0004	0.9948	1	0.999
Modal	17	0.047	0	0.0001	0	1	0.9999	0	0.0004	0	0.0009	0.9951	1	0.9999
Modal	18	0.04	0	0.0011	0	1	1	0	0.0049	0	0.0001	1	1	1

Nota: Fuente propia

En la figura 82 se puede apreciar que la participación de los modos es más que el 90%, cumpliendo lo que indica la norma E030 Diseño sismorresistente.

4.3.1.2. Análisis Estático

Seguidamente se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso de la edificación sin aislamiento sísmico tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 82 y 84 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 84.

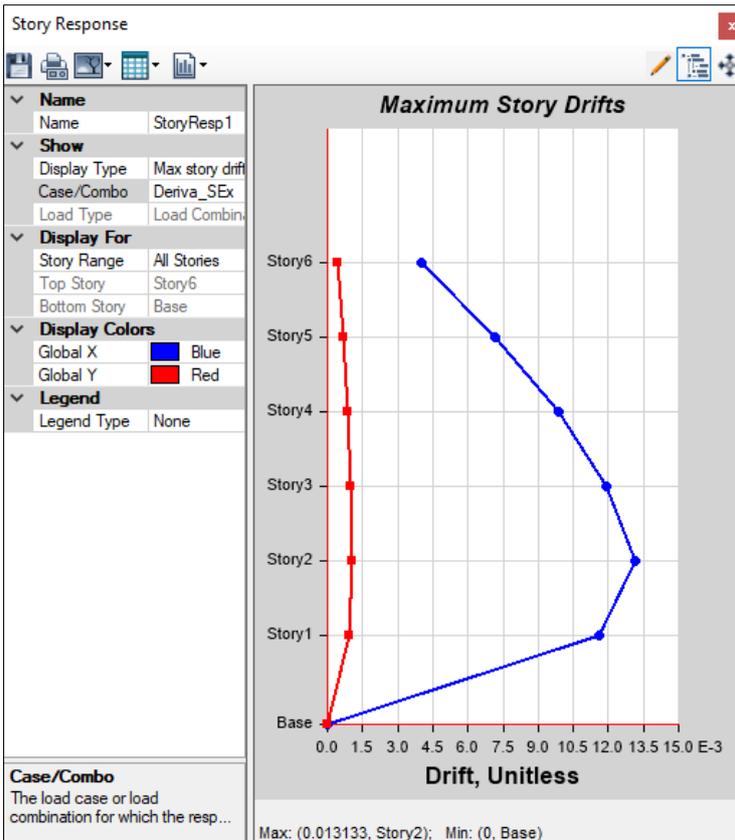
Derivas de entropiso en dirección X sin aisladores sísmicos.

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Deriva_SEx	Combination	X	0.003997	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Deriva_SEx	Combination	X	0.007161	36	15.5	-0.8	13
Story4	Deriva_SEx	Combination	X	0.009896	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Deriva_SEx	Combination	X	0.011891	36	15.5	-0.8	8
Story2	Deriva_SEx	Combination	X	0.013133	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Deriva_SEx	Combination	X	0.011634	13	11.55	0	3

Nota:Fuente propia

Figura 85.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X sin aisladores sísmicos.



Nota:Fuente propia

Figura 86.

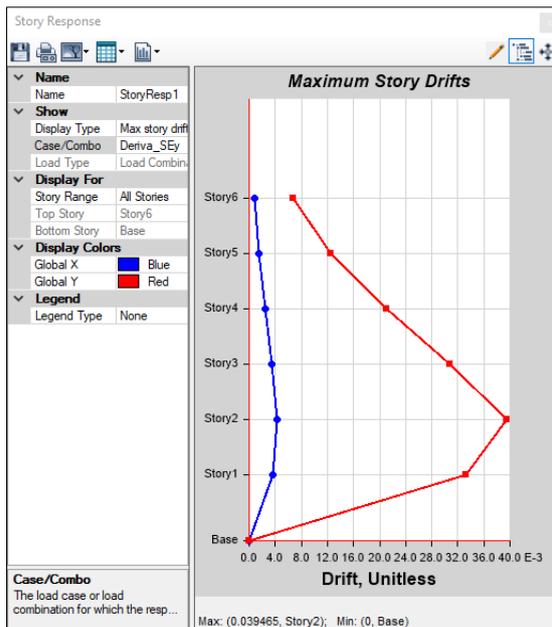
Derivas de entrepiso en dirección Y sin aisladores sísmicos.

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Deriva_SEy	Combination	Y	0.006673	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Deriva_SEy	Combination	Y	0.012582	36	15.5	-0.8	13
Story4	Deriva_SEy	Combination	Y	0.02106	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Deriva_SEy	Combination	Y	0.030828	36	15.5	-0.8	8
Story2	Deriva_SEy	Combination	Y	0.039465	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Deriva_SEy	Combination	Y	0.033325	9	15.5	13.5	3

Nota: Fuente propia

Figura 87.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y sin aisladores sísmicos.



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas cumplen con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 32

Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y sin aisladores.

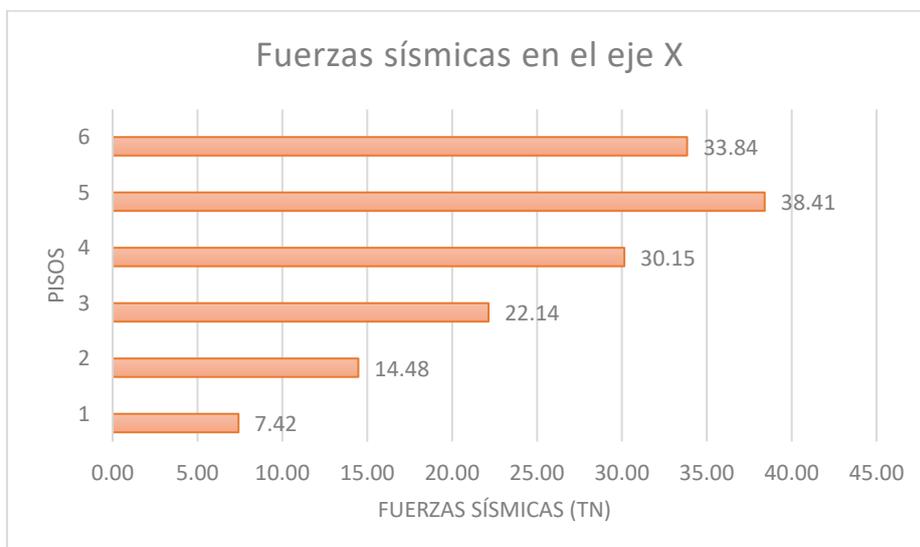
PISO	ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Admitido	VERIFICACIÓN	DIST.	Admitido	VERIFICACIÓN
6	0.0040	0.007	CONFORME	0.0067	0.007	CONFORME
5	0.0072		NO CONFORME	0.0126		NO CONFORME
4	0.0099		NO CONFORME	0.0211		NO CONFORME
3	0.0119		NO CONFORME	0.0308		NO CONFORME
2	0.0131		NO CONFORME	0.0395		NO CONFORME
1	0.0116		NO CONFORME	0.0333		NO CONFORME

Nota: Fuente propia

Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones X y Y sin el uso de aisladores sísmicos.

Figura 88.

Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X sin aisladores sísmicos



Nota: Fuente propia

Figura 89.*Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y sin aisladores sísmicos**Nota:Fuente propia*

Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas cortantes en la direcciones X y Y sin el uso de aisladores sísmicos.

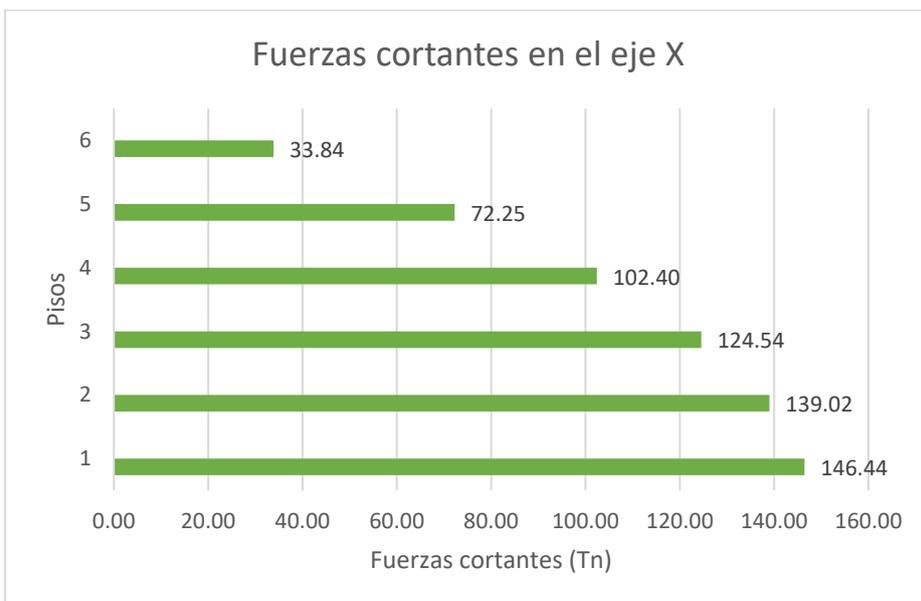
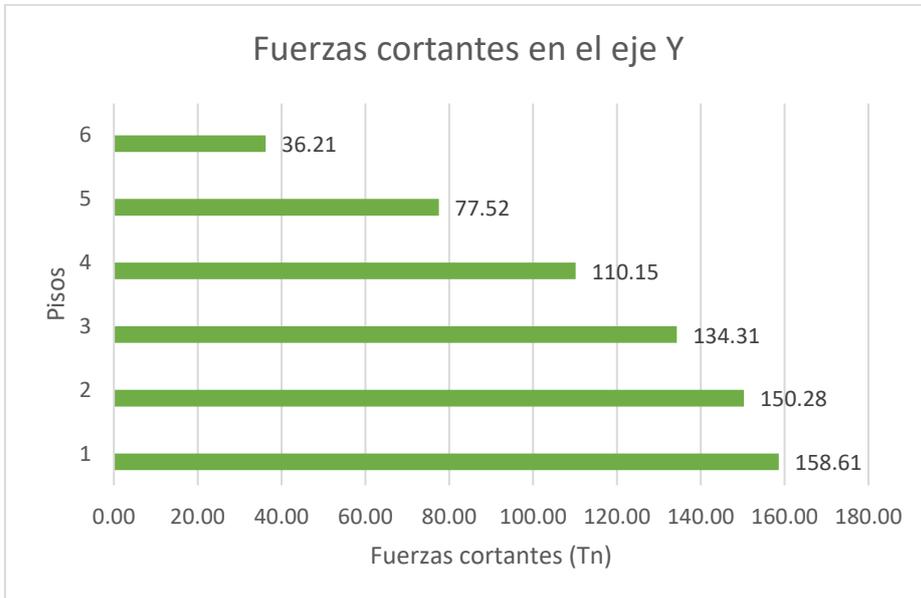
Figura 90.*Distribución de fuerzas cortantes en el eje X sin aisladores sísmicos**Nota:Fuente propia*

Figura 91.

Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y sin aisladores sísmicos



Nota: Fuente propia

4.3.1.3. Análisis Dinámico Modal

Se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso con el análisis dinámico en la edificación sin aislamiento sísmico tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 90 y 92 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 92.

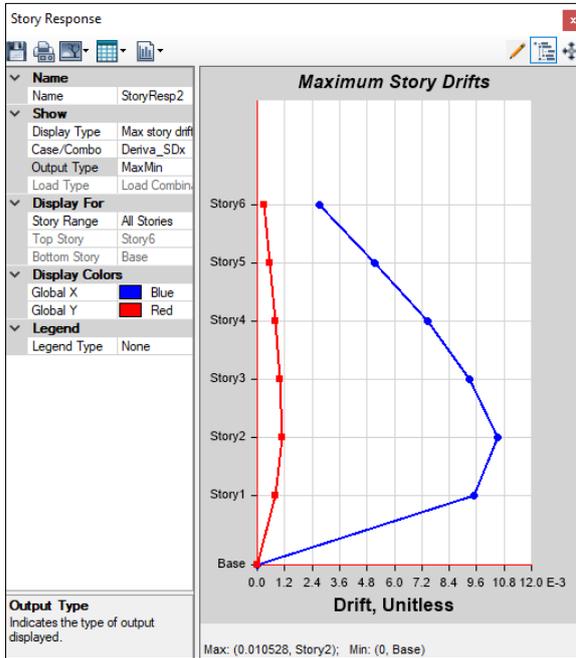
Derivas de entrepiso en dirección X sin aisladores sísmicos.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.002722	5	15.5	16.5	15.5
Story5	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.00516	5	15.5	16.5	13
Story4	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.007446	5	15.5	16.5	10.5
Story3	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.00927	5	15.5	16.5	8
Story2	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.010528	5	15.5	16.5	5.5
Story1	Deriva_SDx	Combination	Max	X	0.009472	5	15.5	16.5	3

Nota: Fuente propia

Figura 93.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X sin aisladores sísmicos.



Nota:Fuente propia

Figura 94.

Derivas de entrepiso en dirección Y sin aisladores sísmicos.

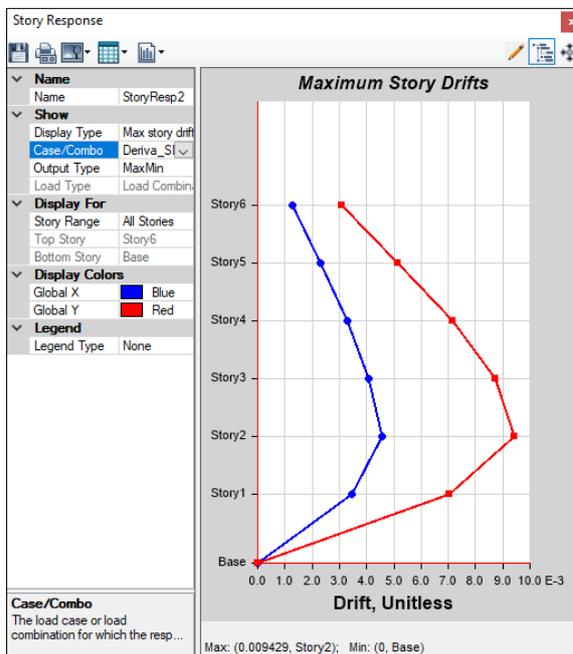
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.003081	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.005153	36	15.5	-0.8	13
Story4	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.007177	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.008718	36	15.5	-0.8	8
Story2	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.009429	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Deriva_SDy	Combination	Max	Y	0.007043	9	15.5	13.5	3

Record: 1 of 6

Nota:Fuente propia

Figura 95.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y sin aisladores sísmicos.



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas están conforme con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 33

Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y sin aisladores.

PISO	ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.0027	0.007	CONFORME	0.0031	0.007	CONFORME
5	0.0052		CONFORME	0.0052		CONFORME
4	0.0074		NO CONFORME	0.0072		NO CONFORME
3	0.0093		NO CONFORME	0.0087		NO CONFORME
2	0.0105		NO CONFORME	0.0094		NO CONFORME
1	0.0095		NO CONFORME	0.0070		NO CONFORME

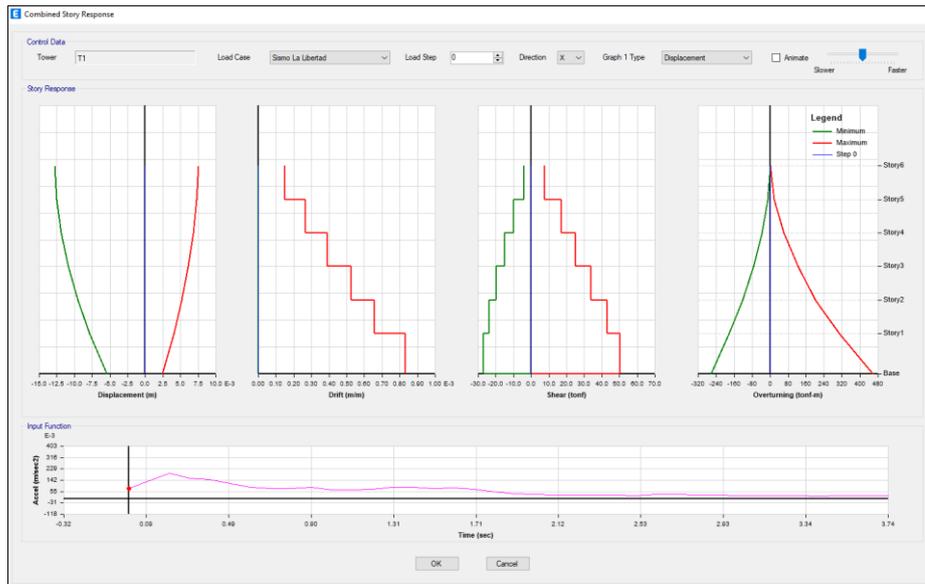
Nota: Fuente propia

4.3.1.4. Análisis Tiempo Historia

En las siguientes figuras se muestran los resultados gráficos de los Sismos La Libertad, Lambayeque y Piura.

Figura 96.

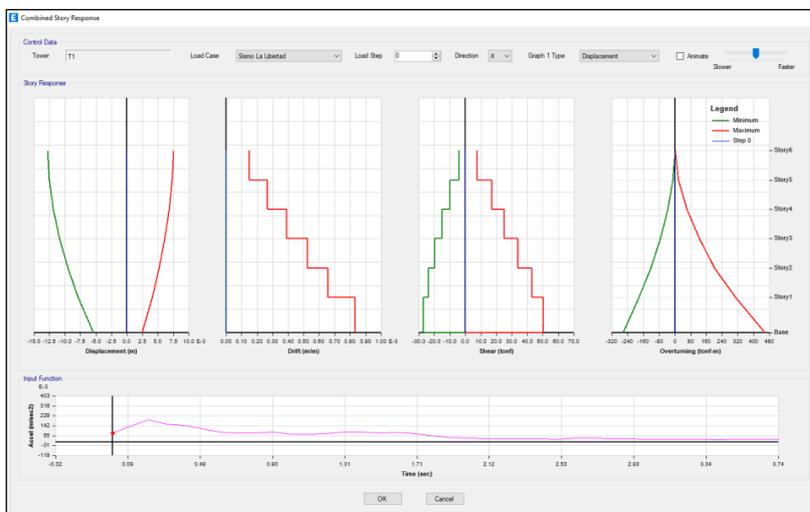
Resultado gráfico del Sismo La Libertad, sin aisladores sísmicos



Nota: Fuente propia

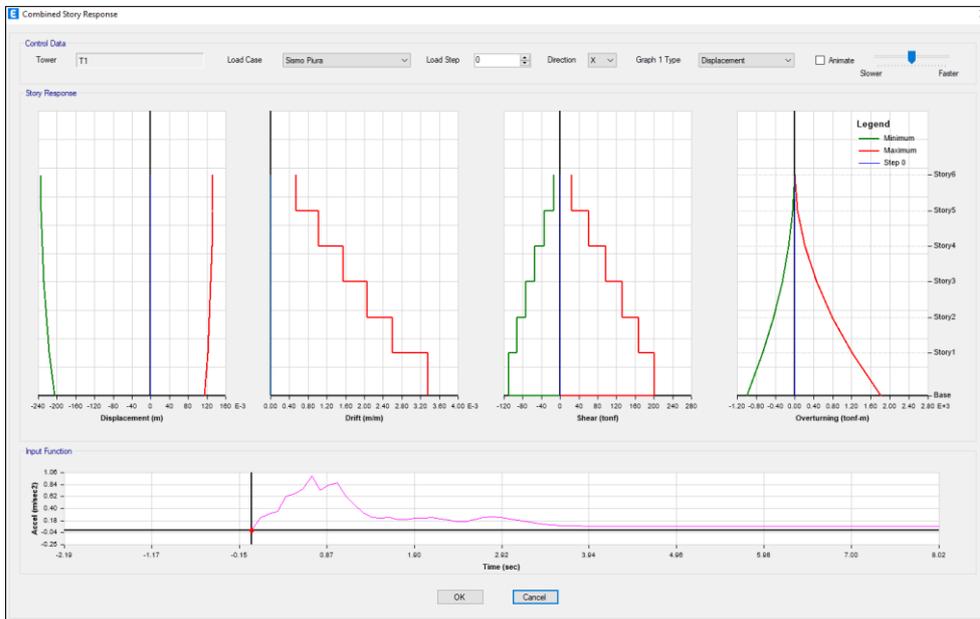
Figura 97.

Resultado gráfico del Sismo La Lambayeque, sin aisladores sísmicos



Nota: Fuente propia

Figura 98.
Resultado gráfico del Sismo Piura, sin aisladores sísmicos



Nota: Fuente propia

Seguidamente se muestran las derivas de entresado aplicando el análisis dinámico tiempo historia de la edificación sin aisladores sísmicos.

Figura 99.
Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Sin aisladores

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	6.65-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	6.65-05	9	15.5	13.5	15.5
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000149	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000157	9	15.5	13.5	15.5
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	0.000113	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	0.000108	9	15.5	13.5	13
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000294	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000266	5	15.5	16.5	13
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	0.00019	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	0.000137	32	0	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000445	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000379	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	0.000242	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	0.000152	32	0	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000573	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000466	9	15.5	13.5	8
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	0.000281	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	0.000145	9	15.5	13.5	5.5
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000667	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000506	9	15.5	13.5	5.5
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	X	0.000252	13	11.55	0	3
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Max	Y	0.000107	9	15.5	13.5	3
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000625	13	11.55	0	3
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.00038	9	15.5	13.5	3

Nota: Fuente propia

Tabla 34

Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Sin aisladores sísmicos

PISOS	SISMO LA LIBERTAD					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.00007	0.007	CONFORME	0.00007	0.007	CONFORME
5	0.00013		CONFORME	0.00011		CONFORME
4	0.00019		CONFORME	0.00014		CONFORME
3	0.00024		CONFORME	0.00015		CONFORME
2	0.00028		CONFORME	0.00015		CONFORME
1	0.00025		CONFORME	0.00011		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 100.

Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Sin aisladores

The screenshot shows the 'Story Drifts' window with a menu bar (File, Edit, Format-Filter-Sort, Select, Options) and a toolbar. The main area contains a table with the following columns: Story, Output Case, Case Type, Step Type, Direction, Drift, Label, X m, Y m, and Z m. The table lists drift data for stories 1 through 6, with each story having three entries for different directions (X, Y, Z). The drift values are in scientific notation, and the displacement values are in meters (m). The interface also includes a filter bar at the top and a record navigation bar at the bottom.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	4.7E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000187	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.00017	9	15.5	13.5	15.5
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	8.4E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.00036	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000291	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	0.000109	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000533	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000425	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	0.000116	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000688	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000545	9	15.5	13.5	8
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	9.9E-05	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000821	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000625	9	15.5	13.5	5.5
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	5.5E-05	13	11.55	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000781	13	11.55	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000495	9	15.5	13.5	3

Nota: Fuente propia

Tabla 35

Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Sin aisladores sísmicos

PISOS	SISMO LAMBAYEQUE					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000047	0.007	CONFORME	0.000047	0.007	CONFORME
5	0.000084		CONFORME	0.000084		CONFORME
4	0.000109		CONFORME	0.000109		CONFORME
3	0.000116		CONFORME	0.000116		CONFORME
2	0.000099		CONFORME	0.000099		CONFORME
1	0.000055		CONFORME	0.000055		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 101.

Derivas del análisis TH del sismo Piura – Sin aisladores

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	3.8E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	7.2E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000387	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000393	9	15.5	13.5	15.5
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	6.7E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000124	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000741	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000669	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	8.4E-05	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000176	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001156	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000966	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	7.5E-05	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000208	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.00156	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001223	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	5.1E-05	5	15.5	16.5	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000207	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001913	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001389	9	15.5	13.5	5.5
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	2.3E-05	5	15.5	16.5	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000138	9	15.5	13.5	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001859	13	11.55	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.00109	9	15.5	13.5	3

Nota: Fuente propia

Tabla 36

Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Sin aisladores sísmicos

PISOS	SISMO PIURA					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000387	0.007	CONFORME	0.000393	0.007	CONFORME
5	0.000741		CONFORME	0.000669		CONFORME
4	0.001156		CONFORME	0.000966		CONFORME
3	0.00156		CONFORME	0.001223		CONFORME
2	0.001913		CONFORME	0.001389		CONFORME
1	0.001859		CONFORME	0.00109		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.2. Edificación Con Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo

4.3.2.1. Modos y periodos de vibración

En la siguiente figura se muestra los valores de los periodos de vibración y las frecuencias, dónde el periodo fundamental es de 2.561 segundos.

Figura 102.

Periodos y frecuencias de la edificación con aislador LRB

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	2.561	0.391	2.4539	6.0214
Modal	2	2.546	0.393	2.4676	6.0891
Modal	3	2.352	0.425	2.6717	7.138
Modal	4	0.409	2.442	15.3461	235.5043
Modal	5	0.385	2.599	16.3316	266.7225
Modal	6	0.364	2.75	17.2805	298.6155
Modal	7	0.206	4.862	30.5495	933.2744
Modal	8	0.186	5.368	33.7277	1137.5574
Modal	9	0.181	5.529	34.738	1206.728
Modal	10	0.134	7.475	46.9638	2205.5981
Modal	11	0.118	8.478	53.2657	2837.2395
Modal	12	0.111	8.993	56.5027	3192.5572
Modal	13	0.093	10.705	67.262	4524.1781
Modal	14	0.08	12.434	78.1259	6103.6584
Modal	15	0.073	13.657	85.8068	7362.8149
Modal	16	0.07	14.271	89.6671	8040.1928
Modal	17	0.059	17.065	107.2229	11496.7409
Modal	18	0.058	17.373	109.1599	11915.88

Nota: Fuente propia

4.3.2.2. Análisis Estático

Seguidamente se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso de la edificación con Aisladores LRB tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras

101 y 103 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 103.

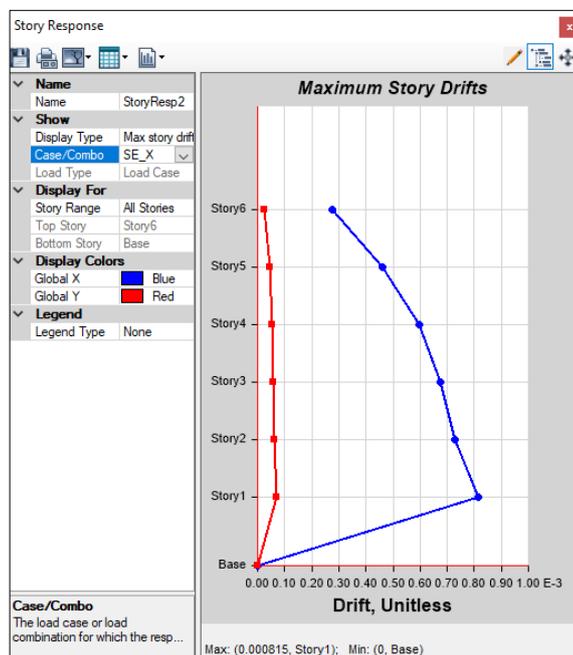
Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador LRB

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_X	LinStatic	X	0.000275	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_X	LinStatic	X	0.000459	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_X	LinStatic	X	0.000595	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_X	LinStatic	X	0.000676	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_X	LinStatic	X	0.000727	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_X	LinStatic	X	0.000815	10	0	0	3

Nota:Fuente propia

Figura 104.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador LRB.



Nota:Fuente propia

Figura 105.

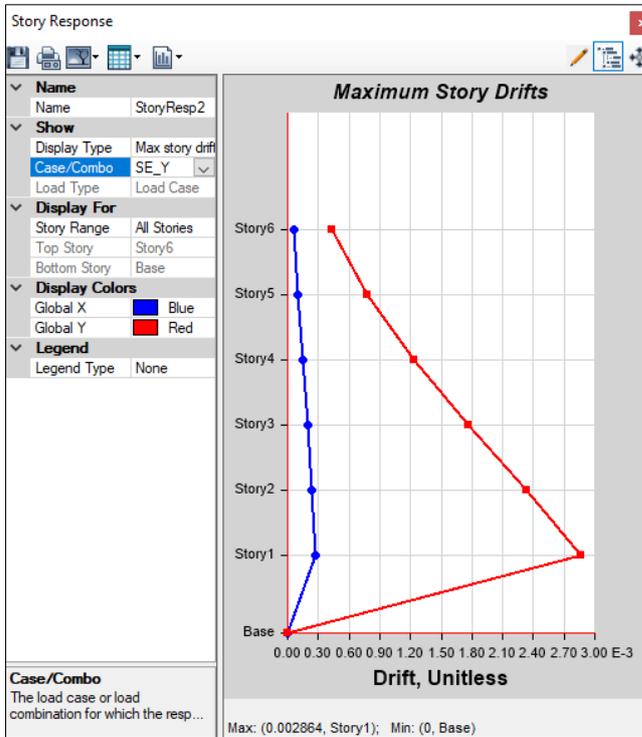
Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador LRB

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_Y	LinStatic	Y	0.000436	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_Y	LinStatic	Y	0.000774	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_Y	LinStatic	Y	0.001237	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_Y	LinStatic	Y	0.001766	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_Y	LinStatic	Y	0.002331	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_Y	LinStatic	Y	0.002864	6	15.5	0	3

Nota: Fuente propia

Figura 106.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador LRB.



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas están conforme con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 37

Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador LRB

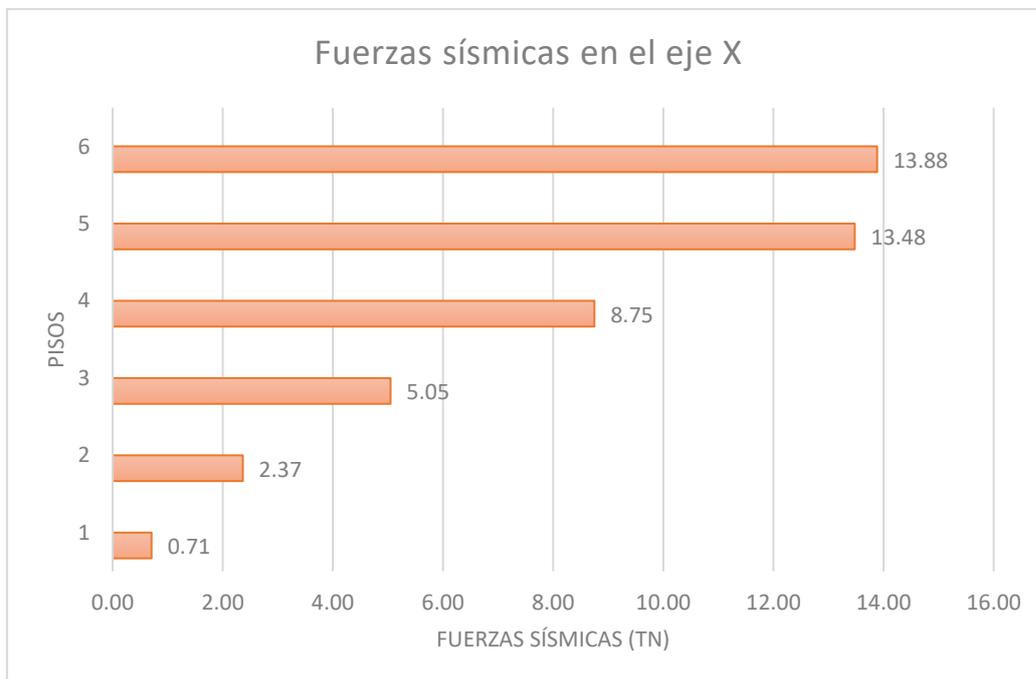
PISO	ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.0003	0.007	CONFORME	0.0004	0.007	CONFORME
5	0.0005		CONFORME	0.0008		CONFORME
4	0.0006		CONFORME	0.0012		CONFORME
3	0.0007		CONFORME	0.0018		CONFORME
2	0.0007		CONFORME	0.0023		CONFORME
1	0.0008		CONFORME	0.0029		CONFORME

Nota: Fuente propia

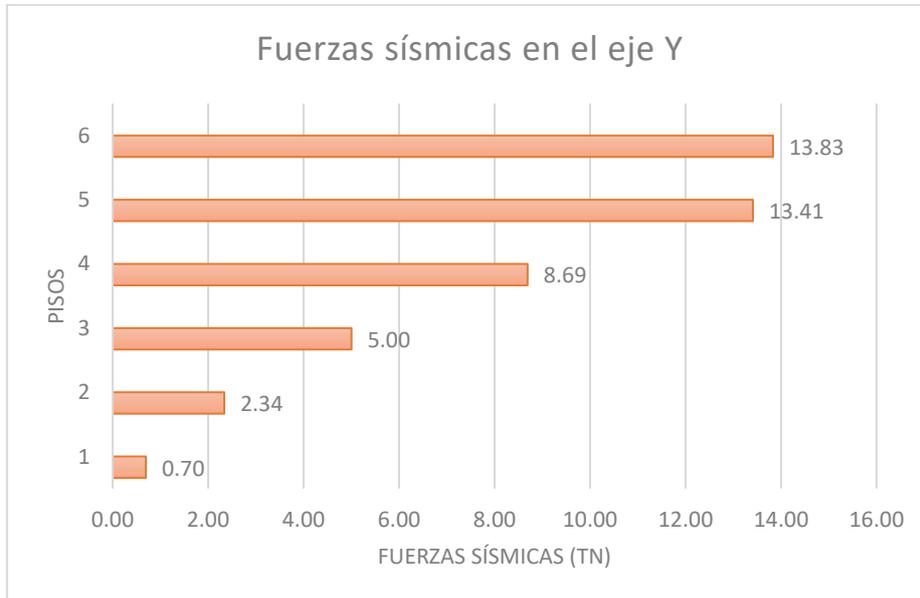
Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones X y Y con el Aislador LRB

Figura 107.

Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador LRB



Nota: Fuente propia

Figura 108.*Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador LRB**Nota: Fuente propia*

Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas cortantes en la direcciones X y Y con el Aislador LRB.

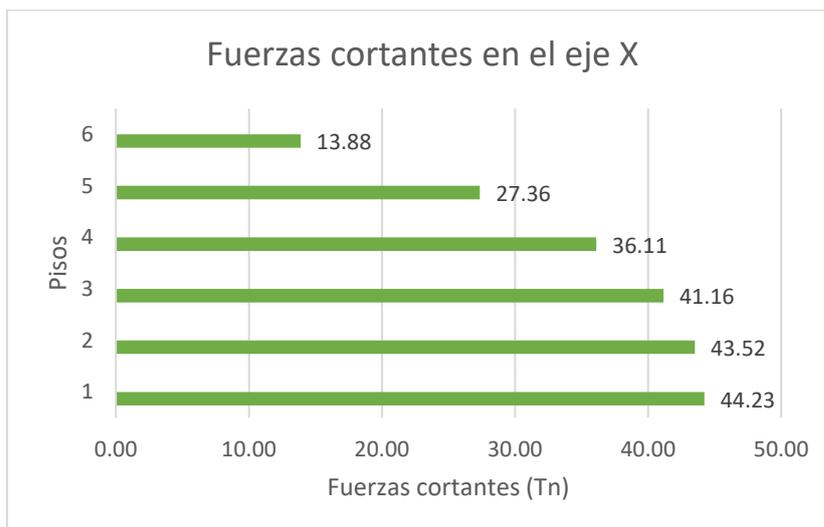
Figura 109.*Distribución de fuerzas cortantes en el eje X con el Aislador LRB**Nota: Fuente propia*

Figura 110.

Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y con el Aislador LRB



Nota: Fuente propia

4.3.2.3. Análisis Dinámico Modal

Se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso con el análisis dinámico en la edificación con el Aislador LRB tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 109 y 111 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 111.

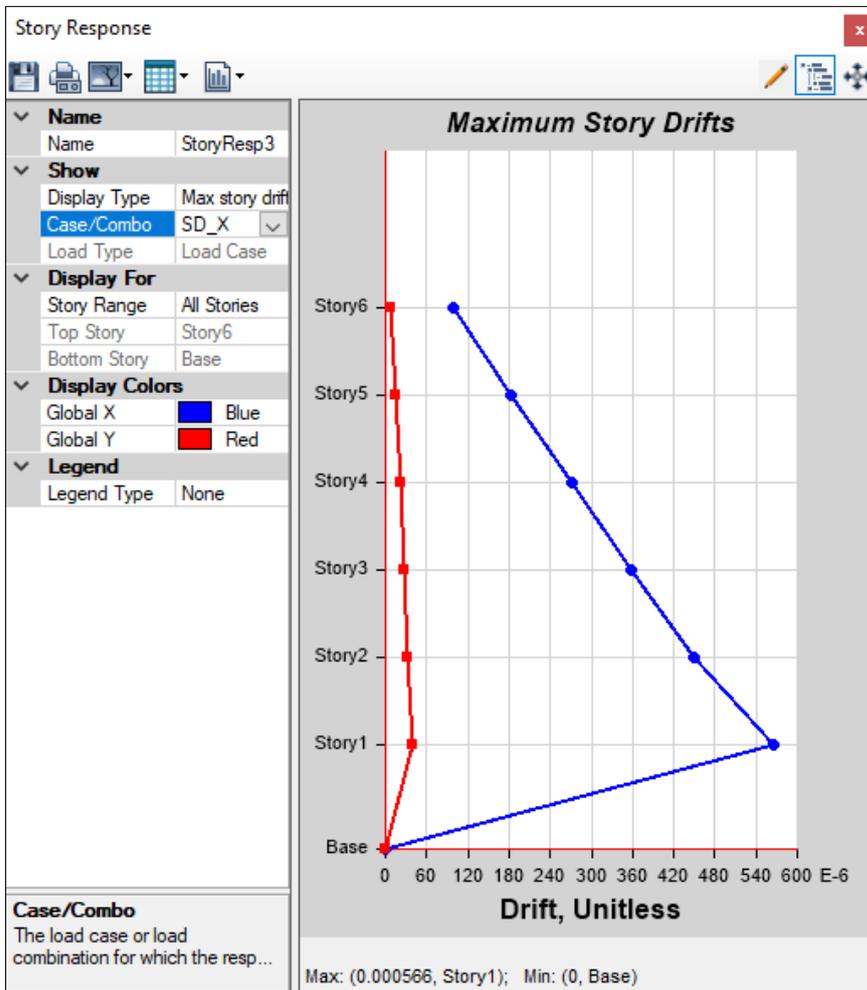
Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador LRB.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_X	LinRespSpec	Max	X	9.9E-05	5	15.5	16.5	15.5
Story5	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000182	5	15.5	16.5	13
Story4	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000271	5	15.5	16.5	10.5
Story3	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000359	5	15.5	16.5	8
Story2	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000449	5	15.5	16.5	5.5
Story1	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000566	1	0	16.5	3

Nota: Fuente propia

Figura 112.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador LRB



Nota:Fuente propia

Figura 113.

Derivas de entrespacio en dirección Y con Aislador LRB.

The figure shows a software window titled 'Story Drifts' with a menu bar (File, Edit, Format-Filter-Sort, Select, Options) and a filter: ((Output Case) = 'SD_Y') AND ((Step Type) = 'Max') AND ((Direction) = 'Y'). The table below displays the drift data for each story level.

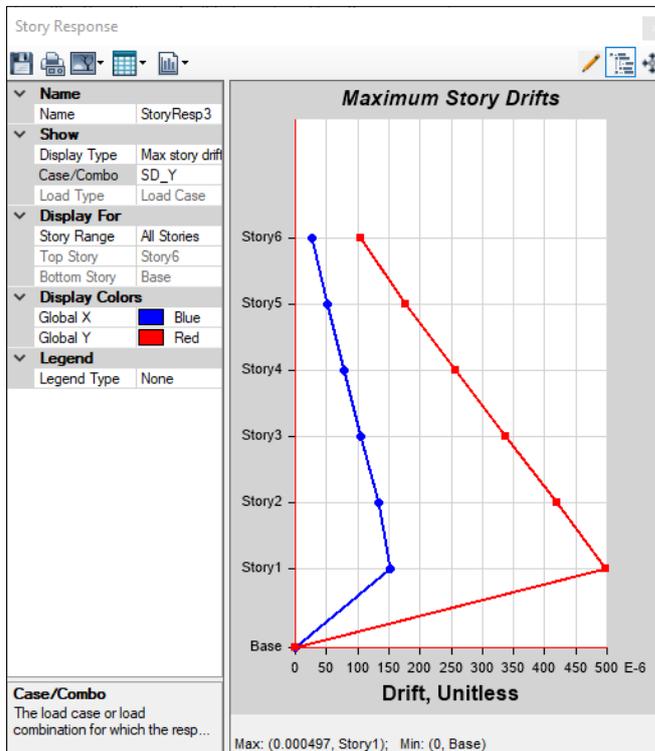
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000104	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000176	36	15.5	-0.8	13
Story4	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000258	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000338	36	15.5	-0.8	8
Story2	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000419	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000497	6	15.5	0	3

Record: 2 of 6. Add Tables... Done

Nota:Fuente propia

Figura 114.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador LRB



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas están conformes con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 38

Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador LRB

PISO	ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	9.90E-05	0.007	CONFORME	0.000104	0.007	CONFORME
5	0.000182		CONFORME	0.000176		CONFORME
4	0.000271		CONFORME	0.000258		CONFORME
3	0.000359		CONFORME	0.000338		CONFORME
2	0.000449		CONFORME	0.000419		CONFORME
1	0.000566		CONFORME	0.000497		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.2.4. Análisis Tiempo Historia

En las siguientes figuras se muestran las derivas de entrepiso aplicando el análisis dinámico tiempo historia de la edificación con el aislador LRB.

Figura 115.

Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador LRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000104	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	8E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000149	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.00013	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000192	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	0.000138	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000288	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.000226	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000284	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	0.000195	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000392	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.000329	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000364	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	0.000242	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000525	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.000424	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000439	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	0.000287	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000657	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.000531	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	X	0.000529	10	0	0	3
Story1	Sismo La Libe...	NonModHist	Max	Y	0.000321	8	15.5	9	3
Story1	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	X	0.000833	10	0	0	3
Story1	Sismo La Libe...	NonModHist	Min	Y	0.000612	8	15.5	9	3

Nota: Fuente propia

Tabla 39

Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador LRB

PISOS	SISMO LA LIBERTAD					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.00015	0.007	CONFORME	0.00015	0.007	CONFORME
5	0.00027		CONFORME	0.00027		CONFORME
4	0.00039		CONFORME	0.00039		CONFORME
3	0.00053		CONFORME	0.00053		CONFORME
2	0.00066		CONFORME	0.00066		CONFORME
1	0.00083		CONFORME	0.00083		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 116.

Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador LRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	3.1E-05	5	15.5	16.5	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	1.2E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000164	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000171	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	5.7E-05	5	15.5	16.5	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	2.1E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.00031	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000289	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	8.6E-05	5	15.5	16.5	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	3E-05	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000467	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000426	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	0.000114	5	15.5	16.5	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	3.9E-05	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000625	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000565	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	0.000142	5	15.5	16.5	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	4.8E-05	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000795	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000708	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	X	0.000178	1	0	16.5	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Max	Y	5.8E-05	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.001028	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000855	6	15.5	0	3

Nota: Fuente propia

Tabla 40

Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador LRB

PISOS	SISMO LAMBAYEQUE					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000164	0.007	CONFORME	0.000171	0.007	CONFORME
5	0.00031		CONFORME	0.00031		CONFORME
4	0.000467		CONFORME	0.000467		CONFORME
3	0.000625		CONFORME	0.000625		CONFORME
2	0.000795		CONFORME	0.000795		CONFORME
1	0.001028		CONFORME	0.001028		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 117.

Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador LRB

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000309	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000286	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000541	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000511	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000583	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000483	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001022	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.00086	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000878	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000709	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001541	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001263	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.001168	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000937	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002056	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.00167	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.001475	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.001167	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002606	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.002085	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.001892	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.001406	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.003365	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.002516	6	15.5	0	3

Nota: Fuente propia

Tabla 41

Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador LRB

PISOS	SISMO PIURA					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000541	0.007	CONFORME	0.000541	0.007	CONFORME
5	0.001022		CONFORME	0.001022		CONFORME
4	0.001541		CONFORME	0.001541		CONFORME
3	0.002056		CONFORME	0.002056		CONFORME
2	0.002606		CONFORME	0.002606		CONFORME
1	0.003365		CONFORME	0.003365		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.3. Edificación Con Aislador de Péndulo de Fricción Doble

4.3.3.1. Modos y periodos de vibración

En la siguiente figura se muestra los valores de los periodos de vibración y las frecuencias, dónde el periodo fundamental es de 2.081 segundos.

Figura 118.

Periodos y frecuencias de la edificación con aislador PFD

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	2.081	0.481	3.0192	9.1153
Modal	2	2.068	0.484	3.0383	9.2312
Modal	3	1.91	0.523	3.2891	10.8182
Modal	4	0.4	2.497	15.6888	246.1373
Modal	5	0.377	2.653	16.6698	277.8832
Modal	6	0.357	2.803	17.6109	310.1432
Modal	7	0.204	4.896	30.7624	946.3264
Modal	8	0.185	5.394	33.8884	1148.4214
Modal	9	0.18	5.553	34.8936	1217.5631
Modal	10	0.133	7.503	47.1423	2222.3963
Modal	11	0.118	8.489	53.3391	2845.0614
Modal	12	0.111	9.007	56.5939	3202.8736
Modal	13	0.093	10.719	67.3513	4536.1972
Modal	14	0.08	12.437	78.1418	6106.1333
Modal	15	0.073	13.662	85.8428	7368.9883
Modal	16	0.07	14.28	89.723	8050.2113
Modal	17	0.059	17.066	107.2296	11498.1939
Modal	18	0.058	17.376	109.1744	11919.0516

Nota: Fuente propia

4.3.3.2. Análisis Estático

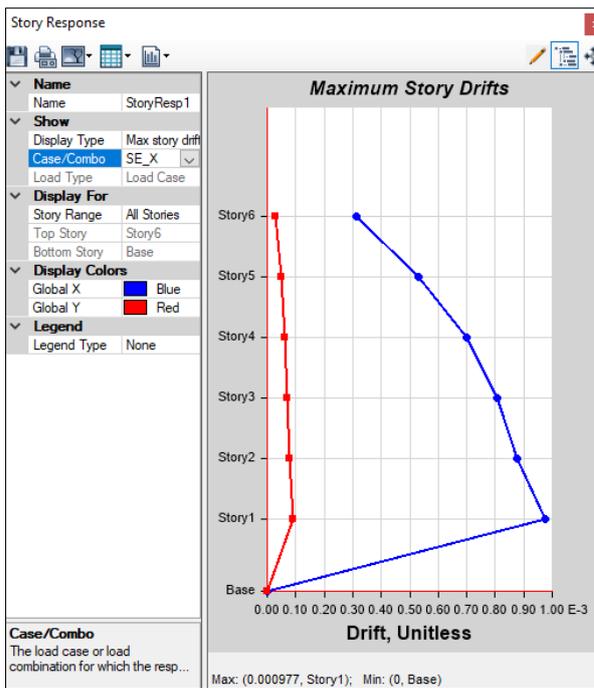
Seguidamente se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso de la edificación con Aisladores PFD tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 117 y 119 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 119.
Derivas de entropiso en dirección X con Aislador PFD

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_X	LinStatic	X	0.000312	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_X	LinStatic	X	0.000532	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_X	LinStatic	X	0.000699	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_X	LinStatic	X	0.000805	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_X	LinStatic	X	0.000875	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_X	LinStatic	X	0.000977	10	0	0	3

Nota: Fuente propia

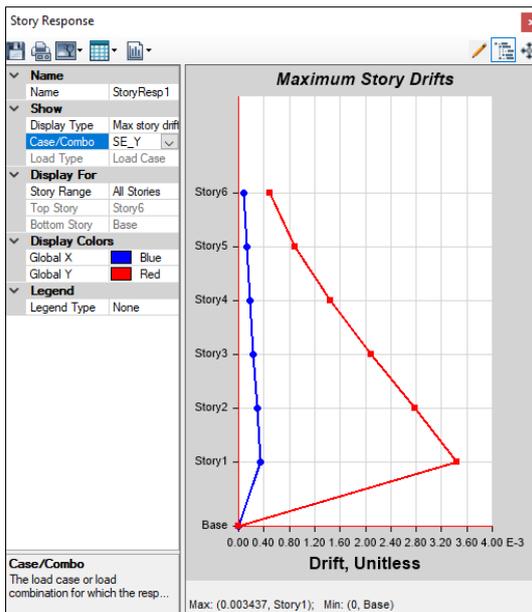
Figura 120.
Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador PFD.



Nota: Fuente propia

Figura 121.*Derivas de entropiso en dirección Y con Aislador PFD*

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_Y	LinStatic	Y	0.000492	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_Y	LinStatic	Y	0.000893	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_Y	LinStatic	Y	0.001449	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_Y	LinStatic	Y	0.002092	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_Y	LinStatic	Y	0.002784	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_Y	LinStatic	Y	0.003437	6	15.5	0	3

*Nota:Fuente propia***Figura 122.***Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador PFD.**Nota:Fuente propia*

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas cumplen con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 42

Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador PFD

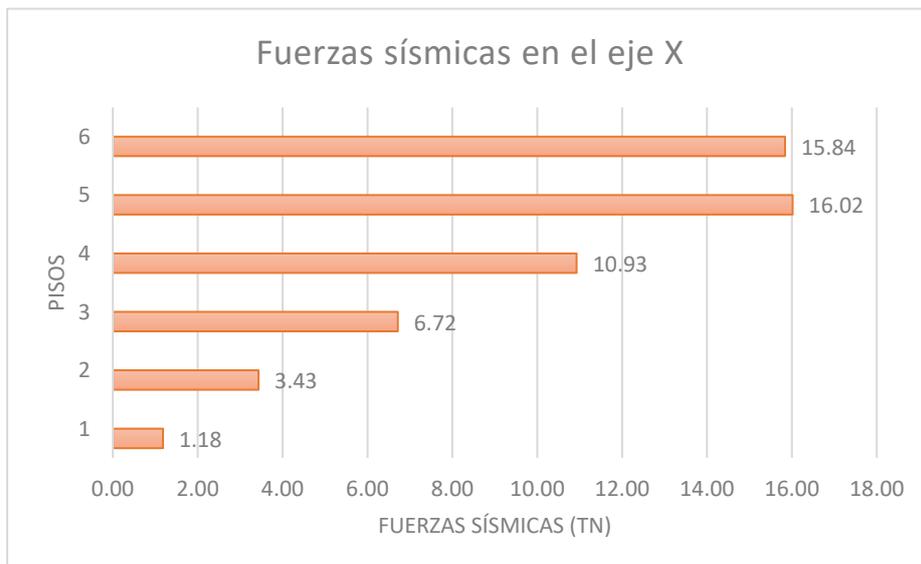
PISO	ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000312	0.007	CONFORME	0.000492	0.007	CONFORME
5	0.000532		CONFORME	0.000893		CONFORME
4	0.000699		CONFORME	0.001449		CONFORME
3	0.000805		CONFORME	0.002092		CONFORME
2	0.000875		CONFORME	0.002784		CONFORME
1	0.000977		CONFORME	0.003437		CONFORME

Nota: Fuente propia

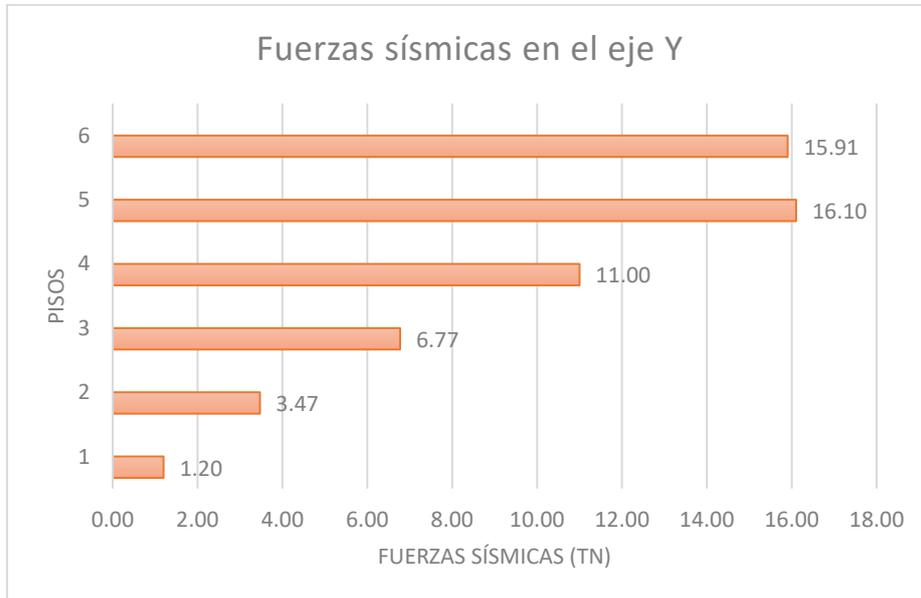
Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones X y Y.

Figura 123.

Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador PFD



Nota: Fuente propia

Figura 124.*Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador PFD**Nota: Fuente propia*

Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas cortantes en la direcciones X y Y con el Aislador PFD.

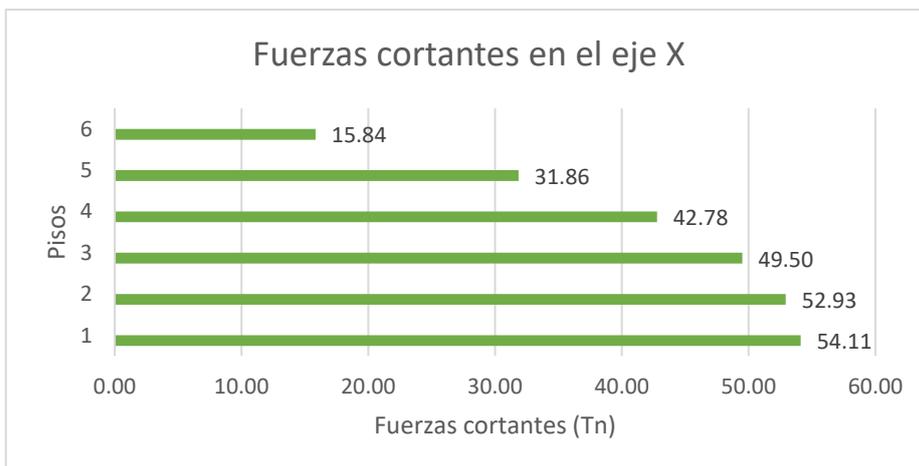
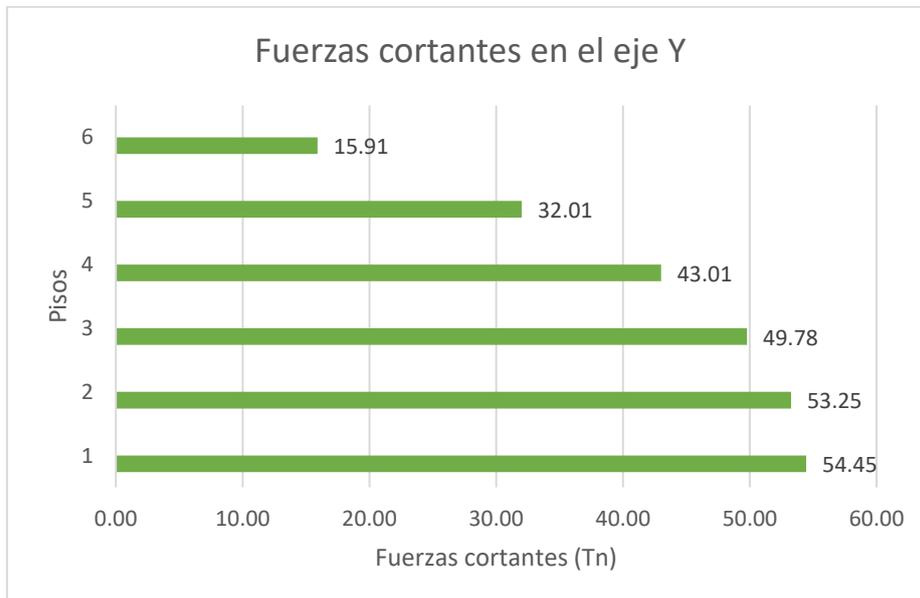
Figura 125.*Distribución de fuerzas cortantes en el eje X con el Aislador PFD**Nota: Fuente propia*

Figura 126.*Distribución de fuerzas cortantes en el eje Y con el Aislador PFD**Nota:Fuente propia*

4.3.3.3.Análisis Dinámico Modal

Se aprecia los resultados de las Derivas de entrepiso con el análisis dinámico en la edificación con el Aislador PFD tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 125 y 127 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

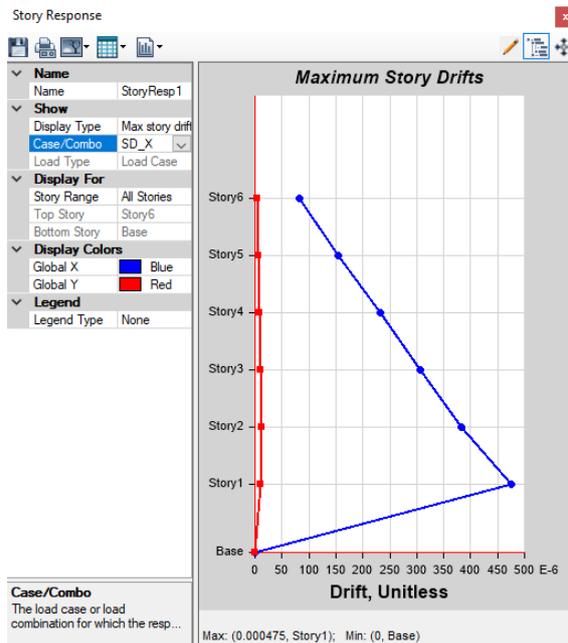
Figura 127.*Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFD*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_X	LinRespSpec	Max	X	8.3E-05	5	15.5	16.5	15.5
Story5	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000155	5	15.5	16.5	13
Story4	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000232	5	15.5	16.5	10.5
Story3	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000307	5	15.5	16.5	8
Story2	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000382	5	15.5	16.5	5.5
Story1	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000475	1	0	16.5	3

Nota:Fuente propia

Figura 128.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador PFD



Nota:Fuente propia

Figura 129.

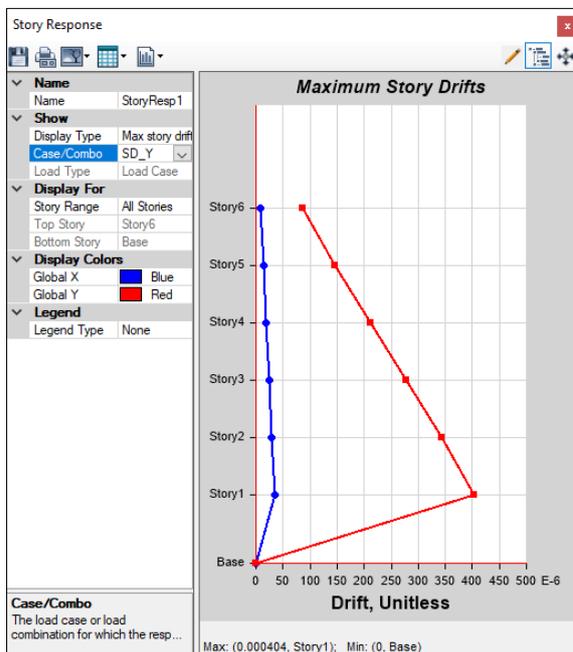
Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFD

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	8.6E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000146	36	15.5	-0.8	13
Story4	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000213	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000278	36	15.5	-0.8	8
Story2	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000343	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000404	6	15.5	0	3

Nota:Fuente propia

Figura 130.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador PFD



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas cumplen con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 43

Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador PFD

PISO	ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000083	0.007	CONFORME	0.000086	0.007	CONFORME
5	0.000155		CONFORME	0.000146		CONFORME
4	0.000232		CONFORME	0.000213		CONFORME
3	0.000307		CONFORME	0.000278		CONFORME
2	0.000382		CONFORME	0.000343		CONFORME
1	0.000475		CONFORME	0.000404		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.3.4. Análisis Tiempo Historia

En las siguientes figuras se muestran las derivas de entrepiso aplicando el análisis dinámico tiempo historia de la edificación con el aislador PFD.

Figura 131.

Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFD

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	7.1E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	6.6E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000135	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000113	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000205	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000167	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000274	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000221	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000347	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000276	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000444	6	15.5	0	3
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000332	6	15.5	0	3

Nota: Fuente propia

Tabla 44

Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFD

PISOS	SISMO LA LIBERTAD					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.00007	0.007	CONFORME	0.00007	0.007	CONFORME
5	0.00014		CONFORME	0.00011		CONFORME
4	0.00021		CONFORME	0.00017		CONFORME
3	0.00027		CONFORME	0.00022		CONFORME
2	0.00035		CONFORME	0.00028		CONFORME
1	0.00044		CONFORME	0.00033		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 132.*Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFD*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000122	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000135	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000235	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.00023	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000357	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.00034	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000479	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000452	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000609	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000567	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000781	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000684	6	15.5	0	3

*Nota: Fuente propia***Tabla 45***Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFD*

PISOS	SISMO LAMBAYEQUE					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000122	0.007	CONFORME	0.000135	0.007	CONFORME
5	0.000235		CONFORME	0.00023		CONFORME
4	0.000357		CONFORME	0.00034		CONFORME
3	0.000479		CONFORME	0.000452		CONFORME
2	0.000609		CONFORME	0.000567		CONFORME
1	0.000781		CONFORME	0.000684		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 133.*Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFD*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	4.5E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	4.9E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000418	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000392	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	8.6E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	8.3E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000802	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000688	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000129	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000121	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001215	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000988	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.00017	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000158	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001622	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.00131	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000211	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000194	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002053	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001638	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.00026	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000229	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002619	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001975	6	15.5	0	3

*Nota: Fuente propia***Tabla 46***Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFD*

PISOS	SISMO PIURA					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000418	0.007	CONFORME	0.000418	0.007	CONFORME
5	0.000802		CONFORME	0.000802		CONFORME
4	0.001215		CONFORME	0.001215		CONFORME
3	0.001622		CONFORME	0.001622		CONFORME
2	0.002053		CONFORME	0.002053		CONFORME
1	0.002619		CONFORME	0.002619		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.4. Edificación Con Aislador de Péndulo de Fricción Triple

4.3.4.1. Modos y periodos de vibración

En la siguiente figura se muestra los valores de los periodos de vibración y las frecuencias, dónde el periodo fundamental es de 2.189 segundos.

Figura 134.

Periodos y frecuencias de la edificación con aislador PFT

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec	CircFreq rad/sec	Eigenvalue rad ² /sec ²
Modal	1	2.189	0.457	2.8705	8.2398
Modal	2	2.173	0.46	2.8912	8.3591
Modal	3	0.772	1.295	8.1367	66.2062
Modal	4	0.418	2.39	15.0147	225.4427
Modal	5	0.397	2.521	15.843	251.0007
Modal	6	0.242	4.139	26.009	676.4658
Modal	7	0.213	4.7	29.5294	871.9871
Modal	8	0.19	5.253	33.0042	1089.277
Modal	9	0.136	7.346	46.1569	2130.4591
Modal	10	0.133	7.536	47.3515	2242.1677
Modal	11	0.114	8.765	55.0709	3032.7992
Modal	12	0.094	10.615	66.8943	4448.1262
Modal	13	0.093	10.718	67.3405	4534.7389
Modal	14	0.079	12.738	80.0335	6405.3639
Modal	15	0.074	13.588	85.3788	7289.5358
Modal	16	0.07	14.234	89.4352	7998.6573
Modal	17	0.059	17.05	107.1269	11476.1725
Modal	18	0.058	17.362	109.0876	11900.1065

Nota: Fuente propia

4.3.4.2. Análisis Estático

Seguidamente se aprecia las respuestas de las distorsiones de entrepiso de la edificación con Aisladores PFT tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 133 y 135 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 135.*Derivas de entropiso en dirección X con Aislador PFT*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_X	LinStatic		X	0.000303	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_X	LinStatic		X	0.000512	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_X	LinStatic		X	0.000672	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_X	LinStatic		X	0.00077	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_X	LinStatic		X	0.000835	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_X	LinStatic		X	0.000925	10	0	0	3

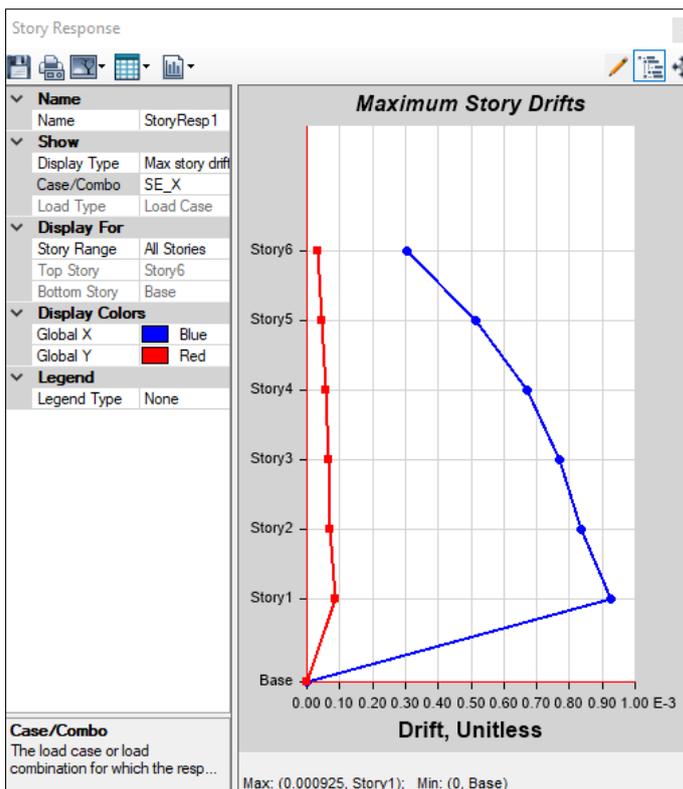
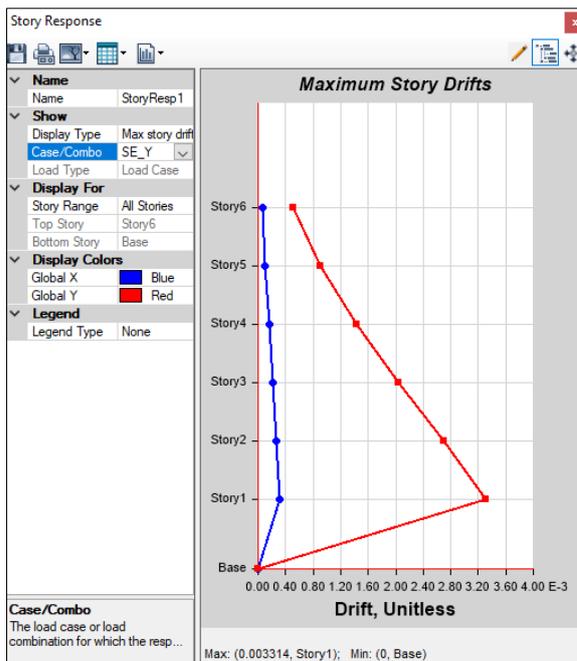
*Nota:Fuente propia***Figura 136.***Gráfico de deriva máxima en el Eje X con Aislador PFT.**Nota:Fuente propia*

Figura 137.*Derivas de entropiso en dirección Y con Aislador PFT*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SE_Y	LinStatic		Y	0.000515	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SE_Y	LinStatic		Y	0.000899	36	15.5	-0.8	13
Story4	SE_Y	LinStatic		Y	0.001432	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SE_Y	LinStatic		Y	0.002046	36	15.5	-0.8	8
Story2	SE_Y	LinStatic		Y	0.002705	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SE_Y	LinStatic	Story1	Y	0.003314	6	15.5	0	3

*Nota:Fuente propia***Figura 138.***Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con Aislador PFT.**Nota:Fuente propia*

Los resultados obtenidos han sido verificados y confirman que las derivas cumplen con las especificaciones establecidas en la Norma E030.

Tabla 47

Resultados de derivas estáticas en los ejes X y Y con Aislador PFT.

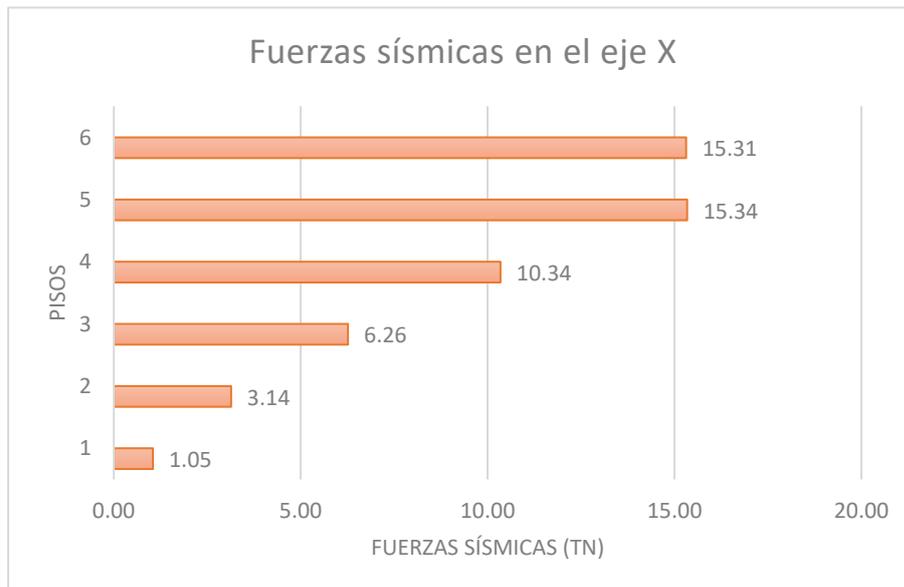
PISO	ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL EJE X			ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL EJE Y		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000303	0.007	CONFORME	0.000515	0.007	CONFORME
5	0.000512		CONFORME	0.000899		CONFORME
4	0.000672		CONFORME	0.001432		CONFORME
3	0.00077		CONFORME	0.002046		CONFORME
2	0.000835		CONFORME	0.002705		CONFORME
1	0.000925		CONFORME	0.003314		CONFORME

Nota: Fuente propia

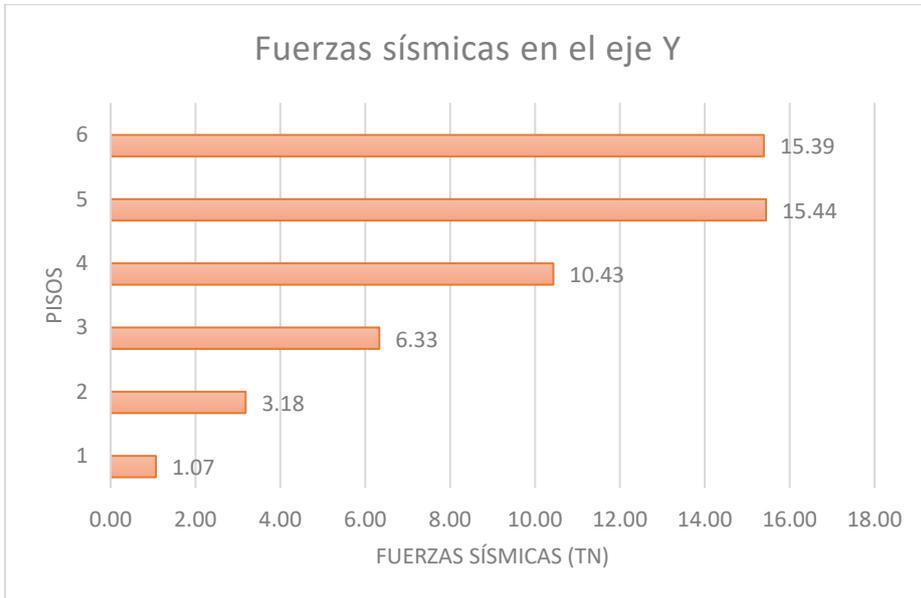
Seguidamente se muestra los resultados de la distribución de fuerzas sísmicas en las direcciones X y Y.

Figura 139.

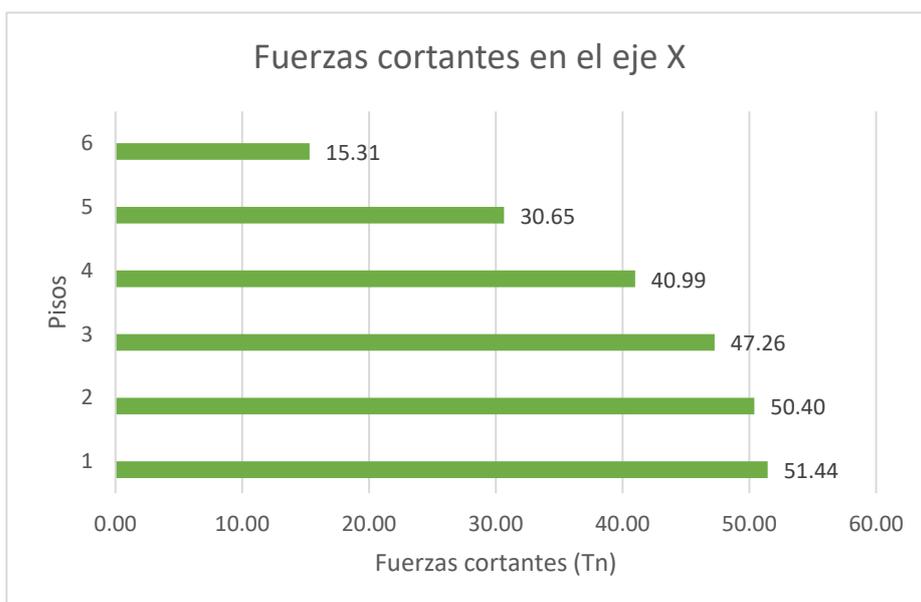
Distribución de fuerzas sísmicas en el eje X con aislador PFT



Nota: Fuente propia

Figura 140.*Distribución de fuerzas sísmicas en el eje Y con aislador PFT**Nota: Fuente propia*

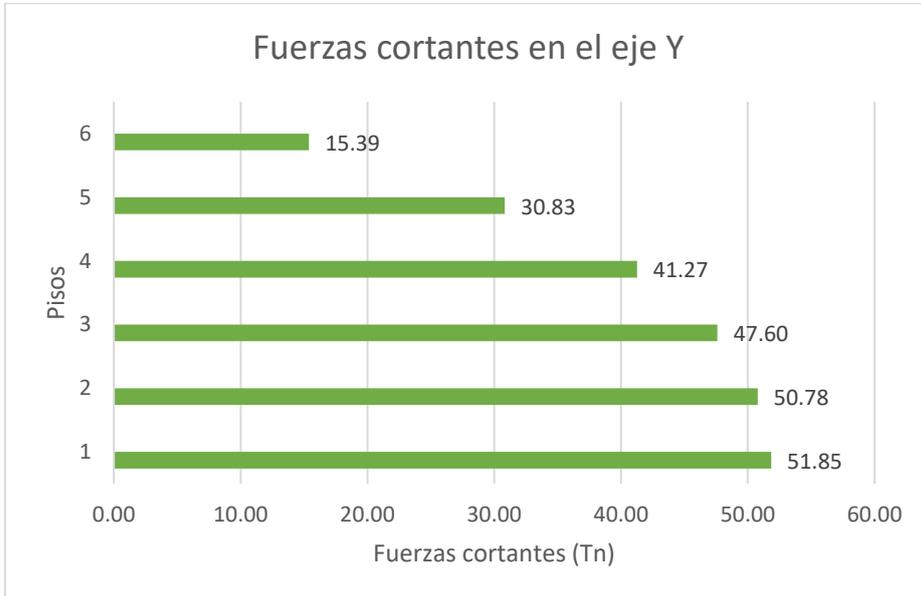
Seguidamente se aprecia las respuestas de la distribución de fuerzas de cortantes en la direcciones X y Y con el Aislador PFT.

Figura 141.*Distribución de fuerzas cortante en el eje X con aislador PFT*

Nota:Fuente propia

Figura 142.

Distribución de fuerzas cortante en el eje Y con aislador PFT



Nota:Fuente propia

4.3.4.3.Análisis Dinámico Modal

Se aprecia los resultados de las Distorsiones de entrepiso con el análisis modal en la edificación con el Aislador PFT tanto en el Eje X y en eje Y, los cuales están mostrados en las figuras 141 y 143 respectivamente, y también se muestran las gráficas de deriva máxima para cada caso.

Figura 143.

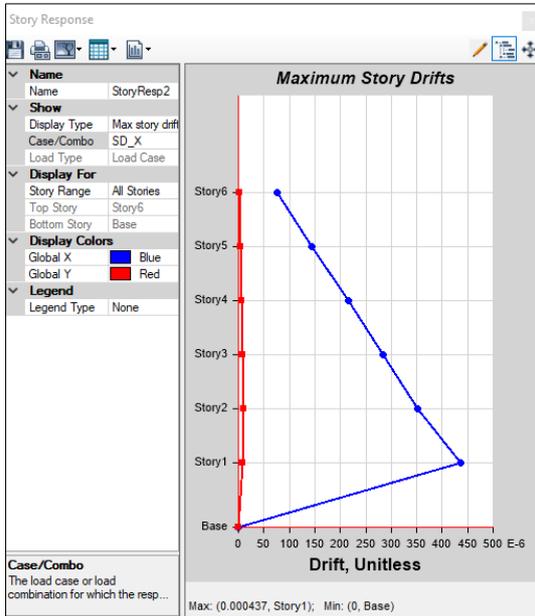
Derivas de entrepiso en dirección X con Aislador PFT

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_X	LinRespSpec	Max	X	7.7E-05	5	15.5	16.5	15.5
Story5	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000144	5	15.5	16.5	13
Story4	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000215	5	15.5	16.5	10.5
Story3	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000283	5	15.5	16.5	8
Story2	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000353	5	15.5	16.5	5.5
Story1	SD_X	LinRespSpec	Max	X	0.000437	1	0	16.5	3

Nota:Fuente propia

Figura 144.

Gráfico de deriva máxima en el Eje X con el Aislador PFT



Nota:Fuente propia

Figura 145.

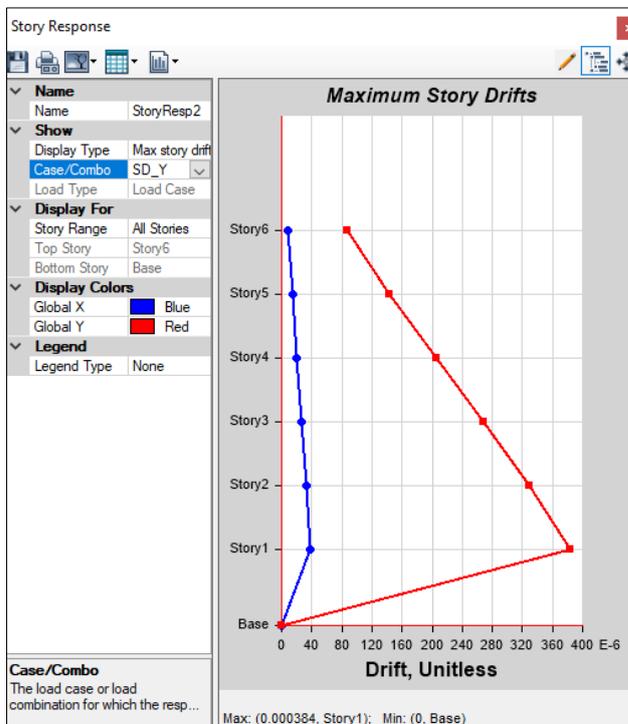
Derivas de entrepiso en dirección Y con Aislador PFT

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	8.7E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000143	36	15.5	-0.8	13
Story4	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000206	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000268	36	15.5	-0.8	8
Story2	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000329	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	SD_Y	LinRespSpec	Max	Y	0.000384	6	15.5	0	3

Nota:Fuente propia

Figura 146.

Gráfico de deriva máxima en el Eje Y con el Aislador PFT



Nota: Fuente propia

Con los resultados obtenidos se verificó que las derivas cumplen con lo establecido en la Norma E030.

Tabla 48

Resultados de derivas dinámicas en los ejes X y Y con el Aislador PFT

PISO	ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X			ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO Y		
	DIST.	Admitido	VERIFICACIÓN	DIST.	Admitido	VERIFICACIÓN
6	7.70E-05	0.007	CONFORME	8.70E-05	0.007	CONFORME
5	0.000144		CONFORME	0.000143		CONFORME
4	0.000215		CONFORME	0.000206		CONFORME
3	0.000283		CONFORME	0.000268		CONFORME
2	0.000353		CONFORME	0.000329		CONFORME
1	0.000437		CONFORME	0.000384		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.4.4. Análisis Tiempo Historia

En las siguientes figuras se muestran las derivas de entrepiso aplicando el análisis dinámico tiempo historia de la edificación con el aislador PFT.

Figura 147.

Derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFT

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	7.4E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	7.3E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.00014	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000121	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.00021	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000175	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000278	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.00023	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000351	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.000285	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	X	0.000445	10	0	0	3
Story1	Sismo La Libe...	LinModHist	Min	Y	0.00034	6	15.5	0	3

Nota: Fuente propia

Tabla 49

Resultados de derivas del análisis TH del sismo La Libertad – Aislador PFT

PISOS	SISMO LA LIBERTAD					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE X		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.00007	0.007	CONFORME	0.00007	0.007	CONFORME
5	0.00014		CONFORME	0.00012		CONFORME
4	0.00021		CONFORME	0.00018		CONFORME
3	0.00028		CONFORME	0.00023		CONFORME
2	0.00035		CONFORME	0.00029		CONFORME
1	0.00045		CONFORME	0.00034		CONFORME

Nota: Fuente propia

Figura 148.*Derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFT*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.00013	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.00015	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000244	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000247	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000368	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000359	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000493	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000472	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000626	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000588	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	X	0.000797	10	0	0	3
Story1	Sismo Lamba...	LinModHist	Min	Y	0.000703	6	15.5	0	3

*Nota:Fuente propia***Tabla 50***Resultados de derivas del análisis TH del sismo Lambayeque – Aislador PFT*

PISOS	SISMO LAMBAYEQUE					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE X		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.00013	0.007	CONFORME	0.00015	0.007	CONFORME
5	0.000244		CONFORME	0.000247		CONFORME
4	0.000368		CONFORME	0.000359		CONFORME
3	0.000493		CONFORME	0.000472		CONFORME
2	0.000626		CONFORME	0.000588		CONFORME
1	0.000797		CONFORME	0.000703		CONFORME

Nota:Fuente propia

Figura 149.*Derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFT*

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	4.9E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	5.5E-05	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000439	36	15.5	-0.8	15.5
Story6	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000433	36	15.5	-0.8	15.5
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	9.2E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	9.1E-05	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.000824	36	15.5	-0.8	13
Story5	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.000715	36	15.5	-0.8	13
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000136	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000131	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.001239	36	15.5	-0.8	10.5
Story4	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001036	36	15.5	-0.8	10.5
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000179	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000169	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.00165	36	15.5	-0.8	8
Story3	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001361	36	15.5	-0.8	8
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000223	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000206	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002085	36	15.5	-0.8	5.5
Story2	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.001691	36	15.5	-0.8	5.5
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	X	0.000277	10	0	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Max	Y	0.000241	6	15.5	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	X	0.002641	10	0	0	3
Story1	Sismo Piura	LinModHist	Min	Y	0.00202	6	15.5	0	3

*Nota: Fuente propia***Tabla 51***Resultados de derivas del análisis TH del sismo Piura – Aislador PFT*

PISOS	SISMO PIURA					
	SISMO T-H EN EJE X			SISMO T-H EN EJE X		
	DIST.	Máximo	RESULTADO	DIST.	Máximo	RESULTADO
6	0.000439	0.007	CONFORME	0.000439	0.007	CONFORME
5	0.000824		CONFORME	0.000824		CONFORME
4	0.001239		CONFORME	0.001239		CONFORME
3	0.00165		CONFORME	0.00165		CONFORME
2	0.002085		CONFORME	0.002085		CONFORME
1	0.002641		CONFORME	0.002641		CONFORME

Nota: Fuente propia

4.3.5. Comparación de resultados

Comparación de resultados calculados respecto a las distorsiones de entre piso del análisis de fuerzas equivalentes en el eje X.

Tabla 52

Resultados de derivas estáticas sin aislador y con aislador LRB – Eje X

ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO X					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	% DISMIN (%)
6	0.003997	NO CONFORME	0.000275	CONFORME	93.11984
5	0.007161	NO CONFORME	0.000459	CONFORME	93.59028
4	0.009896	NO CONFORME	0.000595	CONFORME	93.98747
3	0.011891	NO CONFORME	0.000676	CONFORME	94.31503
2	0.013133	NO CONFORME	0.000727	CONFORME	94.46433
1	0.011634	NO CONFORME	0.000815	CONFORME	92.99467

Nota: Fuente propia

Tabla 53

Resultados de derivas estáticas con aislador PFD y PFT – Eje X

ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO X						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR DE DOBLE PÉNDULO DE FRICCIÓN			VIVIENDA CON AISLADOR DE TRIPLE PÉNDULO DE FRICCIÓN		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000312	CONFORME	92.194146	0.000303	CONFORME	92.41931
5	0.000532	CONFORME	92.57087	0.000512	CONFORME	92.85016
4	0.000699	CONFORME	92.93654	0.000672	CONFORME	93.20938
3	0.000805	CONFORME	93.230174	0.00077	CONFORME	93.52451
2	0.000875	CONFORME	93.337394	0.000835	CONFORME	93.64197
1	0.000977	CONFORME	91.6022	0.000925	CONFORME	92.04917

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 52 y 53, podemos visualizar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene una máxima deriva de valor de 0.013133, por otro lado, la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.000815, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000977 y la con el Aislador de PFT es de 0.000925, y respecto a los porcentajes totales de

reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 93.75 %, en la con el Aislador PFD se tiene 92.65 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 92.95 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las distorsiones de entre piso del análisis de fuerzas equivalentes en el eje Y.

Tabla 54

Resultados de derivas estáticas sin aislador y con aislador LRB – Eje Y

ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO Y					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.006673	NO CONFORME	0.000436	CONFORME	93.46621
5	0.012582	NO CONFORME	0.000774	CONFORME	93.84835
4	0.02106	NO CONFORME	0.001237	CONFORME	94.12631
3	0.030828	NO CONFORME	0.001766	CONFORME	94.27144
2	0.039465	NO CONFORME	0.002331	CONFORME	94.0935
1	0.033325	NO CONFORME	0.002864	CONFORME	91.40585

Nota: Fuente propia

Tabla 55

Resultados de derivas estáticas con aislador PFD y PFT – Eje Y

ANÁLISIS DE FUERZAS EQUIVALENTES EN EL SENTIDO Y						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR DE DOBLE PÉNDULO DE FRICCIÓN			VIVIENDA CON AISLADOR DE TRIPLE PÉNDULO DE FRICCIÓN		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000492	CONFORME	92.627004	0.000515	CONFORME	92.28233
5	0.000893	CONFORME	92.902559	0.000899	CONFORME	92.85487
4	0.001449	CONFORME	93.119658	0.001432	CONFORME	93.20038
3	0.002092	CONFORME	93.213961	0.002046	CONFORME	93.36318
2	0.002784	CONFORME	92.945648	0.002705	CONFORME	93.14583
1	0.003437	CONFORME	89.686422	0.003314	CONFORME	90.05551

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 54 y 55, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.03947, mientras que la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.002864, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.003437 y la con el Aislador de PFT es de 0.003314, y respecto a los porcentajes totales de

reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 93.53 %, en la con el Aislador PFD se tiene 92.42 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 92.48 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las derivas del Sismo dinámico en el eje X.

Tabla 56

Resultados de derivas dinámicas sin aislador y con aislador LRB – Eje X

ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.002722	CONFORME	0.000099	CONFORME	96.362968
5	0.00516	NO CONFORME	0.000182	CONFORME	96.472868
4	0.007446	NO CONFORME	0.000271	CONFORME	96.360462
3	0.00927	NO CONFORME	0.000359	CONFORME	96.127292
2	0.010528	NO CONFORME	0.000449	CONFORME	95.735182
1	0.009472	CONFORME	0.000566	CONFORME	94.024493

Nota: Fuente propia

Tabla 57

Resultados de derivas dinámicas con aislador PFD y PFT – Eje X

ANÁLISIS MODAL EN EL SENTIDO X						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN DOBLE			VIVIENDA CON AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN TRIPLE		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000083	CONFORME	96.950771	0.000077	CONFORME	97.1712
5	0.000155	CONFORME	96.996124	0.000144	CONFORME	97.2093
4	0.000232	CONFORME	96.884233	0.000215	CONFORME	97.11254
3	0.000307	CONFORME	96.688242	0.000283	CONFORME	96.94714
2	0.000382	CONFORME	96.371581	0.000353	CONFORME	96.64704
1	0.000475	CONFORME	94.98522	0.000437	CONFORME	95.3864

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 56 y 57, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.010528, mientras que la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.000566, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000475 y la con el Aislador de PFT es de 0.000437, y respecto a los porcentajes totales de

reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 95.85 %, en la con el Aislador PFD se tiene 96.48 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 96.75 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las derivas del Sismo dinámico en el eje Y.

Tabla 58

Resultados de derivas dinámicas sin aislador y con aislador LRB – Eje Y

SISMO DINÁMICO EN Y					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.003081	NO CONFORME	0.000104	CONFORME	96.624473
5	0.005153	NO CONFORME	0.000176	CONFORME	96.584514
4	0.007177	NO CONFORME	0.000258	CONFORME	96.405183
3	0.008718	NO CONFORME	0.000338	CONFORME	96.122964
2	0.009429	NO CONFORME	0.000419	CONFORME	95.556263
1	0.007043	CONFORME	0.000497	CONFORME	92.943348

Nota: Fuente propia

Tabla 59

Resultados de derivas dinámicas con aislador PFD y PFT – Eje Y

SISMO DINÁMICO EN Y						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN DOBLE			VIVIENDA CON AISLADOR DE PÉNDULO DE FRICCIÓN TRIPLE		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000086	CONFORME	97.208698	0.000087	CONFORME	97.17624
5	0.000146	CONFORME	97.166699	0.000143	CONFORME	97.22492
4	0.000213	CONFORME	97.032186	0.000206	CONFORME	97.12972
3	0.000278	CONFORME	96.811195	0.000268	CONFORME	96.9259
2	0.000343	CONFORME	96.362287	0.000329	CONFORME	96.51076
1	0.000404	CONFORME	94.263808	0.000384	CONFORME	94.54778

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 58 y 59, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.009429, mientras que la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.000497, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000404

y la con el Aislador de PFT es de 0.000384, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 95.71 %, en la con el Aislador PFD se tiene 96.47 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 96.59 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las distorsiones de entrepiso del análisis dinámico Tiempo Historia para el Sismo de la Libertad

Tabla 60

Derivas en el Sismo La Libertad sin aislador y con aislador LRB – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000068	CONFORME	0.0001	CONFORME	54.3624161
5	0.00013	CONFORME	0.0003	CONFORME	51.4925373
4	0.00019	CONFORME	0.0004	CONFORME	51.5306122
3	0.000242	CONFORME	0.0005	CONFORME	53.9047619
2	0.000281	CONFORME	0.0007	CONFORME	57.2298326
1	0.000252	CONFORME	0.0008	CONFORME	69.7478992

Nota: Fuente propia

Tabla 61

Derivas en el Sismo La Libertad TH con aislador PFD y PFT – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR PFD			VIVIENDA CON AISLADOR PFT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000071	CONFORME	4.22535211	0.00007	CONFORME	8.10810811
5	0.000135	CONFORME	3.7037037	0.00014	CONFORME	7.14285714
4	0.000205	CONFORME	7.31707317	0.00021	CONFORME	9.52380952
3	0.000274	CONFORME	11.6788321	0.00028	CONFORME	12.9496403
2	0.000347	CONFORME	19.0201729	0.00035	CONFORME	19.9430199
1	0.000444	CONFORME	43.2432432	0.00045	CONFORME	43.3707865

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 60 y 61, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.000281, mientras que la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.000833, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000444 y la con el Aislador de PFT es de 0.000445, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 56.38 %, en la con el Aislador PFD se tiene 14.86 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 16.84 %.

Tabla 62

Derivas en el Sismo La Libertad sin aislador y con aislador LRB – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000066	CONFORME	0.0001	CONFORME	55.704698
5	0.000106	CONFORME	0.0003	CONFORME	60.4477612
4	0.000137	CONFORME	0.0004	CONFORME	65.0510204
3	0.000152	CONFORME	0.0005	CONFORME	71.047619
2	0.000145	CONFORME	0.0007	CONFORME	77.9299848
1	0.000107	CONFORME	0.0008	CONFORME	87.1548619

Nota: Fuente propia

Tabla 63

Derivas en el Sismo La Libertad TH con aislador PFD y PFT – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR PFD			VIVIENDA CON AISLADOR PFT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000066	CONFORME	0	0.00007	CONFORME	9.5890411
5	0.000113	CONFORME	6.19469027	0.00012	CONFORME	12.3966942
4	0.000167	CONFORME	17.9640719	0.00018	CONFORME	21.7142857
3	0.000221	CONFORME	31.2217195	0.00023	CONFORME	33.9130435
2	0.000276	CONFORME	47.4637681	0.00029	CONFORME	49.122807
1	0.000332	CONFORME	67.7710843	0.00034	CONFORME	68.5294118

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 62 y 63, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.000152, mientras que la deriva máxima

con el aislador LRB tiene 0.000833, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000332 y la con el Aislador de PFT es de 0.00034, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 69.56 %, en la con el Aislador PFD se tiene 28.43 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 32.54 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las derivas del Análisis dinámico Tiempo Historia para el Sismo Lambayeque

Tabla 64

Derivas en el Sismo Lambayeque sin aislador y con aislador LRB – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000047	CONFORME	0.000164	CONFORME	71.3414634
5	0.000084	CONFORME	0.00031	CONFORME	72.9032258
4	0.000109	CONFORME	0.000467	CONFORME	76.6595289
3	0.000116	CONFORME	0.000625	CONFORME	81.44
2	0.000099	CONFORME	0.000795	CONFORME	87.5471698
1	0.000055	CONFORME	0.001028	CONFORME	94.6498054

Nota: Fuente propia

Tabla 65

Derivas en el Sismo Lambayeque TH con aislador PFD y PFT – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR PFD			VIVIENDA CON AISLADOR PFT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000122	CONFORME	61.4754098	0.00013	CONFORME	63.8461538
5	0.000235	CONFORME	64.2553191	0.000244	CONFORME	65.5737705
4	0.000357	CONFORME	69.4677871	0.000368	CONFORME	70.3804348
3	0.000479	CONFORME	75.782881	0.000493	CONFORME	76.4705882
2	0.000609	CONFORME	83.7438424	0.000626	CONFORME	84.1853035
1	0.000781	CONFORME	92.9577465	0.000797	CONFORME	93.0991217

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 64 y 65, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.000116, mientras que la deriva máxima con el aislador LRB tiene 0.001028, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000781 y la con el Aislador de PFT es de 0.000797, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 80.76 %, en la con el Aislador PFD se tiene 74.61 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 75.59 %.

Tabla 66

Derivas en el Sismo Lambayeque sin aislador y con aislador LRB – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.00005	CONFORME	0.00017	CONFORME	72.5146199
5	0.00008	CONFORME	0.00031	CONFORME	72.9032258
4	0.00011	CONFORME	0.00047	CONFORME	76.6595289
3	0.00012	CONFORME	0.00063	CONFORME	81.44
2	0.00010	CONFORME	0.00080	CONFORME	87.5471698
1	0.00006	CONFORME	0.00103	CONFORME	94.6498054

Nota: Fuente propia

Tabla 67

Derivas en el Sismo Lambayeque TH con aislador PFD y PFT – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR FPD			VIVIENDA CON AISLADOR FPT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000135	CONFORME	65.1851852	0.00015	CONFORME	68.6666667
5	0.00023	CONFORME	63.4782609	0.000247	CONFORME	65.9919028
4	0.00034	CONFORME	67.9411765	0.000359	CONFORME	69.637883
3	0.000452	CONFORME	74.3362832	0.000472	CONFORME	75.4237288
2	0.000567	CONFORME	82.5396825	0.000588	CONFORME	83.1632653
1	0.000684	CONFORME	91.9590643	0.000703	CONFORME	92.1763869

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 66 y 67, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.000116, mientras que la deriva máxima

con el aislador LRB tiene 0.001028, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.000684 y la con el Aislador de PFT es de 0.000703, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 80.95 %, en la con el Aislador PFD se tiene 74.24 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 75.84 %.

Comparación de resultados calculados respecto a las distorsiones de entresuelo del análisis dinámico Tiempo Historia para el Sismo Piura

Tabla 68

Derivas en el Sismo Piura sin aislador y con aislador LRB – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.00039	CONFORME	0.000541	CONFORME	28.4658041
5	0.00074	CONFORME	0.001022	CONFORME	27.4951076
4	0.00116	CONFORME	0.001541	CONFORME	24.9837768
3	0.00156	CONFORME	0.002056	CONFORME	24.1245136
2	0.00191	CONFORME	0.002606	CONFORME	26.5924789
1	0.00186	CONFORME	0.003365	CONFORME	44.7548291

Nota: Fuente propia

Tabla 69

Derivas en el Sismo Piura TH con aislador PFD y PFT – Eje X

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO X						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR FPD			VIVIENDA CON AISLADOR FPT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000418	CONFORME	7.41626794	0.000439	CONFORME	11.8451025
5	0.000802	CONFORME	7.60598504	0.000824	CONFORME	10.0728155
4	0.001215	CONFORME	4.85596708	0.001239	CONFORME	6.69895077
3	0.001622	CONFORME	3.82244143	0.00165	CONFORME	5.45454545
2	0.002053	CONFORME	6.81928885	0.002085	CONFORME	8.24940048
1	0.002619	CONFORME	29.0187094	0.002641	CONFORME	29.6099962

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 68 y 69, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.001913, mientras que la deriva máxima

con el aislador LRB tiene 0.003365, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.02619 y la con el Aislador de PFT es de 0.002641, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 29.40 %, en la con el Aislador PFD se tiene 9.92 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 11.99 %.

Tabla 70

Derivas en el Sismo Piura sin aislador y con aislador LRB – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y					
PISO	VIVIENDA SIN AISLADORES		VIVIENDA CON AISLADOR LRB		
	DIST.	RNE E030	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.00039		0.000541	CONFORME	27.3567468
5	0.00067	CONFORME	0.001022	CONFORME	34.5401174
4	0.00097	CONFORME	0.001541	CONFORME	37.3134328
3	0.00122	CONFORME	0.002056	CONFORME	40.5155642
2	0.00139	CONFORME	0.002606	CONFORME	46.6999233
1	0.00109	CONFORME	0.003365	CONFORME	67.6077266

Nota: Fuente propia

Tabla 71

Derivas en el Sismo Piura TH con aislador PFD y PFT – Eje Y

ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA EN EL SENTIDO Y						
PISO	VIVIENDA CON AISLADOR PFD			VIVIENDA CON AISLADOR PFT		
	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)	DIST.	RNE E030	DISMIN (%)
6	0.000418	CONFORME	5.98086124	0.000439	CONFORME	10.4783599
5	0.000802	CONFORME	16.5835411	0.000824	CONFORME	18.8106796
4	0.001215	CONFORME	20.4938272	0.001239	CONFORME	22.0338983
3	0.001622	CONFORME	24.5992602	0.00165	CONFORME	25.8787879
2	0.002053	CONFORME	32.3429128	0.002085	CONFORME	33.381295
1	0.002619	CONFORME	58.3810615	0.002641	CONFORME	58.7277546

Nota: Fuente propia

A través de las tablas 70 y 71, podemos apreciar que la edificación sin aisladores sísmicos tiene como deriva máxima un valor de 0.001389, mientras que la deriva máxima

con el aislador LRB tiene 0.003365, la deriva máxima con el aislador PFD es de 0.02619 y la con el Aislador de PFT es de 0.002641, y respecto a los porcentajes totales de reducción en la estructura con el Aislador LRB se tiene 42.34 %, en la con el Aislador PFD se tiene 26.40 % y en la con el Aislador de PFT se tiene 28.22 %.

Comparación de Modos de Vibración

Tabla 72

Comparación de periodos de vibración con y sin aisladores.

MODO	VIVIENDA SIN AISLADOR	VIVIENDA CON AISLADOR LRB		VIVIENDA CON AISLADOR PFD		VIVIENDA CON AISLADOR PFT	
	Periodo (seg)	Periodo (seg)	% Incremento	Periodo (seg)	% Incremento	Periodo (seg)	% Incremento
1	0.769	2.561	333.03	2.081	270.61	2.189	284.66
2	0.71	2.546	358.59	2.068	291.27	2.173	306.06
3	0.666	2.352	353.15	1.91	286.79	0.772	115.92
4	0.247	0.409	165.59	0.4	161.94	0.418	169.23
5	0.223	0.385	172.65	0.377	169.06	0.397	178.03
6	0.209	0.364	174.16	0.357	170.81	0.242	115.79
7	0.139	0.206	148.20	0.204	146.76	0.213	153.24
8	0.122	0.186	152.46	0.185	151.64	0.19	155.74
9	0.113	0.181	160.18	0.18	159.29	0.136	120.35
10	0.094	0.134	142.55	0.133	141.49	0.133	141.49
11	0.08	0.118	147.50	0.118	147.50	0.114	142.50
12	0.072	0.111	154.17	0.111	154.17	0.094	130.56
13	0.07	0.093	132.86	0.093	132.86	0.093	132.86
14	0.058	0.08	137.93	0.08	137.93	0.079	136.21
15	0.057	0.073	128.07	0.073	128.07	0.074	129.82
16	0.051	0.07	137.25	0.07	137.25	0.07	137.25
17	0.047	0.059	125.53	0.059	125.53	0.059	125.53
18	0.04	0.058	145.00	0.058	145.00	0.058	145.00

Nota: Fuente propia

En los datos presentados en la tabla 72, se observa que el primer modo de vibración en la edificación sin aisladores sísmicos tiene un periodo de 0.769 segundos. Al introducir el Aislador LRB, este periodo se extiende a 2.561 segundos. Asimismo, con el Aislador PFD, el periodo es de 2.081 segundos, y con el Aislador PFT es de 2.189 segundos.

Comparación de Fuerzas Sísmicas

Tabla 73

Comparación de Fuerzas sísmicas sin y con aisladores LRB.

PISO	VIVIENDA SIN AISLADOR		VIVIENDA CON AISLADOR LRB			
	X (Tn)	Y (Tn)	X (Tn)	% RED.	Y (Tn)	% RED.
6	33.84	36.21	13.88	58.98	13.83	61.80
5	38.41	41.31	13.48	64.91	13.41	67.54
4	30.15	32.63	8.75	70.98	8.69	73.36
3	22.14	24.16	5.05	77.21	5.00	79.29
2	14.48	15.97	2.37	83.66	2.34	85.36
1	7.42	8.33	0.71	90.46	0.70	91.64
TOTAL			74.37		76.50	

Nota: Fuente propia

Tabla 74

Comparación de Fuerzas sísmicas con aisladores PFD y PFT.

PISO	VIVIENDA CON AISLADOR PFD				VIVIENDA CON AISLADOR PFT			
	X (Tn)	% RED.	Y (Tn)	% RED.	X (Tn)	% RED.	Y (Tn)	% RED.
6	15.84	53.20	15.91	56.07	15.31	54.76	15.39	57.49
5	16.02	58.30	16.10	61.02	15.34	60.07	15.44	62.62
4	10.93	63.75	11.00	66.28	10.34	65.69	10.43	68.02
3	6.72	69.67	6.77	71.97	6.26	71.71	6.33	73.79
2	3.43	76.28	3.47	78.26	3.14	78.32	3.18	80.07
1	1.18	84.06	1.20	85.60	1.05	85.90	1.07	87.20
TOTAL	67.55		69.87		69.41		71.53	

Nota: Fuente propia

Tomando la mayor fuerza sísmica que es 41.31 Tn en el eje Y, entonces, según las tablas 75 y 76, podemos apreciar una reducción de 64.91 % con el Aislador LRB, 61.02 con el Aislador PFD y de 62.62 con el Aislador PFT, los Aisladores sísmicos cumplen con el objetivo de disminuir fuerzas sísmicas lo cual vemos que si ocurre con los aisladores diseñados, teniendo los porcentajes totales de reducción de 74.37% en el eje X y de 76.50 % en el eje Y con el Aislador LRB, con el Aislador PFD se tiene porcentajes

de reducción de 67.55 % y 69.87 % en los ejes X y Y respectivamente y con el Aislador de PFT se tiene una reducción de 69.41 % y de 71.53 % en los ejes X y Y respectivamente.

4.4. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

- Comprobación de Hipótesis General

Los comportamientos estructurales difieren significativamente entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023.

Si se cumple, se demostró que los comportamientos estructurales difieren significativamente entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional en una edificación multifamiliar sujetos a especificaciones normadas, se demostró que el aislador que mejor comportamiento tuvo en la edificación de 6 niveles fue el Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo.

- Comprobación de Hipótesis Específica 1

Existen diferencias en los resultados análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.

Los resultados de la tesis confirman la hipótesis específica 1, que planteaba que existen diferencias en los resultados del análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional Juliaca 2023.

- **Comprobación de Hipótesis Específica 2**

Existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.

Los resultados de la tesis confirman la hipótesis específica 2, que planteaba que existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional Juliaca 2023.

- **Comprobación de Hipótesis Específica 3**

Existen diferencias en los resultados del análisis tiempo – historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca – 2023.

Los resultados de la tesis confirman la hipótesis específica 3, que planteaba que existen diferencias en los resultados del tiempo - historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional Juliaca 2023.

4.5. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

- **Aislador Elastomérico con Núcleo de Plomo**

Derivas

Consistencia.

Según Villavicencio (2015), en la construcción sin aislador sísmico mediante el análisis estático, las reducciones más notables se presentaron en la deriva, registrando valores de 0.02211 en el eje X y 0.02222 en el eje Y. Con la incorporación del Aislador elastomérico con Núcleo de Plomo, estos valores

disminuyeron a 0.00161 en el eje X y 0.00134 en el eje Y. La introducción del aislador condujo a una reducción significativa del 92.72 % en la deriva del eje X y del impresionante 93.97 % en el eje Y.

En el curso de esta investigación, se observó que la construcción sin refuerzos experimentó una reducción máxima de deriva de 0.013133 en el eje X y 0.03947 en el eje Y. Con la adición del aislador LRB, estos valores descendieron a 0.000727 en el eje X y 0.002331 en el eje Y. Evidentemente, el refuerzo con el aislador se tradujo en una impresionante disminución del 94.46 % en la deriva del eje X y del 94.09 % en el eje Y. Al comparar ambas reducciones, se destaca una notoria coincidencia en los resultados obtenidos.

Modos de vibración

Consistencia.

Para Villavicencio (2015) la vibración inicial ocurrió en el eje Y, seguida por la vibración en el eje X y luego en el eje Z. El tiempo que tomó para que el edificio vibrara sin reforzamiento fue de 0.81 segundos, mientras que con el aislador LRB fue de 3.75 segundos, mostrando una relación de periodos de 4.63.

En este estudio, se identificó que el primer modo de vibración ocurrió a lo largo del eje X, seguido por el segundo modo en el eje Y y el tercer modo en el eje Z. Además, se observó que el periodo de vibración de la edificación sin aislador es de 0.769 segundos, mientras que con la incorporación del aislador elastomérico se incrementó a 2.561 segundos, habiendo una relación de periodos de 3.33, comparando ambas reducciones podemos interpretar que hay coincidencia en los resultados porque la relación entre estos periodos según el periodo objetivo debe ser tres veces mayor que el periodo natural.

Según Villavicencio (2015), en la estructura sin aislador sísmico mediante el análisis estático, las disminuciones más notables se manifestaron en la deriva, con valores de 0.00471 en el eje X y 0.00441 en el eje Y. Con la incorporación del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores descendieron a 0.00162 en el eje X y 0.00117 en el eje Y. La introducción del aislador resultó en una reducción sustancial del 65.61 % en la deriva del eje X y del 73.47 % en el eje Y.

En el desarrollo de esta tesis, se constató que la estructura sin refuerzos experimentó una reducción máxima de deriva de 0.013133 en el eje X y 0.03947 en el eje Y. Con la adición del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores disminuyeron a 0.00088 en el eje X y 0.00278 en el eje Y. Evidentemente, el refuerzo con el aislador se tradujo en una impresionante disminución del 93.34 % en la deriva del eje X y del 92.95 % en el eje Y. Al comparar ambas reducciones, se destaca una notoria coincidencia en los resultados obtenidos.

- Aislador de Péndulo de Fricción Doble.

Derivas

Consistencia.

De acuerdo con los hallazgos de Vidaurre (2021), en la construcción sin aislador sísmico mediante el análisis estático, las reducciones más pronunciadas se manifestaron en la deriva, con valores de 0.00471 en el eje X y 0.00441 en el eje Y. Tras la implementación del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores descendieron a 0.00162 en el eje X y 0.00117 en el eje Y. La introducción del aislador resultó en una reducción sustancial del 65.61 % en la deriva del eje X y del 73.47 % en el eje Y.

En el curso de esta tesis, se observó que la estructura sin refuerzos experimentó una reducción máxima de deriva de 0.013133 en el eje X y 0.03947 en el eje Y. Con la adición del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores disminuyeron a 0.00088 en el eje X y 0.00278 en el eje Y. Evidentemente, el refuerzo con el aislador se tradujo en una impresionante disminución del 93.34 % en la deriva del eje X y del 92.95 % en el eje Y. Al comparar ambas reducciones, se destaca una notable coincidencia en los resultados obtenidos.

Fuerzas Sísmicas

Consistencia.

Según Vidaurre (2021), en la estructura desprovista de aislador sísmico, las disminuciones más notables se presentaron en la fuerza sísmica, alcanzando valores de 2.696 Tn en el eje X y 1.346 Tn en el eje Y. Con la incorporación del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estas cifras descendieron a 1.472 Tn en el eje X y 0.086 Tn en el eje Y. La introducción del aislador condujo a una

reducción significativa del 45.40 % en la fuerza sísmica del eje X y del impresionante 93.61 % en el eje Y.

En el transcurso de la tesis presente, se observó que la estructura sin aisladores experimentó una reducción máxima de fuerza sísmica de 7.42 Tn en el eje X y 8.33 Tn en el eje Y. Con la adición del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores se redujeron a 1.18 Tn en el eje X y 1.20 Tn en el eje Y. La incorporación del aislador resultó en una disminución sustancial del 84.06 % en la fuerza sísmica del eje X y del 85.60 % en el eje Y. Al comparar ambas reducciones, se evidencia una coincidencia significativa en los resultados obtenidos.

Fuerzas Cortantes

Consistencia.

Según Vidaurre (2021), en la construcción sin aislador sísmico, las mayores reducciones se evidenciaron en la fuerza cortante, registrando valores de 146.30 Tn en el eje X y 103.633 Tn en el eje Y. Tras la implementación del Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estos valores se redujeron a 107.955 Tn en el eje X y 42 Tn en el eje Y. La incorporación del aislador resultó en una disminución del 26.21 % en la fuerza cortante del eje X y del 59.47 % en el eje Y.

En el curso de la tesis presente, se constató que la construcción sin aisladores presentó una reducción máxima de fuerza cortante de 146.44 Tn en el eje X y 158.61 Tn en el eje Y. Al añadir el Aislador de Péndulo de Fricción Doble, estas cifras descendieron a 54.11 Tn en el eje X y 63.05 Tn en el eje Y. Evidentemente, el refuerzo con el aislador se tradujo en una significativa disminución del 63.05 % en la fuerza cortante del eje X y del 65.67 % en el eje Y.

- Aislador de Péndulo de Fricción Triple

Derivas

Consistencia.

Segun Maquera (2019), al emplear el análisis dinámico en la construcción sin aislador sísmico, se destacan reducciones máximas de deriva, alcanzando valores de 0.0054 en el eje X y 0.0082 en el eje Y. Con la introducción del Aislador de

Péndulo de Fricción Triple, estos valores se redujeron a 0.0005 en el eje X y 0.0006 en el eje Y. De manera significativa, la incorporación del aislador se tradujo en una disminución del 90.74 % en la deriva del eje X y del 92.68 % en el eje Y.

En esta investigación, se ha comprobado que la estructura sin refuerzos experimentó una reducción máxima de deriva de 0.00516 en el eje X y 0.005153 en el eje Y. Al incorporar el aislador PFT, estas cifras disminuyeron a 0.000144 en el eje X y 0.000143 en el eje Y. Notablemente, el refuerzo con el aislador resultó en una impresionante disminución del 97.21 % en la deriva del eje X y del 97.22 % en el eje Y. comparando ambas reducciones podemos interpretar que hay coincidencia en los resultados superando el 90%

CONCLUSIONES

En relación a las distorsiones de entrepiso del análisis estático respecto al sentido en dirección X se obtuvo como distorsión de entrepiso máxima sin Aisladores es de 0.01313 y la distorsiones de entrepiso empleando el aislador LRB tuvo una respuesta de 0.0001815, con el Aislador PFD es de 0.000977 y Aislador PFT es de 0.00093, y respecto a los porcentajes de reducción totales con el aislador LRB se tiene un 93.75 %, con el Aislador PFD un 92.65 % y Aislador PFT un 92.95 %, por tal razón la mejor alternativa para controlar las distorsiones de entrepiso en el sismo estático es en primer lugar con el Aislador LRB, seguido del Aislador PFT y por último el Aislador de PFD, ya que los tres aisladores no varían los resultados de la reducción significativamente, en relación con las distorsiones de entrepiso del eje Y se tiene que la distorsión máxima sin aislador es de 0.03947 y la distorsión con el aislador LRB es de 0.00286, con el Aislador PFD es de 0.00344 y con el Aislador PFT es de 0.00331 y respecto a los porcentajes de reducción totales con el aislador LRB se tiene un 93.53 %, con el Aislador PFD un 92.42 % y Aislador PFT un 92.48 %, por tal razón la mejor alternativa al igual que en el eje X, es mediante el Aislador LRB.

Con respecto a las fuerzas sísmicas aislador con mejor rendimiento fue el de aislador LRB con un promedio de % de reducción de 74.37 % en el eje X y de 76.50 % en el eje Y, seguida del Aislador PFT dónde se tiene un promedio de % de reducción de 69.41 % en el eje X y de 71.53 % en el eje Y y por último el Aislador PFD con un promedio de % de reducción de 67.55 % y 69.87 % en los ejes X y Y respectivamente, se concluye que los tres Aisladores tienen buen porcentaje de reducción pero la mejor alternativa es con el Aislador LRB, y respecto a los modos de vibración, el primer modo de la edificación sin ningún Aislador tiene un valor de 0.769 segundos, la edificación con aislador LRB tiene 2.561 segundos, la edificación con Aislador PFD un valor de 2.081 segundos y la edificación con Aislador PFT 2.189 segundos, se concluye que el mayor valor respecto al periodo de vibración lo tuvo la edificación con el aislador LRB.

Con respecto a las distorsiones de entrepiso del análisis dinámico modal espectral del eje X se tiene que la distorsión máxima sin Aisladores es de 0.01053, la distorsión máxima con el aislador LRB es de 0.000566, la distorsión máxima con el Aislador PFD es de 0.000437 y con el Aislador PFT es de 0.00044, y respecto a los porcentajes de reducción totales con el aislador se tiene con el Aislador LRB un 95.85 %, con el Aislador PFD un

96.48 % y con el Aislador PFT un 96.75 %, por tal razón la mejor opción para controlar las distorsiones en el sismo dinámico en el eje X es el aislador PFT, respecto a las distorsiones de entrepiso del análisis dinámico modal espectral del eje Y se tiene que la distorsión máxima sin Aisladores es de 0.009429, la distorsión máxima con el aislador LRB es de 0.000497, con el Aislador PFD es de 0.000404 y Aislador PFT es de 0.000384, y respecto a los porcentajes de reducción totales con el aislador LRB se tiene un 95.71 %, con el Aislador PFD un 96.47 % y Aislador PFT un 96.59 %, razón por la cual la opción más óptima para controlar las distorsiones en el sismo dinámico modal espectral es el aislador PFT.

En relación con las distorsiones de entrepiso del análisis tiempo historia del Sismo La Libertad respecto se tiene que la reducción máxima de la deriva aplicando el Aislador LRB fue de 80.95 % , con el Aislador PFD la reducción máxima fue de 74.24 % y con el Aislador PFT fue de 75.84 %, por tal razón la mejor opción el uso de los Aisladores LRB, respecto a las distorsiones de entrepiso del análisis tiempo historia del Sismo Lambayeque se tiene que la reducción máxima de la distorsión aplicando el Aislador LRB fue de 80.76 %, con el Aislador PFD la reducción máxima fue de 74.61 % y con el Aislador PFT fue de 75.59 %, por tal razón la mejor opción el uso de los Aisladores LRB y por último relación con las derivas de entrepiso del análisis tiempo historia del Sismo Piura se tiene que la reducción máxima de la distorsión de entrepiso aplicando el Aislador LRB fue de 42.34 % , con el Aislador PFD la reducción máxima fue de 28.40 % y con el Aislador PFT fue de 28.22 %, por tal razón la mejor opción el uso de los Aisladores LRB.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda a estudios futuros efectuar un análisis técnico de resultados de la respuesta sísmica con los Aisladores LRB, PFD y PFT en función a especificaciones normadas, adicionando un análisis comparativo de costos entres estos tres tipos de Aisladores con la finalidad de verificar las ventajas y desventajas a corto y largo plazo.

- Se recomienda a investigaciones por venir efectuar un análisis técnico de resultados de la respuesta sísmica con los Aisladores LRB, PFD y PFT con el análisis estático de fuerzas equivalentes, adicionando otros sistemas de protección sísmicas ya sean nuevos tipos de aisladores o disipadores de energía.

- Se recomienda a futuras investigaciones efectuar un análisis técnico de resultados de la respuesta sísmica con los Aisladores LRB, PFD y PFT con el análisis modal espectral, adicionando otros sistemas de protección sísmicas ya sean nuevos tipos de aisladores o disipadores de energía.

- Se recomienda a investigaciones por venir efectuar un análisis técnico de resultados de la respuesta sísmica con los Aisladores LRB, PFD y PFT con el análisis dinámico tiempo historia, adicionando otros sistemas de protección sísmicas ya sean nuevos tipos de aisladores o disipadores de energía.

REFERENCIAS

- Agencia Nacional de Noticias. (2012). *Primer edificio del Perú con aislador sísmico*. Lima.
- Aguiar, R., Vergara, F., Guaygua, B., & Monge, J. (2014). Análisis sísmico de una estructura con Aisladores FPS de primera y segunda generación Y elastoméricos con Núcleo de Plomo. *Revista Internacional de Ingeniería En Estructuras*, 19(1), 35–89.
- Angulo, D., & Escobedo, M. (2020). *Análisis sísmico, con el uso de disipadores y aisladores en el edificio SKY UP, Trujillo - La Libertad* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/62121>
- Arcaya Pancca, P. (2020). Desempeño sísmico de un centro de salud de tres niveles con o sin aisladores. *Veritas et Scientia*, 6(2), 747–752. <https://doi.org/https://doi.org/10.47796/ves.v6i2.185>
- Chiriboga, E. (2013). *Aislación sísmica del edificio bloque de hospitalización ,Análisis comparativo de comportamiento y costos con un edificio tradicional*. [Universidad Central de Ecuador]. <http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/2245>
- Constantinou, M., Filiatrault, A., & Ecker, R. (2011). *LRFD-Based Analysis and Design procedures for Bridge Bearings and Seismic Isolators*.
- Cordova, V., & Merino, M. (2022). *Análisis del comportamiento estructural de una edificación de 7 pisos reforzada con disipadores “SLB” Shear Link Bozzo en Chorrillos* [Universidad Ricardo Palma]. <https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/6125>
- Cotrado, D. (2021). *Evaluación sísmica de un edificio dual de concreto armado ubicado en la ciudad de Tacna, mediante enfoque basado en desplazamientos* [Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/1675>
- Crisafulli, J. (2018). *Diseño sismorresistente en construcciones de acero*. Mendoza Asociación Latinoamericana del Acero.
- Espinoza, H., & LLamocca, J. (2019). *Vulnerabilidad de viviendas informales y sus índices sísmicos en el asentamiento humano Nueva Generación 2000 del distrito de Comas* [Universidad San Martín de Porres]. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/6495>

- Flores, O. (2023). *Análisis comparativo del método modal espectral y el método tiempo historia de la respuesta sísmica en edificaciones de concreto armado con irregularidades en planta y en altura en zona sísmica 4,2021* [Universidad Privada de Tacna]. <https://repositorio.upt.edu.pe/handle/20.500.12969/2700>
- García, A., & Quiroz, S. (2019). *Evaluación y comparación del desempeño sísmico del proyecto residencial los Tulipanes utilizando disipadores Shear Link Bozzo respecto a reforzamiento con muros de corte-Trujillo* [Universidad Privada Antenor Orrego]. <https://repositorio.upao.edu.pe/handle/20.500.12759/7260>
- García, E. (2021). *Diseño estructural de un edificio multifamiliar reforzado sísmicamente con aisladores elastoméricos - Arequipa 2021* [Univesidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84614>
- Herrera, M. (2018). *Desempeño sísmico en Edificaciones con aisladores elastoméricos y amortiguadores de fluido viscoso* [Universidad de Piura]. <https://pirhua.udep.edu.pe/handle/11042/3246>
- Korswagen, P., Arias, J., & Huaranga, P. (2012). *Análisis y diseño de estructuras con aisladores sísmicos en el Perú* [Pontificia Universidad Católica del Perú]. <https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1631>
- Kuroiwa, J. (2016). *Manual para la Reducción del Riesgo Sísmico de Viviendas en el Perú.(Vol. 1). Lima.*
- López, B. (2022). *Análisis estático no lineal (Push over) de los talleres de la facultad de ingeniería civil y mecánica y de la facultad de ingeniería electrónica e industrial, con aisladores sísmicos, ubicadas en el campus Huachi de la Universidad Técnica de Ambato* [Universidad Técnica de Ambato]. <https://repositorio.uta.edu.ec/handle/123456789/35487>
- Maquera, J. (2019). *Evaluación del comportamiento sísmico del Hospital Hipólito Unanue usando estructura de base fija y Aisladores LRB y TPF* [Universidad Peruana Unión]. <https://repositorio.upeu.edu.pe/handle/20.500.12840/2952>
- Merino, P. (2019). *Análisis comparativo entre una edificación sismorresistente y una edificación sismorresistente utilizando aisladores sísmicos con núcleo de plomo* [Universidad Estatal del sur de Manabí]. <http://repositorio.unesum.edu.ec/handle/53000/1742>
- Morgan, T., & Mahin, S. (2011). *The Use of Base Isolation Systems to Achieve Complex*

Seismic Performance Objectives.

- Oviedo, J., & Duque, M. del pilar. (2007). Sistema de control de respuesta sísmica de edificaciones. *SCIELO*, 6, 105–120.
- Pique del Pozo, J., & Scaletti Farina, H. (1991). *Análisis sísmico de edificios* (s. n.).
- Proaño, R. (2014). *Diseño sísmico y mitigación de desastres naturales - Reforzamiento de Estructuras*.
- Quispe, P. (2021). *Comparación entre el análisis dinámico tiempo-historia en sismos frecuentes y análisis espectral para un edificio de vivienda de 14 pisos* [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/18648>
- Reveco, T., & Silva, D. (2015). *Aislación sísmica basal elastomérica de edificio habitacional de 13 niveles*. Universidad San Sebastian.
- RNE E-030 Diseño sismorresistente. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones* (Diario El Peruano. (ed.)).
- RNE E-031 Aislamiento sísmico. Diario El Peruano. (2019). *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Ruiz, P. (2017). *Análisis y diseño de edificios con aisladores sísmico de Péndulo Friccional doble y triple* [Pontificia Universidad Católica del Perú].
<https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/9330>
- Tapia, B. (2020). *Análisis comparativo del comportamiento sísmico de un edificio con reforzamiento convencional y reforzamiento con disipadores Shear Link Bozzo, Juliaca, 2020*. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/60858>
- Tavera. (2012). *Conceptos Básicos. Instituto Geológico del Perú (IGP)*.
- Trujillo P, C., Ospina Lopez, R., & Parra Lara, H. (2010). Los terremotos: una amenaza natural latente. *Scientia Et Technica*, 45, 303–308.
- Vidaurre, C. (2021). *Análisis sísmico de una estructura de concreto armado de ocho niveles con y sin aisladores sísmicos, Lince, Lima - 2021* [Universidad César Vallejo]. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/84661>
- Villafuerte, A. (2020). *Relación de la excentricidad con el efecto de torsión de un edificio destinado para vivienda multifamiliar en la provincia de Huancayo* [Universidad Peruana Los Andes].
<https://repositorio.upla.edu.pe/handle/20.500.12848/2832>

Villavicencio, E. (2015). *Análisis sísmico estructural comparativo para edificios con aisladores de base tipo elastoméricos y friccionantes, para los diferentes tipos de suelos del Ecuador* [Escuela Politécnica Nacional].

<https://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15639>

APÉNDICE

ANEXO 01. Matriz de consistencia

Análisis comparativo del comportamiento estructural de una edificación multifamiliar con reforzamiento sísmico mediante tres tipos de aisladores, Juliaca-2023.

Autor: Tipula Yanapa, Carlos Gabriel

PROBLEMAS	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLE	DIMENSION	INDICADORES	METODOLOGIA	
<p>PROBLEMA GENERAL</p> <p>¿Qué tipo de aislador entre núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional genera un mejor comportamiento estructural sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023?</p>	<p>OBJETIVO GENERAL</p> <p>Evaluar y comparar los comportamientos estructurales entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023</p>	<p>HIPÓTESIS GENERAL</p> <p>Los comportamientos estructurales difieren significativamente entre aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional sujetos a especificaciones normadas en una edificación multifamiliar, Juliaca-2023</p>	<p>Variable Independiente:</p> <p>Tipos de aisladores</p>	<p>- Aisladores con núcleo de plomo</p> <p>- Aisladores de doble péndulo friccional</p> <p>- Aisladores de triple péndulo friccional</p>	<p>- Coeficiente de amortiguamiento</p> <p>- rigidez efectiva</p> <p>- Diámetro del aislador</p> <p>- Coeficiente de amortiguamiento</p> <p>- Rigidez efectiva</p> <p>- Coeficiente de fricción</p> <p>- Coeficiente de amortiguamiento</p> <p>- Rigidez efectiva</p> <p>- Coeficiente de fricción</p>	<p>• METODO DE INVESTIGACION:</p> <p>Método analítico</p> <p>• DISEÑO DE INVESTIGACION:</p> <p>No Experimental</p> <p>M1 O1</p> <p>M1 O2</p> <p>M1 O3</p> <p>• TIPO DE INVESTIGACIÓN:</p> <p>Investigación Básica</p> <p>• NIVEL DE INVESTIGACIÓN</p> <p>Descriptivo</p> <p>• POBLACIÓN</p> <p>Viviendas multifamiliares aporticadas de la ciudad de Juliaca.</p> <p>• MUESTRA</p> <p>Edificación multifamiliar aporticada de 6 pisos ubicada en el Jr. 2 de Mayo N° 131 en la ciudad de Juliaca.</p> <p>• MUESTREO</p> <p>No probabilístico.</p> <p>• TECNICAS DE OBTENCION DE DATOS:</p> <p>1. Método científico</p> <p>2. Técnicas de investigación.</p> <p>- Modelamiento con 3 tipos de aislamiento sísmico.</p> <p>- Análisis comparativo de resultados entre los comportamientos de los 3 tipos de aisladores.</p> <p>• INSTRUMENTOS DE OBTENCIÓN DE DATOS:</p> <p>- Reglamento Nacional de Edificaciones (E020,E030 y E031) y norma ASCE 7-16</p> <p>- Planos de la edificación</p> <p>- Manual del Software Etabs</p> <p>- Software Excel y AutoCAD</p>	
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO N.º 1</p> <p>¿Cómo será el análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 1</p> <p>Efectuar el análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA N.º 1</p> <p>Existen diferencias en los resultados análisis estático para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>		<p>Variable dependiente:</p> <p>Comportamiento estructural de la edificación multifamiliar</p>	<p>- Análisis estático</p> <p>- Análisis modal espectral</p> <p>- Análisis tiempo - historia</p>		<p>- Fuerza cortante basal (kgf)</p> <p>- Fuerzas sísmicas (kgf)</p> <p>- Derivas (m)</p> <p>- periodos (%)</p> <p>- Derivas (m)</p> <p>- Derivas (m)</p>
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO N.º 2</p> <p>¿Cómo será el análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 2</p> <p>Efectuar el análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA N.º 2</p> <p>Existen diferencias en los resultados del análisis modal espectral para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>					
<p>PROBLEMA ESPECÍFICO N.º 3</p> <p>¿Cómo será el análisis tiempo - historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023?</p>	<p>OBJETIVO ESPECÍFICO N.º 3</p> <p>Efectuar el análisis tiempo - historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>	<p>HIPÓTESIS ESPECÍFICA N.º 3</p> <p>Existen diferencias en los resultados del análisis tiempo - historia para una edificación multifamiliar aplicando aisladores con núcleo de plomo, de doble y triple péndulo friccional, Juliaca - 2023</p>					

Anexo 02. Matriz de operacionalización de variables

VARIABLE DE LA INVESTIGACIÓN	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSIONES	INDICADORES	ESCALA
Tipos de aisladores	El proceso de reforzamiento de estructuras implica aumentar la capacidad de los elementos estructurales y, por lo tanto, la capacidad de la estructura en su totalidad. Este aumento de capacidad es necesario cuando se presenta alguna deficiencia de la estructura debido a las nuevas solicitudes de demanda, como el viento o los terremotos. El objetivo del reforzamiento es mejorar el comportamiento de la estructura a través de la adición de elementos que reduzcan la demanda sísmica y aumenten la capacidad original. (Proaño, 2014)	Los reforzamientos estructurales aplicando aisladores de doble péndulo friccional, triple péndulo friccional y núcleo de plomo aumentarán la estabilidad de la vivienda. Estos aisladores se diseñarán según el código ASCE 7-16 y la normativa E.031 de aislamiento sísmico, y se utilizarán en el modelamiento del ETABS para realizar la comparación de resultados.	- Aisladores con núcleo de plomo	- Coeficiente de amortiguamiento (%) - rigidez elástica (ton/m) - Diámetro del aislador (m)	Razón
			- Aisladores de doble péndulo friccional	- Coeficiente de amortiguamiento (%) - rigidez elástica (ton/m) - Diámetro del aislador (m)	
			- Aisladores de triple péndulo friccional	- Coeficiente de amortiguamiento (%) - rigidez elástica (ton/m) - Diámetro del aislador (m)	
Comportamiento estructural de la edificación multifamiliar	El comportamiento sísmico es una característica fundamental de las estructuras, y los movimientos horizontales son los que provocan la mayoría de los daños en estos eventos. Por lo tanto, las edificaciones deben ser diseñadas para soportar la máxima aceleración horizontal y mejorar su respuesta sísmica. Estos conceptos son fundamentales para el diseño de estructuras sismorresistentes que puedan proteger a las personas y sus bienes en caso de un terremoto, últimamente se realizaron varios estudios de investigación sobre el comportamiento estructural de las edificaciones en zonas de alta sismicidad. (Tapia, 2020)	Para la tesis, se llevará a cabo el estudio del comportamiento sísmico utilizando el programa Etabs y tomando en cuenta las características de la edificación y el diseño sismorresistente que cumpla con la norma E030. Se realizarán los análisis respectivos: análisis estático, análisis modal espectral y análisis tiempo-historia.	· Análisis estático	· Fuerza cortante basal (kgf) · Fuerzas sísmicas (kgf) · Derivas (m)	Razón
			· Análisis modal espectral	· Periodos (%) · Derivas (m)	
			· Análisis tiempo-historia	- Derivas (m)	