

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de Ingeniería Civil

“Influencia de la aplicación de disipadores de fluido viscoso para el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021”

Tesis para optar el título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Gustavo Daniel Apaza Mendoza

Asesor:

Ing. Mg. Gerson Elías Vega Rivera

Lima - Perú

2021



DEDICATORIA

En primer lugar, a Dios quién supo darme fuerza para seguir adelante y enseñarme a encarar las adversidades, en segundo lugar, a mis padres que siempre me apoyaran hasta el último de mis días y son el soporte de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Me gustaría aprovechar este momento para expresar mi más profundo y sincero agradecimiento a todas aquellas personas que con su ayuda han colaborado en la realización del presente trabajo, en especial al Ing. Mg. Gerson Elías Vega Rivera, asesor de esta investigación, por la orientación, el seguimiento y la supervisión continúa de la misma, pero sobre todo por la motivación y el apoyo recibido a lo largo de estos años. Quisiera hacer extensiva mi gratitud a mis padres Manuel Alonso Apaza Valencia y Renee Miriam Mendoza Ramos que como lo mencione anteriormente son los principales responsables que esto se pueda realizar ya que sin su apoyo incondicional no habría logrado cumplir todos mis objetivos.

Tabla de contenidos

DEDICATORIA.....	2
AGRADECIMIENTO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS.....	6
ÍNDICE DE FIGURAS.....	8
ÍNDICE DE ECUACIONES.....	12
RESUMEN.....	13
CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN.....	15
1.1. Realidad problemática.....	15
1.1.1. ANTECEDENTES.....	25
1.1.1.1. Contexto Histórico.....	25
1.1.1.2. Cronología de edificaciones con disipadores de energía en Lima:.....	27
1.1.1.3. Investigaciones de antecedentes.....	33
1.1.2. Definiciones.....	42
1.2. Formulación del problema.....	44
1.2.1. Problema General.....	44
1.2.2. Problemas Específicos.....	44
1.3. Justificación del estudio.....	44
1.4. Límites del estudio.....	46
1.5. Objetivos.....	46
1.5.1. Objetivo general.....	46
1.5.2. Objetivos específicos.....	46
1.6. Hipótesis.....	47
1.6.1. Hipótesis general.....	47
1.6.2. Hipótesis específicas.....	47
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	48
2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN.....	48
2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos).....	49
2.3. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos.....	49
2.3.1. Técnicas de recolección y análisis de datos.....	49
2.3.2. Instrumentos.....	51
2.3.3. Técnicas de análisis de datos.....	53
2.4. PROCEDIMIENTO.....	54
2.4.1. Objetivo específico 1.....	57
2.4.1.1. Procedimiento.....	57
2.4.1.2. Marco teórico.....	58
2.4.1.3. Desarrollo.....	69
2.4.2. Objetivo específico 2.....	101
2.4.2.1. Procedimiento.....	101

2.4.2.2. Marco teórico	101
2.4.2.3. Desarrollo	111
2.4.3. Objetivo específico 3	139
2.4.3.1. Procedimiento	139
2.4.3.2. Marco teórico	140
2.4.3.3. Desarrollo	145
CAPÍTULO III. RESULTADOS	237
3.1. Resultados del objetivo específico 01:	237
3.2. Resultados del objetivo específico 02:	239
3.3. Resultados del objetivo específico 03:	242
CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	257
4.1. Discusión.....	257
4.2. Conclusiones.....	259
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	262
ANEXOS.....	265
Anexo 01: Matriz de consistencia.....	265
Anexo 02: Validación de instrumentos: Software ETABS v.2019.....	267
Anexo 03: Planos de arquitectura	272
Anexo 04: Resultados en ETABS del palacio Municipal sin disipadores.....	278
Anexo 05: Resultados en ETABS del palacio Municipal con disipadores	284

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.....	18
Tabla 2.....	20
Tabla 3.....	22
Tabla 4.....	55
Tabla 5.....	56
Tabla 6.....	74
Tabla 7.....	75
Tabla 8.....	75
Tabla 9.....	77
Tabla 10.....	78
Tabla 11.....	78
Tabla 12.....	79
Tabla 13.....	79
Tabla 14.....	80
Tabla 15.....	80
Tabla 16.....	81
Tabla 17.....	81
Tabla 18.....	82
Tabla 19.....	82
Tabla 20.....	83
Tabla 21.....	87
Tabla 22.....	88
Tabla 23.....	88
Tabla 24.....	89
Tabla 25.....	89
Tabla 26.....	90
Tabla 27.....	95
Tabla 28.....	96
Tabla 29.....	97
Tabla 30.....	97
Tabla 31.....	100
Tabla 32.....	100
Tabla 33.....	107
Tabla 34.....	120
Tabla 35.....	130
Tabla 36.....	133
Tabla 37.....	138
Tabla 38.....	145
Tabla 39.....	145
Tabla 40.....	148
Tabla 41.....	148
Tabla 42.....	149
Tabla 43.....	160
Tabla 44.....	161
Tabla 45.....	161
Tabla 46.....	162
Tabla 47.....	162
Tabla 48.....	163
Tabla 49.....	163
Tabla 50.....	164
Tabla 51.....	164
Tabla 52.....	165
Tabla 53.....	165
Tabla 54.....	166

Tabla 55.....	167
Tabla 56.....	167
Tabla 57.....	171
Tabla 58.....	174
Tabla 59.....	176
Tabla 60.....	176
Tabla 61.....	177
Tabla 62.....	177
Tabla 63.....	178
Tabla 64.....	178
Tabla 65.....	179
Tabla 66.....	179
Tabla 67.....	185
Tabla 68.....	185
Tabla 69.....	188
Tabla 70.....	188
Tabla 71.....	199
Tabla 72.....	199
Tabla 73.....	199
Tabla 74.....	201
Tabla 75.....	208
Tabla 76.....	210
Tabla 77.....	215
Tabla 78.....	216
Tabla 79.....	232
Tabla 80.....	232
Tabla 81.....	234
Tabla 82.....	234
Tabla 83.....	235
Tabla 84.....	236
Tabla 85.....	238
Tabla 86.....	238
Tabla 87.....	238
Tabla 88.....	240
Tabla 89.....	240
Tabla 90.....	241
Tabla 91.....	241
Tabla 92.....	242
Tabla 93.....	242
Tabla 94.....	243
Tabla 95.....	243
Tabla 96.....	244
Tabla 97.....	244
Tabla 98.....	245
Tabla 99.....	246
Tabla 100.....	247
Tabla 101.....	248
Tabla 102.....	249
Tabla 103.....	250
Tabla 104.....	251
Tabla 105.....	253
Tabla 106.....	254
Tabla 107.....	255
Tabla 108.....	256

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Zonas sísmicas del Perú. Fuente: INDECI	16
Figura 2: Mapa sísmico del Perú. Fuente: CMRRD – DGPM, 2019.....	17
Figura 3: Mapa Político de Arequipa. Fuente: Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2018.....	18
Figura 4: Terremoto del 1960. Fuente: Diario El Comercio,2018.....	19
Figura 5: Mapa Sísmico de Arequipa. Fuente: Consultora GTS.2018.....	21
Figura 6: Sismos fuertes en Arequipa. Fuente: Propia.....	22
<i>Figura 7: Disipadores de energía en Edificios. Fuente: CDV Representaciones</i>	<i>24</i>
Figura 8: Casino Mubarak. Fuente: Talavera, s.f.	28
Figura 9: Torre Aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: Talavera, s.f.	28
Figura 10: Centro empresarial Panorama Plaza Negocios. Fuente: Talavera, s.f.....	29
Figura 11: Hotel Costa del Sol. Fuente: Talavera, s.f.	29
Figura 12: Edificio Banco de la Nación. Fuente: Talavera, s.f.....	30
Figura 13: Edificio Gerpal. Fuente: Talavera, s.f.	30
Figura 14: Edificio Centro Comercial – El Quinque de Ica. Fuente: Talavera, s.f.	31
Figura 15: Edificio “T Tower”. Fuente: Talavera, s.f.....	31
Figura 16: Edificio Nueva sede SUNAT. Fuente: Talavera, s.f.....	32
Figura 17: Edificios Plaza del Sol. Fuente: Talavera, s.f.	32
Figura 18: Estructura sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.....	33
Figura 19: Estructura con disipadores. Fuente: Pardo, 2007.	33
Figura 20: Desplazamiento máximo con y sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.....	34
Figura 21: Velocidad máxima con y sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.....	34
Figura 22: Comparación de derivas del pórtico de 4 pisos. Fuente: Cuntó, 2014.....	35
Figura 23: Comparación de derivas del pórtico de 8 pisos. Fuente: Cuntó, 2014.....	36
Figura 24: Comparación de derivas del pórtico de 12 pisos. Fuente: Cuntó, 2014.....	36
Figura 25: Derivas en la dirección X e Y. Fuente: Calderón, 2014.....	38
Figura 26: Edificio Aporticado de estudio. Fuente: Guevara, 2012.	39
Figura 27: Comparación de derivas lineal y no lineal. Fuente: Guevara, 2012.	40
Figura 28: Espectro de diseño en Arequipa y Lima. Fuente: Roncal, 2017.	41
Figura 29: Aceleraciones máximas. Fuente: Roncal, 2017.	42
Figura 30. Ubicación del Palacio Municipal. Fuente: Google Maps, 2021	54
Figura 31. Palacio Municipal del distrito de Miraflores, Arequipa. Fuente: Google Maps, 2021	55
Figura 32: Mapa sísmico del Perú. Fuente: R.N.E. E.030, 2019.....	59
Figura 33: Valores del factor de zona. Fuente: R.N.E. E.030, 2019.....	59
Figura 34. Factor de zona del Palacio Municipal. Fuente: R.N.E. E.030, 2019.....	60
<i>Figura 35: Factor de amplificación del suelo. Fuente: R.N.E. E.030, 2019</i>	<i>61</i>
Figura 36: Periodos. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	61
Figura 37: Factor de amplificación sísmica. Fuente: R.N.E. E.030, 2019.....	61
Figura 38: Coeficientes del periodo fundamental de la estructura. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	62
Figura 39: Factor de uso de las edificaciones. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	63
Figura 40: Coeficiente básico de reducción. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	64
Figura 41. Factores de irregularidad por planta. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	64
Figura 42. Factor de irregularidad por altura. Fuente: R.N.E. E.030, 2019	65
Figura 43. Esclerómetro. Fuente: PCE, s.f.	66
Figura 44. Ensayo de esclerómetro. Fuente: UNCM, 2019.....	67
Figura 45. Ábaco de resistencia con esclerómetro. Fuente: Manual del esclerómetro (HT225), s.f.....	68
Figura 46: Ubicación Geográfica de Arequipa. Fuente: Arango, 2018.....	69
Figura 47: Columnas seleccionadas del 1° nivel. Fuente: Propia.....	71
Figura 48: Columnas seleccionadas del 2° nivel. Fuente: Propia.....	72
Figura 49. Columnas seleccionadas del 3° nivel. Fuente: Propia.....	72
Figura 50. Columnas seleccionadas del 4° nivel. Fuente: Propia.....	73
Figura 51. Ábaco de resistencia (HT225). Fuente: Manual de usuario del equipo esclerómetro (HT225).....	76
Figura 52. Profundidad de carbonatación. Fuente: PRC.	76
Figura 53: Definición de masas. Fuente: Propia	84
Figura 54. Rigidez efectiva. Fuente: FEMA 356, 2000.	85

Figura 55. Factores de agrietamiento de secciones. Fuente: E.060, 2009	86
Figura 56. Agrietamiento para las columnas. Fuente: Propia	86
Figura 57. Agrietamiento para vigas. Fuente: Propia	87
Figura 58. Caso sísmico estático para la dirección X. Fuente: Propia.	90
Figura 59. Caso sísmico estático para la dirección Y. Fuente: Propia	90
Figura 60: Definición de las funciones de espectros sísmicos en ETABS. Fuente: Propia.....	91
Figura 61. Definición del caso modal. Fuente: Propia	91
Figura 62: Vista tridimensional de la edificación de comercio. Fuente: Propia.....	92
Figura 63: Vista en elevación del palacio municipal. Fuente: Propia	92
Figura 64. Vista en elevación del palacio municipal. Fuente: Propia (Programa ETABS)	93
Figura 65: Vista en planta del palacio municipal. Fuente: Propia (Programa ETABS)	93
Figura 66: Primer modo de vibración. Fuente: Propia (Programa ETABS)	94
Figura 67: Tablas de porcentaje de participación de masas. Fuente: Propia (Programa ETABS).....	94
Figura 68. Fuerzas cortantes basales. Fuente: Propia.	95
Figura 69. Nuevas fuerzas cortantes basales. Fuente: Propia	96
Figura 70. Límites de distorsión según la E.030. Fuente: RNE, 2019.	98
Figura 71. Deriva máxima en la dirección Y. Fuente: Propia.....	98
Figura 72. Deriva máxima en la dirección X. Fuente: Propia	99
Figura 73. Daños estructurales a la municipalidad de Ciudad nueva en Tacna. Fuente DRM, 2001.....	102
Figura 74. Edificio con un diseño convencional sin dispositivos de energía. Fuente: Propia	104
Figura 75. Edificio con un diseño con dispositivos de disipación de energía. Fuente: Propia.	104
Figura 76. Distribución de energía del edificio con diseño convencional. Fuente: Propia.	105
Figura 77. Distribución de energía del edificio con diseño de protección sísmica. Fuente: Propia.	105
Figura 78.Sistema con aislamiento sísmico. Fuente: Detek Internacional,S.A, s.f.....	108
Figura 79: Sistema con disipadores de energía. Fuente: Aguiar, 2016	108
Figura 80: Sistema de amortiguadores de masa. Fuente: Tapei 101, 2014.....	108
Figura 81. Componentes de los disipadores Viscosos. Fuente: Tafur, 2018.....	110
Figura 82. Arquitectura del sótano. Fuente: Propia.	112
Figura 83. Arquitectura del primer nivel. Fuente: Propia.....	112
Figura 84. Arquitectura del segundo nivel. Fuente: Propia	113
Figura 85.Arquitectura del tercer nivel. Fuente: Propia.....	113
Figura 86. Arquitectura del cuarto nivel. Fuente: Propia	114
Figura 87. Planta de techos del palacio municipal. Fuente: Propia.	114
Figura 88. Taylor Devices. Fuente: CDV Representaciones, s.f.	115
Figura 89. Disipadores de fluido viscoso. Fuente: CDV representaciones, s.f.	116
Figura 90. Disipadores en el aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: CDV Representaciones, s.f.	116
Figura 91. Disipadores de fluido viscoso. Fuente: DISIPA S.A.C, s.f.....	119
Figura 92. Especificaciones técnicas del disipador de fluido viscoso. Fuente: DISIPA S.A.C, s.f.	119
Figura 93. Criterios de uso de disipadores. Fuente: CDV Representaciones, s.f.	120
Figura 94. Pórtico inicial. Fuente Propia	Figura 95. Disposición 01. Fuente: Propia.....
Figura 96. Disposición 02. Fuente: Propia	Figura 97. Disposición 03. Fuente: Propia
Figura 98. Disposición 04. Fuente: Propia	Figura 99. Disposición 05. Fuente: Propia.
Figura 100. Definición del disipador. Fuente: Propia.....	123
Figura 101. Propiedades consideradas para el disipador 01. Fuente: Propia.	124
Figura 102. Propiedades para el disipador 02. Fuente: Propia	125
Figura 103. Fuerza cortante máxima en la base del pórtico inicial. Fuente: Propia.	126
Figura 104. Base reactions del pórtico inicial. Fuente: Propia.....	126
Figura 105. Definición del desplazamiento máximo. Fuente: Propia	127
Figura 106. Desplazamiento máximo del pórtico inicial. Fuente: Propia.....	127
Figura 107. Deformación del pórtico en el paso 2.3. Fuente: Propia.....	128
Figura 108. Desplazamiento máximo del joint 5. Fuente: Propia	128
Figura 109. Fuerza cortante máximo del pórtico con disposición 01. Fuente: Propia	129
Figura 110. Desplazamiento máximo del pórtico con disposición 01. Fuente: Propia.	129
Figura 111. Especificaciones para disipadores Taylor. Fuente: CDV Representaciones, s.f.	132
Figura 112. Reforzamiento del aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: Arq. Pinto, 2015.....	133
Figura 113. Inversión y beneficios de los disipadores. Fuente: CDV Representaciones, s.f.	135
Figura 114. Costo del disipador. Fuente: Ticse y Zevillanos, 2019	135

Figura 115. Estimación de costos de un edificio con y sin disipadores. Fuente: Ticse y Zevillanos, 2019..	136
Figura 116. Estimación de costos de los disipadores de fluido viscoso. Fuente Narváez, 2019.	136
Figura 117: Relación Factor B y Amortiguamiento efectivo Beff. Fuente: MLE – HAZUS, s.f.	141
Figura 118. Espectro de diseño con R = 1. Fuente: Propia.....	147
Figura 119. Pseudoaceleración con R=1. Fuente: Propia.	147
Figura 120. Análisis tiempo-historia según la E.030 Diseño Sismorresistente. Fuente: Propia.....	149
Figura 121. Acelerograma de Arequipa del 07 de julio del 2001. Fuente: REDACIS, s.f.	150
Figura 122. Acelerograma de Lima del 31 de mayo de 1970- Fuente: REDACIS, s.f.	150
Figura 123. Acelerograma de Lima del 25 de noviembre del 2013. Fuente: REDACIS, s.f.	151
Figura 124. Importación del acelerograma a Seismosignal. Fuente: Propia.....	152
Figura 125. Acelerograma introducido al Seismosignal. Fuente: Propia	152
Figura 126. Acelerograma corregido por línea base y filtrado. Fuente: Propia.	153
Figura 127. Primer caso de análisis en X (E-W) e Y (N-S). Fuente: Propia.....	154
Figura 128. Segundo caso de análisis en X (N-S) e Y (E-W). Fuente: Propia.....	154
Figura 129. Escalamiento del acelerograma en el Seismomatch. Fuente: Propia.....	155
Figura 130. Espectro de diseño y el registro sísmico sin escalas. Fuente: Propia.	156
Figura 131. Espectro de diseño y el registro sísmico escalado. Fuente: Propia.	156
Figura 132. Importación del acelerograma de Arequipa en la dirección EW. Fuente: Propia.	157
Figura 133. Importación del acelerograma de Arequipa en la dirección NS. Fuente: Propia.	157
Figura 134. Creación de la carga tipo rampa. Fuente: Propia.	158
Figura 135. Funciones tiempo-historia. Fuente: Propia.	159
Figura 136. Definición de la carga gravitacional. Fuente: Propia.	159
Figura 137. Casos de tiempo-historia para cada componente del sismo. Fuente: Propia.	160
Figura 138. Tratamiento de resultados según la E.030. Fuente: E.030, 2019.	166
Figura 139. Límites de distorsión de acuerdo a la E.030. Fuente: Propia.	168
Figura 140. Perfiles metálicos Round tipo HSS. Fuente: ASTM A500, s.f.....	171
Figura 141. Longitud del disipador 01 en la estructura. Fuente: Propia.....	172
Figura 142. Longitud del disipador 02 en la estructura. Fuente: Propia	172
Figura 143. Exponente α vs Parámetro λ . Fuente: FEMA 274, 2000	175
Figura 144. Masas por piso de la estructura. Fuente: Propia	175
Figura 145. Definición de propiedades para el disipador 01. Fuente: Propia	180
Figura 146. Definición de propiedades para el disipador 02. Fuente: Propia	181
Figura 147. Incorporación del disipador 01 a la estructura en ETABS. Fuente: Propia.....	181
Figura 148. Incorporación del disipador 02 a la estructura en ETABS. Fuente: Propia.....	182
Figura 149. Verificación del periodo de la estructura. Fuente: Propia.....	182
Figura 150. Masas de la estructura. Fuente: Propia.....	183
Figura 151. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-AQP. Fuente: Propia.....	183
Figura 152. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-LIMA 1970. Fuente: Propia.....	184
Figura 153. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-LIMA 2013. Fuente: Propia	184
Figura 154. Incorporación de nuevos disipadores. Fuente: Propia.	186
Figura 155. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-AQP. Fuente: Propia.	186
Figura 156. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-LIMA 1970. Fuente: Propia	187
Figura 157. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-LIMA 2013. Fuente: Propia	187
Figura 158. Nomenclatura de los disipadores -Elevación H. Fuente: Propia.....	189
Figura 159. Nomenclatura de los disipadores – Elevación C. Fuente: Propia	189
Figura 160. Curva de histéresis Disipador K1 – Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	190
Figura 161. Curva de histéresis Disipador K2–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	190
Figura 162. Curva de histéresis Disipador K3–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia.....	191
Figura 163. Curva de histéresis Disipador K4–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	191
Figura 164. Curva de histéresis Disipador K5–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	192
Figura 165. Curva de histéresis Disipador K6–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	192
Figura 166. Curva de histéresis Disipador K7–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia	193
Figura 167. Curva de histéresis Disipador K8–Caso TH-AQP EW. Fuente: Propia.....	193
Figura 168. Curva de histéresis Disipador K9–Caso TH-AQP EW. Fuente: Propia.....	194
Figura 169. Disipación de energía debido al caso TH-AQP EW. Fuente: Propia	194
Figura 170. Disipación de energía debido al caso TH-AQP NS. Fuente: Propia	195
Figura 171. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA1970 EW. Fuente: Propia.....	195

Figura 172. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA1970 NS. Fuente: Propia.....	196
Figura 173. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA2013 EW. Fuente: Propia.....	196
Figura 174. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA2013 NS. Fuente: Propia.....	197
Figura 175. Fuerzas axiales en los disipadores - Elevación H. Fuente: Propia.....	197
Figura 176. Fuerzas axiales en los disipadores – Elevación C. Fuente: Propia.....	198
Figura 177. Tabla de las propiedades de los disipadores. Fuente: Taylor Devices, s.f.	198
Figura 178. Dimensiones del disipador de 330 kip. Fuente: Propia	200
Figura 179. Dimensiones de la placa base para el disipador de 330 kip. Fuente: Propia.	200
Figura 180. Propiedades geométricas de los perfiles HSS. Fuente: ASTM A500, s.f.	202
Figura 181. Dimensión y ubicación del disipador de análisis. Fuente: Propia.....	202
Figura 182. Dimensiones de la placa base del disipador de 330kip. Fuente: Propia	205
Figura 183. Pernos A325 y A490. Fuente: Propia.....	206
Figura 184. Dimensiones de los pernos estructurales y tuercas. Fuente: RCSC, 2004.	207
Figura 185. Detalles de los pernos de alta resistencia. Fuente: Propia.....	207
Figura 186. Detalles del perno de 1 ¼. Fuente: Propia.	208
Figura 187. Detalles de la tuerca. Fuente: Propia.....	208
Figura 188. Medidas estandarizadas de arandelas. Fuente: ASTM F436, s.f.	209
Figura 189. Nomenclatura para las arandelas. Fuente: ASTM F436, s.f.....	209
Figura 190. Incremento al valor del Grip. Fuente: RCSC, 2004	210
Figura 191. Cálculo de la longitud del perno. Fuente: Propia.....	211
Figura 192. Dimensiones del perno para la conexión extensor-disipador. Fuente: Propia.....	211
Figura 193. Ubicación del disipador de 330 kip en el pórtico de diseño. Fuente: Propia.....	212
Figura 194. Detalle 01 de la conexión brazo metálico-disipador. Fuente: Propia.	213
Figura 195. Detalle 02 Conexión brazo metálico – barra de conexión. Fuente: Propia	213
Figura 196. Propuesta de detalle de conexión inferior. Fuente: Propia.....	214
Figura 197. Propuesta del detalle en cm de las cartelas metálicas. Fuente: Propia	214
Figura 198. Medidas de arandelas según el perno. Fuente: ASTM F436, s.f.	215
Figura 199. Detalle del perno de 1 ½”. Fuente: Propia.	216
Figura 200. Fuerza de cortante doble que sufre el perno. Fuente: Propia.	216
Figura 201. Detalle de la barra de conexión. Fuente: Propia.	218
Figura 202. Espaciamiento mínimo del perno con respecto al borde. Fuente: RCSC, 2004	221
Figura 203. Dimensiones de la conexión con respecto a los bordes. Fuente: Propia.	221
Figura 204. Anclajes post-instalados. Fuente: ACI 318, 2008.....	222
Figura 205. Anclajes preinstalados. Fuente: ACI 318, 2008	222
Figura 206. Especificaciones técnicas de anclajes. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.	224
Figura 207. Factor de reducción sísmica. Fuente: ACI 318, 2008	224
Figura 208. Fuerza N_{ua} y V_{ua} . Fuente: Propia.	225
Figura 209. Medidas de los pernos de anclaje. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.	227
Figura 210. Longitud de los pernos de anclaje. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.	227
Figura 211. Detalle final del perno de ¾”. Fuente: Propia.	228
Figura 212. Detalle final de la plancha metálica. Fuente: Propia.	229
Figura 213. Vista en planta de la plancha metálica. Fuente: Propia	229
Figura 214. Modos de vibración de la estructura. Fuente: Propia.	237
Figura 215. Cuadro de barras de derivas. Fuente: Propia.....	245
Figura 216. Pórtico de análisis (disipador 01). Fuente: Propia	246
Figura 217. Comparación de fuerzas axiales en las placas. Fuente: Propia.....	247
Figura 218. Comparación de fuerzas axiales en las columnas. Fuente: Propia	248
Figura 219. Fuerzas cortantes en la placa. Fuente: Propia	249
Figura 220. Momentos máximos en la placa. Fuente: Propia	250
Figura 221. Fuerzas cortantes en la columna. Fuente: Propia.....	251
Figura 222. Momentos máximos en la columna. Fuente: Propia	252
Figura 223. Columna de análisis del disipador 02. Fuente: Propia.	252
Figura 224. Fuerza axial en la columna. Fuente: Propia	253
Figura 225. Fuerza cortante en la columna. Fuente: Propia	254
Figura 226. Momentos máximos en la columna. Fuente: Propia	255

ÍNDICE DE ECUACIONES

Ecuación 1	62
Ecuación 2	64
Ecuación 3	65
Ecuación 4	66
Ecuación 5	103
(Ecuación 6)	140
(Ecuación 7)	140
(Ecuación 8)	140
(Ecuación 9)	141
(Ecuación 10)	142
(Ecuación 11)	142
(Ecuación 12)	143
(Ecuación 13)	143
(Ecuación 14)	143
(Ecuación 15)	144
(Ecuación 16)	144
Ecuación 17	169
Ecuación 18	169
Ecuación 19	174
Ecuación 20	203
Ecuación 21	203
Ecuación 22	204
Ecuación 23	204
Ecuación 24	205
Ecuación 25	211
Ecuación 26	212
Ecuación 27	217
Ecuación 28	217
Ecuación 29	219
Ecuación 30	219
Ecuación 31	223
Ecuación 32	223
Ecuación 33	225
Ecuación 34	226

RESUMEN

El Perú es uno de los países de más alta actividad sísmica debido a que se encuentra en el conocido “cinturón de fuego”. En estos últimos años esta probabilidad de ocurrencia ha aumentado por lo que las estructuras que se encuentran en nuestro país están sufriendo grandes daños debido a que se someten constantemente al rango inelástico. Es por esta razón que las estructuras necesitan disminuir los daños ocasionados por los sismos severos. La presente investigación muestra una alternativa de refuerzo estructural mediante la implementación de disipadores de fluido viscoso que será aplicado a una estructura aporticada ubicada en el departamento de Arequipa.

Esta estructura destinada a ser un Palacio Municipal luego de realizarse el análisis sísmico, nos arroja una deriva de entrepiso mayor al 7%, dicho valor sobrepasa a lo estipulado en la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). Es por esta razón que para cumplir con lo estipulado en la norma se plantea como solución el uso de disipadores de fluido viscoso para disminuir por lo menos a un 5% la deriva de entrepiso, así como incrementar su amortiguamiento. Los resultados del trabajo nos muestran que la estructura implementada con disipadores de fluido viscoso presenta un mejor comportamiento sísmico al ser sometido al rango inelástico que la estructura sin ningún reforzamiento.

Palabras clave: Sistema de reforzamiento estructural, Disipadores de fluido viscoso, Comportamiento sísmico, Rango inelástico, Deriva de entrepiso.

ABSTRACT

Peru is one of the countries with the highest seismic activity because it is located in the well known "fire belt". In recent years this probability of occurrence has increased so that the structures found in our country are suffering great damage because they are constantly submitted to the inelastic range. It is for this reason that structures need to reduce the damage caused by severe earthquakes.

The present investigation shows an alternative of structural reinforcement by means of the implementation of dissipaters of viscous fluid that will be applied to a contributed structure located in the department of Arequipa. This structure, destined to be a clinic after performing the seismic analysis, gives us a mezzanine drift greater than 7%, this value exceeds that stipulated in the E.030 norm of the National Building Regulation (RNE).

It is for this reason that in order to comply with the stipulations of the standard, the use of viscous fluid dissipaters is proposed as a solution to reduce at least 5% the drift of the mezzanine as well as to increase its damping. The results of the work show us that the structure implemented with viscous fluid dissipaters presents a better seismic behavior when subjected to the inelastic range than the structure without any reinforcement.

Keywords: Structural reinforcement system, Viscous fluid heatsinks, Seismic behavior, Inelastic range, Mezzanine drift.

CAPÍTULO I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad problemática

Según (Vargas, 2012, pág.45) “Después del terremoto que ocurrió el día 11 de marzo del 2011 en Japón, logró dejar alrededor de 21000 muertos, sin embargo, pudo haber dejado más víctimas de no ser por la normativa antisísmica que desde algunos años ya se aplicaba en Japón, específicamente desde el año 1981”, por esta razón Japón es uno de los países con una tecnología avanzada en cuanto a la ingeniería sismorresistente se refiere.

En Latinoamérica, Chile es el primer país que empezó con la construcción antisísmica debido a que cuenta con más actividad sísmica en el mundo teniendo un registro en los últimos 5 años de 3 terremotos cuya magnitud sobrepasa los 8° grados en la escala de Richter. Además, su normativa es tomado como modelo para muchos países que quieran diseñar sísmicamente sus edificaciones logrando que mantenga su funcionalidad después de ocurrido un sismo severo.

Es por eso que enfoque que tiene el diseño sismorresistente a nivel mundial se ha fundamentado en el principio de la combinación de resistencia y ductilidad como forma de resistir las cargas producidas por los movimientos sísmicos. Es así como los Ingenieros se apoyan en la ductilidad que poseen los materiales que se emplean en la construcción, para evitar las fallas catastróficas y garantizar la estabilidad de la estructura para sismos severo, es decir, la estructura puede quedar inutilizable, pero sin colapsar, salvaguardando las vidas de las personas que se encuentren en su interior (Martínez, 2003).

Hoy en día se tiene conocimiento de la gran vulnerabilidad sísmica que tiene nuestro país producto de la interacción entre la placa sudamericana y la placa de Nazca, las cuales interactúan entre sí, produciéndose un proceso de subducción causando la mayor parte de las

solicitaciones sísmicas que sufre nuestro país. Además, se sabe que el Perú cuenta con una clasificación mundial de 9 grados en la escala de Mercalli Modificada siendo considerado como uno de los países con más alta probabilidad de ocurrencia ante un sismo.

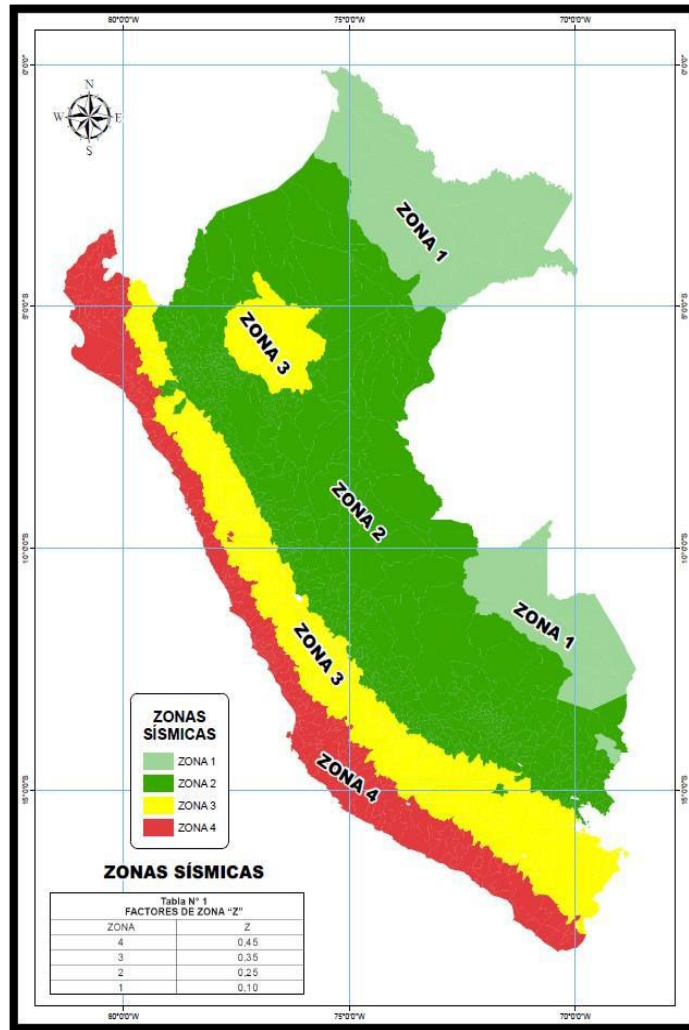


Figura 1: Mapa de Zonas sísmicas del Perú. Fuente: INDECI

El Perú está localizada en el conocido “círculo de fuego” del Océano Pacífico, zona que controla el 85% de la actividad sísmica mundial y además contiene el 75% de volcanes activos e inactivos del mundo (Documento País, 2008).

Entre los departamentos del Perú que presentan mayor registro de actividad sísmica están: El callao, Lima, Ica, Ancash y Arequipa. Éste último registra una frecuencia de

sismicidad alta con registros de intensidades mayores a IV en la escala MM. (Instituto Geofísico del Perú, 2017). Como se puede apreciar en la Figura 2, Arequipa es una de las regiones que está ubicado en las zonas más sísmicas de nuestro país, integrando la zona 4 con una aceleración de 0.45g según la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

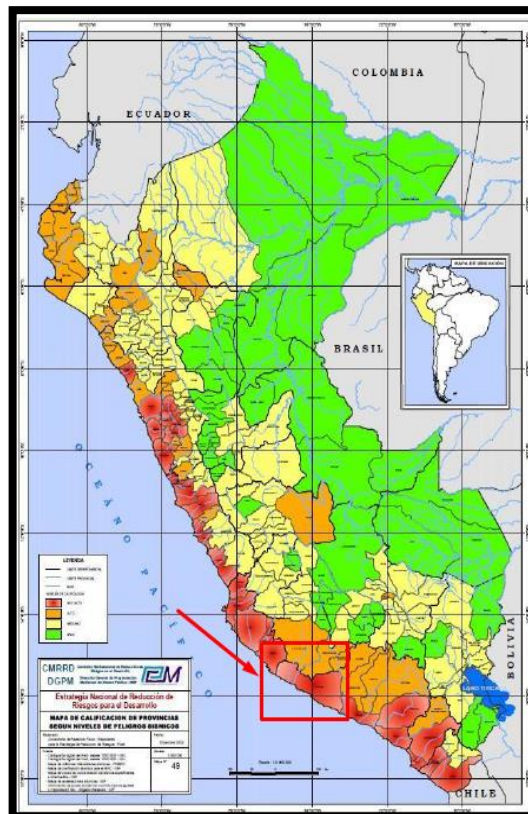


Figura 2: Mapa sísmico del Perú. Fuente: CMRRD – DGPM, 2019

La ciudad de Arequipa está ubicada en la región occidental sur del Perú en la provincia y departamento del mismo nombre. Constituye la segunda ciudad más importante del Perú contando con una población de más de 1'000,000 de habitantes, cuya economía como centro vital se basa en la industria y el comercio.

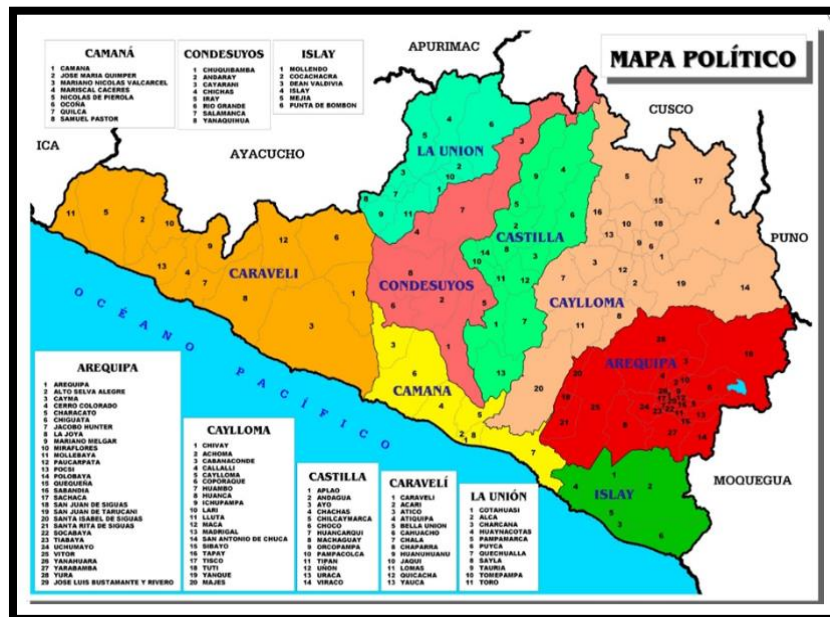


Figura 3: Mapa Político de Arequipa. Fuente: Gerencia Regional de Salud Arequipa, 2018

Sin embargo, según antecedentes históricos, existe una intensa actividad sísmica en Arequipa, a lo largo de los años en el cual se presenta a continuación con la siguiente tabla donde se nombrará los sismos ocurridos con una gran magnitud entre los años 1913 y 2018:

Tabla 1

Lista de últimos sismos de gran magnitud ocurridos en el departamento de Arequipa

CIUDAD	MAGNITUD	FECHA 1913-2018
Caravelí	7.7	6/8/1913
Camaná	8.4	24/8/1942
Tiabaya	6.2	15/1/1958
Chuquibamba	6.2	13/1/1960
Chuquibamba	7	16/2/1979
Caylloma	6.4	12/12/1996
Ocoña (Camaná)	8.4	23/5/2001
Caylloma	5.3	14/8/2016
Atico (Carvlé)	6.3	17/7/2017
Acarí	7.1	14/1/2018
Yura	5.8	14/9/2018

Fuente: Propia

Según INDECI el sismo producido el 14 de enero del 2018 en Arequipa registro 15 muertos, 104 heridos. 780 familias afectadas y 168 viviendas colapsadas. Sin embargo, unos de los sismos más destructivos en la historia del país sucedieron el 13 de enero de 1960 causando 63 muertos y 200 heridos, las carreteras Arequipa-Matarani y Arequipa-Puno quedaron intransitables debido a los derrumbes ocasionados por el sismo de gran magnitud. El ejército resguardó a los pobladores que se alojaban en los parques. La mayoría de damnificados fueron alojados en los colegios Militar, Independencia, Melgar, entre otros.



Figura 4: Terremoto del 1960. Fuente: Diario El Comercio, 2018.

En la mayoría de las edificaciones que son construidas en el Perú específicamente en viviendas, no se cuenta con un control de procesos constructivos, y solo se basan en conocimientos empíricos adquiridos mediante la experiencia para construirlos, esto es perjudicial para la seguridad de las familias, ya que cuando sus construcciones son sometidas a solicitaciones sísmicas estas corren un alto riesgo de adquirir daños y colapsos.

A continuación, en la tabla 2 se presenta las consecuencias de los sismos más devastadores que ocurrieron en el departamento de Arequipa.

Tabla 2

Sismos más devastadores ocurridos en Arequipa

Fecha	Consecuencias
23 de junio 2001	Produjo 134 réplicas produciendo 35 muertos entre las ciudades de Ocaña, Camaná y Mollendo
13 de enero de 1960	63 muertos, centenares de heridos. Chuchibamba quedo en escombros.
15 de enero de 1958	28 muertos y 133 heridos. Intensidad VII MMI
10 Julio de 1821	162 muertos grandes daños en la ciudad de Camaná, Majes, Ocoña, Carabalí.

Fuente: Propia

Otro punto importante que influye en esta decisión es que se carece de una buena economía para implementar un personal especializado para construir sus edificaciones.

Según (El Instituto geofísico del Pacífico, 2017), Arequipa es el departamento con la mayor cantidad de sismos registrados en cada año siendo una región muy vulnerable cuyas viviendas en un 70% son edificadas sin respetar los estándares de seguridad y calidad.

El parlamentario andino Zúniña Martínez (2018) refiere lo siguiente “Durante los últimos cuatro siglos, en el departamento de Arequipa se han registrado un total de 34 terremotos de los cuales en los últimos 70 años se reportaron un promedio de 19. Nuestra región es sacudida por 300 sismos mensuales, por eso pido declarar a Arequipa como una Zona Sísmica en Alerta Permanente”.

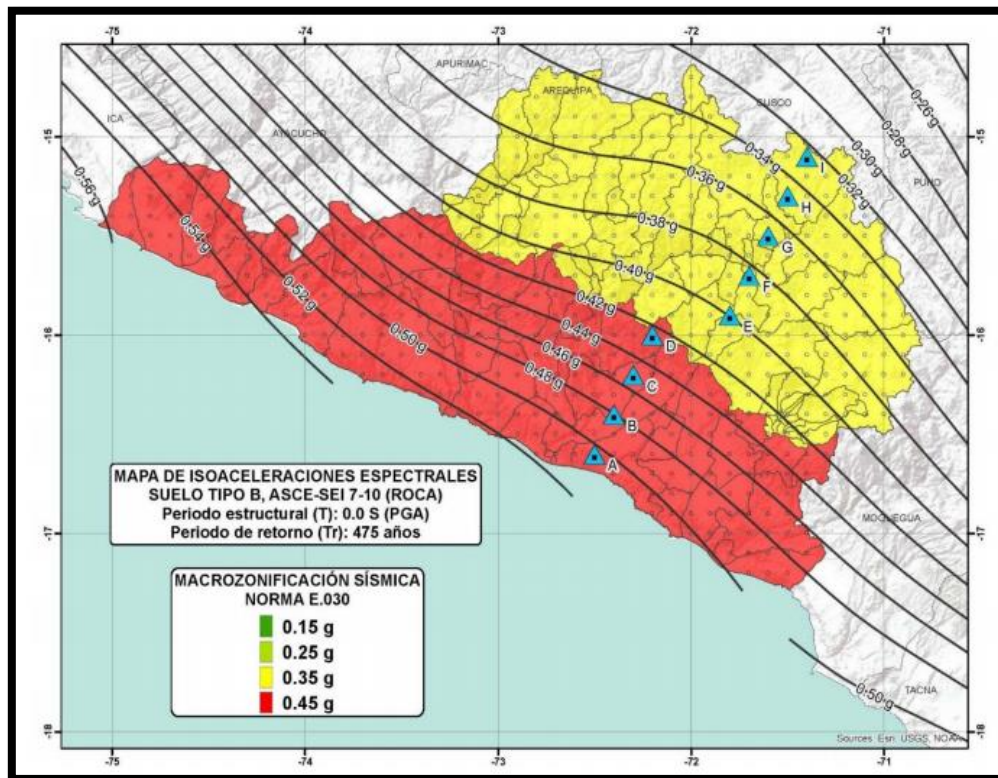


Figura 5: Mapa Sísmico de Arequipa. Fuente: Consultora GTS.2018

No solo preocupa la cantidad de sismos que son registrados en Arequipa sino de la gran acumulación de energía que se está generando a partir de eso.

Según el sismólogo Víctor Aguilar (2018) afirma que “Diariamente se registra entre 3 a 4 sismos diarios cuando hace cinco años, eran entre 6 a 10 sismos, esta situación resulta muy preocupante ya que demuestra que producto de ello se está acumulando una gran energía sísmica y en cualquier momento habrá un fuerte movimiento telúrico”

Se pronostica que, si la situación se mantiene así, en cualquier momento un sismo de gran cantidad azotará el departamento de Arequipa llevando consigo grandes perjuicios a la población y daños sumamente severos a las estructuras logrando hasta colapsos y derrumbes.



Figura 6: Sismos fuertes en Arequipa. Fuente: Propia

Ahora bien, se elaboró una tabla con los últimos sismos entre los años 2019 hasta la actualidad (mayo del 2021) cuya magnitud superaron aproximadamente los 5.0 grados en la escala de Richter, donde se pudo notar que el año 2020 ocurrió un notable incremento de dichos sismos.

Tabla 3

Lista de últimos sismos de gran magnitud ocurridos entre los años 2019-Actualidad (2021) en el departamento de Arequipa

CIUDAD	MAGNITUD	FECHA 2019-2021
Arequipa	7	1/3/2019
Caravelí	5.6	8/5/2019
Caravelí	4.5	3/12/2019
Caravelí	5	28/5/2019
Caravelí	5	22/7/2020
Quilca	5.3	28/7/2020
Vítor	5.5	16/12/2020
Caravelí	5	20/12/2020
Caravelí	6.1	27/12/2020
Caylloma	4.5	26/3/2021
Islay	5	17/4/2021

Fuente: Propia

El jefe del Instituto científico del Perú (IGP) Hernando Tavera, declaró que, en el mes de enero del 2020 ocurrieron más de 20 sismos en sólo 4 días que llevó a generar preocupación en la población arequipeña especialmente en la provincia de Caylloma. Sin embargo, Tavera también menciona que los sismos ocurridos tuvieron una magnitud moderada entre 3 a 4 grados en la escala de Richter.

Este suceso tiene coherencia con lo mencionado anteriormente por el sismólogo Víctor Aguilar (2018) que se estaba generando una gran acumulación de energía y que se liberaría próximamente. Con la tabla 3 se puede verificar dicha liberación de energía que se acumuló el año 2018 y que repercutió en el año 2020.

El ingeniero José del Carpio integrante del equipo técnico-científico del Instituto Geofísico del Perú (IGP) explicó que entre los meses de enero y setiembre del 2020 ocurrieron 170 sismos en la región de Arequipa. Además, mencionó que a través de Centro Vulcanológico Nacional (CENVUL) se vigilan la actividad sísmica de 4 de los 6 volcanes de la región que son: Sabancaya, Misti, Coropuna y Chachani, de los cuáles el único que mantiene un proceso de eruptivo es el Sabancaya con un promedio entre 30 a 40 explosiones de cenizas y gases de manera diaria.

Según un informe realizado por el diario La República, el sismo de 5.5 de magnitud ocurrido en el distrito de Vitor en Arequipa el 2020 trajo consigo varios daños a centros comerciales, locales municipales y derrumbes en viviendas. Entre las edificaciones que sufrieron daños están el teatro Municipal ubicado en El Cercado, la Municipalidad Provincial de Arequipa ubicado en El Filtro y derrumbes de viviendas en el distrito de Sachaca.

Teniendo en cuenta la información presentada, si analizamos las estructuras que son sometidas por estos sismos frecuentes se puede notar que las deformaciones que sufren, son provocadas por la alta liberación de energía que entran durante un evento sísmico. Es por

eso que, cada año surgen nuevas alternativas tecnológicas de protección sísmica, entre estas nuevas tecnologías se encuentran los aparatos de disipación de energía.

El principio de esta tecnología es la de absorber una gran cantidad de la energía producida de los sismos que entran a la estructura provocando una reducción de la energía que se disipará en los elementos estructurales principales, minimizando su posible daño estructural. Entre los aparatos de disipación de energía se encuentran también los de “fluido viscoso” que se están empleando con éxito en edificios nuevos y en la restauración de estructuras existentes, por lo tanto, se puede concluir que la ingeniería sismorresistente tiene como objetivo la protección sísmica de las estructuras, así como la de asegurar su funcionamiento y operatividad posterior a un sismo.



Figura 7: Disipadores de energía en Edificios. Fuente: CDV Representaciones

En base a lo mencionado anteriormente se plantea como solución el reforzamiento de estructuras mediante el uso de disipadores de fluido viscoso, para esto, la estructura estudiada será un edificio cuyo uso corresponde al Palacio Municipal que está ubicado en el distrito de Miraflores en el departamento de Arequipa. Dicha estructura presenta una deriva mayor al 7% que nos dispone la norma E.030 del Reglamento Nacional de Edificaciones

(RNE) en la cual se buscará mediante estos disipadores reducir sus distorsiones de entrepiso para que no solo cumpla con lo establecido en la norma, sino que brinden una alta seguridad y funcionalidad ante la presencia de las solicitaciones sísmicas.

1.1.1. ANTECEDENTES

1.1.1.1. Contexto Histórico

El criterio principal de la ingeniería sismorresistente está sujeta a que las estructuras soporten un sismo severo sin llegar al colapso. Para lograr esto dichas estructuras requieren un diseño que les permitan entrar en el rango inelástico sufriendo deformaciones, pero sin pérdida significativa de resistencia.

El mayor inconveniente para la ingeniería civil es la de diseñar estructuras que puedan brindarle tanto dinámica como amortiguamiento.

Ramírez, Flores y Pérez (2014) afirman que el suelo genera un movimiento sísmico que transmite a los edificios apoyados sobre éste. La base del edificio sigue el movimiento del suelo mientras que, por otra parte, la masa del edificio se opone a su desplazamiento, por este motivo se generan las fuerzas de inercia que ponen en peligro la seguridad de la estructura.

La primera conexión clara entre los terremotos, los procesos tectónicos y las fallas se dio por G.K. Gilbert en 1984 el cuál observo los efectos del terremoto de Owens Valley en 1872 en la ciudad de California y que posteriormente provoco la falla de San Andrés. Con los datos obtenidos creo la “teoría del rebote elástico” en el cual permitió entender los mecanismos en los que se basan los terremotos.

Ramírez, Flores y Pérez (2014) también afirman que la teoría mencionada hace referencia a la liberación de la energía producto de un desplazamiento imprevisto de la

corteza terrestre provocando una onda sísmica. Estas ondas pueden ser; ondas internas, que se liberan por las zonas profundas de la tierra o pueden ser superficiales, que se producen al existir discontinuidades en el medio finito.

El diseño sismorresistente ha ido mejorando a lo largo de los años a partir de ese momento tratando de lograr sistemas resistentes a fuerzas horizontales que absorban y disipen la energía de forma estable. Dicho propósito está enmarcado con la combinación de resistencia y ductilidad, originando que se creen sistemas semiactivos, llamados así porque no adicionan energía a la estructura. Esta tecnología mejora la respuesta sísmica por lo que hoy en día está siendo diseñada y construida en varios edificios del mundo.

Es aquí con lo que aparecen más adelante los disipadores de fluido viscoso, estos sistemas de amortiguamiento se usaron ya desde 1968 pero para el sector de la industria militar y aeronáutica como sistemas de absorción de impactos. Actualmente existen más de 2000 edificios protegidos por disipadores en todo el mundo.

En los proyectos a nivel mundial se vienen adecuando positivamente como refuerzo estructural en las edificaciones.

Por ejemplo, uno de los primeros edificios donde se implementaron los disipadores de energía fueron en las Torres Gemelas en los Estados Unidos incorporándolos en una gran cantidad.

Según Bozzo y Barbat (2002) nos dice que “los dispositivos viscoelásticos pueden reducir la respuesta estructural. El principio básico del funcionamiento de dichos disipadores, consiste en movilizar un elemento a través de un fluido viscoso. Estos dispositivos son más ventajosos para el control de vibraciones que recibe la estructura.”

Al Perú los disipadores de fluido viscoso de marca TAYLOR llegó en el año del 2012 para la Torre del aeropuerto Jorge Chávez. Ya en el transcurso de los años se notó el gran

desempeño sísmico que tienen los disipadores disminuyendo el riesgo de pérdida de vidas humanas y materiales. (Zulema, 2014).

Además de generar un mejor comportamiento sísmico permite un ahorro en lo que vendría hacer los gastos de reparación y costos indirectos producidos por la interrupción del servicio.

Un dispositivo de energía recientemente desarrollado en la Universidad de Girona es denominado Shear Link o SL, este prototipo se desarrolló bajo una prueba de mesa sísmica. Este disipador por plastificación de los metales, parte de los conceptos de los pórticos excéntricos, donde la plastificación se debe a la tensión cortante.

Este tipo de disipador posee ciertas características, de las que tenemos por disipación por cortante estable, que posee rigidizadores horizontales que evitan abolladuras locales y modificación de espesor simple. (Bozzo y Barbat ,2002).

Dentro de la alta variedad de posibilidades que ofrecen los sistemas de protección sísmica, los disipadores de energía son una alternativa interesante. Básicamente permite una rehabilitación de obras existente.

1.1.1.2. Cronología de edificaciones con disipadores de energía en Lima:

- Casino Mubarak (2004):
Ubicación: San Borja
N° pisos: 2
SP: SLB (Shear link Boozo)
N° de dispositivos: 20



Figura 8: Casino Mubarak. Fuente: Talavera, s.f.

- Reforzamiento Torre Aeropuerto Jorge Chávez: 2006

Ubicación: San Borja

N° pisos: 9

SP: Disp. Fluido Viscoso

N° de dispositivos: 56



Figura 9: Torre Aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: Talavera, s.f.

- Centro empresarial Panorama plaza Negocios: 2012

Ubicación: San Borja

N° pisos: dos torres de 19 pisos

SP: Disp. Fluido Viscoso

N° de dispositivos: 18



Figura 10: Centro empresarial Panorama Plaza Negocios. Fuente: Talavera, s.f.

- Reforzamiento Hotel Costa del Sol: 2013

Ubicación: San Isidro - Lima

N° pisos: 03 edificios de 3,11 y 13 pisos

SP: BRP (Buckling Restrained Braces) + Fibra de carbono

N° de dispositivos: 546



Figura 11: Hotel Costa del Sol. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio Banco de la Nación: 2014

Ubicación: Lima Javier Prado

N° pisos: 32

SP: Disp. Fluido Viscoso

N° de dispositivos: 16



Figura 12: Edificio Banco de la Nación. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio Gerpal: 2014

Ubicación: Lima av. Benavides - Miraflores

N° pisos: 14

SP: Disp. Fluido Viscoso

N° de dispositivos: 30



Figura 13: Edificio Gerpal. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio centro comercial – El Quinde de Ica: 2015

Ubicación: Ica - Perú

N° pisos: 3 pisos, en tres etapas

SP: Disp. Fluido Viscoso

N° de dispositivos: 14



Figura 14: Edificio Centro Comercial – El Quinque de Ica. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio “T Tower”: 2016
Ubicación: Lima – Av Javier Prado
N° pisos: 24
SP: Disp. Fluido Viscoso
N° de dispositivos: 22



Figura 15: Edificio “T Tower”. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio nueva sede SUNAT: 2016
Ubicación: Lima Arenales Crd. 13
N° pisos: 21
SP: Disp. Fluido Viscoso
N° de dispositivos: 24



Figura 16: Edificio Nueva sede SUNAT. Fuente: Talavera, s.f.

- Edificio plaza del Sol:2018

Ubicación: San Isidro-Lima

N° pisos: 03 edificios de 3,11 y 13 pisos

SP: BRBs (Buckling Restrained Braces-diagonales de pandeo restringido) +

Fibra de carbono

N° de dispositivos: 546



Figura 17: Edificios Plaza del Sol. Fuente: Talavera, s.f.

1.1.1.3. Investigaciones de antecedentes

1.1.1.3.1. Antecedentes Internacionales:

- Pardo (2007) en su tesis titulada “Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal” para el país de Chile, nos muestra que su investigación está relacionada con el análisis sísmico de un edificio de 5 pisos, la cual su característica principal es la flexibilidad en su sentido longitudinal, provocando que las deformaciones de entre piso sobrepasen el 50% de lo permitido por la norma. Se planteó el uso de Dispositivos Disipadores de Energía de Fluido Viscoso de tipo lineal como opción para reforzar y controlar las distorsiones de entrepiso.

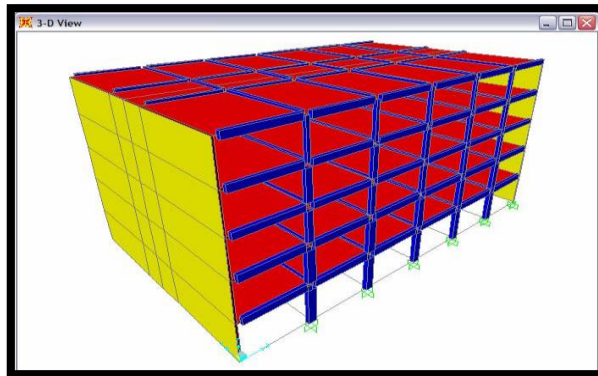


Figura 18: Estructura sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.

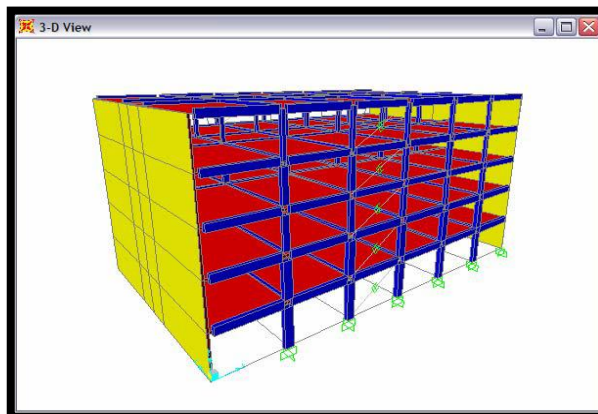


Figura 19: Estructura con disipadores. Fuente: Pardo, 2007.

Como resultado se obtuvieron una disminución de los desplazamientos, velocidad y aceleración de los centros de masa de cada piso, además de una reducción en los esfuerzos en la base (Corte y Momento), demostrando ser un método de refuerzo óptimo de control y reforzamiento sísmico, para la estructura estudiada.

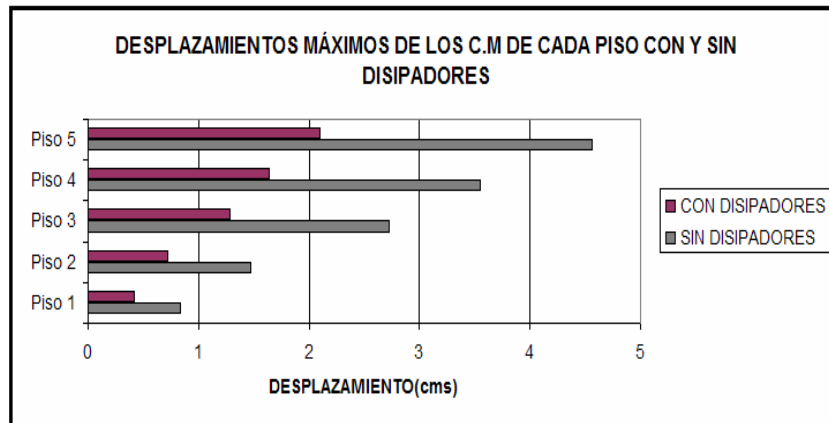


Figura 20: Desplazamiento máximo con y sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.

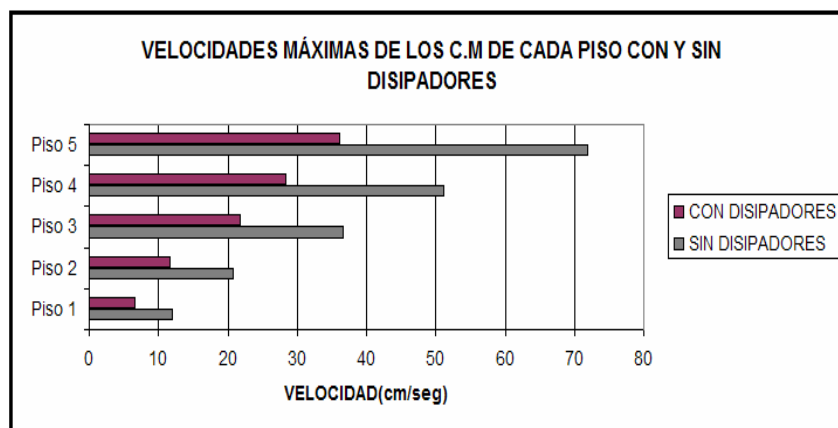


Figura 21: Velocidad máxima con y sin disipadores. Fuente: Pardo, 2007.

Concluye en su tesis que el uso de los disipadores requiere fundaciones más económicas y con la posibilidad de realizar proyectos sobre suelos de mala calidad. Por último, establece que, en el caso de la rehabilitación sísmica, los disipadores de energía de fluido viscoso tienen una gran ventaja frente a otros tipos de dispositivos

de control de energía, como son por ejemplo los aisladores, ya que estos requieren sistemas especiales para su colocación.

- Cuntó (2014) en su tesis “Uso de disipadores viscosos en edificios de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil para el mejoramiento del desempeño sísmico” en el país de Ecuador, se enfoca en los disipadores de fluido viscoso y el uso del programa SAP2000 para observar el comportamiento de 3 pórticos de hormigón armado (4, 8 y 12 pisos), con y sin disipadores, y someterlos a registros acelerográficos en un tipo de suelo blando.

Los resultados que se obtuvieron mostraron grandes disminuciones en las derivas, cortantes basales y fuerzas internas en los elementos, con lo cual se podría plantear la reducción de secciones y probablemente generar ahorros, en relación al costo de la estructura. Los resultados que se obtuvieron son los siguientes:

Pórtico sin disipadores			Pórtico con disipadores	% Reducción
Pisos	h (m)	δ (m)	δ (m)	%
4	3,6	0,0726	0,0524	27,82%
3	3,6	0,0638	0,0461	27,74%
2	3,6	0,0484	0,0351	27,48%
1	4,5	0,028	0,0204	27,14%

Figura 22: Comparación de derivas del pórtico de 4 pisos. Fuente: Cuntó, 2014

Pórtico Sin Disipadores			Pórtico Con Disipadores	% Reducción
Pisos	h (m)	δ (m)	δ (m)	%
8	3,6	0,3325	0,1777	46,56%
7	3,6	0,3145	0,1679	46,61%
6	3,6	0,2826	0,1508	46,64%

5	3,6	0,2379	0,1269	46,66%
4	3,6	0,1939	0,1034	46,67%
3	3,6	0,147	0,0783	46,73%
2	3,6	0,1039	0,0554	46,68%
1	4,5	0,0585	0,0312	46,67%

Figura 23: Comparación de derivas del pórtico de 8 pisos. Fuente: Cuntó, 2014.

Pórtico Sin Disipadores			Pórtico Con Disipadores	% Reducción
Pisos	h (m)	δ (m)	δ (m)	%
12	3,6	0,3472	0,2047	41,04%
11	3,6	0,3361	0,1982	41,03%
10	3,6	0,3165	0,1865	41,07%
9	3,6	0,29	0,1708	41,10%
8	3,6	0,2612	0,1537	41,16%
7	3,6	0,2291	0,1347	41,20%
6	3,6	0,1952	0,1146	41,29%
5	3,6	0,162	0,095	41,36%
4	3,6	0,1283	0,0752	41,39%
3	3,6	0,0947	0,0555	41,39%
2	3,6	0,0634	0,0371	41,48%
1	4,5	0,0322	0,0188	41,61%

Figura 24: Comparación de derivas del pórtico de 12 pisos. Fuente: Cuntó, 2014.

Al final concluye que los disipadores de energía son implementos tecnológicos que sirven para el sismo-resistencia ya que permite mejorar el desempeño de las estructuras, de tal manera que los daños sean menores, salvaguardando no sólo las vidas humanas, sino también el dinero invertido en la estructura.

- La revista EIA, ISSN 1794-1237 (Numero 6, p. 105-120) de Colombia, en su publicación titulada “sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones” elaborados por Oviedo y Duque (2006) presenta un compendio del tema de los

sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. Donde también realiza una presentación general del concepto físico de balance de energía en un sistema estructural, donde se identifican los diferentes tipos de energía y se relacionan los sistemas para el control de respuesta sísmica con el tipo de energía que disipan. Además, se presentan algunos ejemplos de los tipos de dispositivos comerciales más usados en el mundo para el control de respuesta sísmica de edificaciones entre ellos los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso.

Concluye informando que el uso de los sistemas no convencionales de control de respuesta sísmica es cada vez más común en el mundo y constituye una técnica imprescindible en las edificaciones modernas. Aunque la implantación de estas técnicas puede implicar un costo inicial mayor, el beneficio y la economía se cumplen en el momento de un sismo.

La estructura complementada con un sistema de control de respuesta sísmica no sufrirá los daños que sufre una estructura convencional, en la que el costo de la rehabilitación es excesivamente alto o, en el peor de los casos, su demolición es inevitable. Considerando el gran número de edificios en el mundo que han sido construidos utilizando estas técnicas, se puede concluir que se está frente a una tecnología del presente y del futuro, que no puede dejarse pasar de largo.

1.1.1.3.2. Antecedentes Nacionales:

- Calderón (2014) en su tesis “Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén” en nuestro país, nos dice que su investigación estuvo enfocada en la evaluación de un diseño con

disipadores de energía para mejorar el comportamiento estructural del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén. La metodología empleada estuvo direccionada en el desempeño y en las disposiciones del ASCE y el FEMA. La estructura estudiada está dada por una edificación aporcada de concreto armado, cuya deriva en la dirección X-X es del 11,38% y en la dirección Y-Y del 8,30% superando el límite permitido por la norma E.030 (7,00%). Se implementó disipadores de energía de fluido viscosos de tipo lineal y no lineal para cumplir con esta restricción.

Tabla 71. Porcentaje de reducción de derivas en la dirección X-X e Y-Y

Nivel	Sin disipadores	Disipadores no lineales		Disipadores no lineales	
		$\alpha = 0,50$	% Reduc.	$\alpha = 0,50$	% Reduc.
1	11,38%	5,00%	56,02%	4,57%	38,32%
2	6,48%	3,03%	53,26%	4,17%	42,79%
3	2,39%	0,59%	75,11%	1,79%	50,29%

Figura 25: Derivas en la dirección X e Y. Fuente: Calderón, 2014.

Concluyendo así, que con el uso de disipadores no lineales se logra reducir la deriva en la dirección X-X a 5,00% y en la dirección Y-Y a 4,57%; y que el costo del proyecto está alrededor de 620,05 US\$/m² y el costo del sistema de amortiguamiento está alrededor de 61,68 US\$/m².

- Guevara (2012) en su tesis “Diseño de un edificio aporcado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal” nos muestra las características de los sistemas de protección sísmica por amortiguamiento, dando énfasis a los de fluido-viscoso. Luego expone una metodología de diseño para

estructuras con sistemas de amortiguamiento enfocada en el desempeño y fundamentada en las disposiciones del ASCE, FEMA y el ACI.

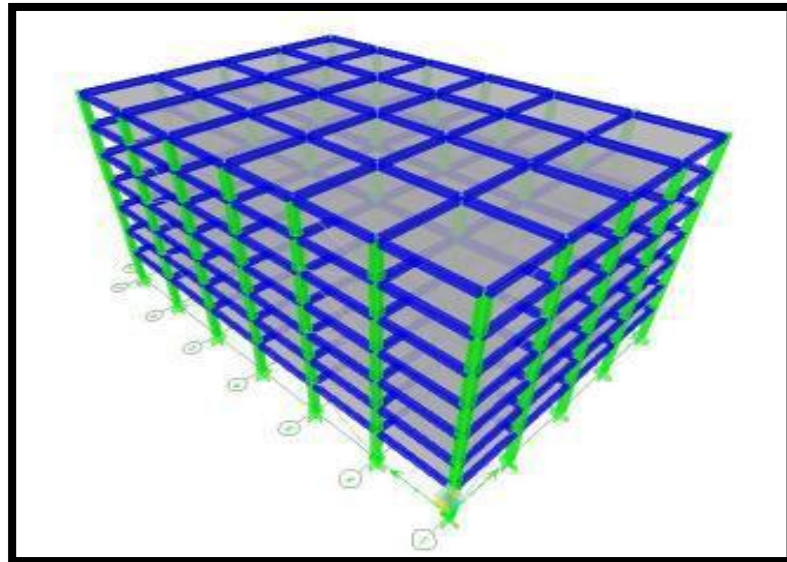


Figura 26: Edificio Aporcionado de estudio. Fuente: Guevara, 2012.

Como objetivo de diseño se diseñó con un periodo de retorno de 500 años, además de mantener la deriva por debajo de 5.8 %, cuyo valor es propuesto por el HAZUS (Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters). Con el sistema de amortiguamiento fluido-viscoso se logró incrementar el amortiguamiento al 23% y reducir la deriva a 5.8 %.

Tabla 21- Comparación de derivas de entrepiso (1/1000): Edificio sin Amortiguadores y Edificio con Amortiguadores en el eje X.			
Sistema de Amortiguación Lineal			
Nivel	Sin Sistema de Amortiguación	Con Sistema de Amortiguación	Porcentaje de Reducción
7	5.00	1.90	62%
6	6.70	3.20	52%
5	8.20	4.40	46%
4	8.30	5.30	36%
3	8.60	5.70	34%
2	9.00	5.70	37%
1	6.40	3.80	41%
Sistema de Amortiguación No Lineal			

Nivel	Sin Sistema de Amortiguación	Con Sistema de Amortiguación	Porcentaje de Reducción
7	5.00	1.60	68%
6	6.70	3.00	55%
5	8.20	4.20	49%
4	8.30	5.10	39%
3	8.60	5.80	33%
2	9.00	5.80	36%
1	6.40	3.90	39%

Figura 27: Comparación de derivas lineal y no lineal. Fuente: Guevara, 2012.

Los resultados obtenidos por parte de una evaluación económica considerando ratios y precios propuestos por el fabricante indican que el costo del sistema de amortiguamiento de fluido-viscoso en esta estructura y para este nivel de desempeño, está alrededor de los 30 \$/m² y la incidencia en el costo total del proyecto es del 7%.

1.1.1.3.3. Antecedentes Locales:

- Cotacallpa, (2017) en su tesis “Análisis de un edificio de 10 niveles de concreto armado con amortiguadores de masa sintonizada” nos habla sobre el diseño estructural de un edificio de concreto armado con la incorporación de disipadores de energía de tipo masa sintonizada en el último nivel. Tiene como objetivo comparar el costo-beneficio de este sistema con y sin la inclusión de dicha masa sintonizada.

Recalca que es muy importante la etapa de estructuración, porque es ahí en donde se define el comportamiento de la estructura, es decir si el edificio es rígido, flexible o híbrido.

Concluye que la incorporación de los amortiguadores de disipación de energía de tipo masa sintonizada en una estructura de mediana o gran altura, modifica su respuesta dinámica, logrando menores derivas de entrepiso, menores esfuerzos en la

estructura y estructuras más seguras. El auto también plantea que las limitaciones que pueden existir es que no son recomendables usarlas en estructuras de baja altura, ya que el tipo de amortiguador como el de la presente tesis sólo actúa en un rango limitado de frecuencias.

- El Instituto Geofísico del Perú hasta el 4 de junio del 2019 registra en la región de Arequipa 55 sismos, sin embargo, la mayoría de estos sismos fueron de baja magnitud. El IGP registra como primer movimiento sísmico del 2019 el día 5 de enero a las 14:00 horas en la provincia de Camaná teniendo una magnitud de 3.9 grados en la escala de Richter. El último sismo registrado de considerable magnitud ocurrió el 3 de junio a las 21:04 horas con una magnitud de 4.4 grados en la escala de Richter.
- Roncal, (2017) en su tesis “Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web” realiza un estudio de las probabilidades de ocurrencia de un sismo en las distintas regiones del Perú. A continuación, se muestra el espectro de diseño de la región de Arequipa con el cual se evaluó.

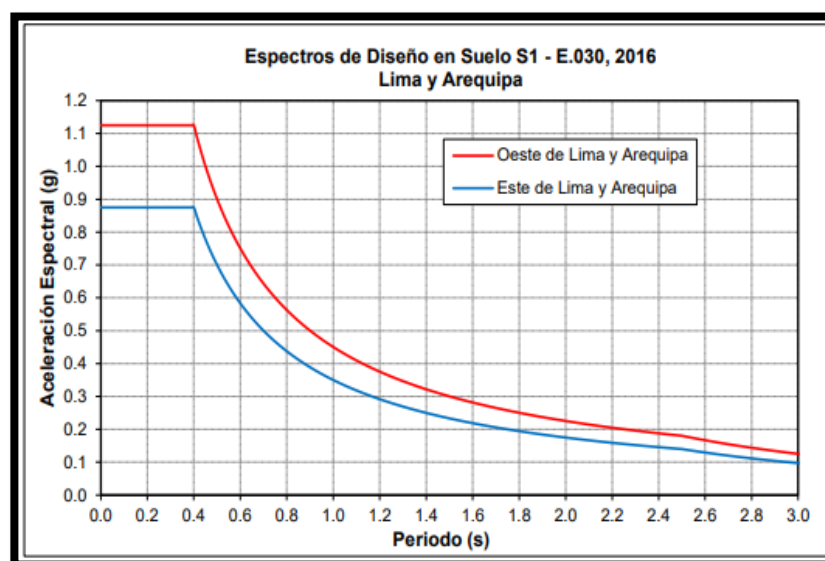


Figura 28: Espectro de diseño en Arequipa y Lima. Fuente: Roncal, 2017.

Además, se muestra las aceleraciones máximas horizontales de la misma región de Arequipa con una probabilidad del 10% de excedencia en 50 años.

Punto de análisis	Aceleración máxima horizontal para 10 % de probabilidad de excedencia en 50 años ($Z_{\text{especifico}}$)
A	0.505 g
B	0.482 g
C	0.456 g
D	0.424 g
E	0.400 g
F	0.385 g
G	0.366 g
H	0.349 g
I	0.327 g

Figura 29: Aceleraciones máximas. Fuente: Roncal, 2017.

Concluye al final que Arequipa tiene una aceleración de 0.50g evaluados para un 10% de excedencia en 50 años y que cuyo análisis probabilístico de amenaza sísmica fue desarrollado empleando ecuaciones de predicciones del movimiento del suelo (GMPE) que son apropiadas para los mecanismos de subducción de interface.

1.1.2. Definiciones

Sismo: Vibración de la Tierra producida por una rápida liberación de energía a causa del deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de una falla. La energía liberada se propaga en todas las direcciones desde su origen en forma de ondas.

Sismo resistencia: Es la ciencia que se encarga que las edificaciones sean capaces de resistir la acción de las fuerzas causadas por sismos frecuentes, aunque se presenten daños, en el caso de un sismo muy fuerte. (Thomson, 2008, p.2)

Deriva de entrepiso: Cociente entre la diferencia de los desplazamientos laterales totales entre dos niveles consecutivos y la altura libre o separación de los mismos. (Ministerio de vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Ductilidad: La ductilidad es la capacidad que tienen algunos materiales de admitir grandes deformaciones sin perder su resistencia.

Espectro: Son los valores máximos o picos de la respuesta estructural, fuerza restitutiva, el desplazamiento o la aceleración para todo un grupo de estructuras de igual periodo y amortiguamiento (Muñoz, 2004)

Reforzamiento estructural: Técnicas y utilización de diversos materiales con el fin de fortalecer un inmueble con el fin de prevenir los posibles efectos provocados por un desastre o emergencia.

Periodo de vibración: es el intervalo mínimo de tiempo para el cual la vibración se repite a sí misma. (FADU, 2014)

Rigidez: Capacidad de un elemento estructural para soportar esfuerzos sin adquirir grandes deformaciones y/o desplazamientos.

Disipador de energía: Se usan para disipar el exceso de energía cinética de un fluido.

Viscosidad: Capacidad de resistencia molecular de un líquido para separarse entre ellas. Además, se genera una oposición debida a las fuerzas de adherencia que tienen unas moléculas de fluido con respecto a las otras moléculas del mismo líquido.

Acelerogramas: Registros de la aceleración versus el tiempo. (Villarreal, 2013).

Amortiguación: Capacidad de los materiales de construcción o de los sistemas de protección sísmica a absorber o disipar energía. (Villarreal, 2013).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿Cómo la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cómo evaluar y analizar las condiciones estructurales actuales del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?

¿Qué criterios y consideraciones se utilizaron para la selección y aplicación de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?

¿Cómo la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?

1.3. Justificación del estudio

Actualmente, en el Perú, específicamente en los departamentos de la sierra, se conoce muy poco sobre el uso de disipadores como reforzamiento de estructuras, puesto que, es una de las nuevas tecnologías que han surgido en los últimos años y que poco a poco se está ejecutando en nuestro país. La ingeniería sismorresistente siempre busca nuevas formas de mantener la seguridad en las estructuras ante la presencia de un sismo para que no colapse y pueda seguir operando, sobre todo en edificaciones cuya categoría se les considera esencial (categoría A para la E. 030) como son los colegios, centros de salud, centros para el estado

público, entre otros, por lo que, tener más conocimientos sobre la aplicación de este sistema de reforzamiento permitirá tener una mejor respuesta sísmicas en las edificaciones y mantener su funcionalidad cuando son sometidas a las sollicitaciones sísmicas. La principal motivación para la realización de esta investigación es la de generar una seguridad estructural post-sismo, en aquellas edificaciones cuyas construcciones se ubican en departamentos con zonas altamente sísmicas como es el caso del departamento de Arequipa. Además, se busca fomentar su aplicación como reforzamiento estructural, sobre todo en edificaciones esenciales, ya que, todavía no se ha aplicado este tipo de reforzamiento en la región siendo, como se mencionó anteriormente, una de las regiones con más actividad sísmica a nivel nacional.

Debido a los antecedentes sísmicos, se considera que el Perú no está preparado para afrontar una catástrofe sísmica, como lo fue el gran daño que causó el terremoto de 1970 dejando 80,000 fallecidos, 143,000 heridos y aproximadamente 20,000 desaparecidos, además de dejar cientos de viviendas destruidas, grietas en el piso y pánico en la ciudad.

Es por ello que, mediante esta investigación se plantea el reforzamiento estructural de edificaciones que según la E.030 Diseño Sismorresistente se considera esenciales. La realidad problemática se enfocó en una de las regiones más sísmicas en el Perú, como es el departamento de Arequipa, por lo que, para el reforzamiento se usará nuevas tecnologías como son los disipadores de fluido viscoso para que mejoren su capacidad de resguardo de vida y permitan mejorar su funcionalidad posterior a un sismo.

1.4. Límites del estudio

No se cuenta con laboratorios en óptimas condiciones, para poder realizar ensayos de mesa sísmica, por lo que no nos permite poder visualizar el funcionamiento del prototipo usando disipadores de fluido viscoso.

No se cuenta con muchos antecedentes en el país usando como refuerzo los disipadores de fluido viscoso en el departamento de Arequipa, puesto que, dicha tecnología recién está siendo introducida en nuestro país hace algunos años y todavía no es aplicado en esta región.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar si la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar y analizar las condiciones estructurales actuales del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

Determinar los criterios y consideraciones que se utilizaron para la selección y aplicación de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

Determinar si la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

1.6. Hipótesis

Las hipótesis son suposiciones o predicciones que se hacen sobre los resultados de nuestra tesis. Se consideran guías que nos permiten orientar el trabajo a la consecución de un objetivo o conclusión determinada. (Norma APA, 2016)

1.6.1. Hipótesis general

La aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021

1.6.2. Hipótesis específicas

La evaluación y análisis de las condiciones estructurales actuales ayudará a determinar el estado del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

Los criterios y consideraciones que se utilizaron ayudaron en la selección y aplicación de los disipadores de energía como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

La aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá y ayudará a mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1. TIPO DE INVESTIGACIÓN

Para la presente investigación se usará una metodología de forma descriptiva, ya que analizaremos y describiremos lo que existe con respecto a las condiciones de la situación. Para el nivel de la investigación se empleará la forma Descriptiva – Explicativa.

La investigación cuantitativa considera que el conocimiento debe ser objetivo, y que éste se genera a partir de un proceso deductivo en el que, a través de la medicación numérica y el análisis estadístico inferencial, se prueban hipótesis previamente formuladas. (Bryman, 2004:19). Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo; porque el análisis de la investigación aplica la estadística, además de realizar mediciones analizando la causa-efecto.

El alcance será explicativo, ya que parten de problemas bien identificados en los cuales es necesario el conocimiento de relaciones causa-efecto. En este estudio es imprescindible la formulación de hipótesis que de una u otra forma, pretenden explicar las causas del problema o cuestiones íntimamente relacionadas con éstas. (Jiménez, 1998). Nuestra investigación estará ligada a determinar las causas de los fenómenos, en este caso la aplicación de los disipadores de fluido viscoso, es decir analizar causa-efecto y ver cómo influyen en la estructura planteada.

Finalmente, la presente investigación será de tipo cuasi-experimental, ya que se manipulan variables de investigación, así como la definición de un análisis estadístico y de resultados obtenidos de los instrumentos. Además, el modelo de estudio corresponde a un proyecto cuyas propiedades ya están dadas antes de la experimentación, sin embargo, al contar con una variable de tipo independiente que se puede manipular como son los disipadores de energía, entonces, cumple con los criterios de experimentación. En nuestra investigación se procederá a validar la veracidad o falsedad de nuestras hipótesis planteadas.

2.2. Población y muestra (Materiales, instrumentos y métodos)

Viene enmarcado con el conjunto total de individuos u objetos que poseen algunas características comunes observables en un lugar y en momento determinado. (Metodología de la investigación, 2010). Para nuestra investigación basada en las regiones sísmicas de nuestro país cuyo índice de probabilidad de ocurrencia de un sismo severo es alta, se escogió el departamento de Arequipa, cuya población será una edificación ubicada en el distrito de Miraflores destinada. Dicha edificación será el Palacio Municipal del distrito indicado contando con 4 niveles respectivamente.

La muestra es un subconjunto representativo de la población que pueden ser grupos de personas, eventos, sucesos, comunidades, etc. Sobre el cuál se habrá que recolectar datos. En nuestra investigación no se considera trabajar con muestra puesto que se tiene acceso a todo el proyecto.

2.3. Técnica e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1. Técnicas de recolección y análisis de datos

Pardo (2007) en su tesis titulada “Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal” para el país de Chile, considera en su investigación como técnica de recolección y análisis de datos la observación directa, ya que, se realizó la obtención de información de un edificio de 5 pisos en un tiempo real de forma in situ, obteniendo producto de ello, la verificación de que la estructura presenta flexibilidad en su sentido longitudinal, provocando que las deformaciones de entre piso sobrepasen el 50% de lo permitido por la norma. A partir de ello, se planteó el uso de dispositivos de disipación de energía como son los

disipadores de energía de fluido viscoso de tipo lineal como reforzamiento que permite controlar las distorsiones de entrepiso.

Morales y Contreras (2012) en su tesis de licenciamiento “Protección de una edificación existente con disipadores de energía” aplicó la técnica de la observación para recolectar información sobre su investigación. Se basó en recoger información de una edificación existente como el pabellón B de la Pontificia Universidad Católica del Perú, donde debido a que fue construido hace más de 50 años, no contaba con las debidas consideraciones sísmicas que se necesita. Para mejorar su comportamiento dinámico se optó por analizar y aplicar dispositivos de disipación de energía para mejorar el control de sus desplazamientos y mejorar su amortiguamiento.

También, Calderón (2014) en su tesis “Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén” en nuestro país, considera en su investigación como técnica de recolección y análisis de datos la observación directa, ya que, se realizó la obtención de información del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, permitiendo conocer su evaluación y desempeño estructural. Esta técnica es válida ya que, se realizó en tiempo real debido ya que, el modelo a evaluar ya estaba construido.

A su vez, Rodríguez (2019) en su tesis “Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores viscosos, Los Olivos, 2019” hizo uso de la observación como técnica de recolección de datos, ya que, evaluó, analizó y obtuvo información de una edificación existente de 5 niveles ubicado en el departamento de Lima, distrito de los Olivos. Dicha investigación se basó en mejorar el comportamiento estructural usando disipadores viscosos debido al cambio de uso que sufrió la edificación.

De la misma forma, Cotacallpa (2017) en su tesis de investigación para el departamento de Arequipa “Análisis de un edificio de 10 niveles de concreto armado con amortiguadores de masa sintonizada” también aplica la observación como principal técnica de recolección de datos, donde a partir de una edificación de 10 niveles obtiene información relevante sobre su comportamiento sísmico.

Finalmente, a partir de las investigaciones mencionadas se puede concluir y verificar que es válido la aplicación de la observación como técnica de análisis y recolección de datos para la investigación que se presenta.

2.3.2. Instrumentos

Pardo (2007) en su tesis titulada “Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal” para el país de Chile, considera en su investigación como instrumento el software de análisis y diseño estructural SAP2000, donde realizó la evaluación sísmica obteniendo deformaciones de entrepiso que sobrepasan lo permitido por la norma E.030.

Morales y Contreras (2012) en su tesis de licenciamiento “Protección de una edificación existente con disipadores de energía” aplicó como instrumento el software de diseño estructural ETABS donde modeló el pabellón B de la Pontificia Universidad Católica del Perú, para evaluar su desempeño sísmico con la normativa actual ya que fue diseñado con los parámetros de hace 50 años.

También, Calderón (2014) en su tesis “Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén” utiliza como instrumento en su investigación el software SAP2000 donde modeló el edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca - Sede Jaén, permitiendo

conocer su evaluación y desempeño estructural para posteriormente realizar un análisis tiempo-historia que permita evaluar la aplicación de disipadores como elemento de reforzamiento.

A su vez, Rodríguez (2019) en su tesis “Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores viscosos, Los Olivos, 2019” utilizó como instrumento el software estructural ETABS para modelar una edificación existente de 5 niveles ubicado en el departamento de Lima, distrito de los Olivos. y además utilizó otro instrumento como es el software SEISMOMATCH, que permite escalar acelerogramas reales de sismos de acuerdo al CISMID para adaptarlos hacia un sismo de diseño bajo la normativa E.030.

De la misma forma, Cotacallpa (2017) en su tesis de investigación para el departamento de Arequipa “Análisis de un edificio de 10 niveles de concreto armado con amortiguadores de masa sintonizada” también aplicó como instrumento el software ETABS para modelar una edificación de 10 niveles para obtener información con respecto su comportamiento sísmico y del software SEISMOMATCH para poder escalar los acelerogramas de sismos reales proporcionados por el CISMID y poder realizar correctamente el análisis tiempo-historia permitiendo evaluar la estructura cuando se le aplique un elemento de disipación de energía.

Finalmente, a partir de las investigaciones mencionadas se puede concluir y verificar que es válido la aplicación del software ETABS y del programa SEISMOMATCH como instrumentos para la presente investigación.

2.3.3. Técnicas de análisis de datos

Las técnicas de análisis de datos son herramientas que permiten analizar y trabajar los datos obtenidos a partir de los instrumentos y la información recolectada en una investigación. Para el presente estudio se aplicarán diferentes técnicas de análisis de datos validados por diferentes normativas:

- Normativas nacionales: Norma Técnica Peruana (E.020 Cargas, E.030 Diseño sismorresistente, E.060 Concreto Armado y la E.090 Acero).
- Normativas internacionales: ASCE 7-16, FEMA 356, ANSI/AISC 358S-18 y la ATC 19.

A continuación, se nombrarán las técnicas usadas en las investigaciones presentadas anteriormente y validadas por la normativa nacional e internacional:

- Análisis estático: Es una técnica que permite representar el sismo mediante fuerzas horizontales por nivel en una edificación.
- Análisis dinámico modal espectral: Es una técnica que permite realizar un análisis aproximado de forma dinámica donde se obtiene respuestas modales a partir de las sollicitaciones sísmicas.
- Análisis estático no lineal: Es una técnica que permite someter una estructura bajo cargas laterales incrementándola en gran magnitud de manera ascendente hasta que la estructura analizada alcance su máxima capacidad de deformación.
- Análisis dinámico no lineal: Es una técnica que aplica fuerzas, desplazamientos, velocidades y aceleraciones de forma directa en una estructura considerando, además, las características no lineales de cada elemento estructural que lo conforma.

- Estudio de comportamiento sísmico de modo digital mediante software estructurales.

2.4. PROCEDIMIENTO

Antes de desarrollar los objetivos específicos, se desarrollarán los siguientes ítems:

- **Ubicación del Proyecto**

La edificación que se va a evaluar corresponde al Palacio Municipal ubicado en el distrito de Miraflores en el departamento de Arequipa frente a la plaza de armas. La edificación fue construida en el año 2006 y cuenta con un sótano y 4 pisos. En la figura 30 se puede visualizar con un mapa satelital la ubicación exacta del palacio municipal.



Figura 30. Ubicación del Palacio Municipal. Fuente: Google Maps, 2021



Figura 31. Palacio Municipal del distrito de Miraflores, Arequipa. Fuente: Google Maps, 2021

- **Descripción arquitectónica existente**

A continuación, en las tablas N° 4 y N°5 se presenta un resumen de la descripción y características arquitectónicas que presenta el palacio municipal.

Tabla 4

Cuadro de características de la edificación de estudio

Característica	Proyecto	
Ubicación	Distrito	Miraflores
	Provincia	Arequipa
	Departamento	Arequipa
Uso	Palacio Municipal	
N° Pisos	1 sótano y 4 pisos	
Altura de piso	Sótano	3.15 m
	1° al 4° nivel	3.15 m
Área	Sótano	477 m ²
	1° nivel	467 m ²
	2° nivel	454 m ²
	3° nivel	430 m ²
	4° nivel	193 m ²

Fuente: Propia

Tabla 5

Distribución de ambientes por piso del Palacio Municipal del distrito de Miraflores en Arequipa.

Distribución de ambientes	
Distribución del sótano	2 camerinos
	2 S.S.H.H.
	1 auditorio
	1 cuarto de máquinas
	1 guardarropa
	1 cabina de protección
Distribución del 1° nivel	3 cuarto de archivos
	3 S.S.H.H.
	1 registro Civil
	1 área de oficina
	1 caja
	1 Guardiania
	Zona de espera
Distribución del 2° nivel	3 oficinas
	2 S.S.H.H.
	1 sala de Obras Públicas
	1 sala de Regidores
	1 salón Consistorial
	1 terraza
	1 cocinilla
Distribución del 3° nivel	2 S.S.H.H.
	1 sala de Gerencia Municipal
	1 área de oficinas
	1 área de Secretaría
	1 área de Alcaldía
	1 vestidor
	1 sala de Trabajo
Distribución del 4° nivel	2 S.S.H.H.
	1 salón de Usos múltiples
	1 cafetería

Fuente: Propia

2.4.1. Objetivo específico 1

2.4.1.1. Procedimiento

Para realizar la evaluación estructural del Palacio Municipal, lo primero que se debe hacer es modelar la edificación haciendo uso de un software estructural. Para este caso se usará el software estructural CSI ETABS en su versión 19.

Como la estructura es una edificación existente se tendrá que realizar un método de aproximación que permita definir la resistencia del concreto, ya que no será la misma con la que fue proyectado en su diseño inicialmente, para ello, se hará uso de un ensayo no destructivo como es el ensayo esclerométrico, que mediante una serie de lecturas y uso de ábacos se obtendrá el valor aproximado de la resistencia a la compresión del concreto del palacio municipal. Dicho valor obtenido será el que se coloque como f'_c en el programa Etabs a la hora de crear los materiales de los elementos estructurales.

Una vez definido el material, se modelarán los elementos estructurales y se asignarán las cargas respectivas que llevará la edificación de acuerdo a su uso y a lo establecido en la normativa peruana E.020 Cargas. Luego, se completará el modelado con la definición de los parámetros sísmicos para la realización del análisis dinámico modal espectral de acuerdo a las consideraciones definidas en la norma E.030 Diseño Sismorresistente.

Con el modelo terminado se procederá a correr el programa para posteriormente verificar los resultados del análisis, entre ellos, primero se verificará el valor de su periodo fundamental y las direcciones de los modos de vibración de la estructura.

Finalmente, se verificará las derivas inelásticas que se obtuvieron de la edificación, que al ser una estructura de concreto armado la E.030 considera un límite de deriva del 7%.

2.4.1.2. Marco teórico

El análisis estructural que se realiza mayormente en las edificaciones para evaluar su comportamiento y verificar su funcionalidad se hace mediante el análisis dinámico espectral o también mediante el análisis estático de fuerzas equivalentes. Actualmente el reglamento nacional de edificaciones en la E.030 Diseño Sismorresistente avala su aplicación y recalca su obligatoriedad en el diseño estructural de cualquier edificación que se realice en el Perú.

Cuando se realiza un análisis estructural con cualquiera de los dos métodos permite determinar los desplazamientos laterales que tendrá la edificación, así como también las fuerzas internas en sus elementos estructurales de transmisión de carga. En cuanto a los desplazamientos que se obtengan, la normativa peruana presenta límites establecidos permisibles, que, para el caso mencionado, al ser una edificación de concreto armado, la deriva de entrepiso no deberá pasar del 7%.

➤ Parámetros sísmicos según la E.030 Diseño Sismorresistente

A. Zonificación:

La norma peruana divide al Perú en 4 zonas sísmicas basándose en la aceleración producida en cada región debido a los movimientos sísmicos y la atenuación de estos con respecto a la distancia hacia el epicentro.

A continuación, se muestra los factores de zona del Perú clasificados según la norma técnica peruana E.030 Diseño Sismorresistente, donde se puede notar que Arequipa está presente entre dos zonas: la zona 4 y la zona 3.

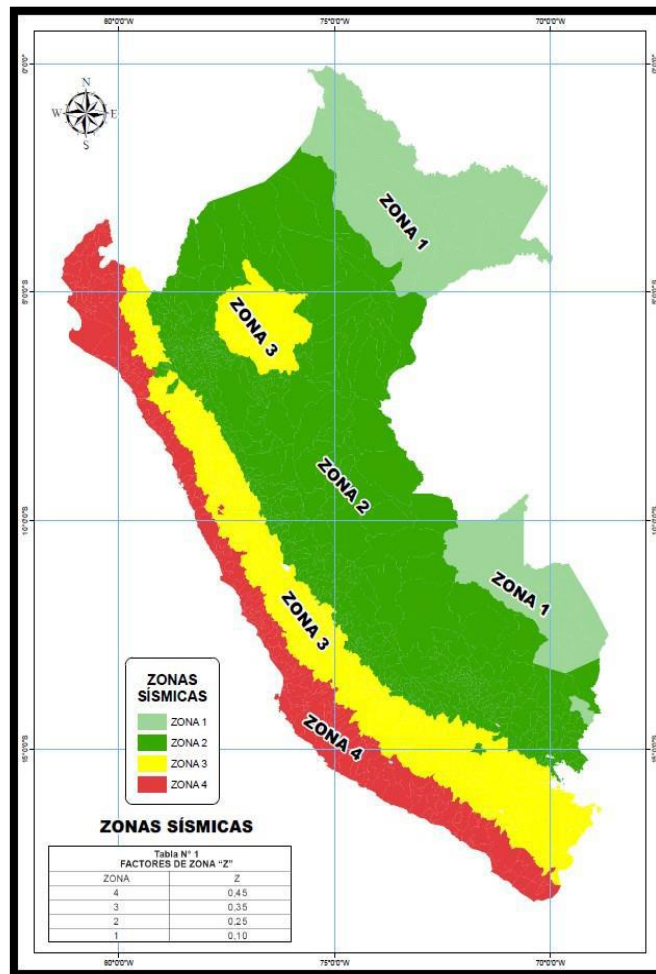


Figura 32: Mapa sísmico del Perú. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

La norma técnica peruana especifica que el factor de Z se expresa como una fracción de la aceleración de la gravedad en un suelo rígido con una probabilidad de excedencia del 10% alrededor de 50 años.

ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Figura 33: Valores del factor de zona. Fuente: R.N.E. E.030, 2019.

Para el caso de estudio, el palacio municipal al encontrarse en Arequipa, en el distrito de Miraflores, la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente establece que le corresponde un factor de zona sísmica de 3, y, por lo tanto, tendrá un factor de Z de 0.35.

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SISMICA	ÁMBITO
AREQUIPA	AREQUIPA	ALTO SELVA ALEGRE	3	VEINTIUN DISTRITOS
		AREQUIPA		
		CAYMA		
		CERRO COLORADO		
		CHARACATO		
		CHIGUATA		
		JACOBO HUNTER		
		JOSÉ LUIS BUSTAMANTE Y RIVERO		
		MARIANO MELGAR		
		MIRAFLORES		
		MOLLEBAYA		
		PAUCARPATA		
		POCSI		
		QUEQUEÑA		
		SABANDIA		
		SACHACA		
		SAN JUAN DE TARUCANI		
		SOCABAYA		
		TIABAYA		
		YANAHUARA		
		YURA		
LA JOYA	4	OCHO DISTRITOS		
POLOBAYA				
SAN JUAN DE SIGUAS				
SANTA ISABEL DE SIGUAS				
SANTA RITA DE SIGUAS				
UCHUMAYO				
VÍTOR				
YARABAMBA				

Figura 34. Factor de zona del Palacio Municipal. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

B. Parámetros geotécnicos:

La E.030 especifica que los perfiles de suelo son clasificados tomando en cuenta la velocidad de las ondas de corte (V_s) definiéndolas como:

- Roca dura: S_0
- Roca o suelos muy rígidos: S_1
- Suelos intermedios: S_2
- Suelos blandos: S_3
- Condiciones excepcionales (flexibles): S_4

Por lo cual, de acuerdo con su clasificación y con el factor de zona, se obtendrá el coeficiente de factor de zona del palacio municipal a partir de la siguiente tabla:

SUELO \ ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

Figura 35: Factor de amplificación del suelo. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

Con el factor de suelo, se podrán hallar los periodos T_p (periodo que define la plataforma del factor C) y T_L (periodo que define el inicio de la zona del factor C):

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Figura 36: Periodos. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

C. Factor de amplificación sísmica (C):

De acuerdo a las características del suelo, se define el factor de amplificación sísmica (C) teniendo en cuenta las siguientes expresiones:

$T < T_p$	$C = 2,5$
$T_p < T < T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T}\right)$
$T > T_L$	$C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)$

Figura 37: Factor de amplificación sísmica. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

Donde: T: periodo fundamental de vibración

$$T = \frac{h_n(\text{altura total})}{C_T(\text{coeficiente})}$$

Ecuación 1

<p>$C_T = 35$</p>	<p>Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte. b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostamiento.
<p>$C_T = 45$</p>	<p>Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean:</p> <ul style="list-style-type: none"> a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) Pórticos de acero arriostrados.
<p>$C_T = 60$</p>	<p>Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.</p>

Figura 38: Coeficientes del periodo fundamental de la estructura. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

Además, se debe considerar lo siguiente:

Para T menor igual que 0.5 segundo: $k=1$

Para T mayor que 0.5 segundos: $k=(0.75+0.5T) \leq 2$

D. Categoría de las edificaciones y factor de uso

Cada estructura está calificada con las siguientes categorías, donde para el caso de estudio, el Palacio Municipal tendrá un factor de uso de 1.5.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Figura 39: Factor de uso de las edificaciones. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

E. Sistemas estructurales

Según la E.030 a las estructuras de concreto armado las define como:

- Pórticos: Sistema donde las columnas del pórtico reciben por lo menos el 80% de la fuerza cortante basal.
- Muros estructurales: Sistema donde los muros estructurales resisten por lo menos el 70% de la fuerza cortante basal.
- Dual: Sistema donde los pórticos y muros toman entre el 20% y el 70% de la fuerza cortante basal.
- Edificios de muros de ductilidad limitada: Sistema donde la resistencia está dada por muros de espesor reducido en donde se prescinde de extremos confinados.

F. Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas:

Es el producto del coeficiente R_0 con los factores I_a y I_p que representan la irregularidad que tendrá la estructura a analizar tanto en altura como en planta.

$$R = R_0 * I_a * I_p$$

Ecuación 2

El factor R_0 dependerá del tipo de sistema estructural definido por la siguiente tabla.

Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes 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(**)

Figura 40: Coeficiente básico de reducción. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

A su vez, también se mostrará los factores de irregularidad por altura y por planta.

IRREGULARIDAD	FACTOR (I_p)
Torsional	0.75
Torsional extrema	0.60
Esquinas entrantes	0.90
Discontinuidad del diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.90

Figura 41. Factores de irregularidad por planta. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

IRREGULARIDAD	FACTOR (I_a)
De rigidez – Piso blando	0.75
De resistencia – Piso débil	0.75
Extrema de rigidez	0.50
Extrema de resistencia	0.50
De masa o peso	0.90
Geométrica vertical	0.90
Discontinuidad de los sistemas resistentes	0.80
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	0.60

Figura 42. Factor de irregularidad por altura. Fuente: R.N.E. E.030, 2019

G. Peso sísmico:

Según la norma E.030 se calculará adicionando a la carga permanente y total de la edificación un porcentaje de la carga viva o sobrecarga.

- Se tomará un 50% de la carga viva para edificaciones de categorías Ay B.
- Se tomará un 25% de la carga viva para edificaciones de categorías C.
- Se tomará un 80% del peso total que es posible almacenar en depósitos.
- Se tomará un 25% de la carga viva en azoteas y techos.
- Se tomará un 100% de la carga en estructuras de tanques.

H. Coeficiente basal:

La fuerza cortante total en la base de la estructura se determina mediante:

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

Ecuación 3

Donde:

Z: factor de zona

U: factor de uso

C: factor de amplificación sísmica

S: factor de suelo

R: coeficiente de reducción sísmica

P: peso de la edificación

Además, el coeficiente basal estará definido por:

$$\frac{Z * U * C * S}{R}$$

Ecuación 4

Se debe ingresar este número al programa Etabs, el cual automáticamente metrará la estructura modelada y hallará su peso para obtener la fuerza cortante basal de la edificación.

➤ **Ensayo no destructivo: Esclerometría**

El ensayo de esclerometría es un ensayo que se puede realizar en cualquier construcción existente sin generar daños ni modificaciones en sus propiedades. Este ensayo se aplica mediante el uso de un instrumento llamado esclerómetro que permite obtener la resistencia de un elemento mediante un índice de rebote.



Figura 43. Esclerómetro. Fuente: PCE, s.f.

Existen normativas que indican el proceso correcto y las consideraciones que se debe tener para su aplicación y son: La ASTM C805, la NTP 339.181 y la MTC e725. Por lo tanto, a continuación se indicará el procedimiento que se debe seguir para realizar un correcto ensayo:

- Se deberá definir un área lisa y sin recubrimiento en el elemento estructural de 15cmx15cm.
- Se generará una cuadrícula cuya separación sea de aproximadamente 2.5cm.
- Luego, se realizará por lo menos 9 lecturas del esclerómetro.
- Las lecturas tomadas deberán estar separadas por lo menos en un 1”.



Figura 44. Ensayo de esclerómetro. Fuente: UNCM, 2019

- Una vez tomado las lecturas de índice de rebote, dependiendo de la cantidad de lecturas se calculará la mediana, para ello, primero se ordenará la cantidad de lecturas obtenidas de forma ascendente. Si la cantidad de datos es un número impar, entonces, la mediana será el valor $(n+1/2)$ donde n es el número total de datos. Ahora, si la cantidad de datos es un número par, entonces la mediana será la media aritmética de los valores centrales.

- Una vez obtenido el promedio de los valores a partir de la mediana, se procederá a descartar aquellas lecturas cuya diferencia varíen en un ± 6 unidades con respecto al valor promedio.
- En caso se descarten más del 20% de lecturas, se tendrá que realizar un nuevo ensayo.
- Una vez verificado la dispersión de las lecturas, se procederá a usar un ábaco de resistencia del esclerómetro para obtener la resistencia del concreto expresado en N/mm^2 .

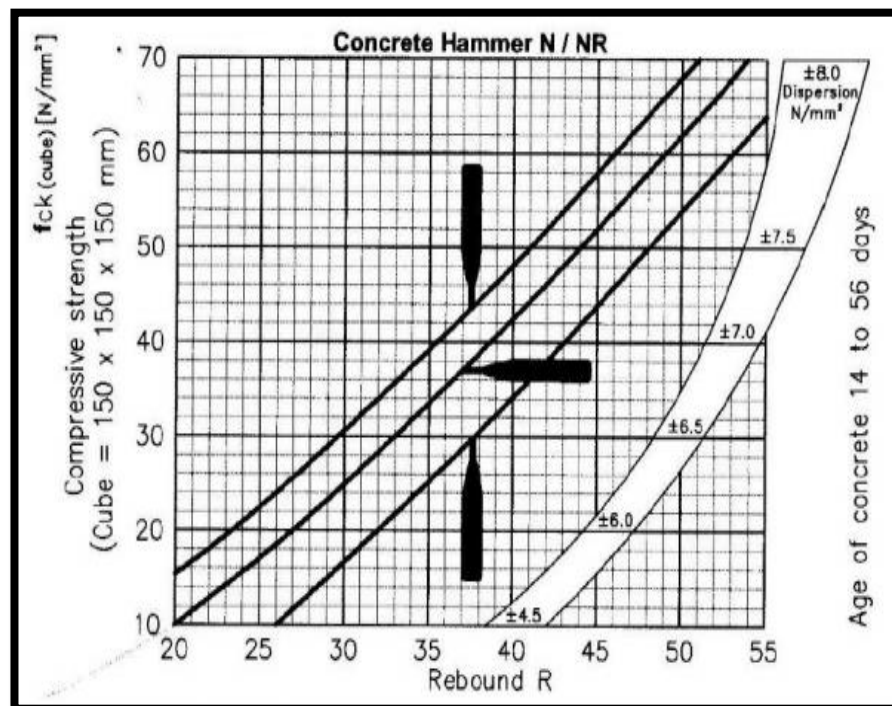


Figura 45. Ábaco de resistencia con esclerómetro. Fuente: Manual del esclerómetro (HT225), s.f.

- Finalmente, se considerará un factor de corrección debido a la carbonatación que aparecerá en el elemento de concreto, ya que, este proceso químico aumenta la dureza superficial del concreto provocando que se obtengan resultados no tan exactos.

2.4.1.3. Desarrollo

El proyecto de edificación a evaluar (Palacio Municipal) está ubicado en el departamento de Arequipa, distrito de Miraflores, en la av. Unión – Parque Mayta Cápac.

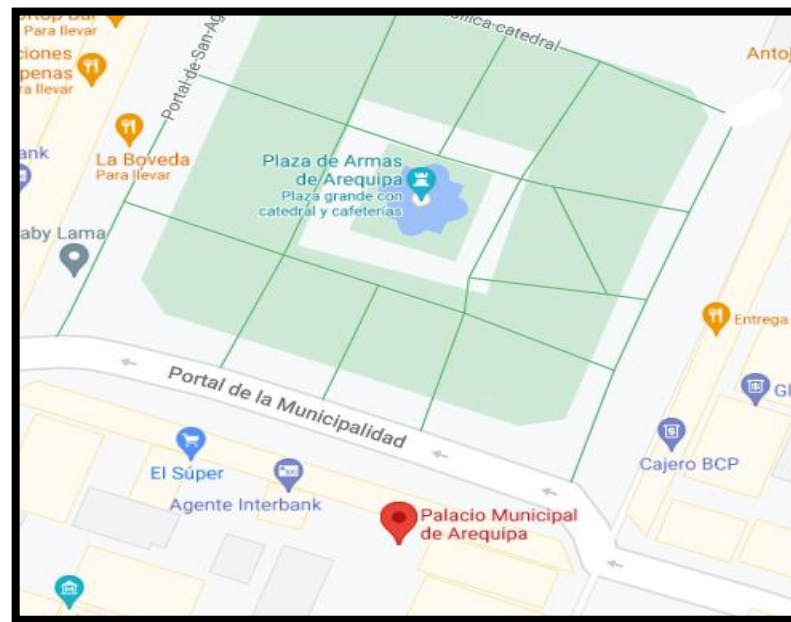


Figura 46: Ubicación Geográfica de Arequipa. Fuente: Arango, 2018.

➤ Resistencia a la compresión del concreto existente:

Según los planos de la edificación del Palacio Municipal los elementos estructurales de concreto armado fueron diseñados para tener una resistencia a la compresión de $f'c = 210$ kg/cm², sin embargo, para tener resultados más exactos en la modelación de la estructura, este factor de resistencia del concreto no será lo mismo debido a diferentes factores.

Entre las consideraciones principales, se tiene que, cuando se ejecuta la obra, no siempre se logra alcanzar la resistencia prevista en los planos debido a imprevistos que puedan pasar in situ con respecto a la proporción de los materiales o en cuanto a la mezcla. Además, se tiene otro factor más importante, y es que la obra fue ejecutada hace 15 años en

el 2006, por lo tanto, la resistencia que tiene los elementos estructurales definitivamente no serán los 210 kg/cm^2 con lo que fue diseñado en un inicio.

Debido a lo presentado anteriormente, se buscará obtener un valor aproximado de la resistencia a la compresión existente de los elementos estructurales del Palacio Municipal, por lo tanto, al ser una edificación existente se hará uso de un método no destructivo como es la aplicación del instrumento esclerómetro.

➤ **Procedimiento de aplicación y análisis de datos del esclerómetro:**

Para la aplicación del instrumento no destructivo, primero se debe definir los elementos estructurales que servirán como muestra para el análisis, para ello, se realizó la visita respectiva al Palacio Municipal.

Una vez realizado la visita in situ, se observó que los elementos estructurales como vigas y columnas presentan el siguiente diagnóstico:

- Las vigas que van desde el eje A hasta I'/eje 4, se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.
- Las vigas que van desde el eje A hasta I/ eje 1, se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.
- Las vigas que van desde el eje 1 hasta el eje 4/ eje I', se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.
- Columnas principales se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.
- Tensores de concreto se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.
- Losas aligeradas por nivel apoyados en muros de albañilería se encuentran en buen estado sin presencia de fisuras.

Con la inspección respectiva, se procedió a seleccionar 3 columnas que se ubican en todos los niveles de la edificación para poder realizar el ensayo esclerométrico, es decir, se tendrán 3 columnas por piso como muestra para el análisis de la obtención de la resistencia a la compresión actual de los elementos de concreto armado.

A continuación, se mostrará los planos de arquitectura vistos en planta de todos los niveles de la edificación marcando con un cuadrado y una flecha de color verde las columnas que fueron seleccionadas para el ensayo no destructivo respectivo.

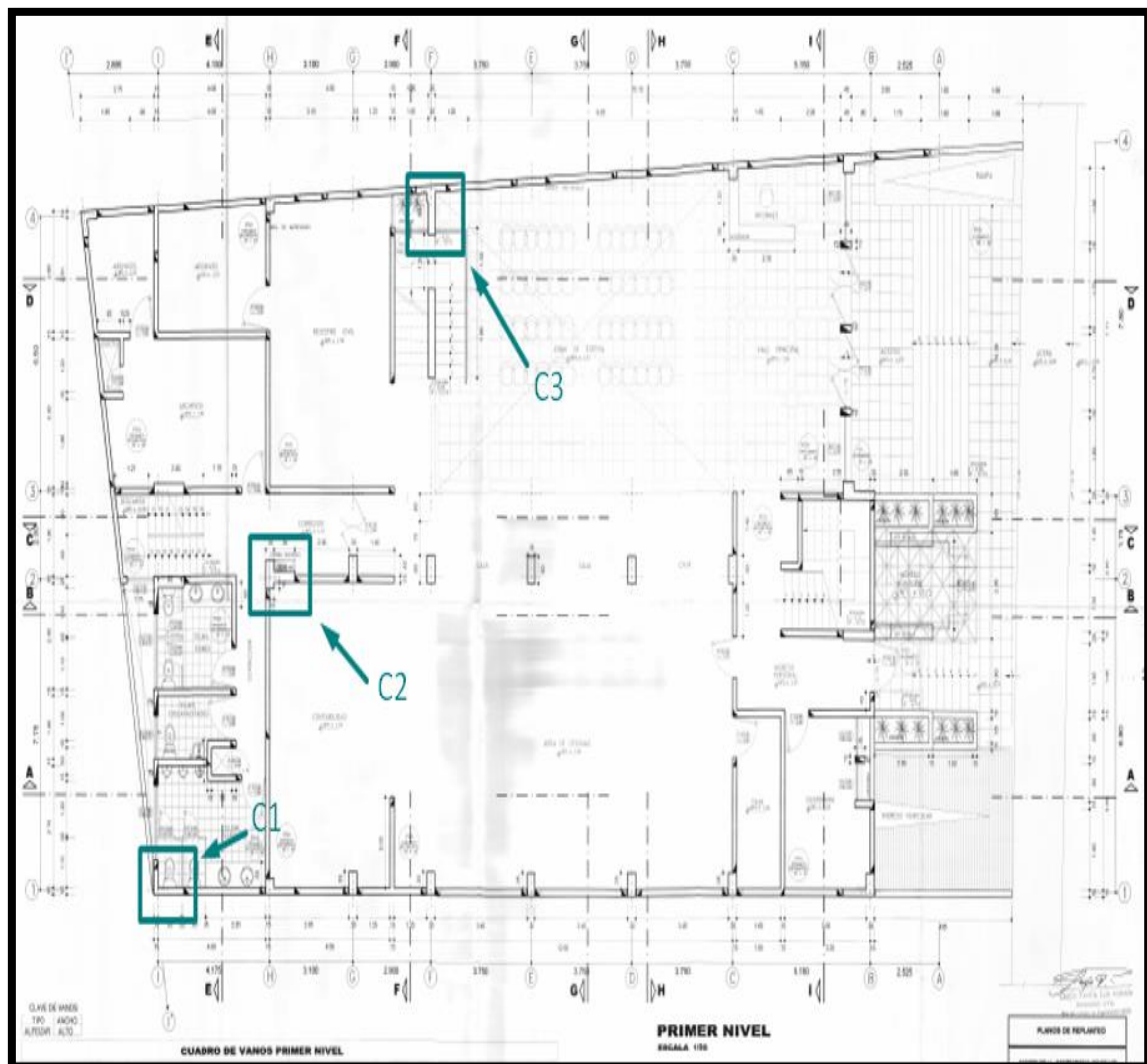


Figura 47: Columnas seleccionadas del 1° nivel. Fuente: Propia.

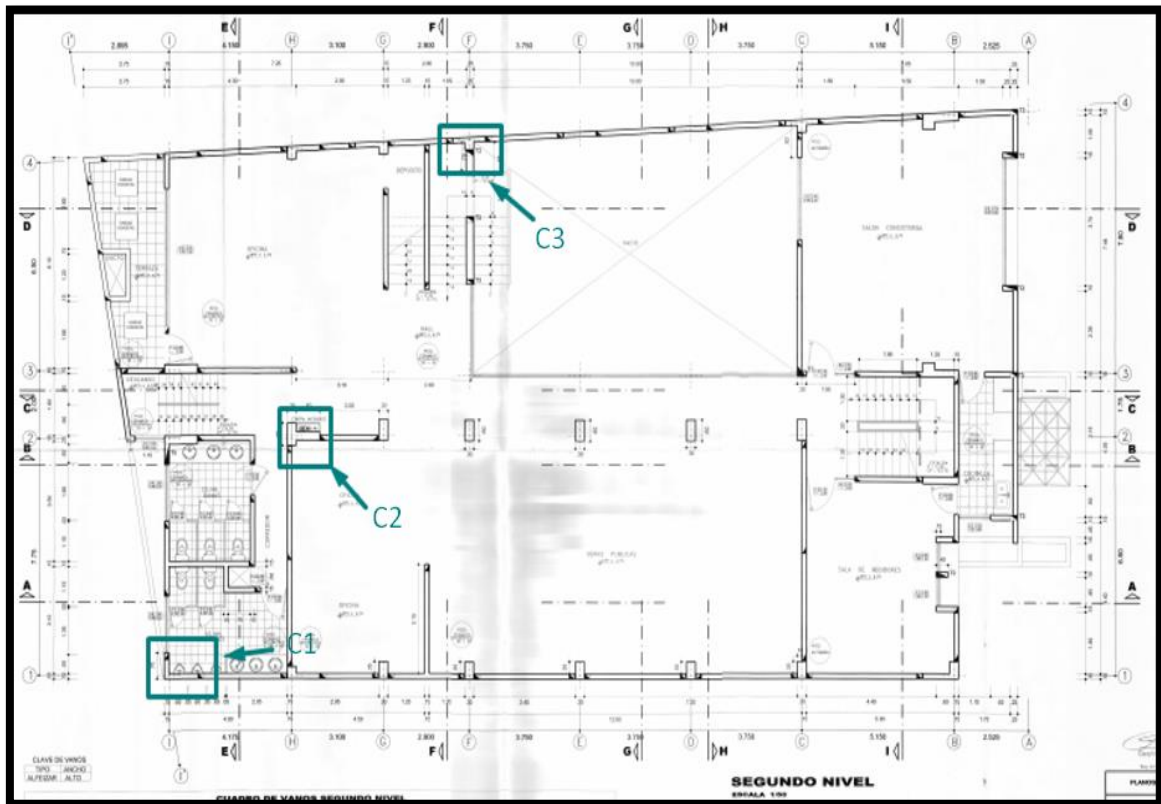


Figura 48: Columnas seleccionadas del 2° nivel. Fuente: Propia

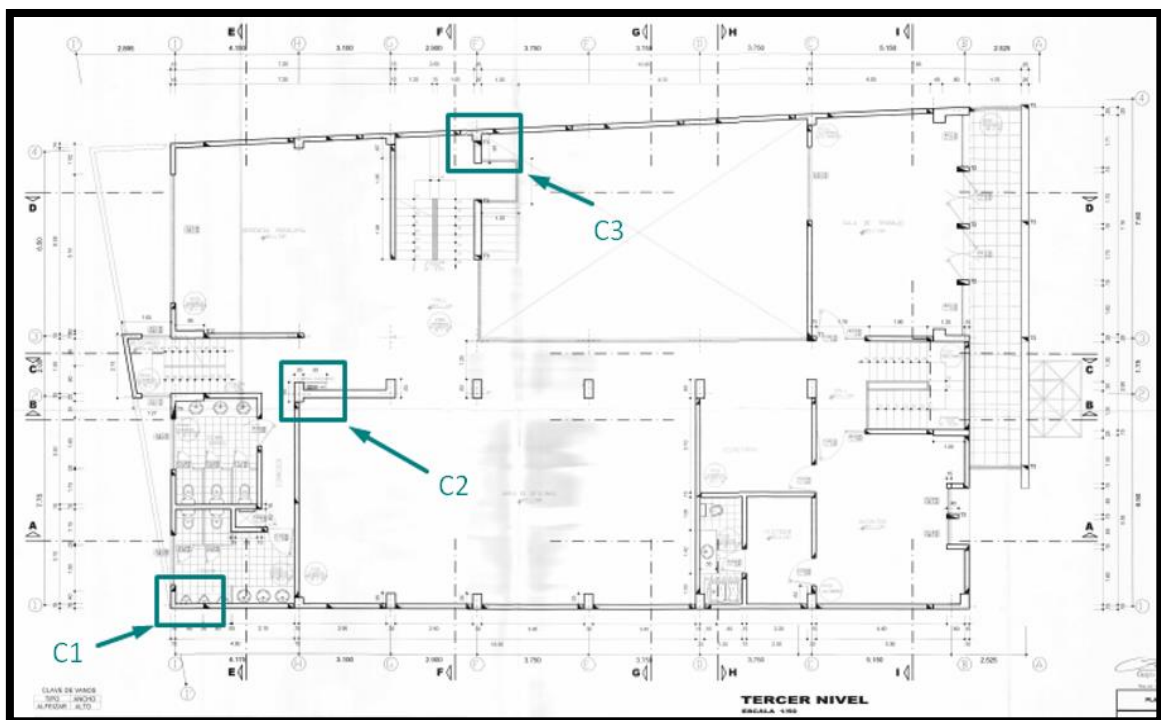


Figura 49. Columnas seleccionadas del 3° nivel. Fuente: Propia

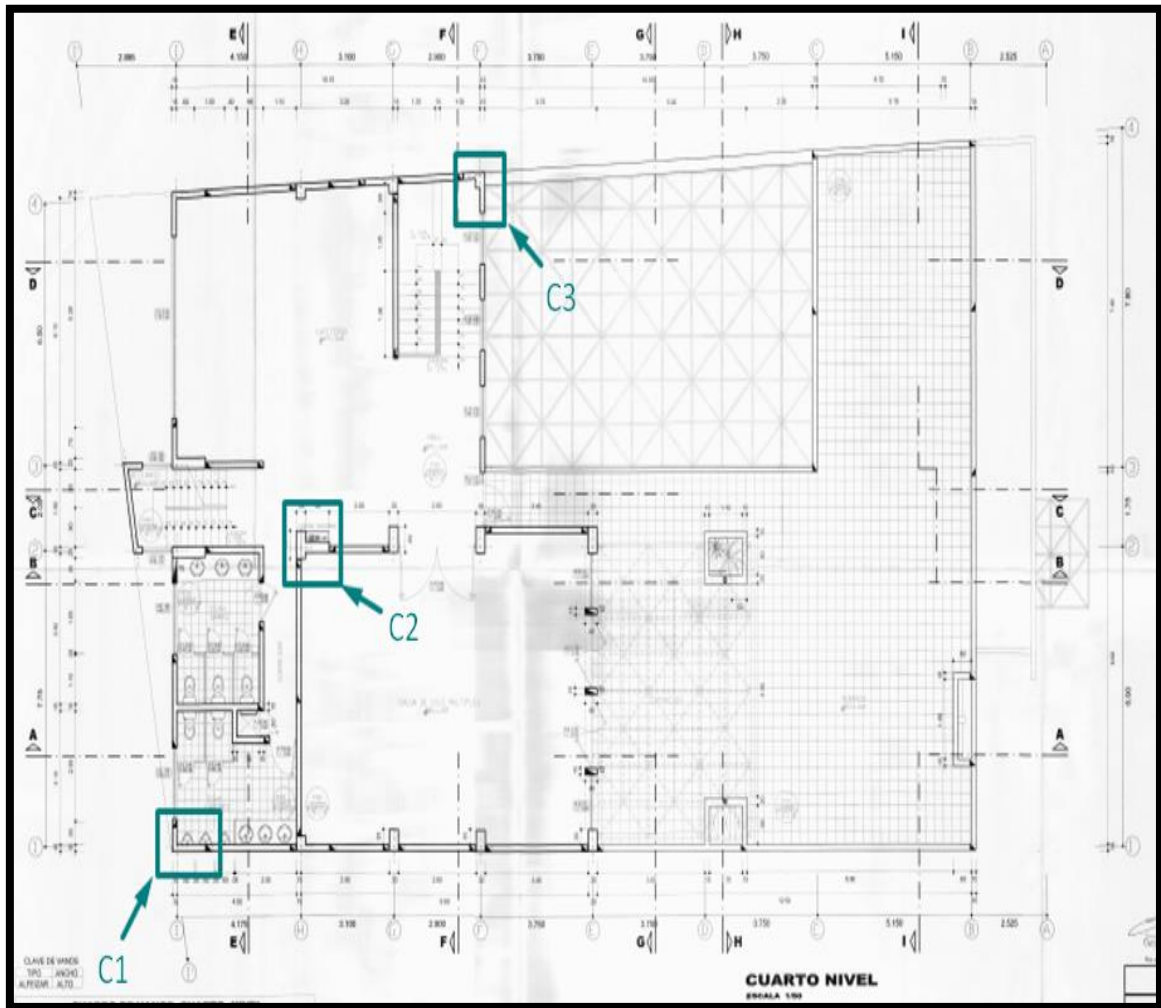


Figura 50. Columnas seleccionadas del 4° nivel. Fuente: Propia.

Para la realización del ensayo se preparó una zona lisa en cada columna seleccionada en el plano con las dimensiones de 15cmx15cm tal como indica la normativa NTP 339.181 Esclerometría para su aplicación.

En la zona lisa se realizaron 10 lecturas en el esclerómetro obteniendo los siguientes resultados expresados en las tablas mostradas a continuación:

Tabla 6

Ensayo esclerométrico para la columna C1 – Piso 01

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 1 Piso 01	1	1	29.1	30.25	-1.15	26	265.13	0.72	190.89
	2	1	31		0.75				
	3	1	27		-3.25				
	4	1	32		1.75				
	5	1	29.5		-0.75				
	6	1	28.9		-1.35				
	7	1	35		4.75				
	8	1	29		-1.25				
	9	1	31.5		1.25				
	10	1	34.1		3.85				

Fuente: Propia

Se tomaron 10 lecturas con un solo disparo cada uno en el esclerómetro, de las cuáles de acuerdo al NTP 339.181 al tener como muestra un número par (10 tomas) se tendrá que obtener la media aritmética de las dos lecturas centrales, por lo tanto, lo primero que se deberá hacer es ordenar las lecturas de forma ascendente y ubicar los dos valores centrales (ver Tabla 7). Para este caso, los dos valores centrales son: 29.5 y 31, con lo cual su media aritmética $(n1+n2/2)$ es 30.25.

$$Promedio = \frac{n1 + n2}{2}$$

$$Promedio = \frac{29.5 + 31}{2}$$

$$Promedio = 30.25$$

Tabla 7

Orden ascendente de las lecturas del esclerómetro.

Orden ascendente
27
28.9
29
29.1
29.5
31
31.4
32
34.1
35

Fuente: Propia

Luego, se deberá verificar que los valores obtenidos de las lecturas en los esclerómetros no deben tener una diferencia de ± 6 unidades con respecto al valor promedio. De tener lecturas que no cumplan esta condición se deberá descartar la toma de datos, para ello, se agregó una columna donde se muestra la diferencia que existe con respecto a la mediana de los datos.

Tabla 8

Verificación de variación de resultados de las lecturas del esclerómetro

Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana
29.1	30.25	-1.15
31		0.75
27		-3.25
32		1.75
29.5		-0.75
28.9		-1.35
35		4.75
29		-1.25
31.5		1.25
34.1		3.85

Fuente: Propia

Con el valor promedio calculado se dirigirá a un ábaco de resistencia con esclerómetro (HT225) para obtener el valor de la resistencia a compresión expresado en N/mm^2 . Haciendo uso del ábaco se obtendrá una resistencia de 26 N/mm^2 o 265.13 kg/cm^2 .

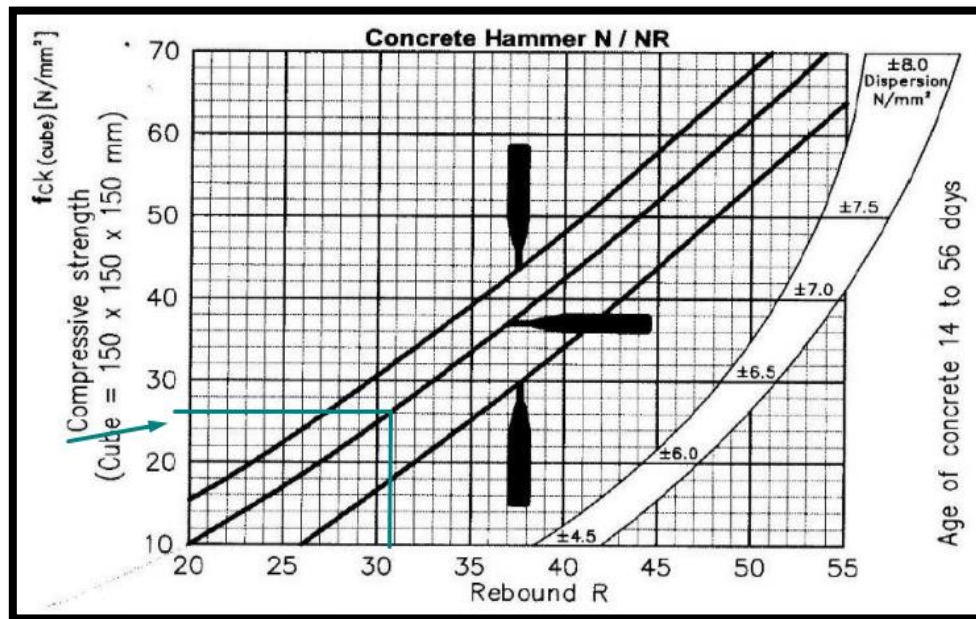


Figura 51. Ábaco de resistencia (HT225). Fuente: Manual de usuario del equipo esclerómetro (HT225).

Al valor de resistencia a la compresión que se obtiene del ábaco se le deberá multiplicar por un factor de corrección debido a la carbonatación superficial en función de la profundidad que presente la pieza a ensayar.

Profundidad de carbonatación (cm)	Factor de corrección
0,5	0,97
1	0,94
1,5	0,90
2	0,87
2,5	0,84
3	0,80
3,5	0,78
4	0,74
4,5	0,72
5	0,68
5,5	0,65
6 o mayor	0,62

Figura 52. Profundidad de carbonatación. Fuente: PRC.

Realizando la corrección respectiva se obtiene la resistencia a la compresión:

$$f'c \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{real} = f'c \text{ del ábaco } \frac{kg}{cm^2} * \text{Factor de corrección}$$

$$f'c \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{real} = 265.13 \frac{kg}{cm^2} * 0.72$$

$$f'c \left(\frac{kg}{cm^2} \right)_{real} = 190.89 \frac{kg}{cm^2}$$

De la misma forma se calculó los resultados de los siguientes ensayos esclerométricos en las demás columnas por cada nivel obteniendo las siguientes tablas:

Tabla 9

Ensayo esclerométrico para la columna C1 – Piso 02

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/m ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 1 Piso 02	1	1	29.1	30.25	-1.15	26	265.13	0.72	190.89
	2	1	31		0.75				
	3	1	27		-3.25				
	4	1	32		1.75				
	5	1	29.5		-0.75				
	6	1	28.9		-1.35				
	7	1	35		4.75				
	8	1	29		-1.25				
	9	1	31.5		1.25				
	10	1	34.1		3.85				

Fuente: Propia

Tabla 10

Ensayo esclerométrico para la columna C1 – Piso 03

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/m m)	f'c kg/cm 2	Factor de corrección	f'c kg/cm2 = Real
Col 1 Piso 03	1	1	29.1	30.25	-1.15	26	265.13	0.72	190.89
	2	1	31		0.75				
	3	1	27		-3.25				
	4	1	32		1.75				
	5	1	29.5		-0.75				
	6	1	28.9		-1.35				
	7	1	35		4.75				
	8	1	29		-1.25				
	9	1	31.5		1.25				
	10	1	34.1		3.85				

Fuente: Propia

Tabla 11

Ensayo esclerométrico para la columna C1 – Piso 04

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/m m)	f'c kg/cm 2	Factor de corrección	f'c kg/cm2 = Real
Col 1 Piso 04	1	1	29.1	30.25	-1.15	26	265.13	0.72	190.89
	2	1	31		0.75				
	3	1	27		-3.25				
	4	1	32		1.75				
	5	1	29.5		-0.75				
	6	1	28.9		-1.35				
	7	1	35		4.75				
	8	1	29		-1.25				
	9	1	31.5		1.25				
	10	1	34.1		3.85				

Fuente: Propia

Tabla 12

Ensayo esclerométrico para la columna C2 – Piso 01

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 2 Piso 01	1	1	27.2	32.2	-3.05	29	295.7 2	0.72	212.9 2
	2	1	32.8		2.55				
	3	1	30		-0.25				
	4	1	28.5		-1.75				
	5	1	32		1.75				
	6	1	34.1		3.85				
	7	1	35		4.75				
	8	1	33		2.75				
	9	1	32.4		2.15				
	10	1	27.5		-2.75				

Fuente: Propia

Tabla 13

Ensayo esclerométrico para la columna C2 – Piso 02

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 2 Piso 02	1	1	27.2	32.2	-3.05	29	295.7 2	0.72	212.9 2
	2	1	32.8		2.55				
	3	1	30		-0.25				
	4	1	28.5		-1.75				
	5	1	32		1.75				
	6	1	34.1		3.85				
	7	1	35		4.75				
	8	1	33		2.75				
	9	1	32.4		2.15				
	10	1	27.5		-2.75				

Fuente: Propia

Tabla 14

Ensayo esclerométrico para la columna C2 – Piso 03

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 2 Piso 03	1	1	27.2	32.2	-3.05	29	295.7 2	0.72	212.9 2
	2	1	32.8		2.55				
	3	1	30		-0.25				
	4	1	28.5		-1.75				
	5	1	32		1.75				
	6	1	34.1		3.85				
	7	1	35		4.75				
	8	1	33		2.75				
	9	1	32.4		2.15				
	10	1	27.5		-2.75				

Fuente: Propia

Tabla 15

Ensayo esclerométrico para la columna C2 – Piso 04

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c kg/cm ² = Real
Col 2 Piso 04	1	1	27.2	32.2	-3.05	29	295.7 2	0.72	212.9 2
	2	1	32.8		2.55				
	3	1	30		-0.25				
	4	1	28.5		-1.75				
	5	1	32		1.75				
	6	1	34.1		3.85				
	7	1	35		4.75				
	8	1	33		2.75				
	9	1	32.4		2.15				
	10	1	27.5		-2.75				

Fuente: Propia

Tabla 16

Ensayo esclerométrico para la columna C3 – Piso 01

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c (kg/cm ²) = Real
Col 3 Piso 01	1	1	34	29.25	4.75	24	244.73	0.72	176.21
	2	1	26.4		-2.85				
	3	1	30.1		0.85				
	4	1	28.5		-0.75				
	5	1	31		1.75				
	6	1	31.8		2.55				
	7	1	26		-3.25				
	8	1	33		3.75				
	9	1	25.4		-3.85				
	10	1	30		0.75				

Fuente: Propia

Tabla 17

Ensayo esclerométrico para la columna C3 – Piso 02

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c (kg/cm ²) = Real
Col 3 Piso 02	1	1	34	29.25	4.75	24	244.73	0.72	176.21
	2	1	26.4		-2.85				
	3	1	30.1		0.85				
	4	1	28.5		-0.75				
	5	1	31		1.75				
	6	1	31.8		2.55				
	7	1	26		-3.25				
	8	1	33		3.75				
	9	1	25.4		-3.85				
	10	1	30		0.75				

Fuente: Propia

Tabla 18

Ensayo esclerométrico para la columna C3 – Piso 03

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c (kg/cm ²) = Real
Col 3 Piso 03	1	1	34	29.25	4.75	24	244.73	0.72	176.21
	2	1	26.4		-2.85				
	3	1	30.1		0.85				
	4	1	28.5		-0.75				
	5	1	31		1.75				
	6	1	31.8		2.55				
	7	1	26		-3.25				
	8	1	33		3.75				
	9	1	25.4		-3.85				
	10	1	30		0.75				

Fuente: Propia

Tabla 19

Ensayo esclerométrico para la columna C3 – Piso 04

Elemento	N° Toma	N° de disparos	Índice de rebote	Promedio	Valor que difiere de la mediana	f'c N/mm ²	f'c kg/cm ²	Factor de corrección	f'c (kg/cm ²) = Real
Col 3 Piso 04	1	1	34	29.25	4.75	24	244.73	0.72	176.21
	2	1	26.4		-2.85				
	3	1	30.1		0.85				
	4	1	28.5		-0.75				
	5	1	31		1.75				
	6	1	31.8		2.55				
	7	1	26		-3.25				
	8	1	33		3.75				
	9	1	25.4		-3.85				
	10	1	30		0.75				

Fuente: Propia

Por último, se mostrará un cuadro resumen con los valores obtenidos del ensayo de esclerometría para cada una de las columnas en los 4 niveles respectivos.

Tabla 20

Resistencia de cada columna debido al ensayo esclerométrico

PISO	C-1	C-2	C-3
1°	190.89	212.92	176.21
2°	190.89	212.92	176.21
3°	190.89	212.92	176.21
4°	190.89	212.92	176.21

Fuente: Propia

A partir de los siguientes datos, se procederá a calcular el promedio entre dichas resistencias para que sea el que se considere como resistencia a la compresión actual de la edificación de estudio. Se obtuvo un valor promedio de: $f'c = 193.34 \text{ kg/cm}^2$.

➤ **Modelo del palacio municipal en ETABS:**

Para la modelación del palacio municipal en el programa ETABS se decidió no modelar el sótano debido a que únicamente se realizará análisis estáticos y dinámicos, mas no, un diseño de los elementos, puesto que, la edificación de estudio es una estructura existente.

El criterio mencionado está abalado por diferentes ingenieros proyectistas de diseño estructural especialmente por el ingeniero Vlavec director de CINGCIVIL que menciona en una de sus publicaciones que existen dos formas válidas de analizar sísmicamente una edificación que presenta sótanos y son:

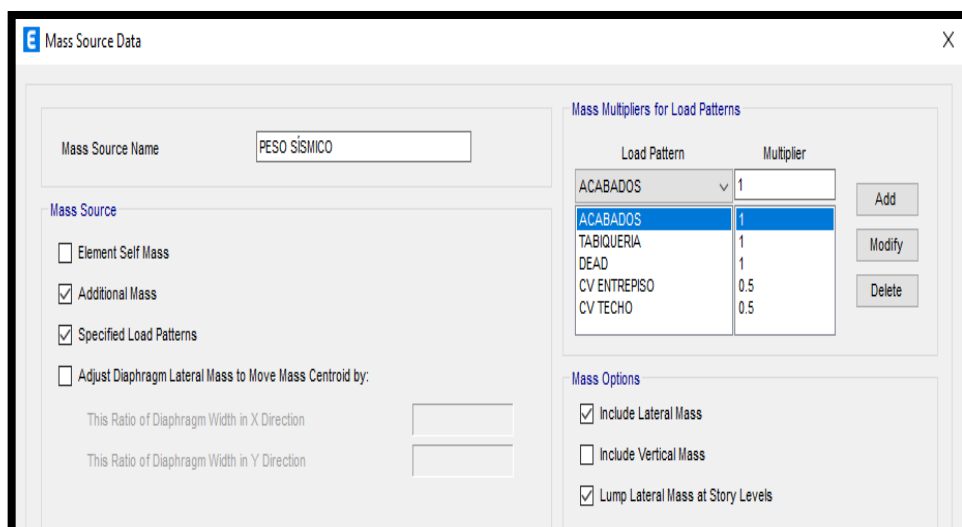
- Modelar la estructura como si no tuviera sótanos considerando únicamente en el análisis los elementos estructurales que se encuentren en la parte superior del terreno (superestructura). Esto se aplica debido a que los periodos de

vibración de una estructura sólo se presentan en estructuras por encima del nivel del terreno.

- Modelar la estructura completa junto con los sótanos, pero teniendo en consideración que ni la masa ni el peso deben convertirse en energía. Para ello, dentro de las propiedades de los elementos estructurales en los softwares de diseño se les quitará la masa adicionando también propiedades del terreno mediante resorte laterales (resortes en compresión).

Cabe mencionar, que las fuerzas sísmicas cuando se analizan actúan en la superestructura, es decir, por encima del nivel del terreno. Las fuerzas sísmicas que actúan en la subestructura no tendrán el mismo comportamiento que la superestructura debido a que existen otros factores como fuerzas hidrodinámicas, presión del suelo, fuerzas de empuje, entre otras.

Una vez definido las consideraciones para el modelamiento del palacio municipal se procederá a definir las consideraciones sísmicas de acuerdo a la norma E.030, entre ellas, está el peso sísmico junto con sus factores de multiplicación por cada caso de carga creado.



Mass Source Name: PESO SÍSMICO

Mass Source:

- Element Self Mass
- Additional Mass
- Specified Load Patterns
- Adjust Diaphragm Lateral Mass to Move Mass Centroid by:
 - This Ratio of Diaphragm Width in X Direction:
 - This Ratio of Diaphragm Width in Y Direction:

Mass Multipliers for Load Patterns:

Load Pattern	Multiplier
ACABADOS	1
ACABADOS	1
TABIQUERIA	1
DEAD	1
CV ENTREPISO	0.5
CV TECHO	0.5

Mass Options:

- Include Lateral Mass
- Include Vertical Mass
- Lump Lateral Mass at Story Levels

Figura 53: Definición de masas. Fuente: Propia

También se definirá la función del espectro respuesta con los siguientes parámetros:

- $Z = 0.35$
- $U = 1.5$
- $S = 1.15$
- $C = 2.5$
- $R_0 = 8$

Además, se procederá a realizar las verificaciones de irregularidades al palacio municipal, obteniendo los siguientes resultados expresados en tablas.

- **Consideración de agrietamiento para las secciones de concreto armado**

Como el proyecto es una edificación existente ejecutada hace 15 años y al haber sido sometido ya por constantes movimientos sísmicos a lo largo de su vida útil, es recomendable considerar un porcentaje de agrietamiento para los elementos de concreto armado en su modelado. Lo mencionado anteriormente se encuentra en el capítulo 6 en la tabla 6-5 Effective Stiffness Values de la FEMA 356.

Chapter 6: Concrete			
Table 6-5 Effective Stiffness Values			
Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams—nonprestressed	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	—
Beams—prestressed	E_cI_g	$0.4E_cA_w$	—
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5 A_g f_c$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3 A_g f_c$ or with tension	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_sA_s
Walls—uncracked (on inspection)	$0.8E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Walls—cracked	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Flat Slabs—nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—
Flat Slabs—prestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_g$	—

Note: It shall be permitted to take I_g for T-beams as twice the value of I_g of the web alone. Otherwise, I_g shall be based on the effective width as defined in Section 6.4.1.3. For columns with axial compression falling between the limits provided, linear interpolation shall be permitted. Alternatively, the more conservative effective stiffnesses shall be used.

Figura 54. Rigidez efectiva. Fuente: FEMA 356, 2000.

Asimismo, nuestra normativa en la E.060 Concreto armado, también considera factores de agrietamiento para diferentes elementos estructurales en su artículo 10.11.

(a)	Módulo de elasticidad	E_c de 8.5.1
(b)	Momentos de inercia, I	
	Vigas	$0,35 I_g$
	Columnas	$0,70 I_g$
	Muros no agrietados	$0,70 I_g$
	Muros agrietados	$0,35 I_g$
	Losas planas sin vigas.....	$0,25 I_g$
(c)	Área	A_g

Figura 55. Factores de agrietamiento de secciones. Fuente: E.060, 2009

Finalmente, se optó por considerar los factores que se encuentran en la normativa nacional para aplicarlos en las vigas y columnas del palacio municipal.

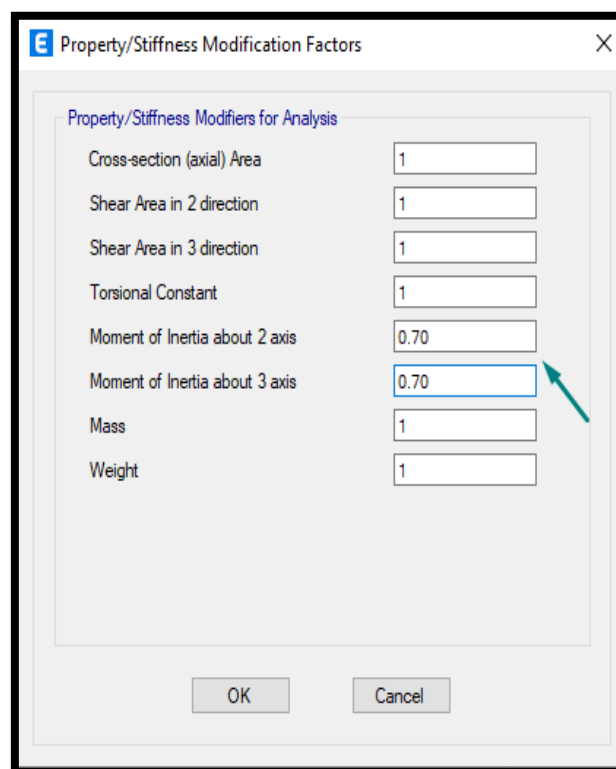


Figura 56. Agrietamiento para las columnas. Fuente: Propia

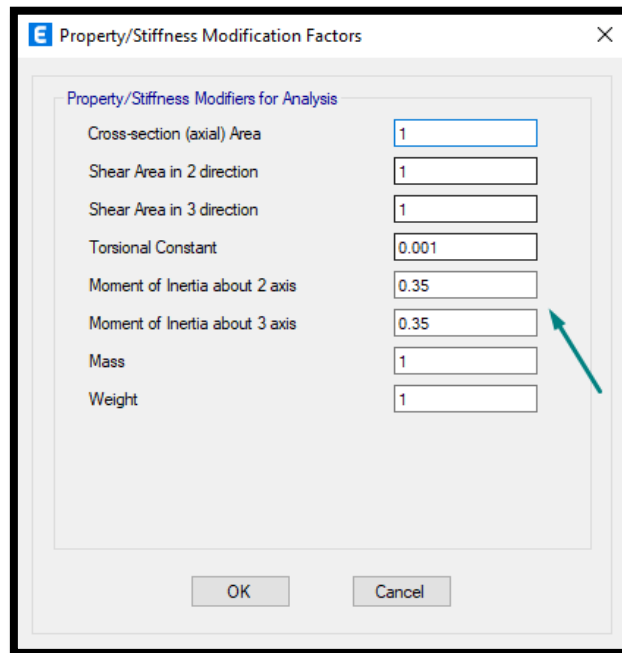


Figura 57. Agrietamiento para vigas. Fuente: Propia

- **Irregularidad en altura**

- A. Irregularidad de rigidez- piso blando**

Se verifica que la estructura no presenta irregularidad de piso blando al no tener un piso cuya rigidez sea menor que el 70% de la rigidez del entrepiso adyacente.

Tabla 21

Verificación de rigidez debido al sismo en la dirección X

Story	Output Case	Step Number	Shear X	Stiff X	Condición \leq 0.70
			kgf	kgf/m	
Story4	SX	1	31675.83	10848947.80	-
Story3	SX	1	91296.23	29267985.72	3.00
Story2	SX	1	137237.02	48285862.33	1.52
Story1	SX	1	161656.2	112417223.18	1.18
Story4	SX	2	31675.83	10782703.41	-
Story3	SX	2	91296.23	29123775.49	3.00
Story2	SX	2	137237.02	48094135.90	1.52
Story1	SX	2	161656.2	112085171.23	1.18
Story4	SX	3	31675.83	10916011.16	-
Story3	SX	3	91296.23	29413631.21	3.00
Story2	SX	3	137237.02	48479123.50	1.52
Story1	SX	3	161656.2	112751248.38	1.18

Fuente: Propia

Tabla 22

Verificación de rigidez debido al sismo en la dirección Y

Story	Output Case	Step Number	Shear X	Stiff Y	Condición ≤ 0.70
			kgf	kgf/m	
Story4	SY	1	31675.83	4943504.95	-
Story3	SY	1	91296.23	11759722.49	2.05
Story2	SY	1	137237.02	17294974.94	0.93
Story1	SY	1	161656.2	36380979.5	2.31
Story4	SY	2	31675.83	4989798.2	-
Story3	SY	2	91296.23	11706201.11	2.01
Story2	SY	2	137237.02	17171755.96	0.94
Story1	SY	2	161656.2	36093854.15	2.28
Story4	SY	3	31675.83	4898062.79	-
Story3	SY	3	91296.23	11813735.53	2.10
Story2	SY	3	137237.02	17419975.07	0.92
Story1	SY	3	161656.2	36672709.62	2.34

Fuente: Propia

B. Irregularidad de masa o peso

Tabla 23

Verificación de masas por nivel

Story	Diaphragm	Mass X	Mass Y	XCM	YCM	Condición > 1.50	Condición > 1.50
		kgf-s ² /m	kgf-s ² /m	m	m		
Story1	D1	10738.63	10738.63	16.8704	7.0011	-	-
Story2	D2	10267.97	10267.97	17.1747	6.811	0.96	1.05
Story3	D3	8641.98	8641.98	14.9899	6.4688	0.84	1.19
Story4	D4	4400.7	4400.7	8.9237	6.4674	0.51	1.96

Fuente: Propia

La verifica que la estructura presenta irregularidad de masa o peso al tener un piso mayor que 1.5 veces el otro piso adyacente.

C. Irregularidad geométrica vertical

Se verifica que la estructura no presenta irregularidad por geometría vertical debido a que la longitud de la edificación no varía en más del 30% del piso adyacente.

Tabla 24

Verificación de irregularidad por geometría vertical

Story	Longitud (m)	Condición (>1.30)	
Piso 04	13.9	-	-
Piso 03	26.55	1.095292	0.9129986
Piso 02	29.08	1.095942	0.9124569
Piso 01	31.87	-	-

Fuente: Propia

- Irregularidad en planta

A. Irregularidad por torsión

Se verifica que la estructura no presenta irregularidad por torsión debido a que el desplazamiento relativo máximo de entrepiso no es mayor que 1.3 veces el desplazamiento relativo promedio del entrepiso.

Tabla 25

Verificación de desplazamientos relativos máximos y el desplazamiento relativo promedio debido al sismo X.

Story	Output Case	Item	Max Drift	Avg Drift	Condición >1.3
Story4	DRIFT X	Diaph D4 X	0.006438	0.006302	1.022
Story3	DRIFT X	Diaph D3 X	0.007141	0.006733	1.061
Story2	DRIFT X	Diaph D2 X	0.006596	0.006135	1.075
Story1	DRIFT X	Diaph D1 X	0.003391	0.003104	1.092

Fuente: Propia

Tabla 26

Verificación de desplazamientos relativos máximos y el desplazamiento relativo promedio debido al sismo Y.

Story	Output Case	Item	Max Drift	Avg Drift	Condición >1.5
Story4	DRIFT Y	Diaph D4 Y	0.01425	0.013774	1.035
Story3	DRIFT Y	Diaph D3 Y	0.017233	0.016757	1.028
Story2	DRIFT Y	Diaph D2 Y	0.018622	0.017207	1.082
Story1	DRIFT Y	Diaph D1 Y	0.0113	0.009591	1.178

Fuente: Propia

A partir de la información mostrada anteriormente, se colocará los valores obtenidos en el programa Etabs para definir los casos de patrones de carga sísmica estática.

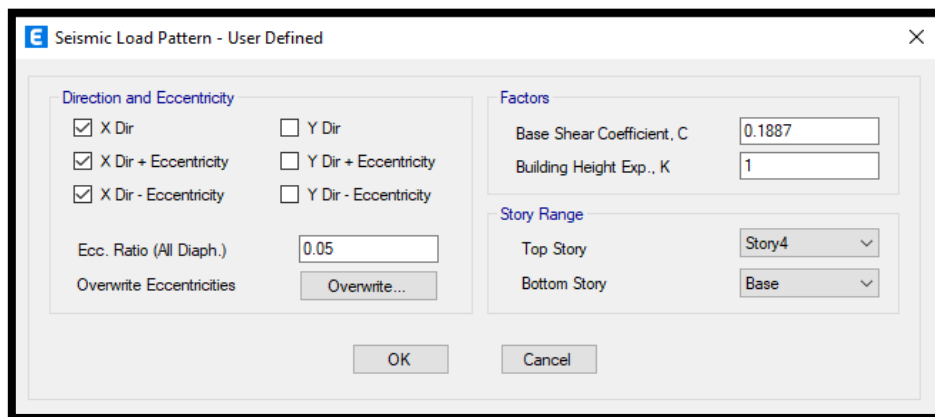


Figura 58. Caso sísmico estático para la dirección X. Fuente: Propia.

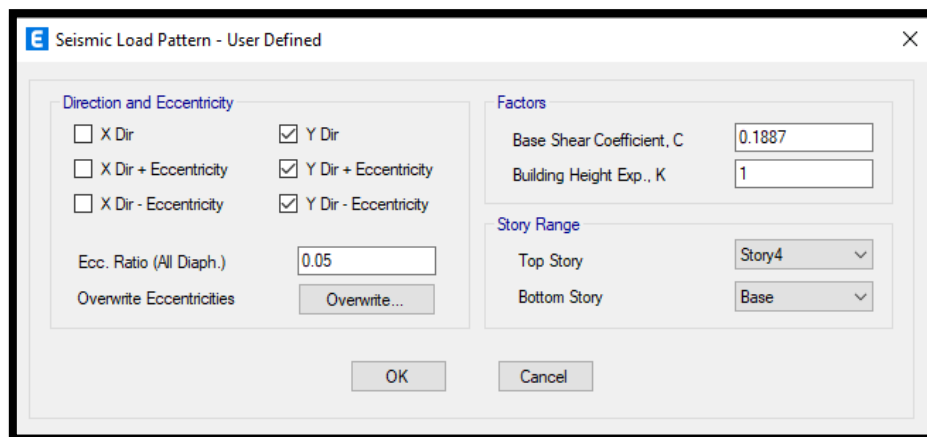


Figura 59. Caso sísmico estático para la dirección Y. Fuente: Propia

También se definirán las funciones de espectro respuesta.

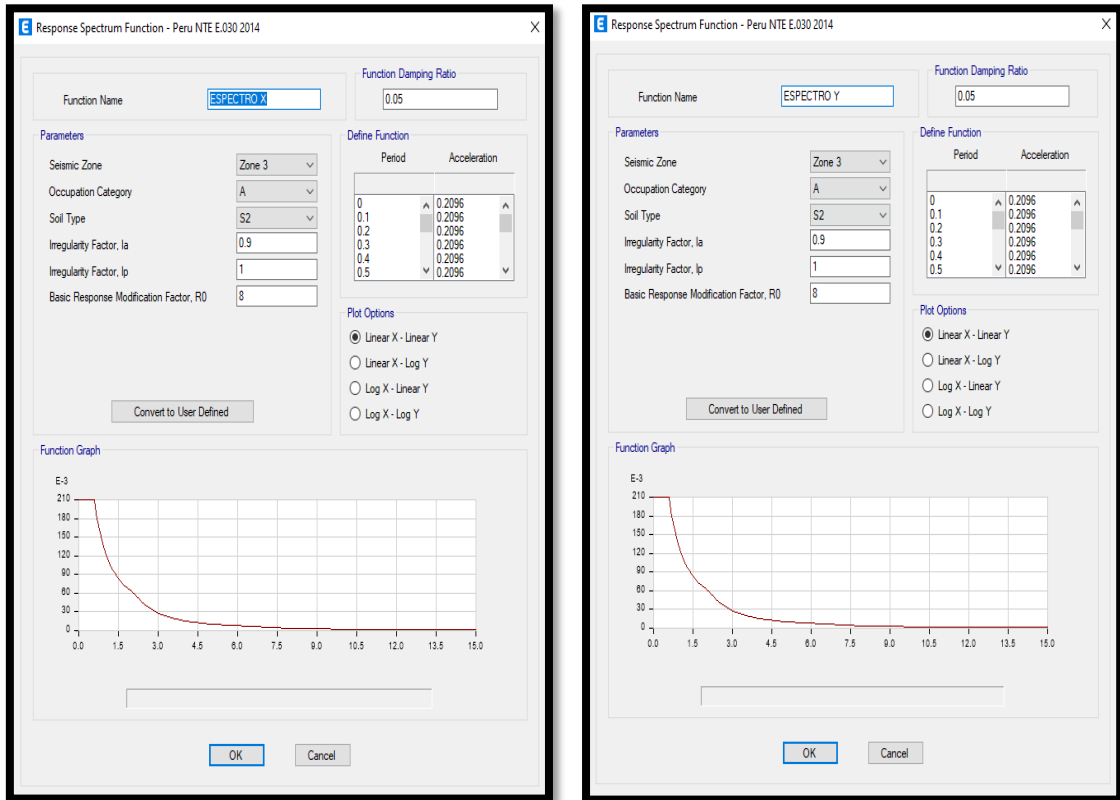


Figura 60: Definición de las funciones de espectros sísmicos en ETABS. Fuente: Propia

También se definirá el número de modos para la estructura.

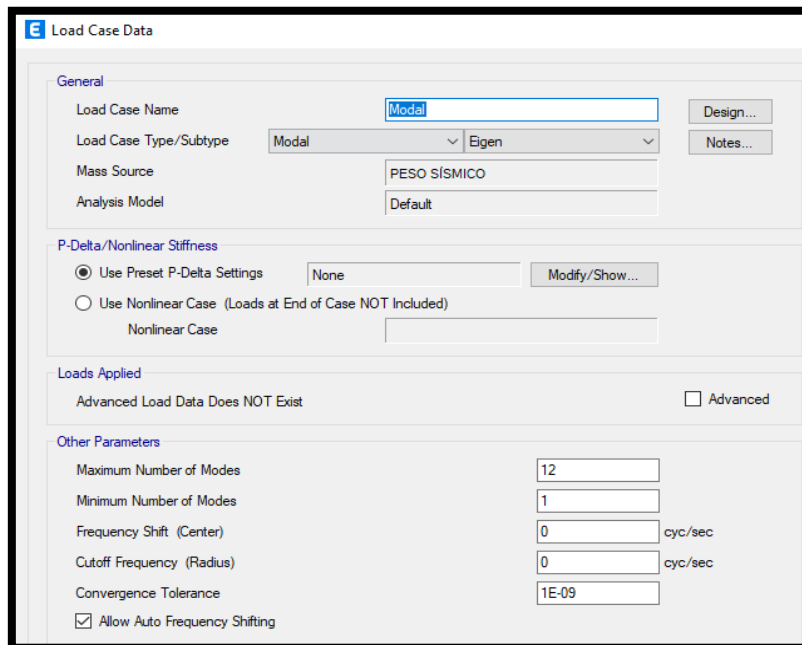


Figura 61. Definición del caso modal. Fuente: Propia.

Se muestra la modelación de la edificación en ETABS junto con sus vistas.

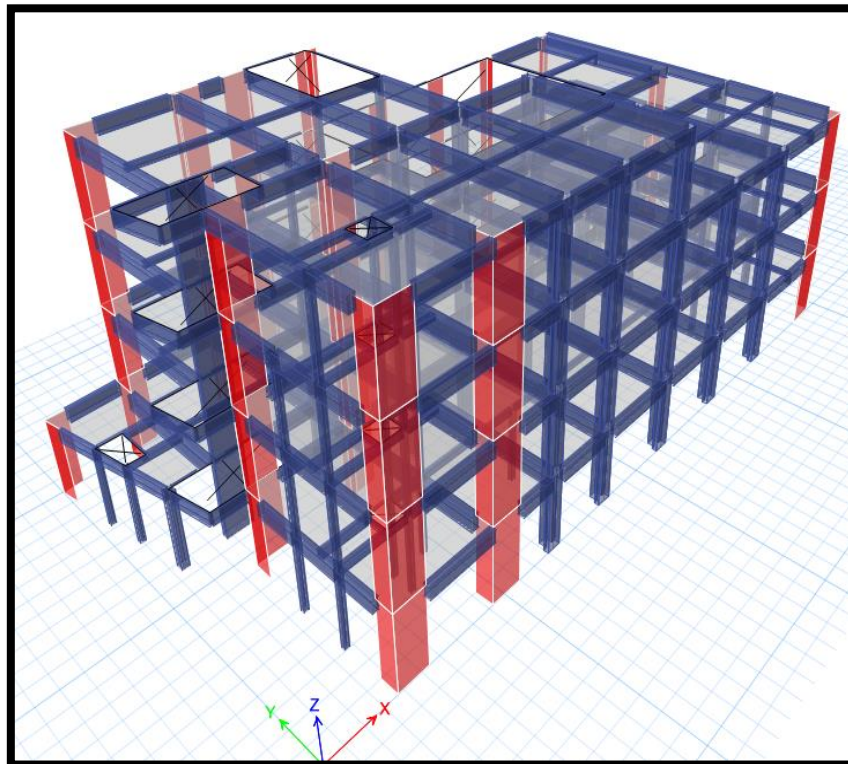


Figura 62: Vista tridimensional de la edificación de comercio. Fuente: Propia

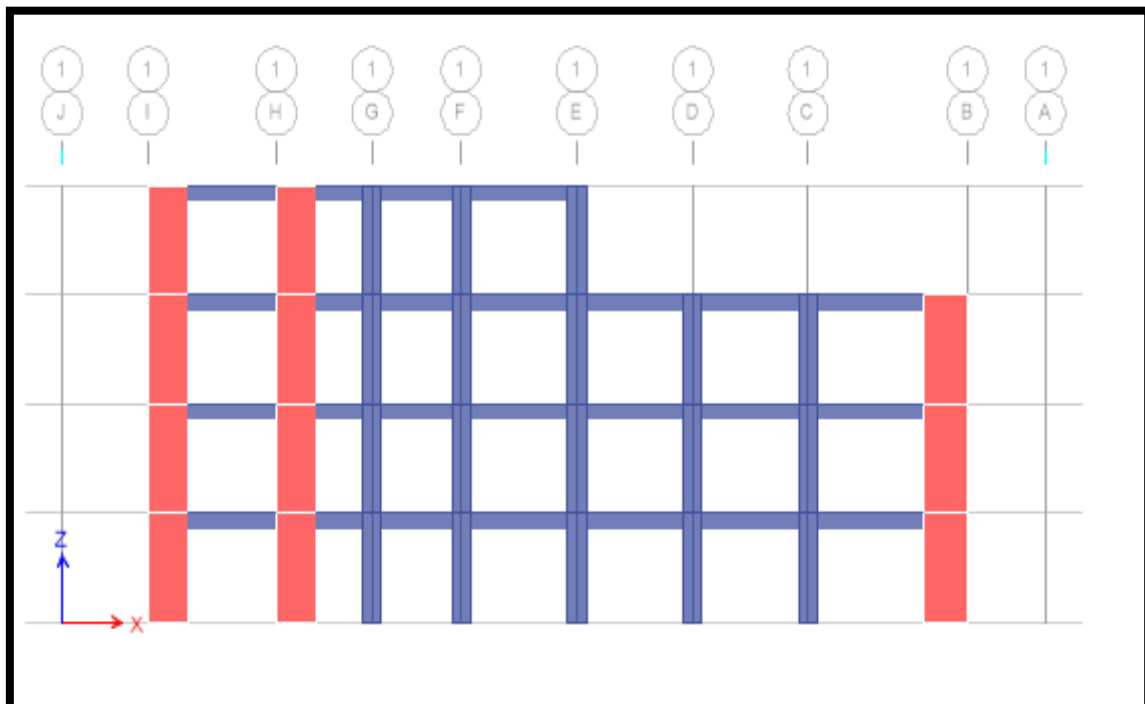


Figura 63: Vista en elevación del palacio municipal. Fuente: Propia

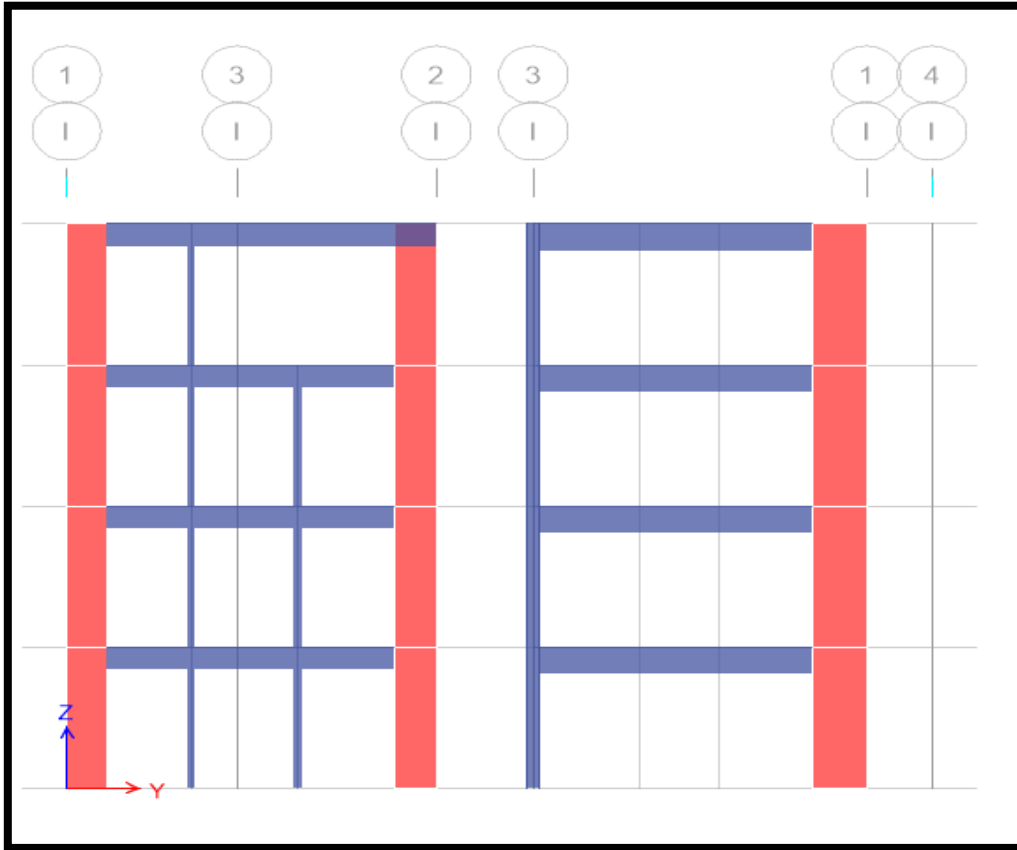


Figura 64. Vista en elevación del palacio municipal. Fuente: Propia (Programa ETABS)

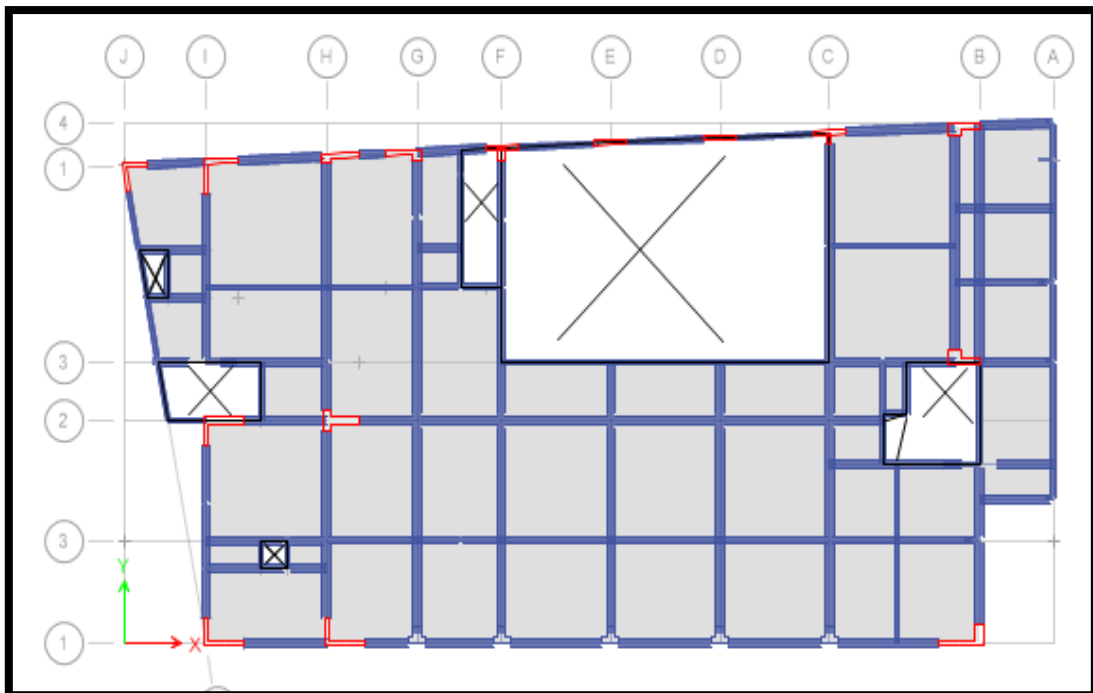


Figura 65: Vista en planta del palacio municipal. Fuente: Propia (Programa ETABS)

➤ Análisis sísmico modal espectral

Cuando se realiza el análisis sísmico espectral, se verifica los modos de vibración, ya que, son indicadores de respuesta de las formas modales de la estructura. Se verifica que el periodo fundamental es de 0.538 segundos.

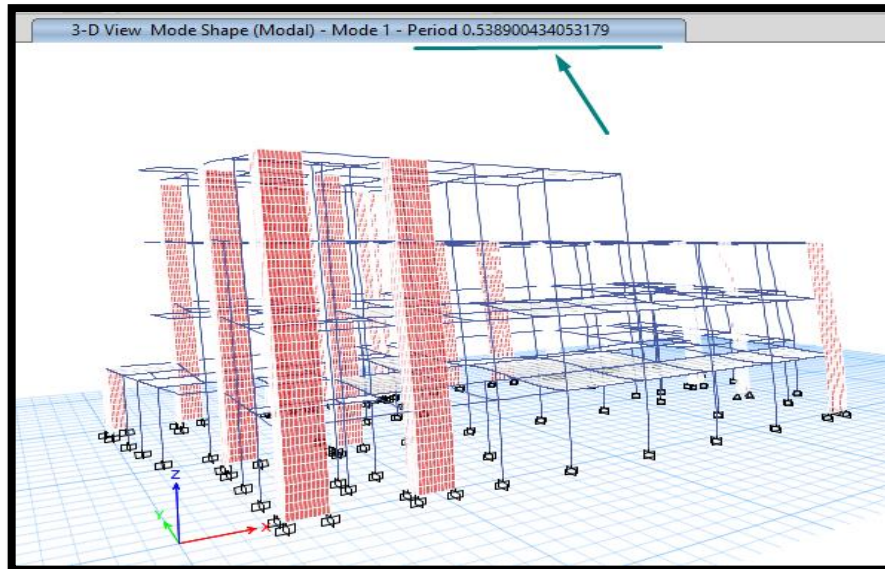


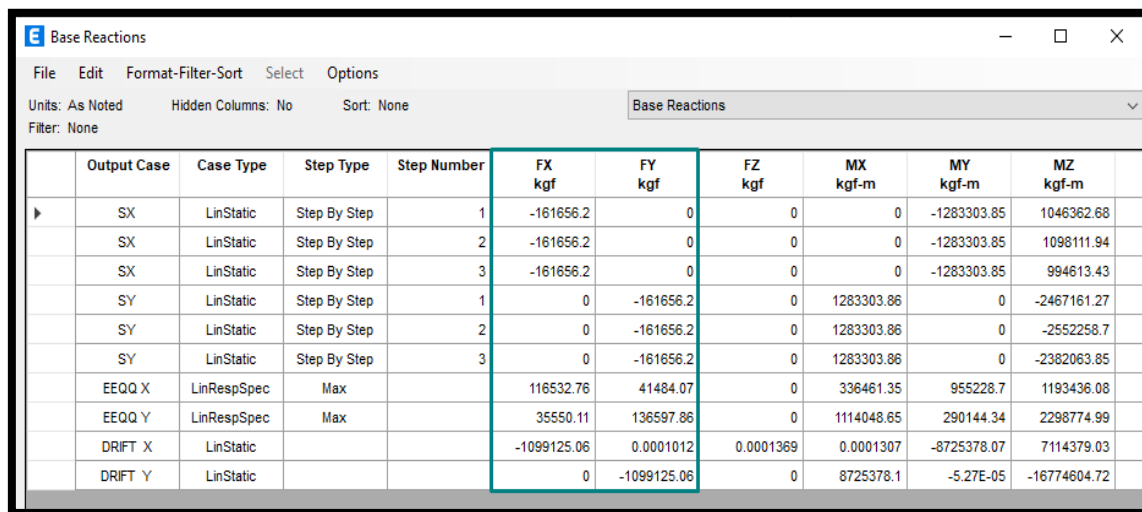
Figura 66: Primer modo de vibración. Fuente: Propia (Programa ETABS)

Además, la norma establece que la estructura debe cumplir como mínimo el 90% de participación de masas de los modos de vibración de la estructura.

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.538	0.0002	0.7434	0	0.0002	0.7434	0	0.2739
Modal	2	0.343	0.3993	0.0025	0	0.3995	0.7458	0	0.0269
Modal	3	0.313	0.3027	0.0017	0	0.7022	0.7476	0	0.0449
Modal	4	0.157	2.03E-06	0.1452	0	0.7022	0.8927	0	0.3833
Modal	5	0.097	0.0062	0.0208	0	0.7084	0.9135	0	0.0491
Modal	6	0.09	0.1673	0.0036	0	0.8757	0.9171	0	0.008
Modal	7	0.08	0.0087	0.0297	0	0.8845	0.9468	0	0.0584
Modal	8	0.06	4.468E-06	0.0257	0	0.8845	0.9725	0	0.0695
Modal	9	0.046	0.0634	0.0004	0	0.9479	0.9729	0	0.0008
Modal	10	0.041	0.0064	0.0055	0	0.9542	0.9785	0	0.0118
Modal	11	0.035	6.979E-06	0.0001	0	0.9542	0.9786	0	0.0002
Modal	12	0.031	0.0001	1.911E-05	0	0.9544	0.9786	0	0.0001

Figura 67: Tablas de porcentaje de participación de masas. Fuente: Propia (Programa ETABS)

De acuerdo a la norma peruana E.030 los dos primeros modos de vibración deben ser traslacionales, mientras que el tercer modo ser rotacional, de no ser así estructura puede que tenga un comportamiento inadecuado. La dirección del primer modo define siempre la dirección donde la estructura es menos rígida y más inestable ante las solicitaciones sísmicas, por lo tanto, la estructura en la dirección Y se deberá verificar sus derivas.



Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m	MY kgf-m	MZ kgf-m
SX	LinStatic	Step By Step	1	-161656.2	0	0	0	-1283303.85	1046362.68
SX	LinStatic	Step By Step	2	-161656.2	0	0	0	-1283303.85	1098111.94
SX	LinStatic	Step By Step	3	-161656.2	0	0	0	-1283303.85	994613.43
SY	LinStatic	Step By Step	1	0	-161656.2	0	1283303.86	0	-2467161.27
SY	LinStatic	Step By Step	2	0	-161656.2	0	1283303.86	0	-2552258.7
SY	LinStatic	Step By Step	3	0	-161656.2	0	1283303.86	0	-2382063.85
EEQQ X	LinRespSpec	Max		116532.76	41484.07	0	336461.35	955228.7	1193436.08
EEQQ Y	LinRespSpec	Max		35550.11	136597.86	0	1114048.65	290144.34	2298774.99
DRIFT X	LinStatic			-1099125.06	0.0001012	0.0001369	0.0001307	-8725378.07	7114379.03
DRIFT Y	LinStatic			0	-1099125.06	0	8725378.1	-5.27E-05	-16774604.72

Figura 68. Fuerzas cortantes basales. Fuente: Propia.

En la tabla 29 se muestra los resultados extraídos del programa ETABS con respecto a las fuerzas cortantes debido al caso sismo estático (SX Est y SY Est) y al caso dinámico (EEQQ X y EEQQ Y) en sus dos direcciones X e Y.

Tabla 27

Comparación de fuerzas cortantes estáticas y dinámicas

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY
			kgf	kgf
SX Est	LinStatic		-161656.2	0.00001
SY Est	LinStatic		0.00001	-161656.2
EEQQ X	LinRespSpec	Max	116532.76	41484.07
EEQQ Y	LinRespSpec	Max	35550.11	136597.86

Fuente: Propia

La norma E.030 establece que para estructuras irregulares la fuerza cortante dinámica debe ser por lo menos el 90% de la fuerza cortante estática, caso contrario se deberá amplificar los casos dinámicos por un factor de escala. En la tabla 30 se muestra esta verificación.

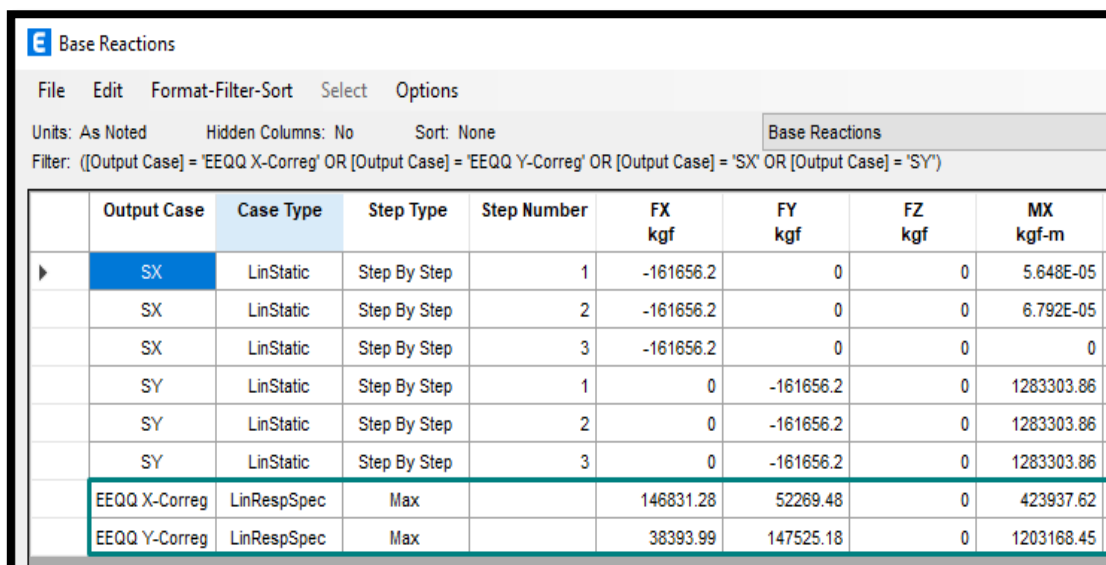
Tabla 28

Cálculo del factor de escala para las fuerzas cortantes

V _x DIN	116532.76	V _y DIN	136597.86
V _x Est	-161656.2	V _y Est	-161656.2
V _x Din/V _x Est	-0.721	V _y Din/V _y Est	-0.845
Cociente min	0.9	Cociente min	0.9
Factor escala	-1.25	Factor escala	-1.07

Fuente: Propia

Con los factores de escala que se obtuvieron para ambas direcciones, se amplificarán los casos dinámicos por dichos valores obteniendo nuevas cortantes estáticas y dinámicas.



	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf	FZ kgf	MX kgf-m
▶	SX	LinStatic	Step By Step	1	-161656.2	0	0	5.648E-05
	SX	LinStatic	Step By Step	2	-161656.2	0	0	6.792E-05
	SX	LinStatic	Step By Step	3	-161656.2	0	0	0
	SY	LinStatic	Step By Step	1	0	-161656.2	0	1283303.86
	SY	LinStatic	Step By Step	2	0	-161656.2	0	1283303.86
	SY	LinStatic	Step By Step	3	0	-161656.2	0	1283303.86
	EEQQ X-Correg	LinRespSpec	Max		146831.28	52269.48	0	423937.62
	EEQQ Y-Correg	LinRespSpec	Max		38393.99	147525.18	0	1203168.45

Figura 69. Nuevas fuerzas cortantes basales. Fuente: Propia

En la tabla 31 se muestran los nuevos valores de las fuerzas cortantes basales corregidos con el factor de escala para cada dirección.

Tabla 29

Nuevas fuerzas cortantes estáticas y dinámicas

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY
			kgf	kgf
SX Est	LinStatic		-161656.2	0
SY Est	LinStatic		0	-161656.2
EEQQ X-Correg	LinRespSpec	Max	146831.28	52269.48
EEQQ Y-Correg	LinRespSpec	Max	38393.99	147525.18

Fuente: Propia

En la tabla 32 se realizó la verificación del porcentaje mínimo obteniendo los resultados que se muestran a continuación.

Tabla 30

Verificación del porcentaje mínimo de fuerza cortante

V _x DIN	146831.28	V _y DIN	147525.18
V _x Est	-161656.2	V _y Est	-161656.2
V _x Din/V _x Est	-0.9082	V _y Din/V _y Est	-0.9125
Cociente min	0.9	Cociente min	0.9

Fuente: Propia

La norma E.030 Diseño Sismorresistente en la tabla N°11 establece unos límites para las derivas en la dirección de análisis dependiendo del tipo de sistema que lleva la estructura. Para nuestra investigación al ser hecha de concreto armado, sus distorsiones de entrepiso o derivas no deben pasar de 0.007 o 7%.

Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Figura 70. Límites de distorsión según la E.030. Fuente: RNE, 2019.

A continuación, se procederá a verificar las derivas del Palacio Municipal por cada dirección a partir de un caso creado en ETABS.

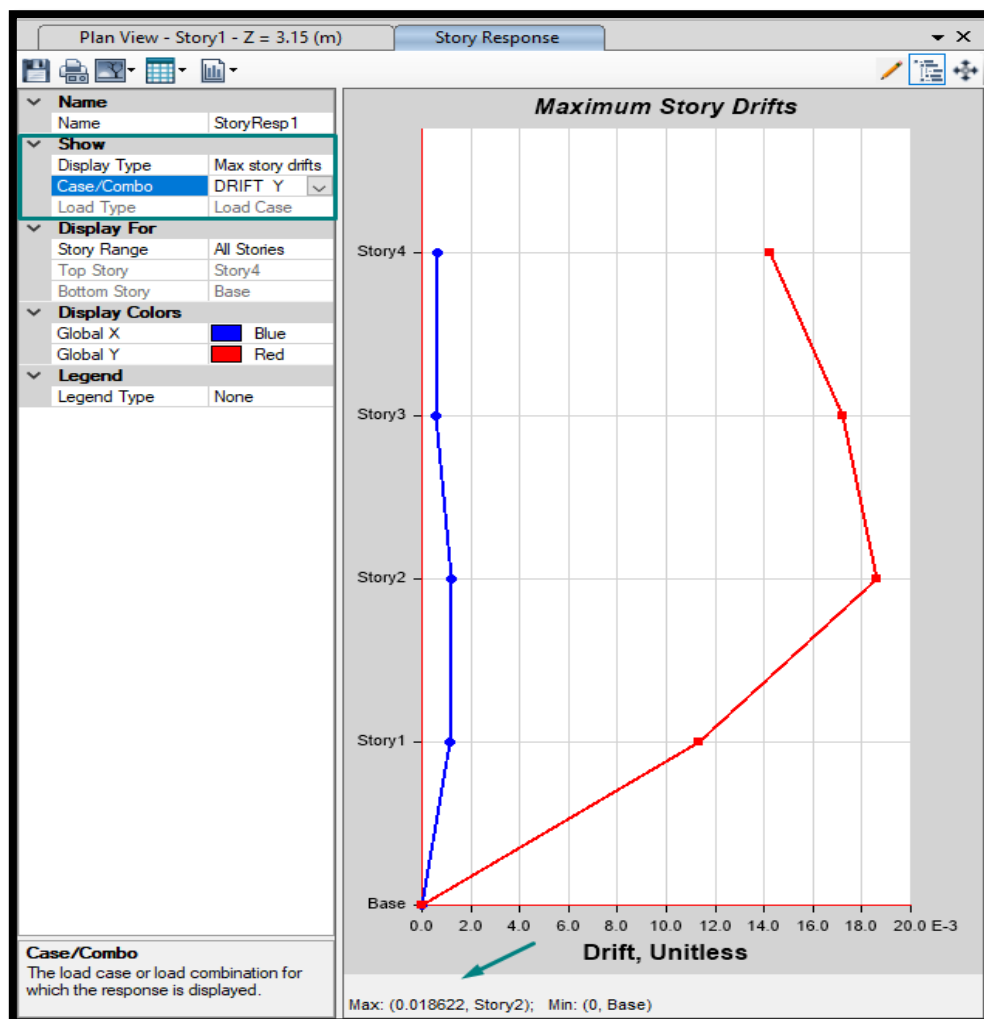


Figura 71. Deriva máxima en la dirección Y. Fuente: Propia

Como se puede observar, la edificación presenta una deriva de 0.01143 en la dirección Y es decir del 11.43%. Esto hace corroborar lo mencionado anteriormente, es decir, que la estructura es más débil en la dirección Y.

También, se verifica las derivas de la edificación en la dirección X obteniendo una deriva de 0.005958 o del 5.9%. Esto quiere decir, que la estructura no necesita tener un mejoramiento en el comportamiento estructural en dicha dirección.

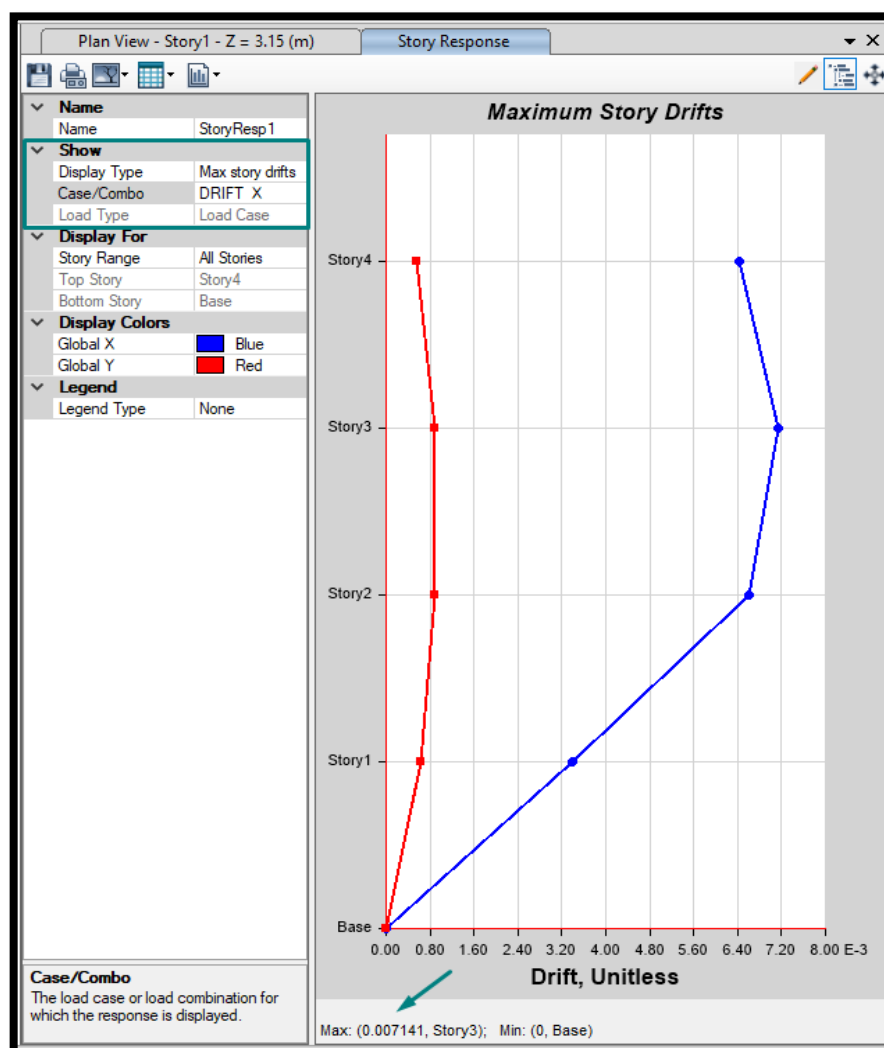


Figura 72. Deriva máxima en la dirección X. Fuente: Propia

Finalmente, en el presente objetivo específico podemos señalar lo siguiente:

Para esta investigación se encontró que la dirección “Y” del Palacio Municipal es la más inestable y la que presenta las mayores distorsiones de entrepiso que superan por mucho

lo permitido por la norma peruana teniendo como deriva máxima el valor de 0.0186 (ver tabla 34) mientras que, en la dirección X (ver tabla 33) se obtiene una deriva máxima de 0.0071 que considerando que se consideró secciones agrietadas a las vigas y columnas en la estructura, este valor de deriva puede considerarse como válido.

Tabla 31

Derivas en la dirección X

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	X	Y	Z
					m	m	m
Story4	DRIFT X	LinStatic	X	0.006438	8.24	0	12.6
Story3	DRIFT X	LinStatic	X	0.007141	27.94	0	9.45
Story2	DRIFT X	LinStatic	X	0.006596	27.94	0	6.3
Story1	DRIFT X	LinStatic	X	0.003391	27.94	0	3.15

Fuente: Propia

Tabla 32

Derivas en la dirección Y

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	X	Y	Z
					m	m	m
Story4	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.01425	2.79	6.15	12.6
Story3	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.017233	29.34	0.6	9.45
Story2	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.018622	31.87	4.47	6.3
Story1	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.0113	31.87	4.47	3.15

Fuente: Propia

2.4.2. Objetivo específico 2

2.4.2.1. Procedimiento

El presente objetivo se desarrollará mostrando los criterios que se utilizaron para la selección del disipador de fluido viscoso como reforzamiento para el Palacio Municipal:

- ✓ Criterio 01: Arquitectura existente

- ✓ Criterio 02: Comportamiento de los disipadores de fluido viscoso entre un reforzamiento convencional.

- ✓ Criterio 03: Mantenimiento de los disipadores de los disipadores de fluido viscoso entre un reforzamiento convencional

- ✓ Criterio 04: Costos de inversión de los disipadores de fluido viscoso entre un reforzamiento convencional.

Finalmente, se mostrará las consideraciones que se utilizaron para la ubicación de los disipadores de fluido viscoso a partir de la evaluación de 6 pórticos de 8 pisos con diferentes disposiciones de los disipadores.

2.4.2.2. Marco teórico

En el campo del diseño sismorresistente existen dos alternativas de diseño que permiten que una estructura tenga un óptimo comportamiento frente a las sollicitaciones sísmicas y son: el diseño convencional y el diseño con dispositivos de protección sísmica.

El diseño convencional consiste en diseñar estructuras que sean capaces de ser rígidas, pero a su vez, lo suficientemente dúctil para que pueda incursionar en el rango inelástico, ya

que, cuando una estructura está bajo acciones sísmicas entra en ese rango. Este tipo de diseño se aplica en los diferentes sistemas estructurales que están normalizados por diferentes normativas internacionales y son las que se emplean actualmente como son el sistema aporticado, muros estructurales, dual, entre otros.

Cabe mencionar que el diseño convencional involucra a su vez, muchas más consideraciones de igual importancia como, por ejemplo, los materiales a usar (si es acero o concreto), el suelo de fundación, su estructuración, entre otros. Sin embargo, al diseñarse para que la estructura entre en el rango inelástico, esto conlleva a que se puedan generar daños estructurales, que, dependiendo del uso de la edificación, pueden ser permisibles o no.



Figura 73. Daños estructurales a la municipalidad de Ciudad nueva en Tacna. Fuente DRM, 2001

Por otro lado, existe otra alternativa para el diseño sismorresistente y es el diseño de protección sísmica, que se basa en la incorporación de dispositivos que permiten disipar la energía en las estructuras sismorresistentes.

Este tipo de diseño tiene como objetivo reducir la respuesta dinámica de las sollicitaciones sísmicas en las estructuras reduciendo considerablemente sus desplazamientos laterales, velocidades y aceleraciones.

➤ **Selección del sistema de diseño a partir del balance energético**

Para que una estructura sea capaz de resistir la energía entrante producto de las sollicitaciones sísmicas, la energía de entrada debe ser disipada por la energía cinética, elástica, de amortiguamiento y la inelástica.

Lo mencionado anteriormente se basa en el principio de la conservación de la energía, que para sistemas estructurales frente acciones sísmicas se cumple la siguiente ecuación.

$$E_L = E_K + E_S + E_A + E_D$$

Ecuación 5

Donde:

- E_L : Energía de entrada a partir del sismo.
- E_K : Energía cinética.
- E_S : Energía elástica
- E_A : Energía de amortiguamiento
- E_D : Energía inelástica

Considerando que la energía entrante en las edificaciones es constante, lleva consigo a que, si se desea optimizar el desempeño estructural de una edificación, se podrá realizar de dos formas: aumentando la energía inelástica o la energía de amortiguamiento.

Ahora bien, estas dos formas de optimizar el desempeño estructural van de la mano también, con los dos sistemas de diseño sismorresistente mostrado anteriormente, es decir, si se desea aumentar la energía inelástica, se hará mediante el método convencional de diseño, ya que conlleva a incrementar la rigidez y ductilidad de las estructuras aumentando las secciones de los elementos estructurales o añadiendo nuevos elementos estructurales como muros de corte.

Por otro lado, si se desea aumentar la energía de amortiguamiento, se hará mediante el uso del sistema con dispositivos de protección sísmica. Este sistema como se mencionó anteriormente, permite reducir la energía entrante en las estructuras a partir de elementos de disipación de energía que provocan un incremento considerable de amortiguamiento en la estructura, evitando posibles daños en los elementos estructurales.

A continuación, se muestra una imagen donde a partir de una edificación que se modeló en SAP2000 utilizando un sistema de protección sísmica se muestra la distribución de energía expresada en una gráfica. A su vez, también se mostrará la distribución de energía de la misma edificación con un sistema de diseño tradicional sin los dispositivos de energía.

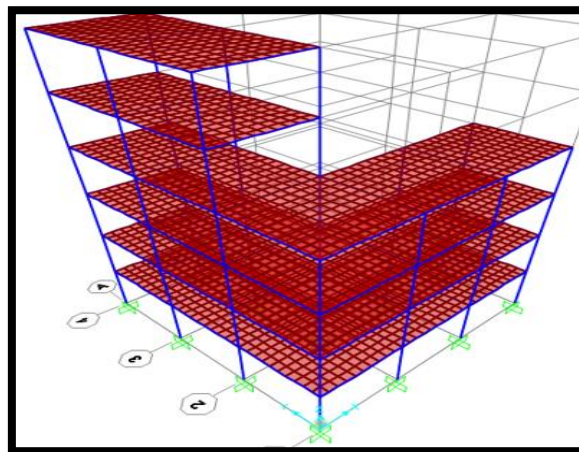


Figura 74. Edificio con un diseño convencional sin dispositivos de energía. Fuente: Propia.

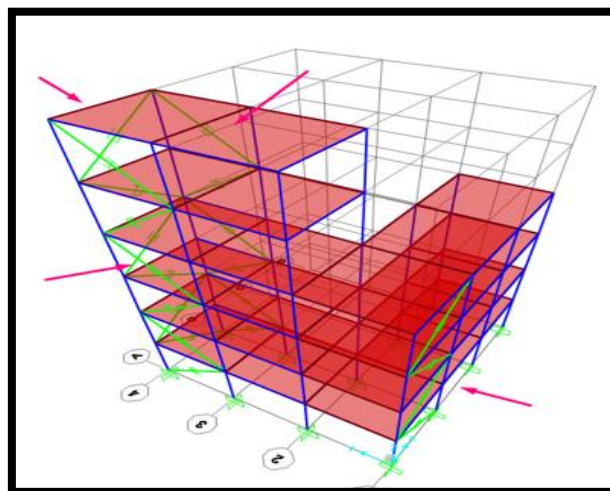


Figura 75. Edificio con un diseño con dispositivos de disipación de energía. Fuente: Propia.

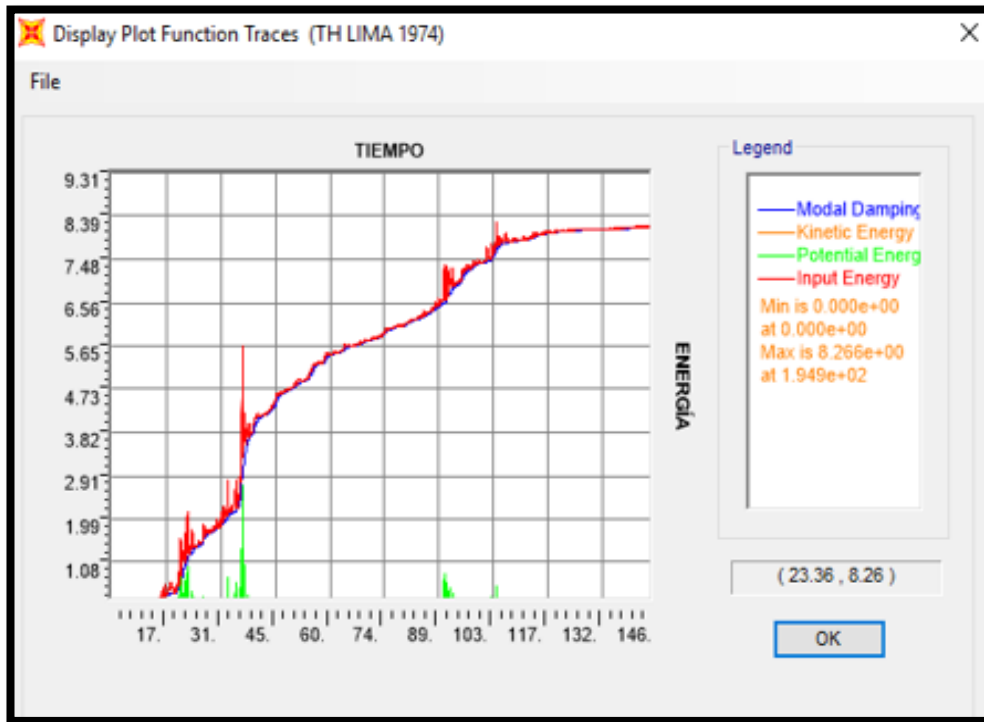


Figura 76. Distribución de energía del edificio con diseño convencional. Fuente: Propia.

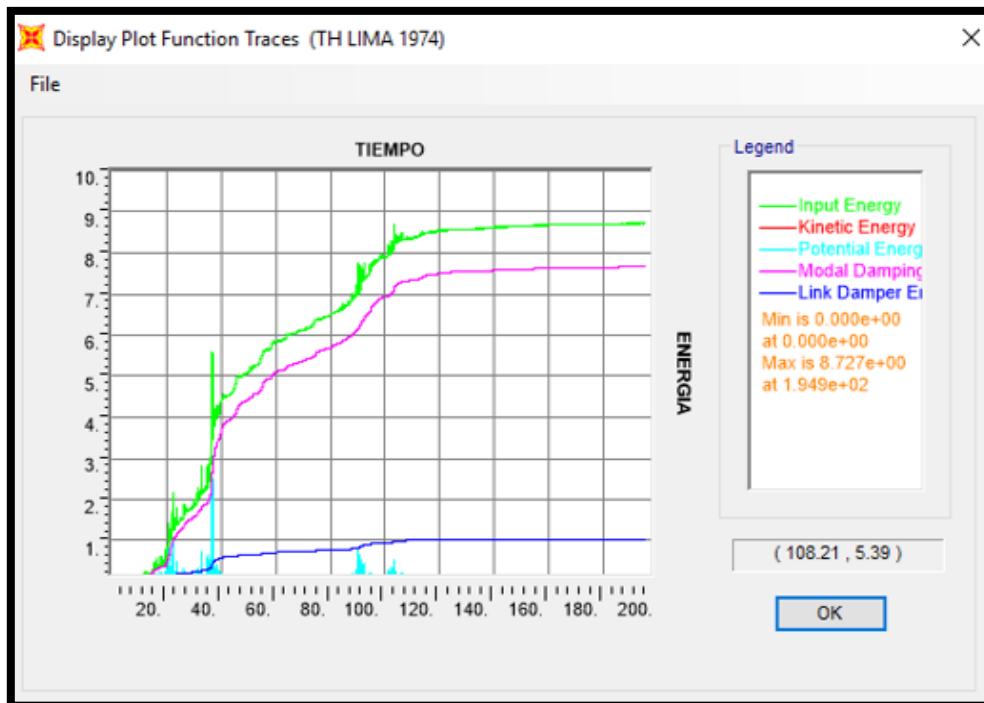


Figura 77. Distribución de energía del edificio con diseño de protección sísmica. Fuente: Propia.

En la figura 74 se muestra la distribución de energía a partir de la edificación que fue diseñada de forma convencional. En ella, se puede apreciar como la energía de entrada o input energy (línea roja), es acogida por la estructura mediante la distribución del modal damping (línea azul), es decir, que la cantidad de energía que entra a la estructura es la misma cantidad que recibe la estructura.

Por otro lado, en la figura 75 se puede visualizar cómo la distribución de energía es diferente cuando se tiene un sistema de protección sísmica, ya que la energía de entrada o input energy (línea verde) no es la misma energía que recibe la estructura (modal damping mediante la línea morada).

Este suceso se debe a que en el sistema de protección sísmica se utilizan dispositivos que incrementan el amortiguamiento de tal manera que disipan una cierta cantidad de energía que reciben las estructuras. Esta energía que produce el dispositivo también se muestra en la figura 75 y es el link damper (línea de color azul). Cabe mencionar que, a mayor energía disipada por parte del dispositivo, se incrementará su gráfica y la energía que recibe la estructura (modal damping) disminuirá.

Finalmente, a partir de la información mostrada, se definirá el sistema que se va a usar para mejorar el desempeño estructural del palacio Municipal.

El sistema elegido será el sistema de protección sísmica, ya que, al tener una edificación ya construida y teniendo en cuenta que se ubica en una de las regiones con mayor actividad sísmica como es Arequipa, es necesario contar con un sistema que permita optimizar su desempeño estructural a partir de un reforzamiento. Además, considerando el balance energético, este sistema incrementará la energía de amortiguamiento (E_A) provocando que la estructura sea capaz de tener una mejor respuesta sísmica.

A continuación, se mostrará una tabla donde se muestra cómo se clasifican los diferentes tipos de sistemas de protección sísmica.

Tabla 33

Tipos de sistemas de protección sísmica

Sistemas de protección sísmica	
Sistemas activos	Arriostres activos
	Tendones activos
	Oscilador activo
Sistemas pasivos	Aislamiento sísmico
	Disipador de energía
	Oscilador resonante
Sistemas semi-activos	Disipador de orificio variable
	Disipador de fricción variable
	Disipador de fluido controlables
Sistemas híbridos	Aislamiento activo
	Oscilador híbrido

Fuente: Propia

➤ **Sistemas de control pasivo**

Los sistemas de control pasivo son elementos de conexión que se usan en las estructuras para disipar o disminuir la energía sísmica. Se caracteriza porque no requiere una fuente de energía para su mantenimiento, además son eficientes frente a los sismos si se diseñan correctamente.

A diferencia de los sistemas tradicionales que ante la presencia de un sismo se forman rótulas plásticas provocando daños a los elementos estructurales, las edificaciones que usen estos sistemas pasivos logran que la estructura trabaje en el rango lineal elástico durante un evento sísmico sin sufrir daños graves.

Los sistemas de control pasivo de disipación de energía están formados por tres grupos: Aislamiento sísmico, disipadores de energía y amortiguadores de masa.

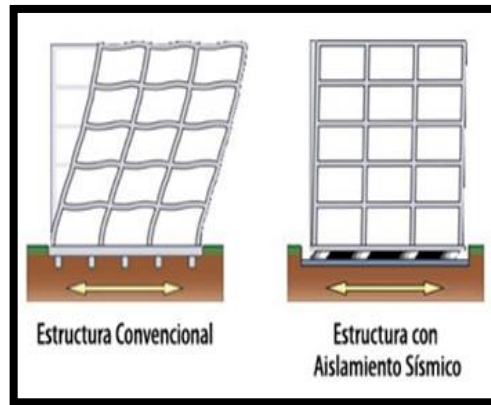


Figura 78. Sistema con aislamiento sísmico. Fuente: Detek Internacional, S.A, s.f.

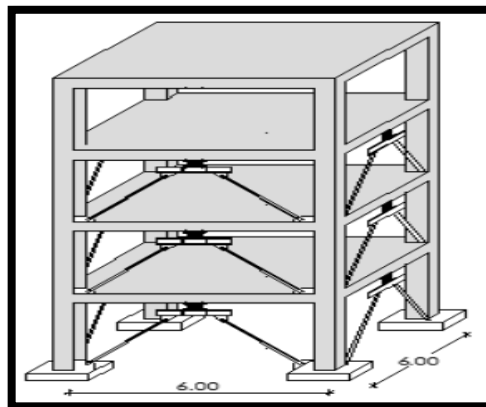


Figura 79: Sistema con disipadores de energía. Fuente: Aguiar, 2016

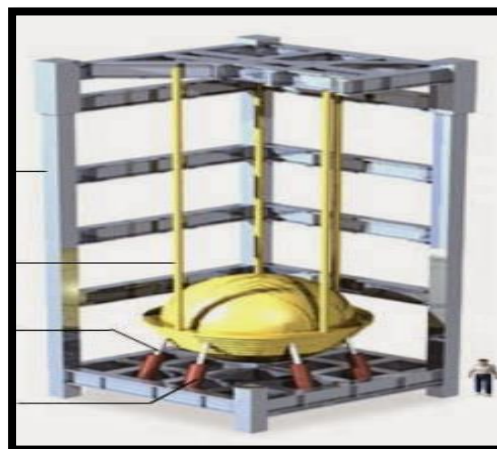


Figura 80: Sistema de amortiguadores de masa. Fuente: Tapei 101, 2014

➤ **Disipadores de energía**

Dispositivos de control pasivo que se caracterizan por absorber gran porcentaje de la energía sísmica que entra a la estructura, es decir, disipan la energía convirtiéndola en calor por la transferencia de energía. Estos dispositivos se clasifican a su vez en tres categorías:

A. Histerético

Este tipo de disipadores dependen de los desplazamientos de la estructura, es decir, obtienen su gran capacidad de amortiguamiento basándose en la plasticidad del acero generando esfuerzos como corte, flexión, torsión o extrusión. Algunos de los disipadores más empleados son las placas a flexión, los amortiguadores torsionales de barras, los anillos amortiguadores de fluencia y las riostras metálicas.

B. Dispositivos viscoelásticos

Fueron uno de los primeros en emplearse en edificios para controlar las vibraciones frente al viento, se caracterizan porque están formados por planchas metálicas unidas por un material viscoelástico.

En los últimos 30 años se han empleado los disipadores viscoelásticos en diferentes proyectos a nivel mundial reduciendo las respuestas ante la acción de los vientos en los edificios principalmente de gran altura. Los disipadores viscoelásticos sólidos están elaborados por chapas metálicas que están unidas por capas finas de material viscoelástico y además se caracterizan por presentar unos ciclos histéreticos elípticos.

C. Fluido Viscoso

Funcionan movilizándolo fluido viscoso a través de los disipadores generando fuerzas que se oponen al movimiento de los elementos con una magnitud proporcional a la

velocidad. Un disipador de fluido viscoso está conformado por un pistón de forma de cilindro compuesto de aceite de silicona. En el interior del cilindro la energía es disipada mediante el movimiento del fluido viscoso.

Este tipo de disipadores han sido empleados con éxito en la industria militar y aeroespacial.

El disipador de fluido viscoso tiene una característica similar a los amortiguadores de los automóviles, con la diferencia que los que son usados en las estructuras trabajan con fuerzas mayores a la de los autos, además están hechos de acero inoxidable y otros materiales extremadamente duraderos para proporcionar una vida de al menos 40 años.

➤ **Disipadores de fluido viscoso**

Los disipadores de fluido viscoso funcionan según el principio de flujo de fluido a través de orificios. Un pistón de acero viaja a través de las cámaras que se llenan con aceite de silicona (inerte, no inflamable, no tóxico y estable para largos periodos de tiempo), la presión entre las dos cámaras causa que el aceite de silicona fluya a través de un orificio en la cabeza del pistón y la energía sísmica se transforma en calor, el cual se disipa en la atmósfera. En la figura 81 se muestran los componentes de los disipadores viscosos:

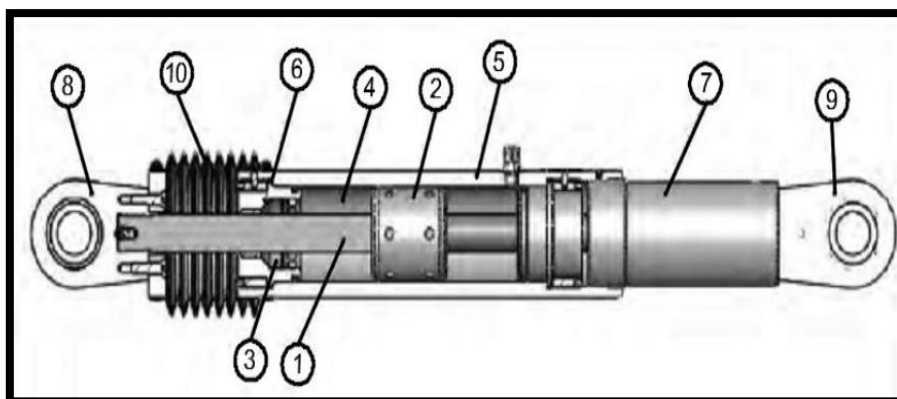


Figura 81. Componentes de los disipadores Viscosos. Fuente: Tafur, 2018.

1. Vástago de acero inoxidable
2. Cabeza del pistón de acero sólido o de bronce
3. Sellos/rodamientos de sello, juntas dinámicas.
4. Fluido viscoso, silicona incompresible.
5. Cilindro con tratamiento térmico de aleaciones de acero.
6. Tapa con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas o pintura.
7. Extender, acero al carbono forjado en aluminio con protección contra la corrosión.
8. Horquilla final de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
9. Cojinete esférico forjado con aleación de calidad aeronáutica.
10. Fuelle, nylon reforzado de inicio de neopreno.

2.4.2.3. Desarrollo

El primer criterio:

Se utilizó para la selección del sistema de protección sísmica del tipo disipadores de energía de fluido viscoso como reforzamiento, ya que, se basa en la arquitectura existente por las siguientes razones:

1. Debido a que el Palacio Municipal es una edificación existente y no se permite la modificación de los planos de la especialidad de arquitectura (modificación de ambientes) por qué se encuentra en funcionamiento con todo su personal laborando, lo cual nos conlleva a tener una gran restricción en cuanto al tipo de reforzamiento a utilizar. Por lo tanto, se presenta los planos de la especialidad de arquitectura existente.

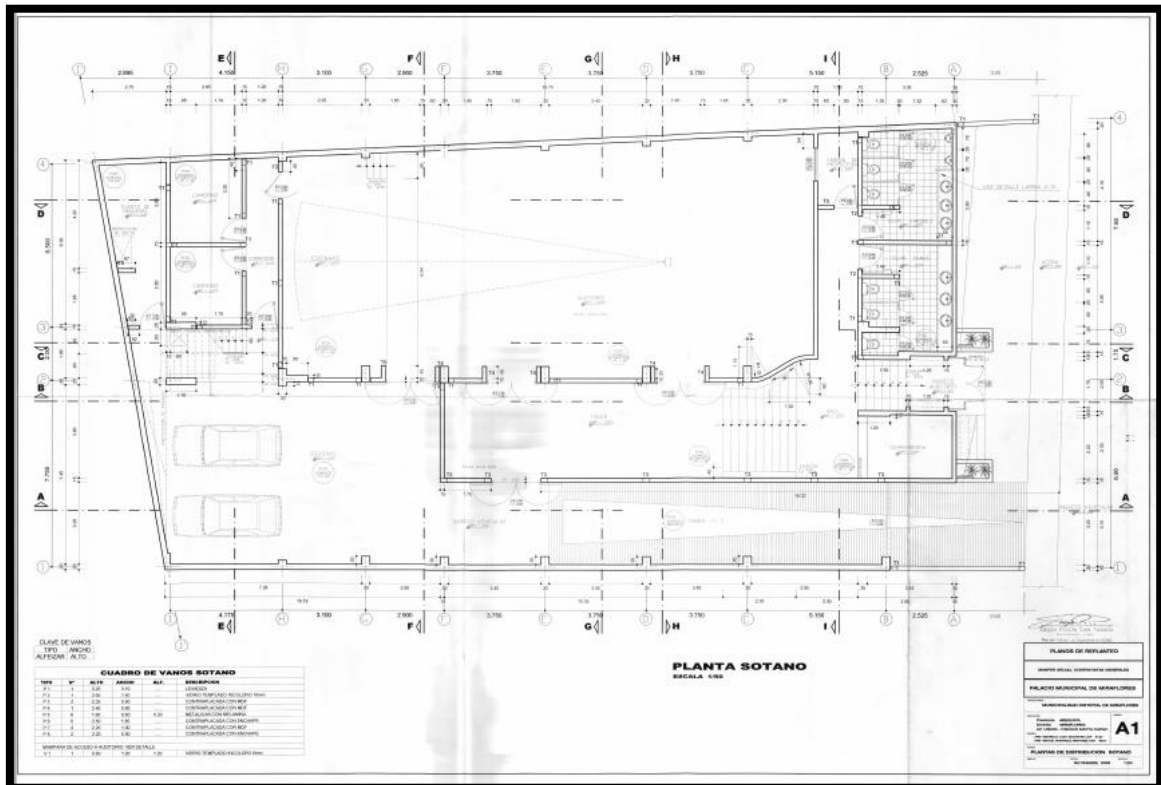


Figura 82. Arquitectura del sótano. Fuente: Propia.

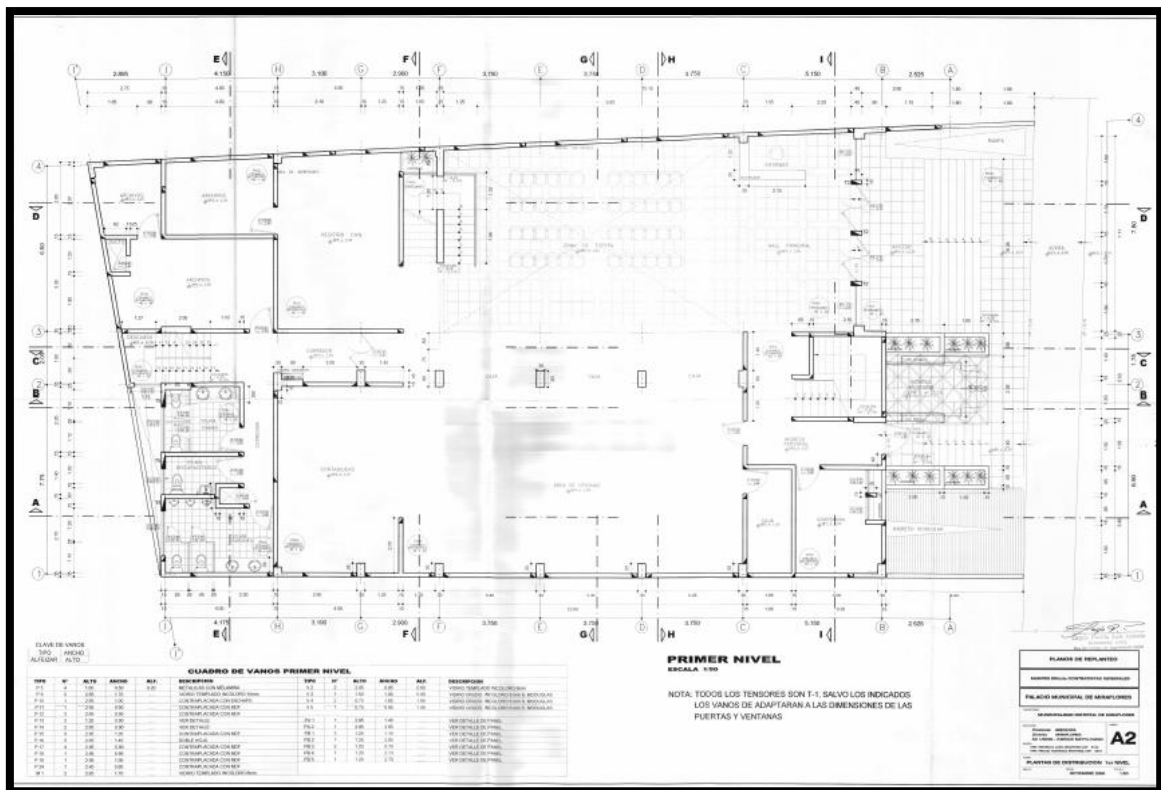


Figura 83. Arquitectura del primer nivel. Fuente: Propia.

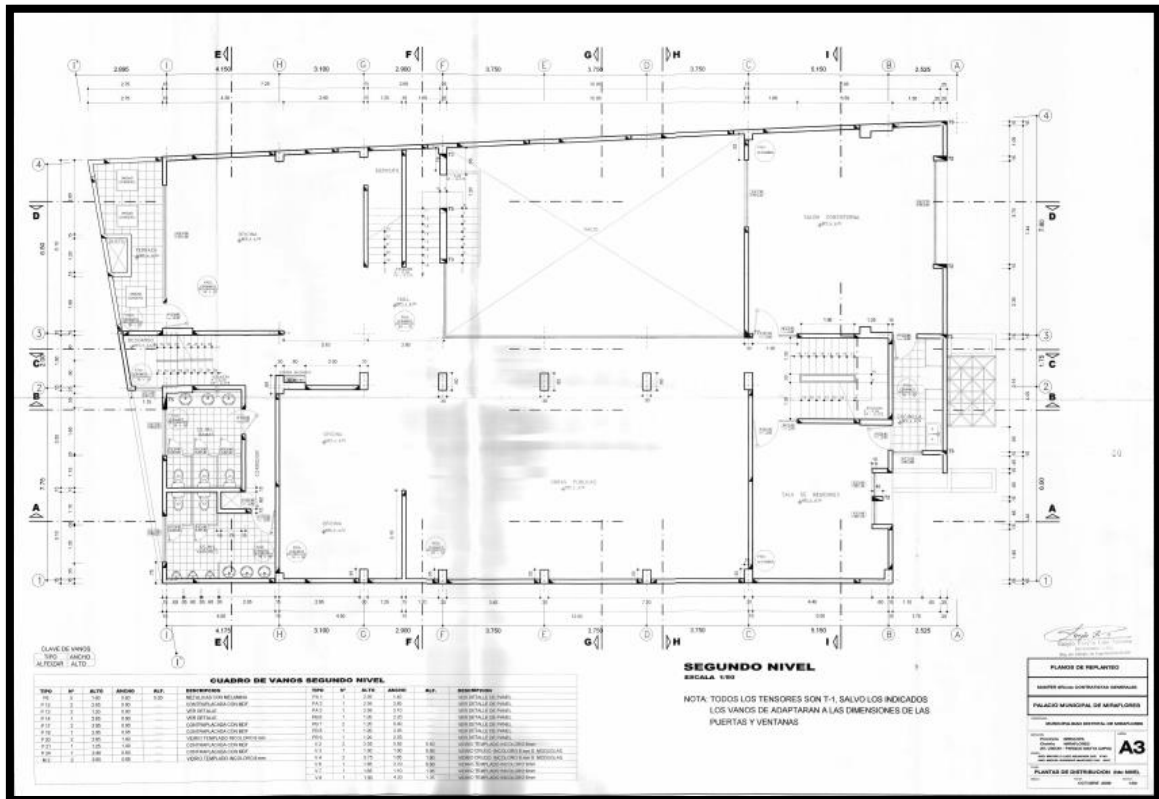


Figura 84. Arquitectura del segundo nivel. Fuente: Propia

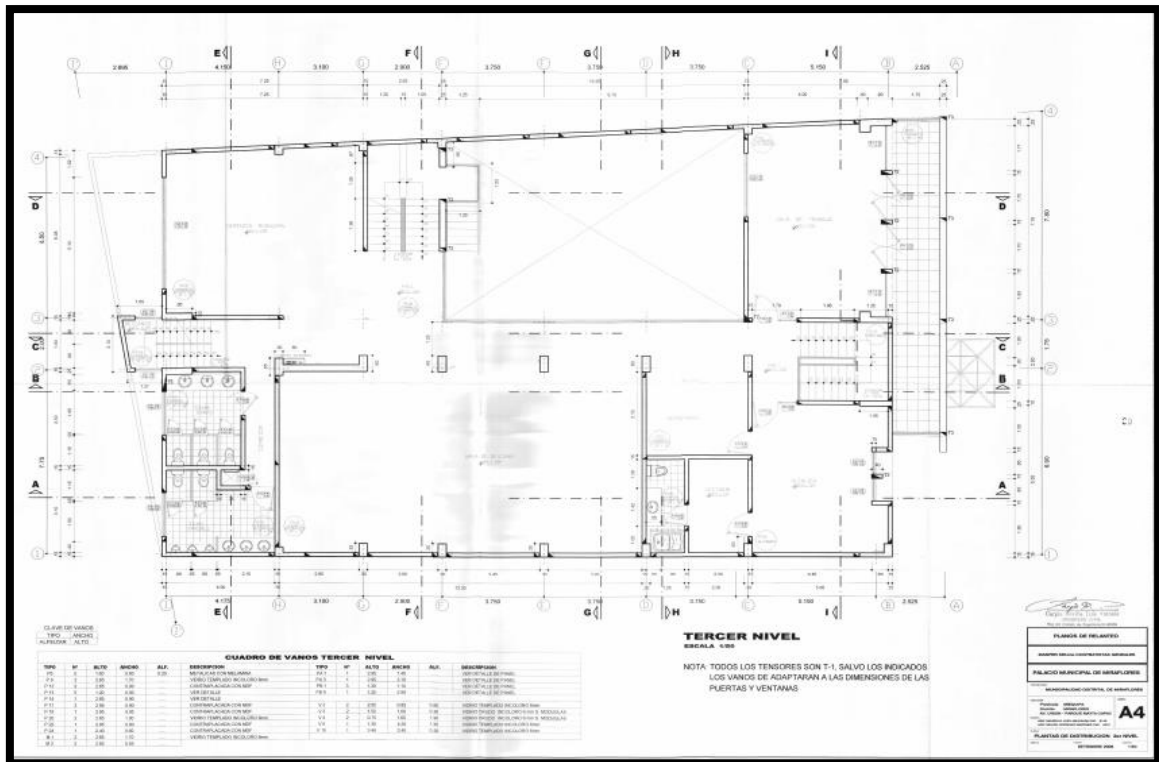


Figura 85. Arquitectura del tercer nivel. Fuente: Propia

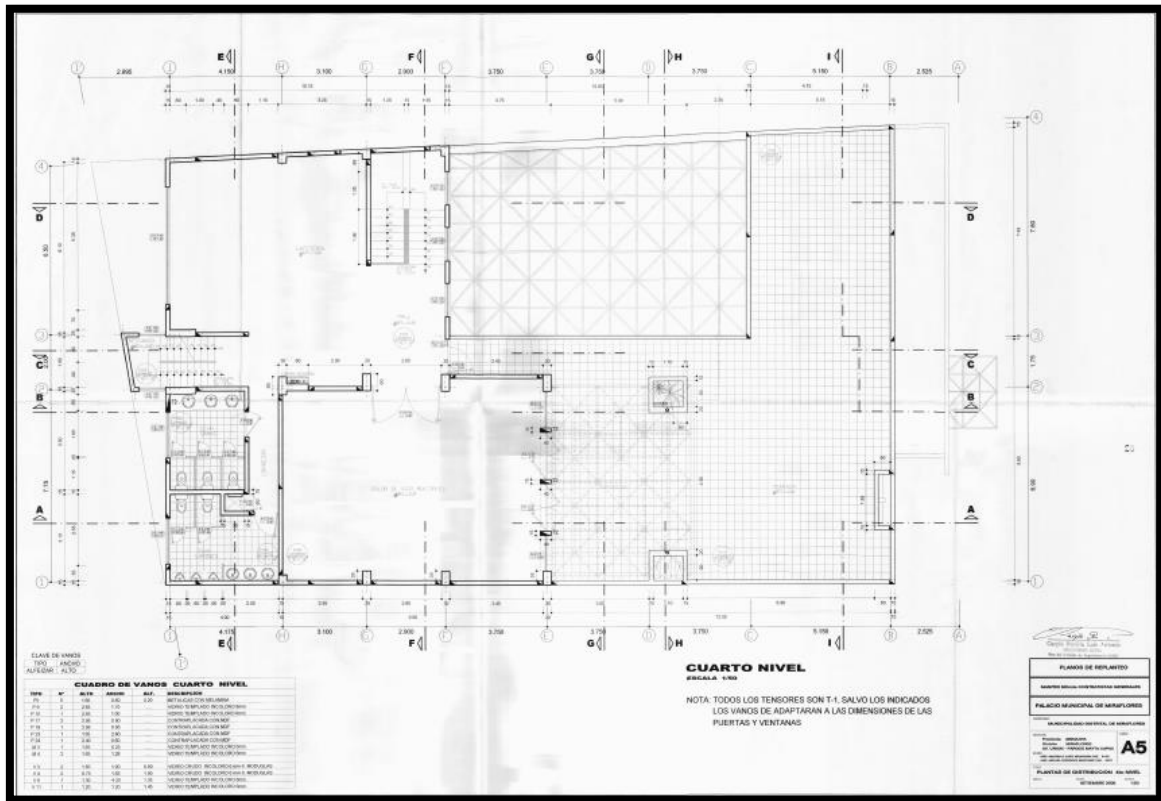


Figura 86. Arquitectura del cuarto nivel. Fuente: Propia

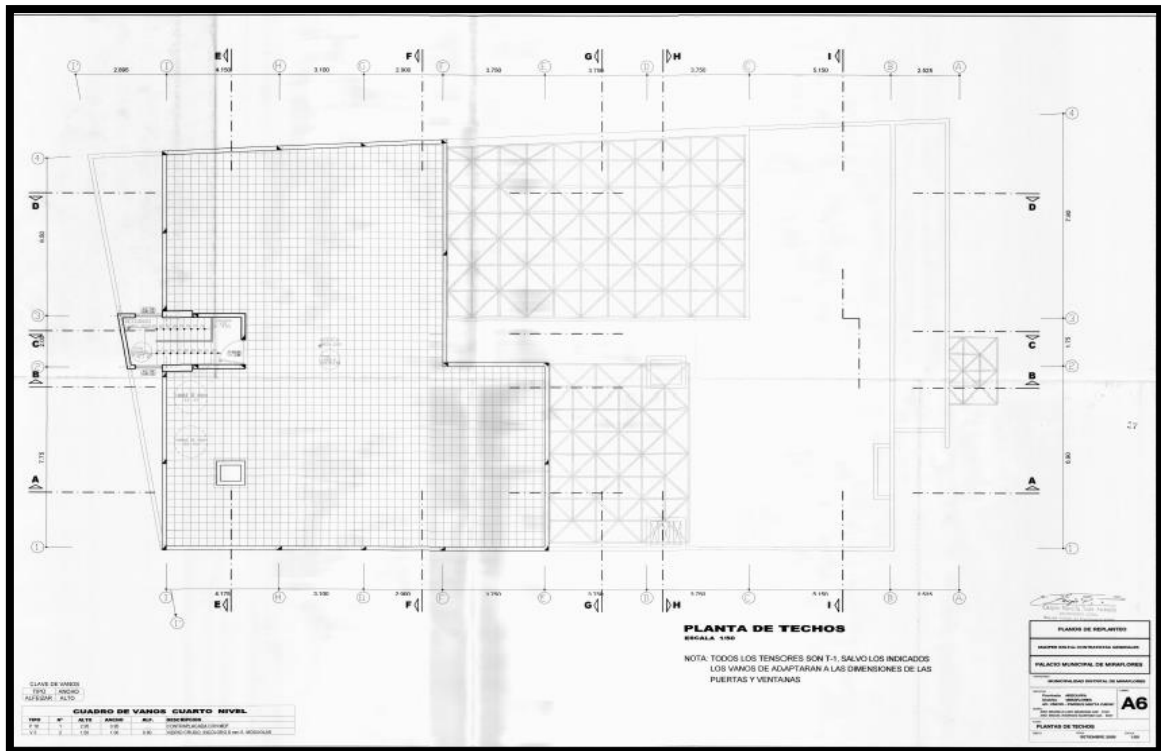


Figura 87. Planta de techos del palacio municipal. Fuente: Propia.

2. Nos permite realizar la incorporación de los disipadores de energía de fluido viscoso por etapas, lo cual permitiría mantener en funcionamiento constante el Palacio Municipal con todo su personal.

Asimismo, resulta ser el mejor sistema de instalación para una edificación existente, ya que, se incorporan de forma adosada en los pórticos existentes sin generar algún tipo de cambio en su arquitectura o comportamiento, el cual se puede cubrir con un sistema como el Drywall para una mejor estética.

Lo señalado anteriormente, se sustenta en base a la siguiente información:

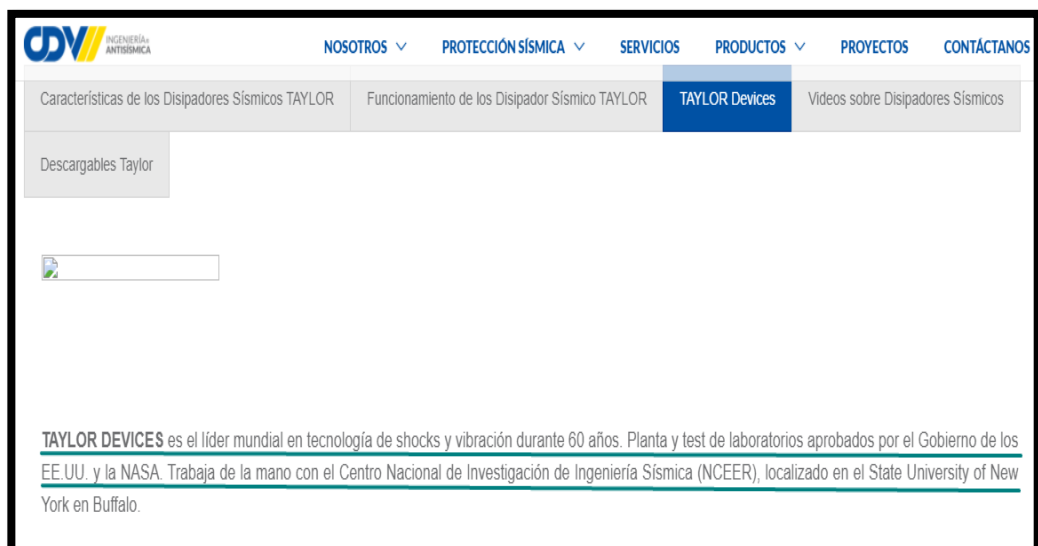


Figura 88. Taylor Devices. Fuente: CDV Representaciones, s.f.

CDV representaciones es el principal proveedor de productos de disipación de energía a nivel nacional ya que, trabaja con marcas reconocidas internacionalmente. Para el caso de disipadores de energía, CDV Representaciones trabaja en el Perú con la marca Taylor Devices tal como se puede apreciar en la información de su página en la figura 88.



Figura 89. Disipadores de fluido viscoso. Fuente: CDV representaciones, s.f.

Así mismo, en la figura 89 se indica que los disipadores de fluido viscoso se incorporan a la edificación de forma adosada en los pórticos estructurales. Esta manera de incorporarse hace que la arquitectura de una estructura no se vea alterada.

El gerente de Ingeniería de CDV Representaciones, menciona en una entrevista que “la incorporación de disipadores no sobreesfuerzan la estructura por lo que no hay que rediseñar o reforzar alguna de sus partes”.



Figura 90. Disipadores en el aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: CDV Representaciones, s.f.

Finalmente, CDV Representaciones también recalca en sus publicaciones la ventaja estética y de instalación que tiene la aplicación de disipadores, como lo fue en el reforzamiento del aeropuerto Jorge Chávez.

3. Para concluir, se puede decir que tampoco sería factible usar otro tipo de sistema de disipación como lo son por ejemplo la aplicación de masas sintonizadas o aisladores sísmicos, debido a que se tendría que realizar ciertas modificaciones en la arquitectura del proyecto. Para el caso de aisladores, se tendría que realizar modificaciones en la base de la edificación y para el caso de masas sintonizadas, se tendrá que realizar modificaciones en los últimos niveles de la edificación.

Para el segundo criterio:

Está enfocado en el comportamiento que tienen los disipadores de fluido viscoso en una estructura, ya que:

- Es el tipo de sistema cuyos dispositivos no afectan la rigidez de la estructura, ni mucho menos afectan el comportamiento que tendrán los elementos estructurales.
- Hay que tener en cuenta que los elementos estructurales del palacio municipal no fueron diseñados para considerar la incorporación de nuevos elementos estructurales como muros de corte o aumento de secciones transversales, ni mucho menos, la incorporación de dispositivos como arriostres o conexiones metálicas, debido a que estos elementos mencionados generan un análisis adicional y nuevas consideraciones estructurales.
- Generan el mejor control de respuesta frente a las sollicitaciones sísmicas a diferencia del sistema de reforzamiento tradicional (como son el aumento de secciones o la

inclusión de muros de corte), ya que, generan menores esfuerzos y deformaciones.

Esto, a su vez, permite reducir los daños que se pudieran generar en la estructura.

- Comienzan a trabajar ante el menor desplazamiento generado por la estructura haciendo que la estructura siempre trabaje en el rango lineal incluso aún durante un evento sísmico.
- Conlleva un modelamiento simplificado debido a que no modifican significativamente el periodo de vibración, lo que conlleva a reafirmar su comportamiento de forma lineal y su poca influencia en la rigidez de la estructura.

Lo señalado anteriormente, se sustenta en base a la siguiente información:

El gerente de CDV Representaciones, el ingeniero Iván Gonzáles (2015) señala que los disipadores “no sufren deformaciones permanentes, por lo que, si ya trabajaron intensamente durante un sismo no requieren ser reemplazados y, por tanto, no hay lapsos en que la estructura esté desprotegida. Nuestros disipadores viscosos se ensayan uno a uno, lo que significa que los clientes estarán seguros que funcionan antes de que ocurra un sismo”

También, el ingeniero estructurista Carlos Casabonne (2015) gerente general de Gallegos Casabonne Arango Quesada Ingenieros Civiles, menciona que “Hay una amplia gama de disipadores de energía que pueden ser aplicados en la prevención de sismos, donde los disipadores con líquidos viscosos son los que amortiguan más la estructura reduciendo sus desplazamientos y fuerzas sísmicas; pero sin aumentar la rigidez del edificio. Es como si una estructura diseñada para una aceleración de 0.4g fuera realmente diseñada para 0.3 g, con lo que se aumentaría el amortiguamiento del 5% -que es lo normal en edificios- a uno de 15% o 20%”.

Así mismo, en la figura DISIPA S.A.C. se muestra otro proveedor de disipadores.



Figura 91. Disipadores de fluido viscoso. Fuente: DISIPA S.A.C, s.f.

Dentro de las especificaciones técnicas de los disipadores de fluido viscoso por parte del proveedor DISIPA S.A.C. se puede reafirmar lo mencionado anteriormente, es decir, que los disipadores brindan un gran porcentaje de amortiguamiento a la estructura, pero sin añadir rigidez.

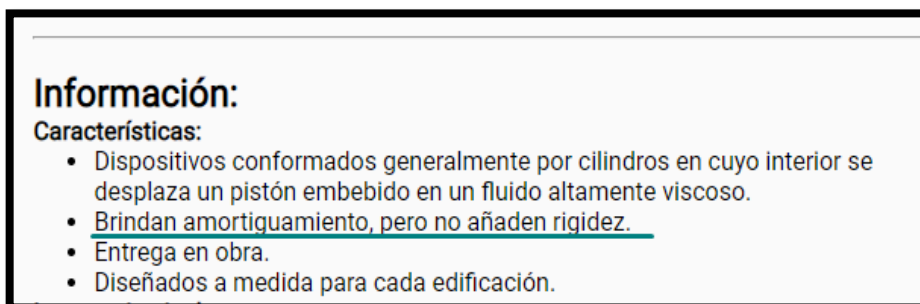


Figura 92. Especificaciones técnicas del disipador de fluido viscoso. Fuente: DISIPA S.A.C, s.f.

Finalmente, CDV Representaciones menciona que se debería usar los disipadores como reforzamiento puesto que, no incrementan esfuerzos adicionales a la estructura a diferencia de otros sistemas de reforzamiento.



Figura 93. Criterios de uso de disipadores. Fuente: CDV Representaciones, s.f.

Se muestra un cuadro comparativo resumen (ver tabla 36) entre el comportamiento estructural del reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso y el reforzamiento tradicional (basado en la incorporación de elementos estructurales como placas, conexiones metálicas o mediante el aumento de secciones en los elementos estructurales).

Tabla 34

Cuadro comparativo: Reforzamiento por disipadores vs el reforzamiento tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
No afecta la rigidez de la estructura ya que se incorporan de forma adosada	Aumenta la rigidez de la edificación al incorporar elementos estructurales
No modifica el periodo de vibración de la estructura	Modifica el periodo de vibración de la estructura
Hace que la estructura trabaje en el rango lineal aún durante el evento sísmico	Durante un evento sísmico la estructura puede entrar en el rango no lineal
Reduce los daños significativamente de la estructura frente a las sollicitaciones sísmicas	Puede generar daños significativos en la estructura frente a las sollicitaciones sísmicas

Fuente: Propia

➤ **Consideraciones para la ubicación de los disipadores de fluido viscoso**

La norma ASCE 7-16 en el capítulo 18 establece algunas consideraciones con respecto a la ubicación de los disipadores en estructuras y son las siguientes:

- Se usarán por lo menos dos disipadores en la dirección de reforzamiento.
- Los disipadores se ubicarán de tal manera que se evite la torsión en la estructura.
- Los disipadores se deberán ubicar en todos los niveles de la estructura para que tenga un correcto funcionamiento.
- Se debe ubicar de forma simétrica en la estructura.

Se presentará una secuencia de 6 pórticos donde se busca evaluar y analizar cuál es la disposición y ubicación más óptima para implementar los disipadores de fluido viscoso en una edificación.

Para realizar la evaluación, se creó un pórtico de 8 niveles donde, a partir de ello, se dispondrán diferentes formas de ubicar los disipadores de energía. Se crearon 6 casos donde se realizó un análisis tiempo-historia en cada uno de ellos, para al final evaluar cómo varían en cuanto al esfuerzo cortante máximo que tendrá la estructura y el desplazamiento máximo en el punto más desfavorable para la estructura. A continuación, se presentan los 6 casos creados en el programa ETABS.

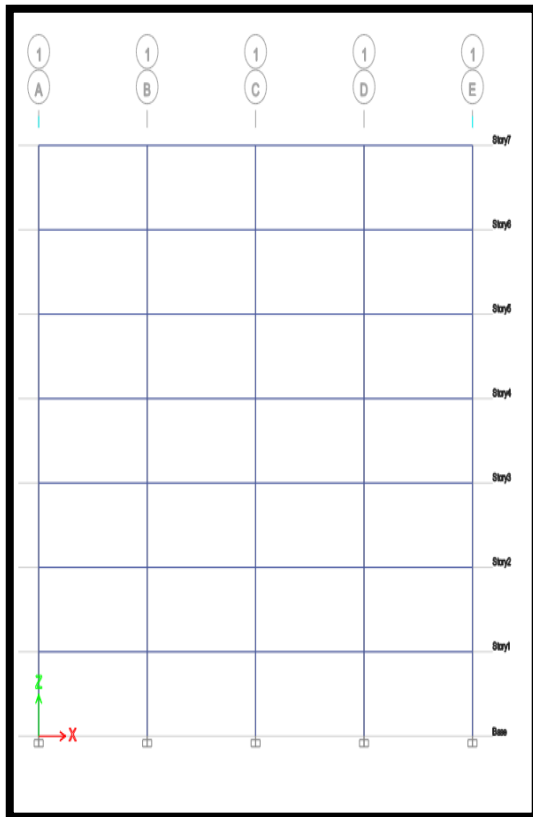


Figura 94. Pórtico inicial. Fuente Propia

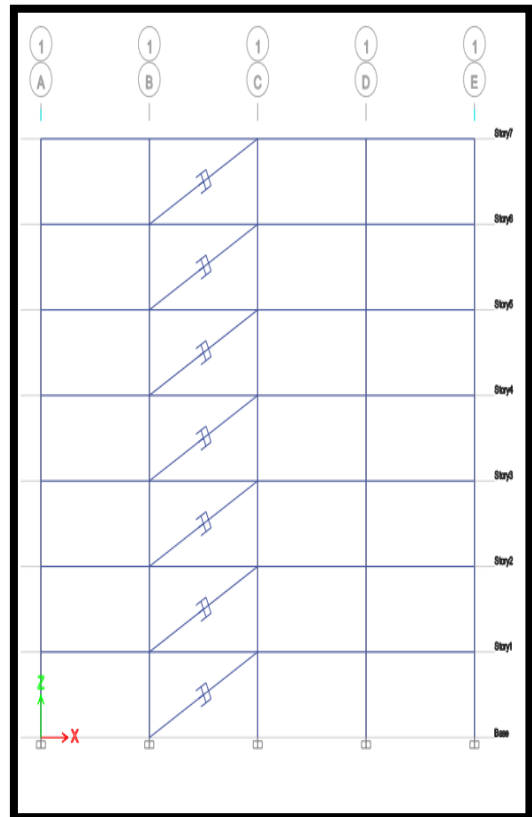


Figura 95. Disposición 01. Fuente: Propia

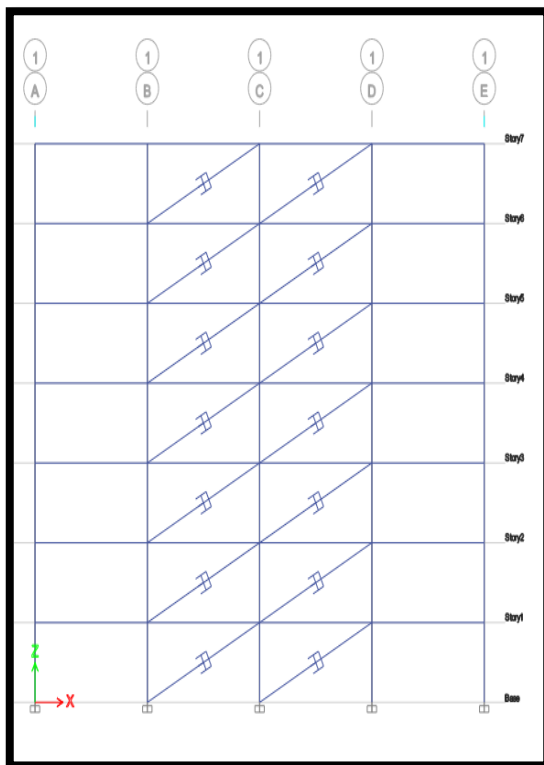


Figura 96. Disposición 02. Fuente: Propia

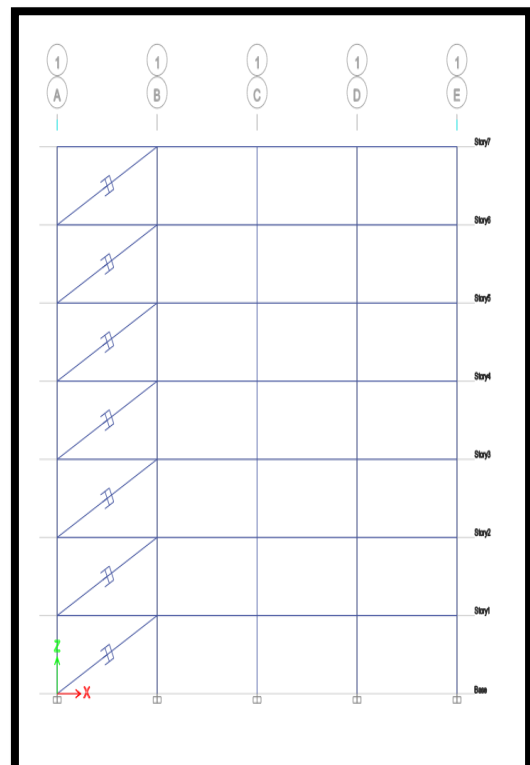


Figura 97. Disposición 03. Fuente: Propia

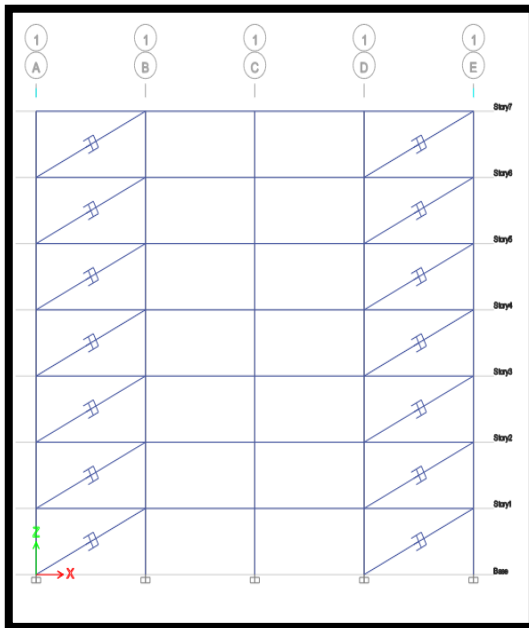


Figura 98. Disposición 04. Fuente: Propia

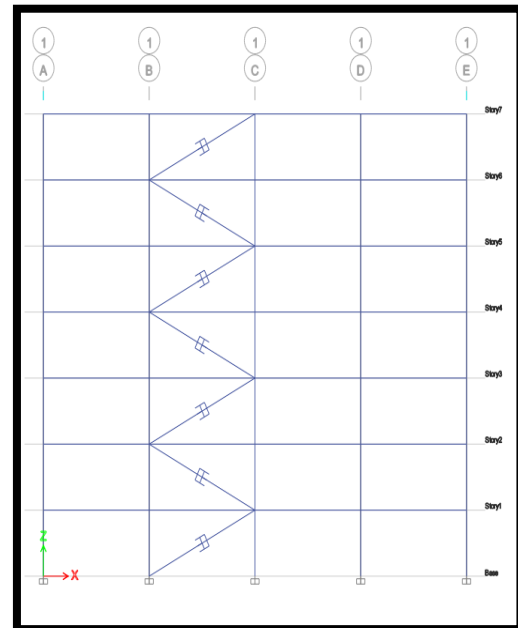


Figura 99. Disposición 05. Fuente: Propia.

Para la aplicación de los disipadores de energía se siguió la siguiente configuración definiendo un elemento link de tipo damper-exponential.

Link Property Data

General

Link Property Name: DISIPADOR 01

Link Type: Damper - Exponential

Link Property Notes: Modify/Show Notes...

P-Delta Parameters: Modify/Show...

Acceptance Criteria: None specified

Total Mass and Weight

Mass: 0 tonf-s²/m

Weight: 0 tonf

Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

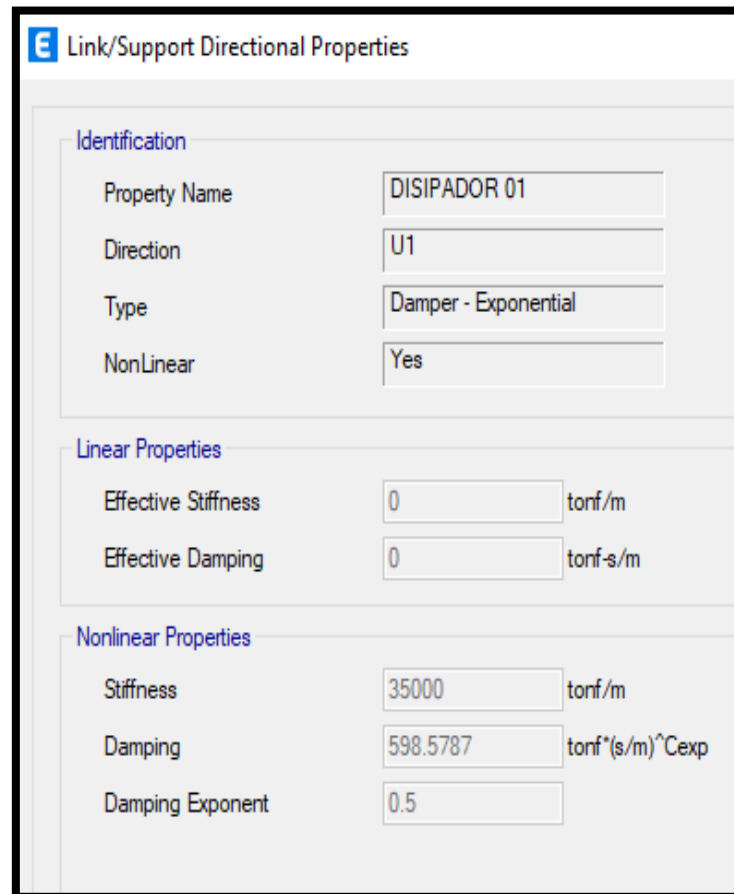
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Figura 100. Definición del disipador. Fuente: Propia

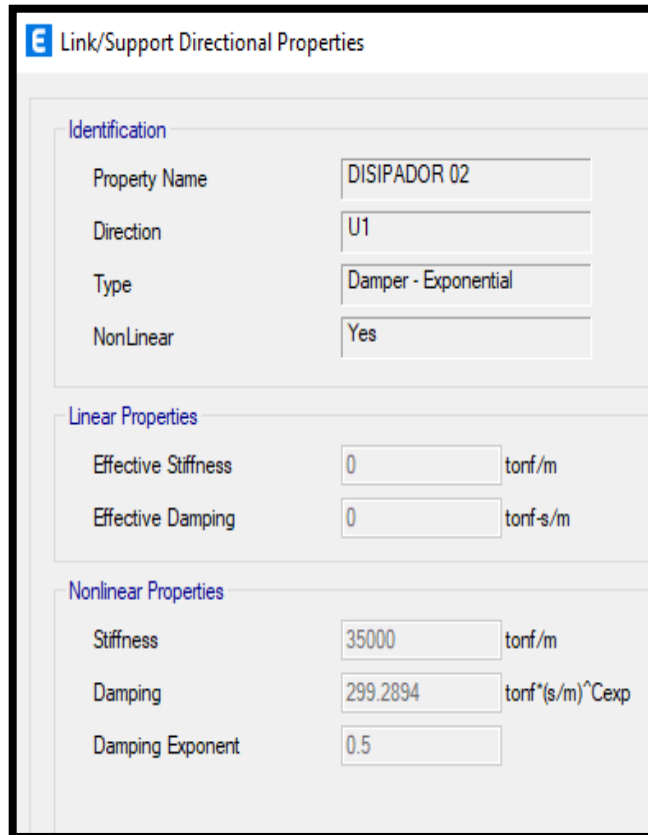
También, se muestra los parámetros no lineales del disipador 01 que será aplicado en los pórticos donde en su disposición sólo tengan un disipador por nivel.(disipadores con disposición 01. 03 y 05).



Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DISIPADOR 01
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	0 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	35000 tonf/m
Damping	598.5787 tonf*(s/m) ^{Cexp}
Damping Exponent	0.5

Figura 101. Propiedades consideradas para el disipador 01. Fuente: Propia.

El siguiente disipador tiene los parámetros definidos para aquellos pórticos donde en disposición, presenten dos disipadores por nivel. Al tener dos disipadores se recomienda que la suma de sus amortiguadores sea equivalente al de un disipador, es por ello, que como artificio se tomó la mitad del amortiguamiento del disipador 01 y será aplicado para los pórticos con disposición 02 y 04.



Link/Support Directional Properties	
Identification	
Property Name	DISIPADOR 02
Direction	U1
Type	Damper - Exponential
NonLinear	Yes
Linear Properties	
Effective Stiffness	0 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m
Nonlinear Properties	
Stiffness	35000 tonf/m
Damping	299.2894 tonf*(s/m) ^{Cexp}
Damping Exponent	0.5

Figura 102. Propiedades para el disipador 02. Fuente: Propia.

➤ Verificación de los resultados obtenidos de los 6 pórticos de 8 niveles

Para la evaluación respectiva de los pórticos con diferentes disposiciones del disipador se hará uso del análisis tiempo-historia tal como recomienda la ASCE 7-16 para analizar este tipo de estructuras con elementos de disipación de energía.

Lo que se busca con este análisis es evaluar la fuerza cortante máxima que se genera en la estructura así como también, el desplazamiento máximo generado en un punto en específico del pórtico. Con ello, dependiendo de la disposición de los disipadores se evaluará de entre todos los pórticos la que genere el menor desplazamiento.

Primero se conocerá los resultados obtenidos del pórtico de 8 pisos sin considerar disipadores obteniendo una fuerza cortante basal de 11.31 toneladas.

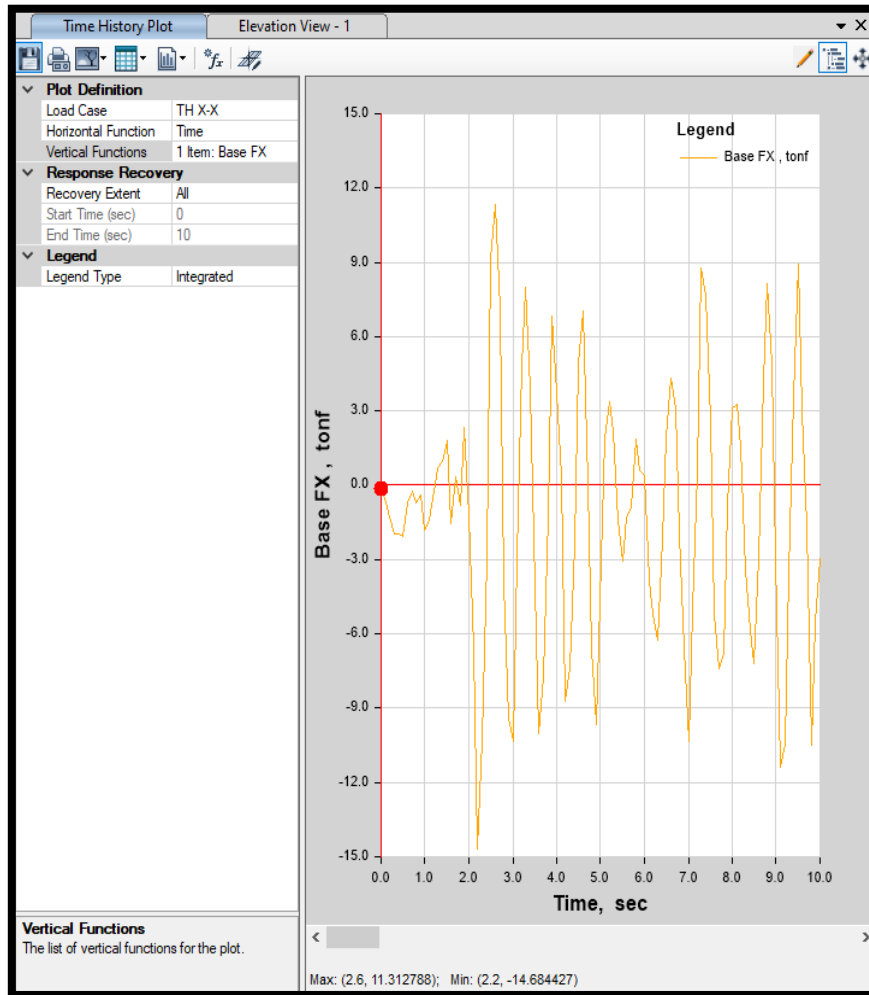
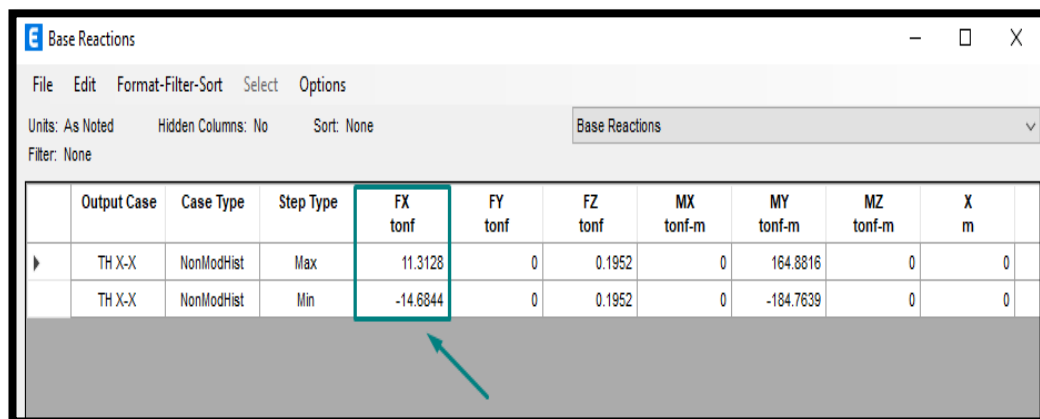


Figura 103. Fuerza cortante máxima en la base del pórtico inicial. Fuente: Propia.

Esta fuerza cortante basal obteniendo, también se puede verificar cuando se pide al programa ETABS la fuerza de reacción en la base debido al caso de tiempo-historia.



Output Case	Case Type	Step Type	FX tonf	FY tonf	FZ tonf	MX tonf-m	MY tonf-m	MZ tonf-m	X m
TH X-X	NonModHist	Max	11.3128	0	0.1952	0	164.8816	0	0
TH X-X	NonModHist	Min	-14.6844	0	0.1952	0	-184.7639	0	0

Figura 104. Base reactions del pórtico inicial. Fuente: Propia.

Luego, para conocer el desplazamiento máximo se definirá el joint 5 del pórtico, que se encuentra en el último nivel del pórtico, ya que, es el más desfavorable.

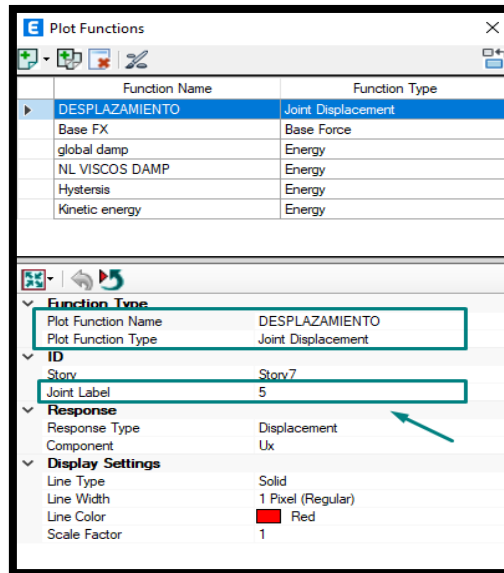


Figura 105. Definición del desplazamiento máximo. Fuente: Propia

El pórtico inicial obtiene un desplazamiento máximo en el joint 5 de 0.0179 metros.

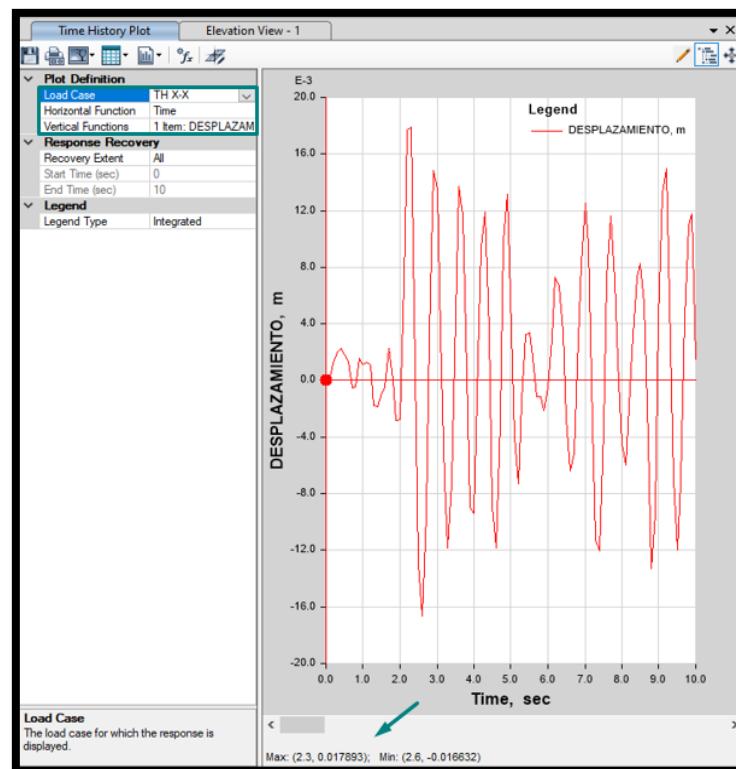


Figura 106. Desplazamiento máximo del pórtico inicial. Fuente: Propia.

Para verificar el resultado, se evaluará el paso 2.3 en la deformación del pórtico.

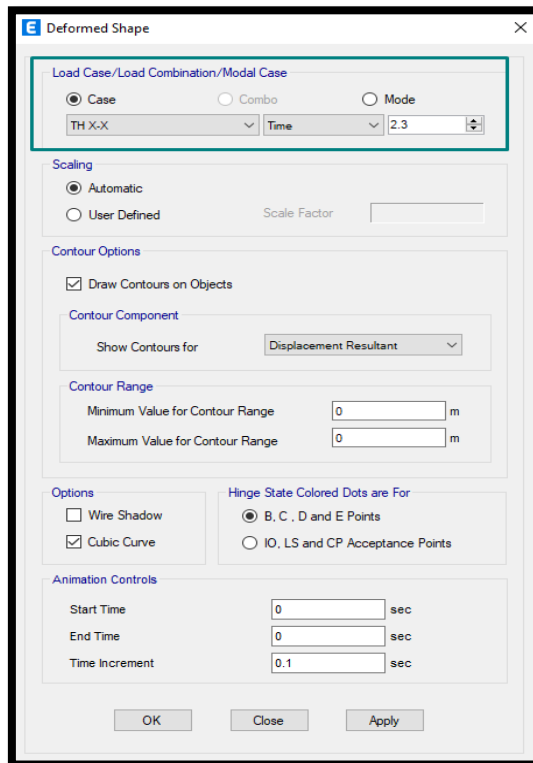


Figura 107. Deformación del pórtico en el paso 2.3. Fuente: Propia.

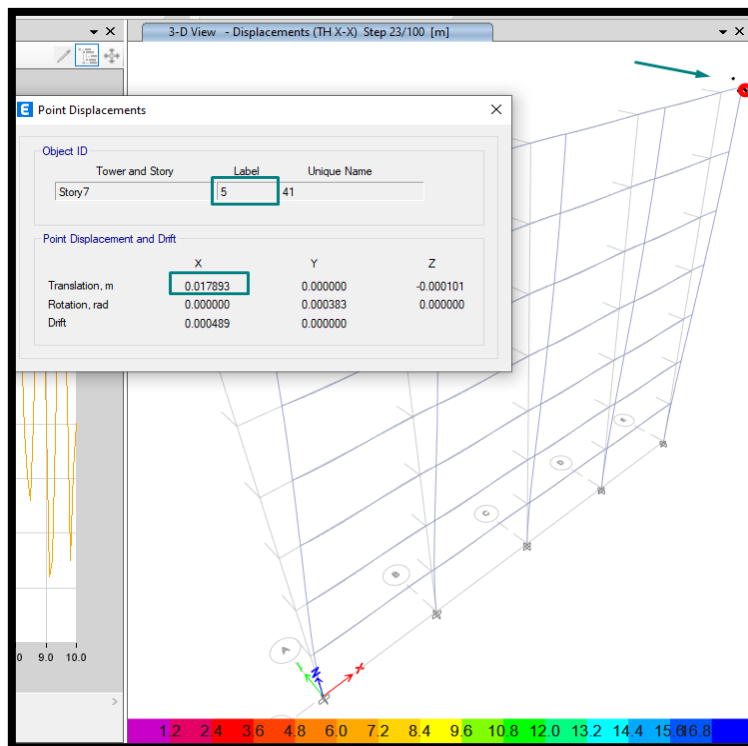


Figura 108. Desplazamiento máximo del joint 5. Fuente: Propia

Ahora, se muestran los resultados de los valores de la fuerza cortante basal y el desplazamiento máximo del pórtico con disipadores en la disposición 01.

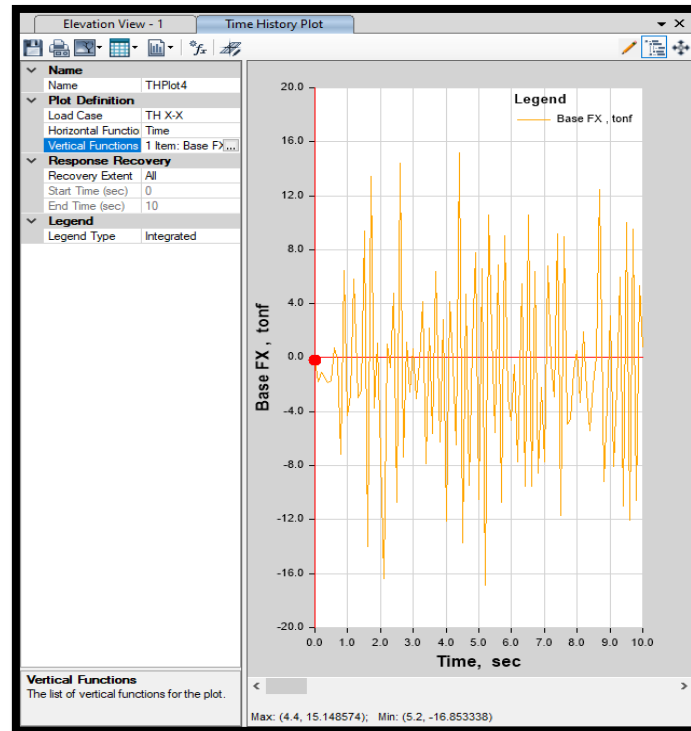


Figura 109. Fuerza cortante máximo del pórtico con disposición 01. Fuente: Propia

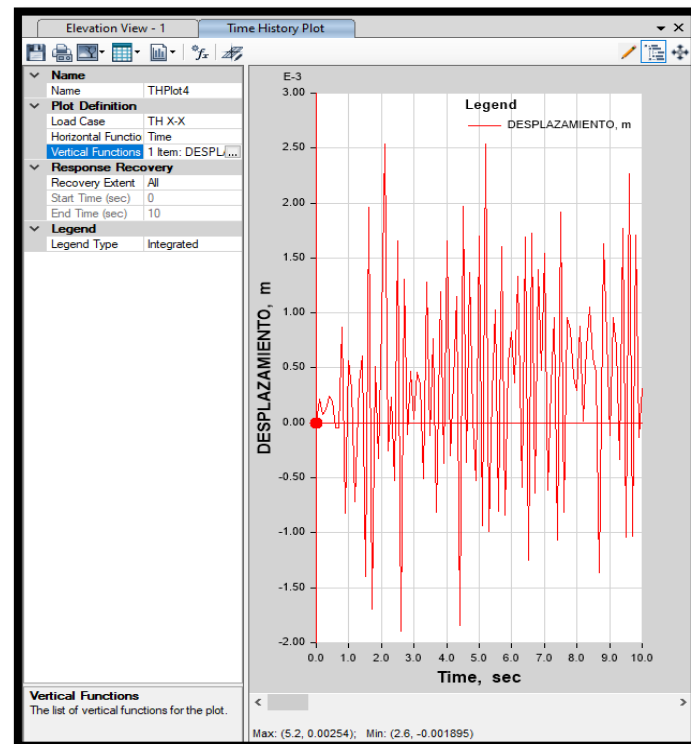


Figura 110. Desplazamiento máximo del pórtico con disposición 01. Fuente: Propia.

➤ **Evaluación de los resultados de los pórticos**

Se muestra una tabla con los resultados de todas las fuerzas cortantes y desplazamientos de los pórticos con las diferentes disposiciones del disipador. En la tabla 37 se puede verificar cómo los pórticos con disipadores en distintas disposiciones generan una mayor fuerza cortante basal y un menor desplazamiento.

Esto demuestra cómo mejora contundentemente el comportamiento estructural de los pórticos cuando se incluyen elementos de disipación de energía.

Tabla 35

Resultados de las fuerzas cortantes y desplazamientos máximos de los pórticos.

Tipo de edificación	Fuerza cortante basal (Ton)	Desplazamiento máximo (m)
Pórtico base	11.31	0.0179
Pórtico con disposición 01	15.15	0.0025
Pórtico con disposición 02	17.65	0.0019
Pórtico con disposición 03	13.37	0.0029
Pórtico con disposición 04	16.38	0.0020
Pórtico con disposición 05	13.91	0.0025

Fuente: Propia

Ahora, bien, en cuanto a las diferentes disposiciones que se ubicaron los disipadores en los pórticos, se puede notar que la disposición 02 y 04 son los que generan una mayor fuerza cortante basal y los menores desplazamientos laterales. Estas disposiciones son justamente las que incluyen dos disipadores por piso, por lo que es razonable que sean las que tengan el mejor comportamiento.

Por el contrario, los pórticos con disposición 03 y 04 son los que tienen la menor fuerza cortante y los mayores desplazamientos, por lo que estas disposiciones quedan descartadas para su aplicación.

Finalmente, el pórtico con disposición 01 (un disipador por nivel) presenta un comportamiento similar en cuanto a la fuerza cortante y desplazamiento máximo con respecto a aquellos pórticos donde tienen dos disipadores por nivel, por lo que, si se toma en cuenta el costo de su uso, no es que haya una gran diferencia en cuanto el comportamiento estructural como para optar por las disposiciones 02 y 04.

Es por ello que para el reforzamiento del palacio municipal en Arequipa se optará por utilizar la disposición 01.

Para el tercer criterio:

Está enfocado en el mantenimiento que tienen los disipadores de fluido viscoso en las estructuras, ya que:

- No requieren un mantenimiento ni reemplazo en el rango de su vida útil (60 años). Esta afirmación se está fundamentada bajo dos factores importantes: el primero es basado en su instalación, ya que está conformado por un sello y un pistón que garantizan que no existan fugas en el dispositivo. El segundo factor está basado en la aprobación del Centro Nacional de Investigación de Ingeniería Sísmica (NCEER) en EEUU que abala esta afirmación debido a sus investigaciones realizadas.
- Muchas edificaciones donde se implementaron a nivel mundial desde 1955 confirman que es la opción más confiable en cuanto reforzamiento y aplicabilidad se refiere debido a que luego de un evento sísmico, los disipadores pueden seguir manteniendo la misma funcionalidad y operatividad. Por el contrario, si se compara con otros sistemas de reforzamiento como es el convencional, luego de un evento sísmico se tendrá que realizar una evaluación estructural de los posibles daños generados, y al ser

elementos que se diseñan para tener un cierto grado de daños, puede requerir que se realice un nuevo reforzamiento.

- No requieren de una revisión estricta, debido a que, los disipadores empiezan a trabajar ante el mínimo desplazamiento lateral de la estructura. A diferencia de los disipadores, los reforzamientos tradicionales necesariamente si necesitan una revisión constante posterior a un sismo ya que, dependiendo de la magnitud del sismo se pueden generar grandes desplazamientos que hacen que los elementos estructurales como vigas y columnas fallen y puedan presentar hasta roturas.

Lo señalado anteriormente, se sustenta en base a la siguiente información:

Dentro de las especificaciones técnicas de la aplicación de disipadores de fluido viscoso por parte de CDV Representaciones menciona lo siguiente:

- Todos amortiguadores de fluido viscoso Taylor son fabricados libres de mantenimiento. No requiere depósitos, tubería externa, indicadores del nivel del fluido, acumuladores o realizar cambios de aceite periódicos. Por lo tanto, todos los usuarios se benefician de nuestros más de 50 años de experiencia en el diseño y fabricación de los productos de amortiguación por fluidos.
- Cada uno de los amortiguadores de fluido viscoso de Taylor, son probados individualmente con los esfuerzos y velocidades máximas especificadas por el cliente antes de la entrega.

Figura 111. Especificaciones para disipadores Taylor. Fuente: CDV Representaciones, s.f.

Como se puede observar en la información mostrada en la figura 111, la incorporación de disipadores de fluido viscoso tiene la gran ventaja de no requerir mantenimiento siendo muy beneficioso para su aplicación en estructuras.

Además, este aspecto se puede reafirmar en los proyectos donde se utilizó como reforzamiento como es en el caso del aeropuerto Jorge Chávez, donde dentro de las

ventajas que tuvo la incorporación de disipadores como reforzamiento fue que no requería algún tipo de mantenimiento luego de su instalación.



Figura 112. Reforzamiento del aeropuerto Jorge Chávez. Fuente: Arq. Pinto, 2015

Se muestra un cuadro comparativo resumen (ver tabla 38) entre el mantenimiento del reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso y el reforzamiento tradicional (incorporación de elementos estructurales como placas, conexiones metálicas o mediante el aumento de secciones en los elementos estructurales).

Tabla 36

Mantenimiento de disipadores de fluido viscoso vs Reforzamiento tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
No requiere mantenimiento en su vida útil	Puede requerir un mantenimiento en su vida útil
Luego de un evento sísmico, no necesita un reemplazo y sigue manteniendo su funcionalidad	Requiere una revisión de su estado luego de un evento sísmico para evaluar los daños provocados
Presenta una vida útil de 60 años sin depender tanto del evento sísmico	La vida útil depende del evento sísmico

Fuente: Propia

Para el cuarto criterio:


Está enfocado en los costos de inversión que tienen los disipadores de fluido viscoso cuando son incorporados a una estructura como reforzamiento, ya que:

- Los disipadores al tener una instalación más factible en las estructuras, esto conlleva a su vez, a tener el menor costo de instalación a diferencia de los aisladores que necesitan generar un espacio circundante alrededor de la edificación para permitir un movimiento libre del dispositivo.
- Al ser los disipadores dispositivos que se pueden incorporar en estructuras mediante etapas, esto hace que no se paralicen los trabajos rutinarios del proyecto generando un menor costo evocado únicamente en la instalación de la misma. Lo mencionado anteriormente es un punto a considerar comparado con el sistema de refuerzo tradicional como es la inclusión de muros de corte o incremento de algunas secciones, ya que, no sólo entraría el costo de su ejecución, sino también que conlleva a realizar paradas en la producción de la edificación por periodos significativos.
- La distribución de los ambientes permite que los disipadores sean los más adecuados para su reforzamiento, debido a que existen escaleras y rampas en la arquitectura haciendo que dispositivos como aisladores o masas sintonizadas requieran de modificaciones en la arquitectura para su aplicación generando a su vez, costos adicionales. Es por ello, los disipadores de fluido viscoso siguen siendo la opción más económica como reforzamiento para el proyecto.

Lo indicado anteriormente, se sustenta en base a la siguiente información:

CDV Representaciones dentro de su información con respecto a los disipadores indica una estimación del costo de inversión por m² de entre 15 y 30 dólares, además,

menciona que, si se toma en referencia al costo total de la edificación, éste varía entre el 1% y el 3% tal como se puede ver en la figura 113.

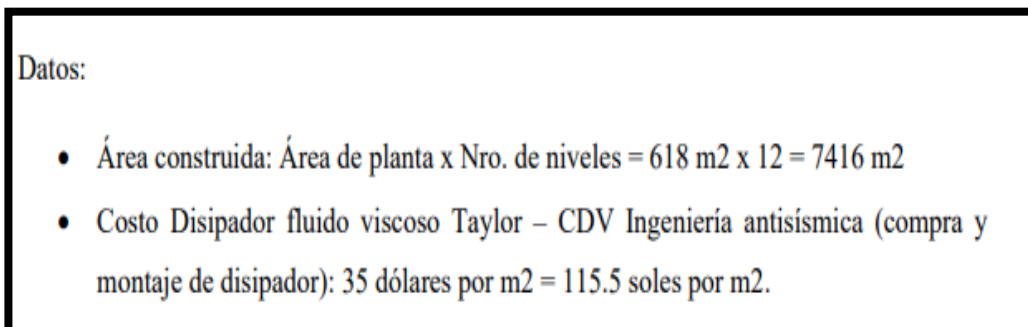


The screenshot shows a website header with the logo 'CDV INGENIERÍA ANTISÍSMICA' and navigation links: 'NOSOTROS', 'PROTECCIÓN SÍSMICA', 'SERVICIOS', 'PRODUCTOS', 'PROYECTOS', and 'CONTACTAR'. The main content is divided into two sections: 'INVERSIÓN' and 'BENEFICIOS'. Under 'INVERSIÓN', it states 'El costo por m² varía entre 15 y 30 dólares.' Under 'BENEFICIOS', it states 'La experiencia peruana con este producto es buena. Se estima que la inversión en disipadores viscosos está entre el 1% y 3% del total del valor del proyecto. Además, si tomamos en cuenta que una vez ocurrido el terremoto, no requiere mantenimiento ni reemplazo, el costo en reconstrucción no significará un costo adicional (aproximadamente el costo de la inversión).'

Figura 113. Inversión y beneficios de los disipadores. Fuente: CDV Representaciones, s.f.

Ticse y Zevallinos (2019) en su tesis “Control de irregularidad por torsión en una edificación de 12 pisos mediante el reforzamiento con disipadores de energía de fluido viscoso” realiza una estimación del costo total para una edificación que presenta un diseño normal sin disipadores y otro con el diseño que incluye los disipadores de fluido viscoso.

En la figura 114 se puede observar los resultados que se obtuvieron en cuanto al costo del disipador de fluido viscoso de la marca Taylor Device que involucra la compra y montaje resultando un valor de 115.5 soles por m².



The screenshot shows a box titled 'Datos:' containing two bullet points:

- Área construida: Área de planta x Nro. de niveles = 618 m² x 12 = 7416 m²
- Costo Disipador fluido viscoso Taylor – CDV Ingeniería antisísmica (compra y montaje de disipador): 35 dólares por m² = 115.5 soles por m².

Figura 114. Costo del disipador. Fuente: Ticse y Zevillanos, 2019

Además, como se mencionó anteriormente en sus resultados se elaboró una estimación del costo del proyecto sin disipadores y otra con disipadores, donde se obtuvo un costo total de S/. 12,470,597.28 para el edificio sin disipadores, y S/. 13,327,145.28 para el edificio con disipadores, resultando una variación del 7% (ver figura 115).

Resultados de la Estimación de Costos:

Tipo de Cambio (Dólar a Soles)		3.3			
Descripción	UND	Cantidad	Precio Unitario	Sub Total	Total
Edificio Clínica - Sin Disipadores					S/ 12,470,597.28
Area Techada del Edificio	m2	7416	S/ 1,681.58	S/12,470,597.28	
Edificio Clínica - Con Disipadores					S/ 13,327,145.28
Area Techada del Edificio	m2	7416	S/ 1,681.58	S/12,470,597.28	
Disipadores Taylor	m2	7416	S/ 115.50	S/ 856,548.00	
% DE INCREMENTO					7%

Figura 115. Estimación de costos de un edificio con y sin disipadores. Fuente: Tise y Zevillanos, 2019

También, Narváez (2019) en su investigación “Análisis comparativo técnico económico de una edificación de 12 pisos empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histéreticos” realiza una estimación del costo de los disipadores de fluido viscoso (DFV) por metro cuadrado tal como se muestra en la figura 116 resultando un valor de 125 \$ incluyendo sus conexiones.

• Disipadores de Fluido Viscoso

Tabla 4. 31 Costo en obra para DFV en un sismo máximo considerado

TIPO	Cant.	Prec. Unitario (\$)	Parcial (\$)
DFV 500 (KN)	180	\$ 5 000,00	\$ 900 000,00
Conexiones	90	\$ 1 500,00	\$ 135 000,00
TOTAL			\$ 1 035 000,00
Costo / m ²			\$ 125,00

Figura 116. Estimación de costos de los disipadores de fluido viscoso. Fuente Narváez, 2019.

Narváez en su investigación también menciona que los disipadores “al no requerir un mantenimiento ni reemplazo luego de un terremoto severo y sus réplicas, tampoco habrá gastos adicionales por mecanismos de abrasión, desgastes, rozamiento ni destrucción por fluencia, además, se disminuirán los costos de reconstrucción los cuales pueden estar entre un 25% y 30% de la inversión inicial, sin considerar las pérdidas de vidas humanas”.

Hay que tener en consideración que cada estructura posee características y restricciones únicas, por lo que, se deberá decidir qué tipo de sistema de amortiguamiento ofrecerá el mejor rendimiento en términos de costo, cronograma de construcción, entre otros.

Lago, Trabucco, & Wood (2019) determinaron ciertas consideraciones que se debe tener en cuenta para la evaluación de la implementación de un sistema que modifique la respuesta dinámica de una estructura y son:

- ✓ Fuente de la excitación dinámica
- ✓ Comportamiento de la estructura
- ✓ Interacción amortiguador-estructura
- ✓ Espacio disponible de implementación
- ✓ Material de construcción, método y cronograma
- ✓ Capacidades de elevación en sitio durante la instalación
- ✓ Requisitos de mantenimiento e inspección.
- ✓ Diseño y estudio de viabilidad
- ✓ Adquisición de componentes mecánicos y de fabricación
- ✓ Instalación in situ y puesta de marcha en obra
- ✓ El mantenimiento del sistema durante un periodo de tiempo.

Se muestra un cuadro comparativo resumen (ver tabla 39) entre el costo del reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso y el reforzamiento tradicional basado en la incorporación de elementos estructurales como placas, conexiones metálicas o mediante el aumento de secciones en los elementos estructurales.

Tabla 37

Comparación reforzamiento con disipadores vs reforzamiento tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
Costo mínimo ya que se instala de forma adosada adaptándose de forma accesible a la arquitectura	Puede generar costos adicionales dependiendo del tipo de reforzamiento tradicional que se utilice
No interrumpe los trabajos rutinarios del proyecto ahorrando costos de instalación	Puede generar paralización de los trabajos rutinarios del proyecto a la hora de su instalación
Genera costos mínimos al poder instalarse por etapas	Puede generar costos adicionales si se instala por etapas

Fuente: Propia

Con todo lo mencionado anteriormente, se justifica la selección de los disipadores de fluido viscoso como sistema de protección sísmica para el reforzamiento del Palacio Municipal ubicado en el distrito de Miraflores en la región de Arequipa, ya que, éste permite obtener un mejor comportamiento estructural al proporcionarle amortiguamiento, pero sin generar un incremento en su rigidez permitiendo obtener menores desplazamientos frente al sismo. Además, garantiza el cumplimiento del marco normativo y funcionalidad de los elementos estructurales que lo conforman. Considerando, además, que es el más usado a nivel mundial demostrando su efectividad en la aplicación como reforzamiento de estructuras.

Por último, se menciona que no se planteó el incremento de secciones en esta estructura construida por cuestiones de viabilidad, ya que, modificaría la arquitectura existente.

2.4.3. Objetivo específico 3

2.4.3.1. Procedimiento

- Analizar la estructura considerando un sismo severo. Para ello, se definirá un nuevo espectro considerando un coeficiente de reducción sísmica (R) igual a 1 y se realizará el análisis dinámico, tal como establece la norma E.030 Diseño Sismorresistente 2019 en el inciso 30.1.3.
- Evaluar las derivas inelásticas que se obtienen con el espectro, recalando que, según la E.030 Diseño Sismorresistente los desplazamientos elásticos se multiplicarán directamente por la unidad.
- Contrastar los resultados obtenidos a partir análisis dinámico (espectro con $R = 1$) con los resultados del análisis tiempo-historia. Para ello, se trabajará con 3 acelerogramas de sismos que fueron considerados de acuerdo a la realidad del proyecto.
- De acuerdo a la E.030 se escalará los acelerogramas al espectro de diseño con $R = 1$. Los acelerogramas se tendrán que escalar en sus dos componentes X e Y de forma independiente. Para ello, se empleará el software Seismosignal, para corregir los acelerogramas y el Seismomatch para escalarlos.
- Obtener las nuevas derivas a partir del análisis tiempo-historia considerando los criterios establecidos en la E.030 Diseño Sismorresistente.
- Evaluar la influencia que tienen los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento en el comportamiento estructural de la edificación.

2.4.3.2. Marco teórico

➤ Definición de los objetivos de diseño para el disipador

A. Amortiguamiento objetivo:

Si la deriva máxima obtenida del análisis del edificio sin disipadores es mayor que la deriva objetivo, entonces se determina el cociente:

$$B = \frac{\text{Deriva Máxima}}{\text{Deriva objetivo}}$$

(Ecuación 6)

Este es el factor de reducción de respuesta para llegar a la deriva objetivo. Con este factor B podemos determinar el amortiguamiento efectivo necesario B_{eff} que desarrollara la estructura para alcanzar la deriva objetivo mediante la fórmula de Newmark:

$$B = \frac{2.31 - 0.41\text{Ln}(5)}{2.31 - 0.41\text{Ln}(B_{eff})}$$

(Ecuación 7)

En el siguiente gráfico se muestra las relaciones entre algunos valores del factor de reducción B y su correspondiente “ B_{eff} ”.

El factor “ B_{eff} ” es el amortiguamiento objetivo que debe desarrollar la estructura con la adición de los disipadores de energía. La participación que tendrán los disipadores en el amortiguamiento B_{visc} puede obtenerse descontando el amortiguamiento inherente de la estructura, 5% para edificios de concreto armado, del valor B_{eff} .

$$B = B_{eff} - 5\%$$

(Ecuación 8)

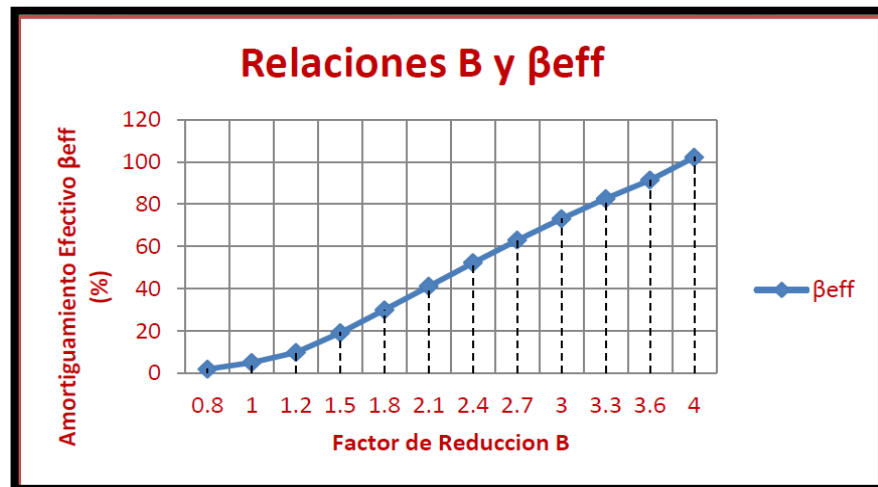


Figura 117: Relación Factor B y Amortiguamiento efectivo β_{eff} . Fuente: MLE – HAZUS, s.f.

➤ Definición de las propiedades del disipador

A. Rigidez del brazo metálico “K”

Cuando los amortiguadores están adosados a la estructura usando brazos metálicos en posición diagonal, la rigidez axial de este brazo metálico gobierna la rigidez axial del sistema brazo-disipador y puede hallarse mediante la fórmula

$$K = \frac{EA}{L}$$

(Ecuación 9)

Donde:

E: Coeficiente de Elasticidad del material

A: Área de la sección del brazo metálico

L: Longitud del brazo metálico

Los especialistas de MIYAMOTO INTERNATIONAL recomiendan iniciar con el proceso de iteración planteando un valor de 2000 kips/in el cuál será posteriormente afinado.

B. Coeficiente de Amortiguamiento “C”

Asumiendo que todos los disipadores en la estructura tienen las mismas propiedades, la obtención del coeficiente “C” se desarrolla mediante una estimación del factor en las ecuaciones anteriores.

Para amortiguadores lineales:

$$\beta_{visc} = \frac{T \sum C \phi^2 \cos^2 \theta}{4\pi \sum m \phi^2}$$

(Ecuación 10)

Para amortiguadores no lineales:

$$\beta_{visc} = \frac{T \sum C \phi^2 \cos^2 \theta}{4\pi \sum m \phi^2}$$

(Ecuación 11)

C. Exponente de Velocidad “a”

El exponente de velocidad “ α ” es la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad y determina el comportamiento histerético de los disipadores empleados.

El disipador con $\alpha = 1$ se llama disipador viscoso lineal, en el que la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad relativa. Los disipadores con $\alpha < 1$ se llaman disipadores viscosos no lineales, que son eficaces en la reducción de choques de alta velocidad.

Esta cifra demuestra la eficacia de los disipadores no lineales en la minimización de choques de alta velocidad. Para una pequeña velocidad relativa, el disipador con un valor de α menor que 1 puede dar una fuerza de amortiguamiento más grande que los otros dos tipos de amortiguadores.

Para los disipadores viscosos no lineales el valor de α está en un rango de 0.3 a 1.0, sin embargo, CDV Representaciones recomienda utilizar un rango entre 0.4 y 0.5 para edificaciones con registros sísmicos.

La ecuación siguiente nos muestra el coeficiente de amortiguamiento constante para todos los Dispositivos:

$$\Sigma C_j = \frac{\beta_H \cdot 2 \pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\Sigma_i m_i \theta_i^2)}{\lambda (\Sigma \theta_{ij}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

(Ecuación 12)

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura

El valor de β_H depende del amortiguamiento objetivo que se desee alcanzar mediante los siguientes pasos:

- Determinar el factor de reducción de respuesta (B)

$$\beta_{visc} = \frac{D_{max}}{D_{objetivo}}$$

(Ecuación 13)

Donde:

D_{max} : Deriva máxima

$D_{objetivo}$: Deriva objetivo

La deriva máxima es obtenida mediante el análisis tiempo historia.

- Determinar el amortiguamiento efectivo

$$\beta_{visc} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

(Ecuación 14)

Donde:

β_0 : Amortiguamiento inherente de la estructura (5%)

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo.

- Determinar el amortiguamiento viscoso de la estructura

$$\beta_{visc} = \beta_{eff} - 5\%$$

(Ecuación 15)

El amortiguamiento viscoso de la estructura es el amortiguamiento efectivo (β_{eff}) más el amortiguamiento inherente (β_0) de la estructura asumido en no más del 5%.

➤ **Ecuación general de los dispositivos de fluido viscoso**

La relación fuerza/velocidad para este tipo de disipador se puede expresar de la siguiente forma:

$$F = C V^\alpha$$

(Ecuación 16)

Donde:

F: Fuerza de salida

C: Coeficiente de amortiguamiento

V: Velocidad relativa a través del disipador

α : Coeficiente que varía entre 0.4 y 0.6 para edificaciones.

2.4.3.3. Desarrollo

Para realizar el análisis tiempo-historia, se someterá a la estructura bajo un sismo severo, para ello, se definirá un espectro considerando como factor de reducción sísmica (R) el valor de 1, tal como establece la norma E.030 en el inciso 30.1.3.

Tabla 38

Parámetros sísmicos para el sismo severo

Z	0.35
U	1.5
C	De 0.00 a 10 Seg
S	1.15
R _{x,y}	1
g	9.81 m/s ²

Fuente: Propia

A continuación, se mostrará los valores de tabulación del factor C para el cálculo de la aceleración espectral considerando un factor de reducción sísmica de $R = 1$.

Tabla 39

Aceleración espectral con $R=1$

C	T (s)	Sa/g
2.5	0	1.509375
2.5	0.02	1.509375
2.5	0.04	1.509375
2.5	0.06	1.509375
2.5	0.08	1.509375
2.5	0.1	1.509375
2.5	0.12	1.509375
2.5	0.14	1.509375
2.5	0.16	1.509375
2.5	0.18	1.509375
2.5	0.2	1.509375
2.5	0.25	1.509375
2.5	0.3	1.509375

2.5	0.35	1.509375
2.5	0.4	1.509375
2.5	0.45	1.509375
2.5	0.5	1.509375
2.5	0.55	1.509375
2.5	0.6	1.509375
2.3076923	0.65	1.3932692
2.1428571	0.7	1.29375
2	0.75	1.2075
1.875	0.8	1.1320313
1.7647059	0.85	1.0654412
1.6666667	0.9	1.00625
1.5789474	0.95	0.9532895
1.5	1	0.905625
1.3636364	1.1	0.8232955
1.25	1.2	0.7546875
1.1538462	1.3	0.6966346
1.0714286	1.4	0.646875
1	1.5	0.60375
0.9375	1.6	0.5660156
0.8823529	1.7	0.5327206
0.8333333	1.8	0.503125
0.7894737	1.9	0.4766447
0.75	2	0.4528125
0.6198347	2.2	0.3742252
0.5208333	2.4	0.3144531
0.443787	2.6	0.2679364
0.3826531	2.8	0.2310268
0.3333333	3	0.20125
0.1875	4	0.1132031
0.12	5	0.07245
0.0833333	6	0.0503125
0.0612245	7	0.0369643
0.046875	8	0.0283008
0.037037	9	0.0223611
0.03	10	0.0181125

Fuente: Propia

Se muestra una gráfica del espectro de sismo severo ($R = 1$) de aceleración vs tiempo de acuerdo a la E.030 Diseño Sismorresistente.

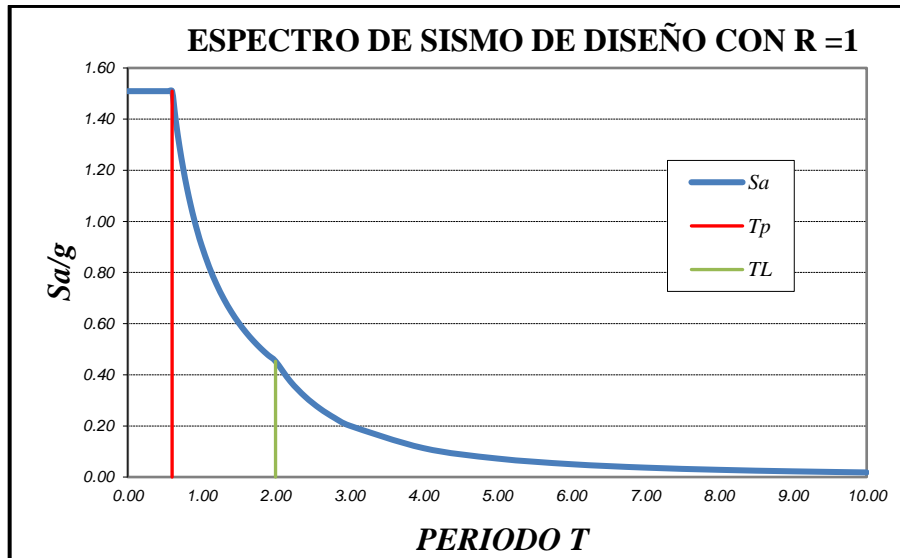


Figura 118. Espectro de diseño con $R = 1$. Fuente: Propia

El espectro será definido dentro del programa ETABS.

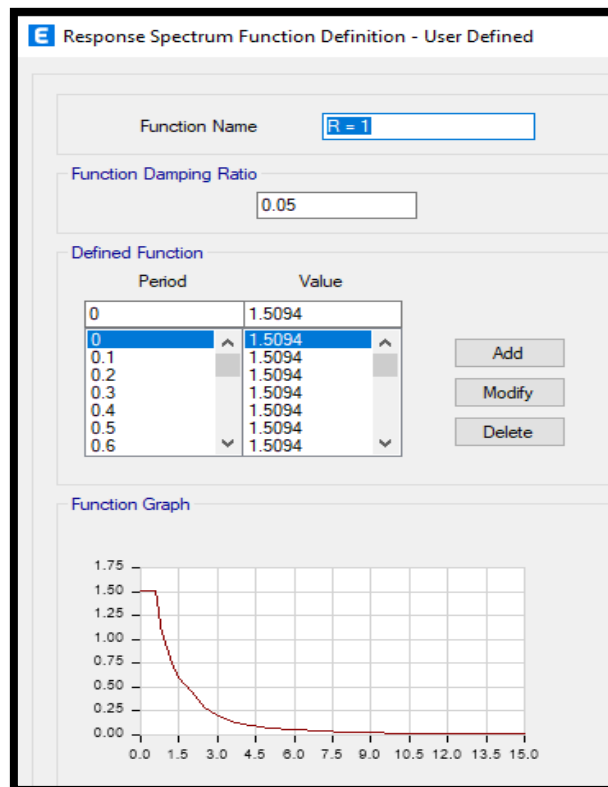


Figura 119. Pseudoaceleración con $R=1$. Fuente: Propia.

Con el espectro introducido se procederá a realizar el análisis dinámico para obtener las nuevas derivas de entrepiso en la dirección X e Y considerando un sismo severo.

Tabla 40

Derivas debido al espectro $R = 1$ en la dirección X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	EEQQ X R=1	LinRespSpec	Max	X	0.007581
Story3	EEQQ X R=1	LinRespSpec	Max	X	0.008221
Story2	EEQQ X R=1	LinRespSpec	Max	X	0.007465
Story1	EEQQ X R=1	LinRespSpec	Max	X	0.003782

Fuente: Propia

Tabla 41

Derivas debido al espectro $R = 1$ en la dirección Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	EEQQ Y R=1	LinRespSpec	Max	Y	0.014417
Story3	EEQQ Y R=1	LinRespSpec	Max	Y	0.019265
Story2	EEQQ Y R=1	LinRespSpec	Max	Y	0.020347
Story1	EEQQ Y R=1	LinRespSpec	Max	Y	0.012005

Fuente: Propia

Se puede visualizar en las tablas 42 y 43 que las derivas obtenidas para la dirección Y sobrepasan por mucho el límite para estructuras de concreto armado (0.007) mientras que para la dirección X el exceso obtenido es relativo, teniendo en cuenta que, se castigó la

estructura al considerar un porcentaje de agrietamiento tanto para las vigas como para las columnas. De todas formas, ante un sismo severo, la estructura fallaría en ambas direcciones.

Seguidamente, se procederá a realizar el análisis tiempo-historia para la edificación, para ello, el procedimiento que se usará será el establecido por la norma E.030 Diseño Sismorresistente 2019 en el artículo 30.

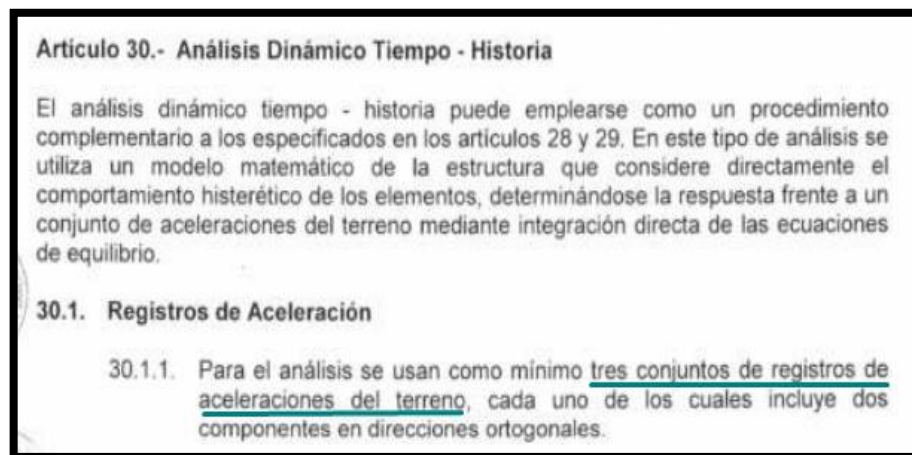


Figura 120. Análisis tiempo-historia según la E.030 Diseño Sismorresistente. Fuente: Propia

A continuación, se mostrará los 3 acelerogramas obtenidos a partir del REDACIS y que fueron seleccionados teniendo en cuenta su gran magnitud y la realidad del proyecto.

Tabla 42

Acelerogramas de los sismos severos seleccionados para el análisis tiempo-historia

Localización de la estación	Sismo	Componentes	Aceleración máxima (cm/s ²)
Arequipa	7 de Julio del 2001	E-W	-123.21
		N-S	-120.52
Lima	31 de mayo del 1970	E-W	-104.8
		N-S	-97.7
Lima	25 de noviembre del 2013	E-W	-85.42
		N-S	-69.45

Fuente: Propia

AQP001_20010707043905.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

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

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION

STATION NAME : Estación UNSA

STATION CODE : AQP001

STATION LOCATION : San Agustín National University, Arequipa, Arequipa

LATITUDE : -16.404

LONGITUDE : -71.524

ALTITUDE (m) : 2413

ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics

SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE

DATE : July 07, 2001

ORIGIN TIME (Local) : 04:38:00

LATITUDE : -17.40

Figura 121. Acelerograma de Arequipa del 07 de julio del 2001. Fuente: REDACIS, s.f.

LIMA 1970.txt: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

COORDENADAS DE LA ESTACIÓN : 12.06°LAT. S
: 77.05°LONG. W

ALTITUD(msnm) :
TIPO DE SUELO : Grava gruesa
INSTITUCIÓN RESPONSABLE : CISMID-UNI

DATOS DEL ACELEROGRAFO:

MODELO DEL ACELEROGRAFO :
NÚMERO DE SERIE DEL ACELEROGRAFO :
NÚMERO DE CANALES : 3

ORIENTACIÓN, Canal1/Canal2/Canal3	E-W	N-S	U-D
FREC. DE MUESTREO, Canal1/Canal2/Canal3 (muestra):	50	50	50
MAX. AMPLITUD DE SENSORES, Canal1/Canal2/Canal3 :			
PERIODO DEL INSTRUMENTO, Canal1/Canal2/Canal3 (s):	0.065	0.066	0.066
AMORTIGUAMIENTO DE SENSORES, Canal1/Canal2/Canal:	0.61	0.55	0.62
INTERVALO DE MUESTREO, Canal1/Canal2/Canal3 (s) :	0.02	0.02	0.02
UMBRAL DE DISPARO, Canal1/Canal2/Canal3 (Gal) :			
MEMORIA DE PRE-EVENTO (s) :			
TIEMPO DE POST-EVENTO (s) :			

DATOS DEL SISMO:

FECHA DEL SISMO : 31 de Mayo de 1970

HORA EPICENTRO (LOCAL) : 15:23

COORDENADAS DEL EPICENTRO : 9.36°LAT. S
: 78.87°LONG. W

PROF. FOCAL /DIST. EPIC. /DIST. HIPOC. (Km)	64	361	367
MAGNITUD	Mb	MS	Mw
	6.6*	7.8**	
		7.7S	

FUENTE DE LOS DATOS EPICENTRALES : IGP(*) Silgado(S) USCGS(**)

Figura 122. Acelerograma de Lima del 31 de mayo de 1970- Fuente: REDACIS, s.f.

```

LIM007_20131125150710.txt: Bloc de notas
Archivo Edición Formato Ver Ayuda
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING
JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID)
TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31
Telephone Numbers (51-1) 482-0777, 482-0790 FAX 481-0170
e-mail: f_lazares@uni.edu.pe http://www.cismid-uni.org

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME : Villa El Salvador
STATION CODE : LIM007
STATION LOCATION : VSV N° 105 Fire Station, Villa El Salvador, Lima
LATITUDE : -12.213
LONGITUDE : -76.938
ALTITUDE (m) : 167
ACCELEROMETER MODEL : CV-374A2 Tokyo Sokushin
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE : November 25, 2013
ORIGIN TIME (Local) : 15:06:00
LATITUDE : -12.77
LONGITUDE : -76.48
DEPTH (km) : 59.00
MAGNITUDE : 5.8 ML

```

Figura 123. Acelerograma de Lima del 25 de noviembre del 2013. Fuente: REDACIS, s.f.

Ahora bien, para los registros de los acelerogramas se recomienda que se corrijan a partir de una línea base para evitar que exista una desviación de los registros con respecto al centro. Este proceso se realiza, ya que, los registros contienen, a su vez, registros adicionales como son los ruidos producidos por carros, equipos o incluso también del mismo ambiente.

Es por ello, que para obtener resultados más exactos se decidió realizar esta corrección de los acelerogramas utilizando el programa Seismosignal de la compañía de Seismosoft. Este programa permite que no haya una desviación de los acelerogramas con respecto al centro mediante un proceso de corrección de punto a punto similar al promedio aritmético del registro. Además, como se mencionó permite hacer un filtrado de señal removiendo aquellas frecuencias externas al sismo generado.

En la figura 124 y 125 se puede ver como se importa el acelerograma del sismo de Arequipa al Seismosignal en la dirección EW (Este-Oeste).

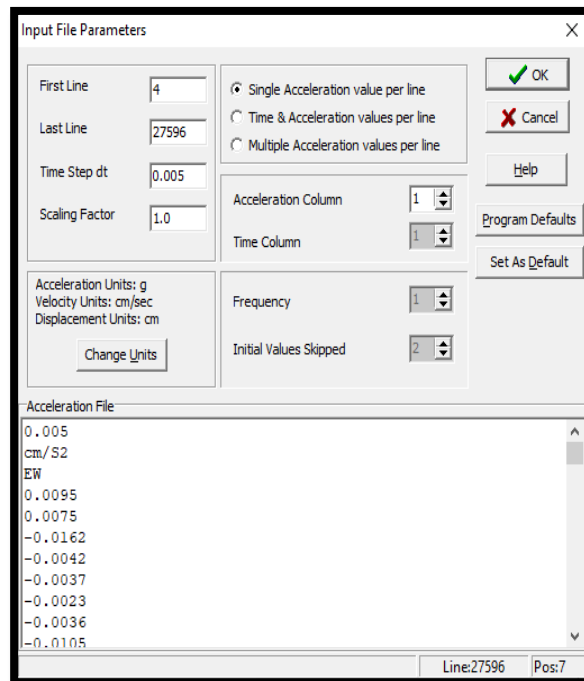


Figura 124. Importación del acelerograma a Seismosignal. Fuente: Propia

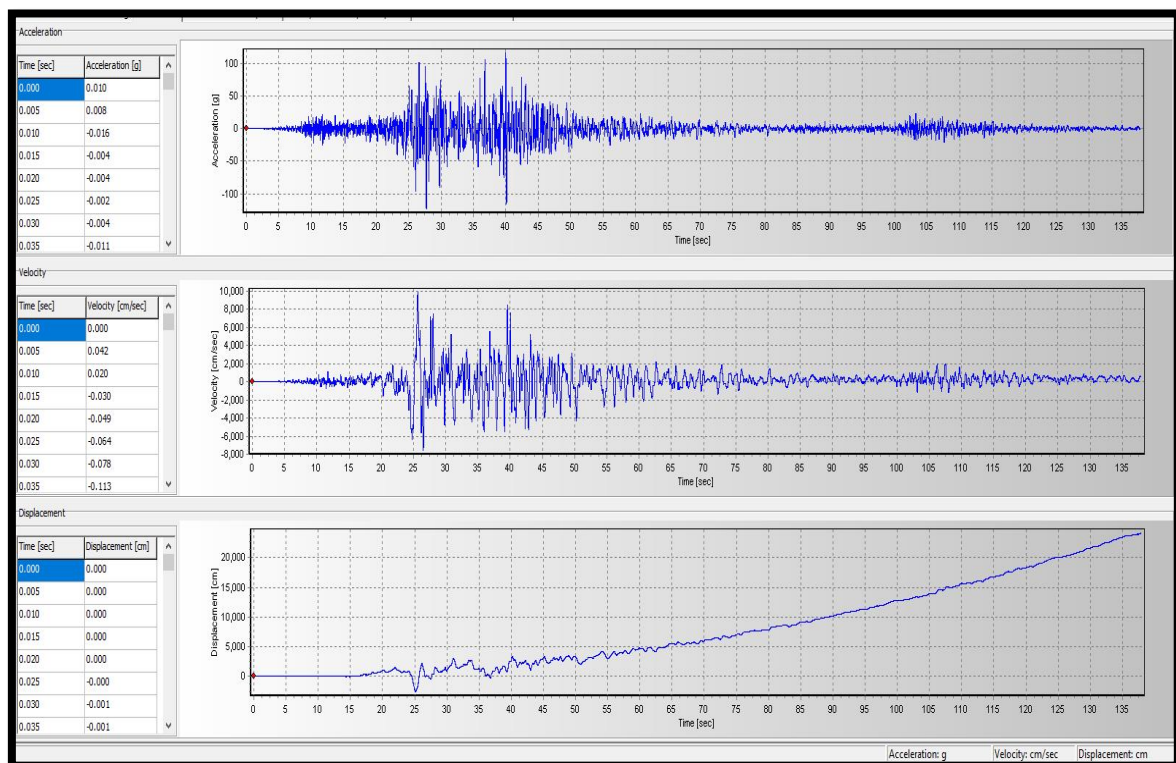


Figura 125. Acelerograma introducido al Seismosignal. Fuente: Propia

Una vez introducido el acelerograma del sismo de Arequipa en la dirección EW se procederá a realizar el filtrado y corrección de línea base tal como se visualiza en la figura 126. Este proceso también se realizará para el otro componente del acelerograma (componente NS o Norte-Sur) del sismo de Arequipa y, por consiguiente, también se repetirá el proceso para los otros sismos de lima 2013 y lima 1970.

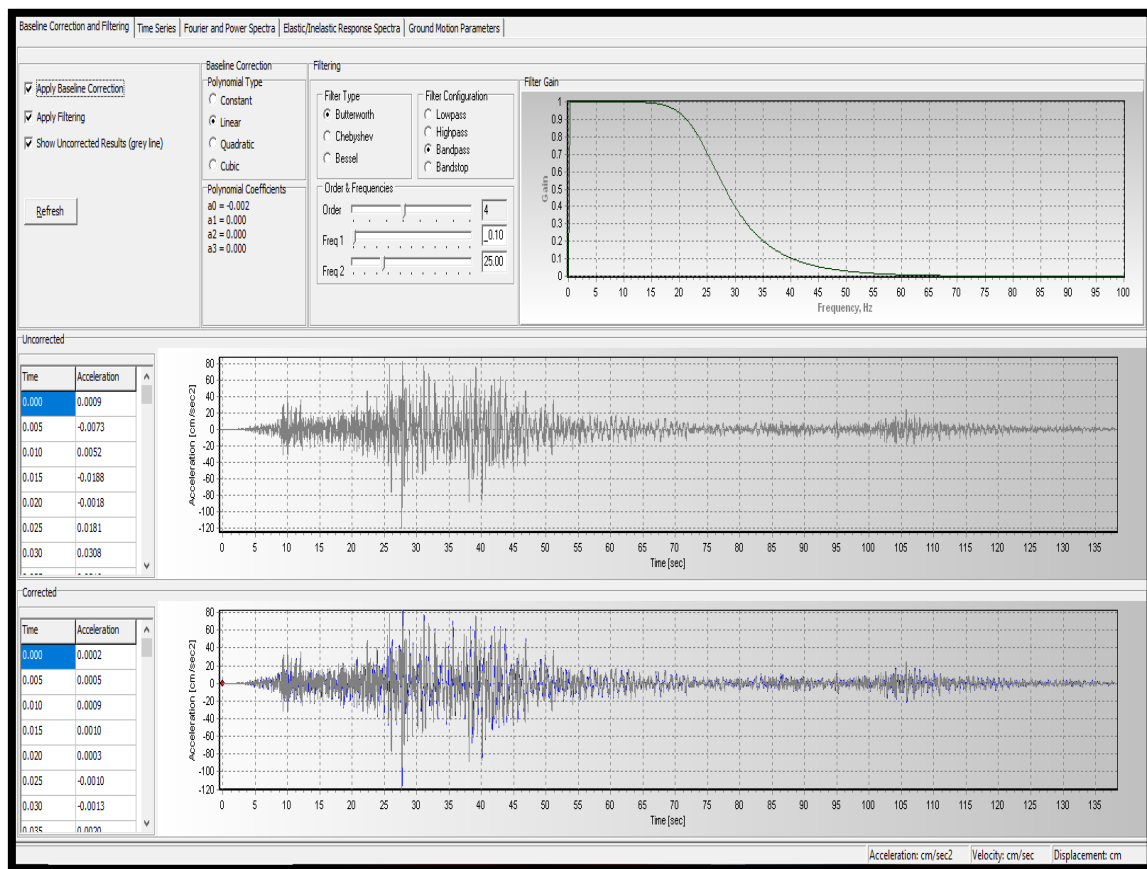


Figura 126. Acelerograma corregido por línea base y filtrado. Fuente: Propia.

Luego, tal como indica la norma E.030 Diseño Sismorresistente los acelerogramas corregidos deberán ser escalarlos al espectro de diseño (espectro con $R=1$) en cada una de sus componentes. En las figuras 127 y 128 se detalla cómo se aplicarán las fuerzas en la estructura a partir de los dos componentes de cada sismo (EW y NS), y, por consiguiente, la creación de los casos de carga de tipo tiempo-historia.

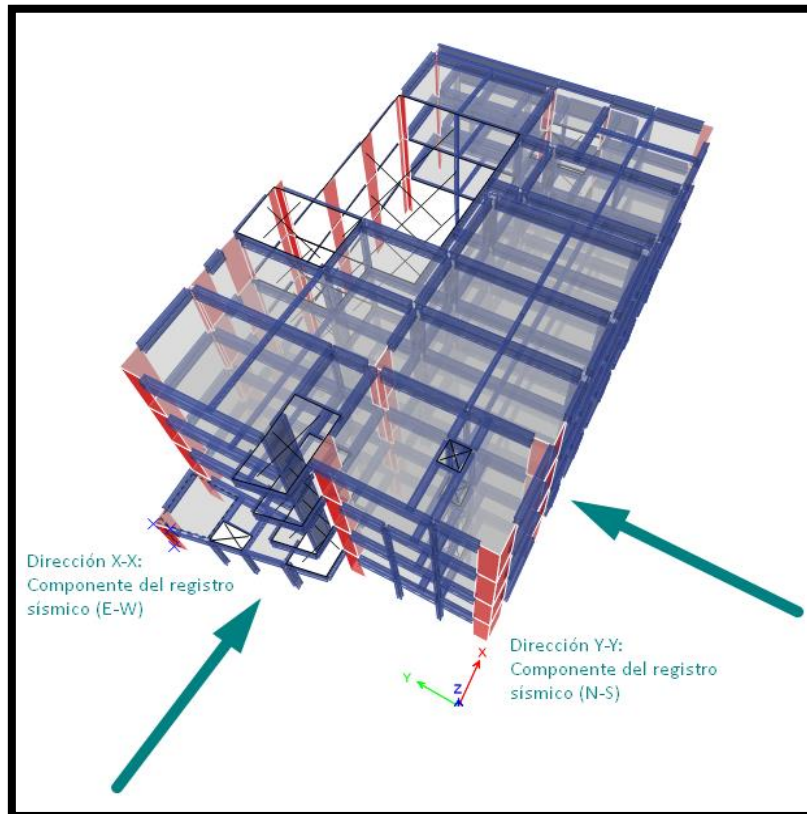


Figura 127. Primer caso de análisis en X (E-W) e Y (N-S). Fuente: Propia.

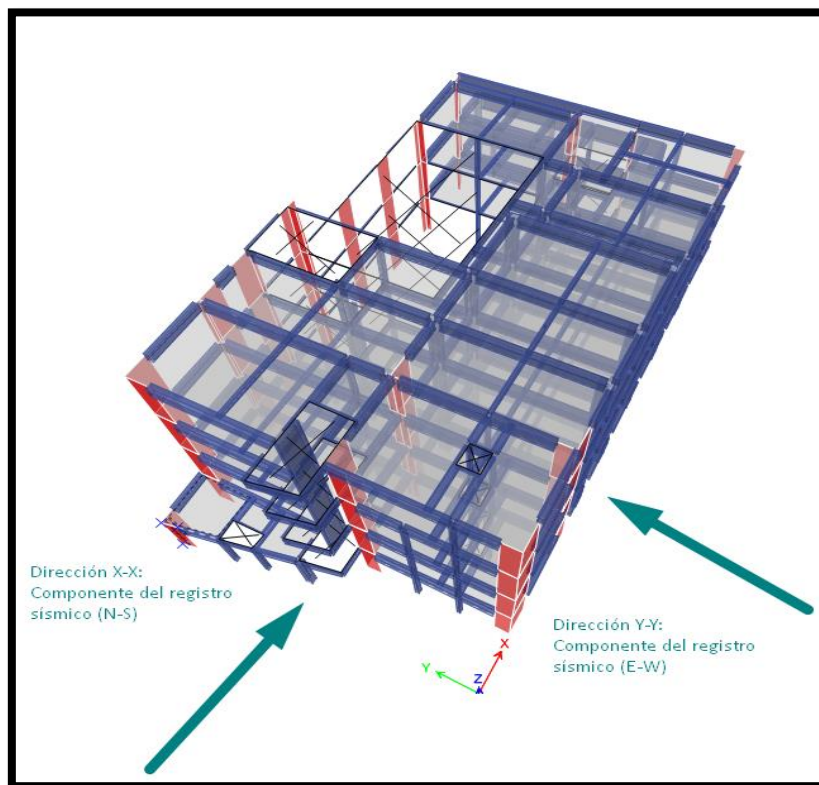


Figura 128. Segundo caso de análisis en X (N-S) e Y (E-W). Fuente: Propia.

Como se mencionó anteriormente, este proceso se hará por cada registro sísmico analizando por separado cada una de sus componentes obteniendo dos casos por cada registro definiéndolo de la siguiente manera:

- Primer caso: Cuando el componente del registro sísmico E-W actúa en la dirección X-X y el componente del registro N-S actúa en la dirección Y-Y.
- Segundo caso: Cuando el componente del registro sísmico N-S actúa en la dirección X-X y el componente del registro E-W actúa en la dirección Y-Y.

Siguiendo con el procedimiento del análisis tiempo-historia se procederá a escalar los sismos al espectro de diseño $R = 1$, para ello, se utilizó el software SeismoMatch. En la figura 129 se muestra cómo se introdujo el acelerograma en un componente y a su vez, el espectro de diseño $R = 1$.

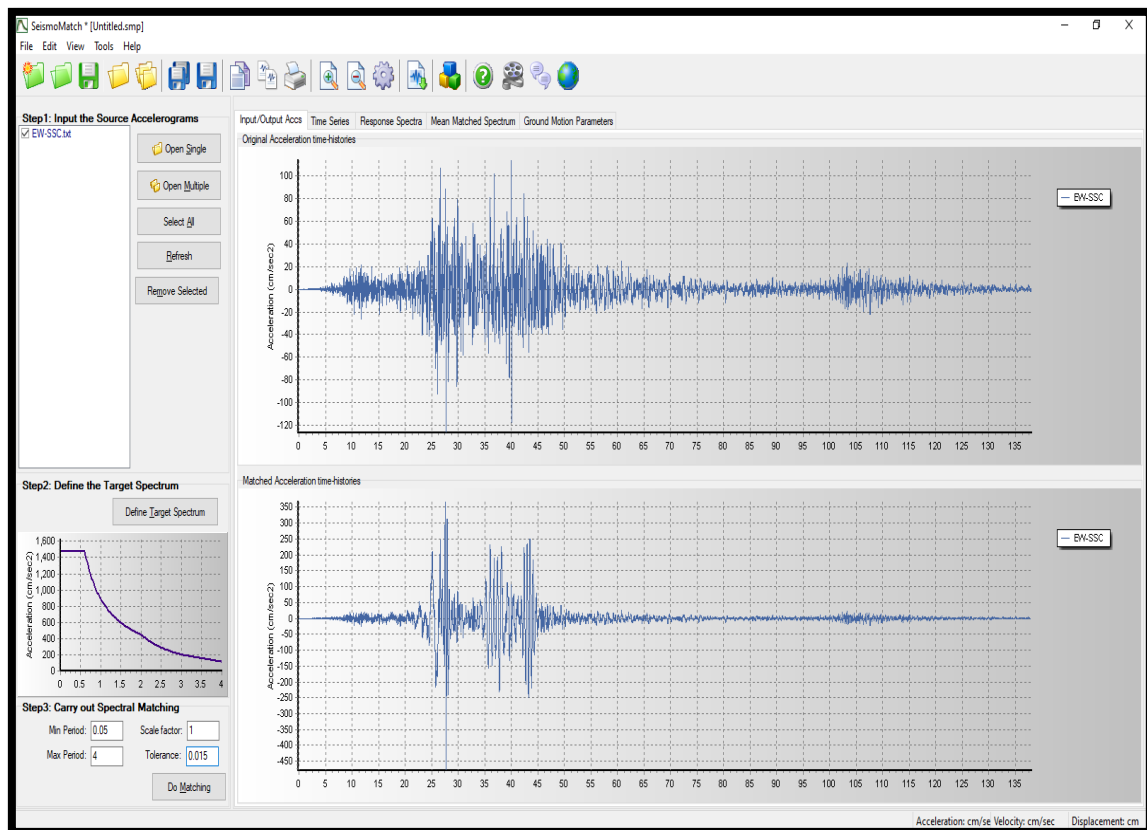


Figura 129. Escalamiento del acelerograma en el Seismomatch. Fuente: Propia.

En la figura 130 se puede visualizar el espectro de diseño $R=1$ con una línea roja y el registro sísmico sin escalar con una línea de color naranja.

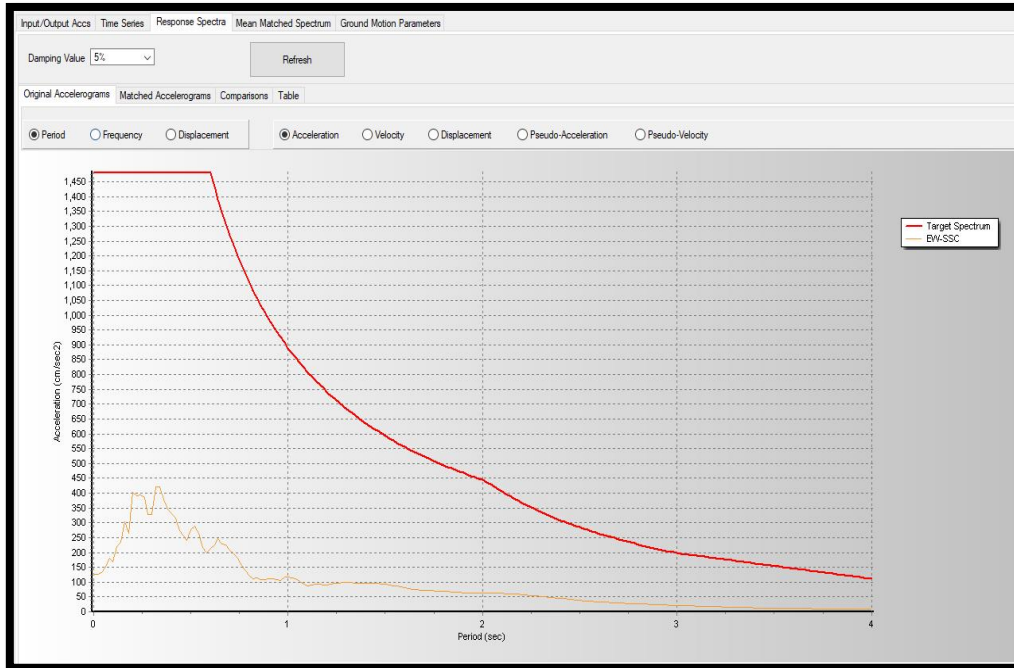


Figura 130. Espectro de diseño y el registro sísmico sin escalar. Fuente: Propia.

En la figura 131 se visualiza el escalamiento realizado del registro sísmico (línea de color naranja) hacia el espectro de diseño (línea de color rojo).

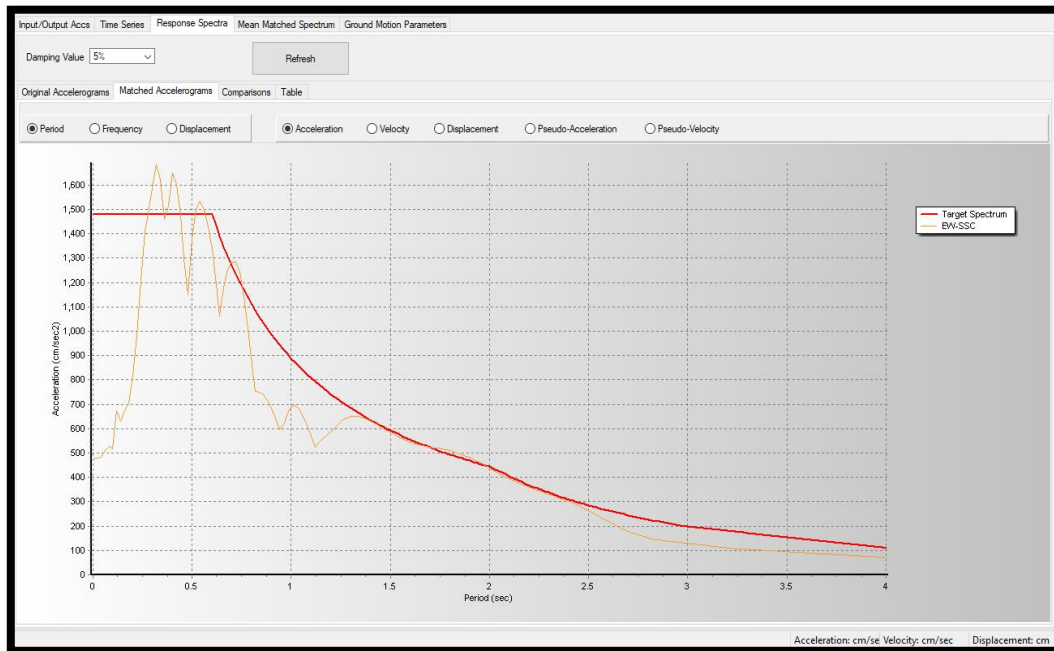


Figura 131. Espectro de diseño y el registro sísmico escalado. Fuente: Propia.

Este mismo procedimiento se realizará para los otros acelerogramas. Dentro del programa ETABS se procederá a importar los registros sísmicos de tiempo historia corregidos por línea base mediante y escalados al espectro de diseño ($R=1$).

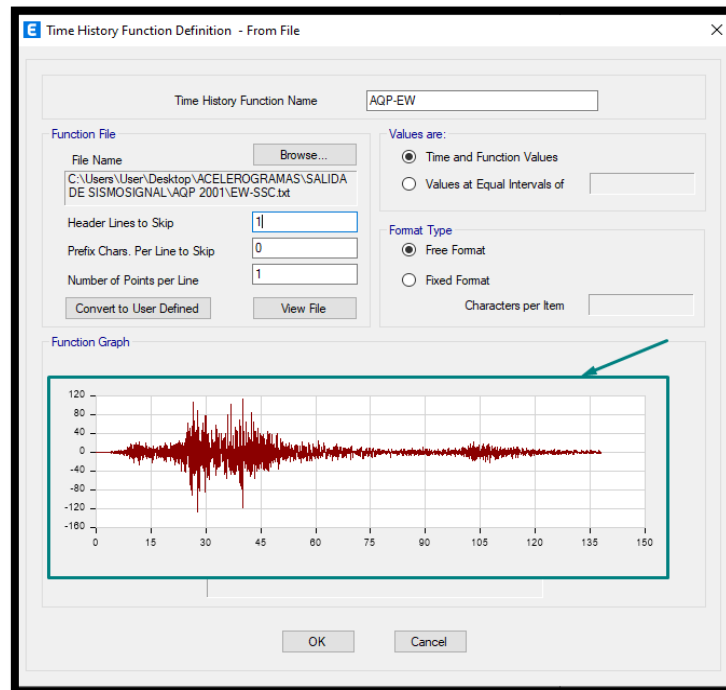


Figura 132. Importación del acelerograma de Arequipa en la dirección EW. Fuente: Propia.

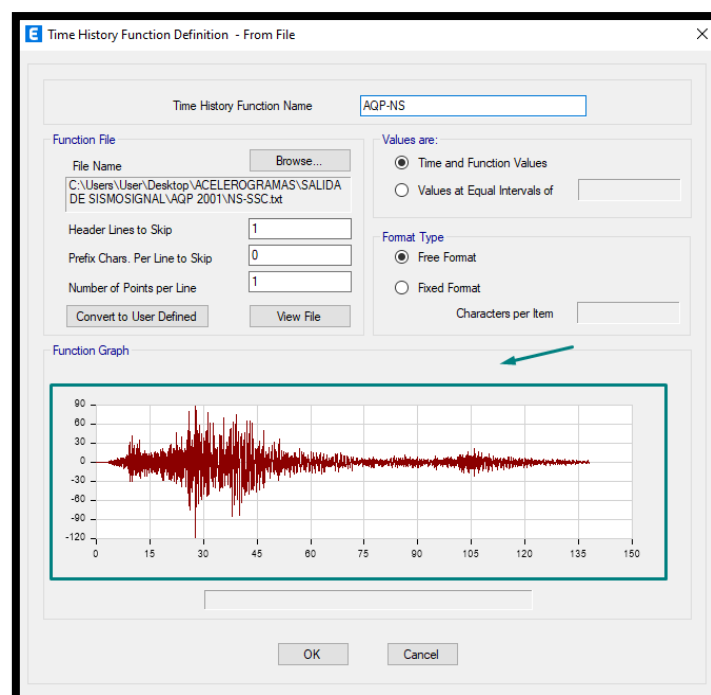


Figura 133. Importación del acelerograma de Arequipa en la dirección NS. Fuente: Propia.

En la figura 132 se muestra el registro sísmico de Arequipa para el componente EW, mientras que, en la figura 133 se muestra el registro sísmico de Arequipa para el componente N-S. De la misma forma se irá colocando los otros acelerogramas de los sismos de lima 2013 y lima 1970 al ETABS con cada una de sus componentes.

También se creará una función rampa del tipo tiempo-historia que se usará para el estado de carga gravitacional, ya que, estas cargas de gravedad siempre están presentes antes de que empiece cualquier acción sísmica. Este proceso se utiliza como simulación de un análisis estático por lo que se deberá incrementar su amortiguamiento en un 0.999. En la figura 134 se muestra cómo se definió el caso de tipo rampa.

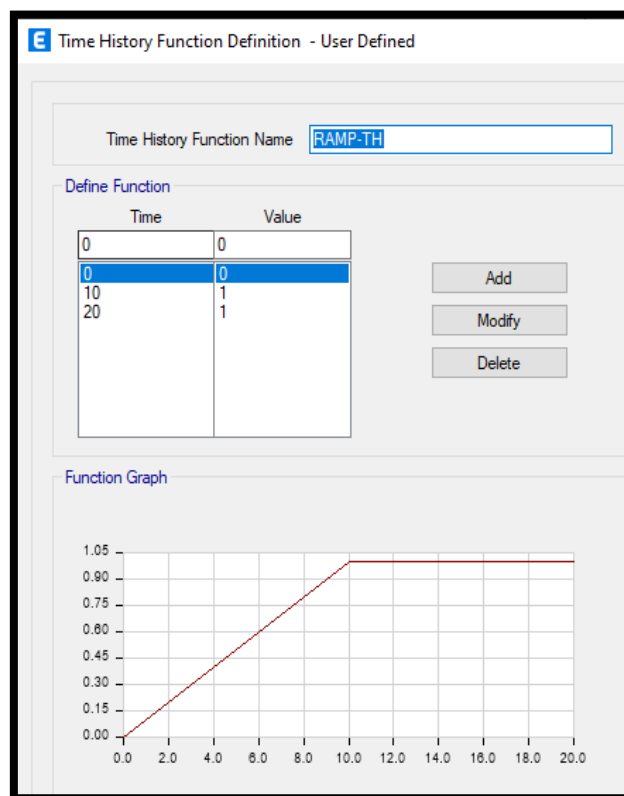


Figura 134. Creación de la carga tipo rampa. Fuente: Propia.

Finalmente, en la figura 135 se tienen creados las funciones de los registros de cada sismo expresados en sus dos componentes por separado (EW y NS).

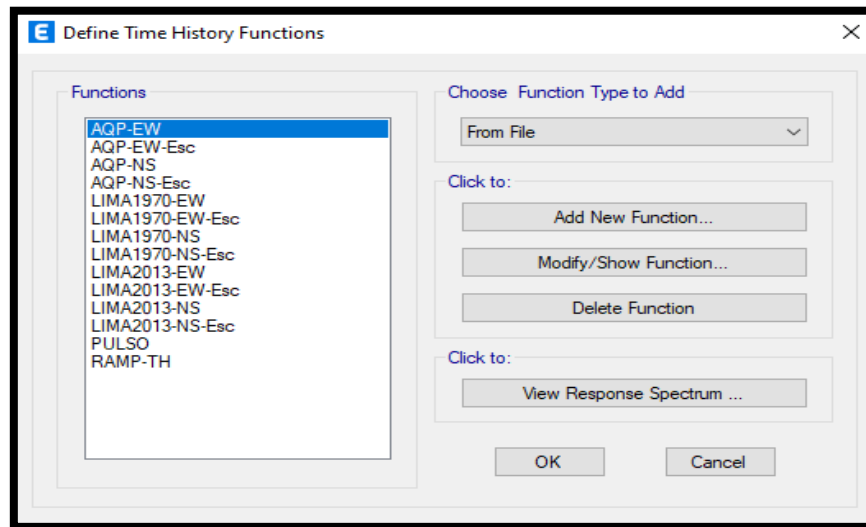


Figura 135. Funciones tiempo-historia. Fuente: Propia.

Luego, se empezará a crear los diferentes casos de carga. Primero se creó el caso de carga gravitacional que será de tipo time-history no lineal modal (FNA) con un amortiguamiento de 0.999.

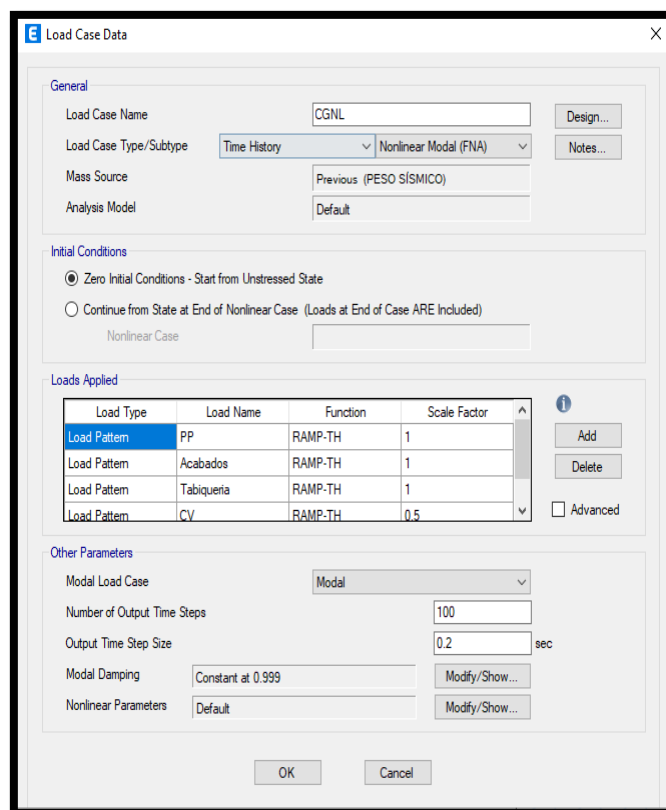


Figura 136. Definición de la carga gravitacional. Fuente: Propia.

Luego, se crearon los casos de carga de tipo FNA (fast análisis no lineal) correspondiente a cada componente de la dirección del sismo.

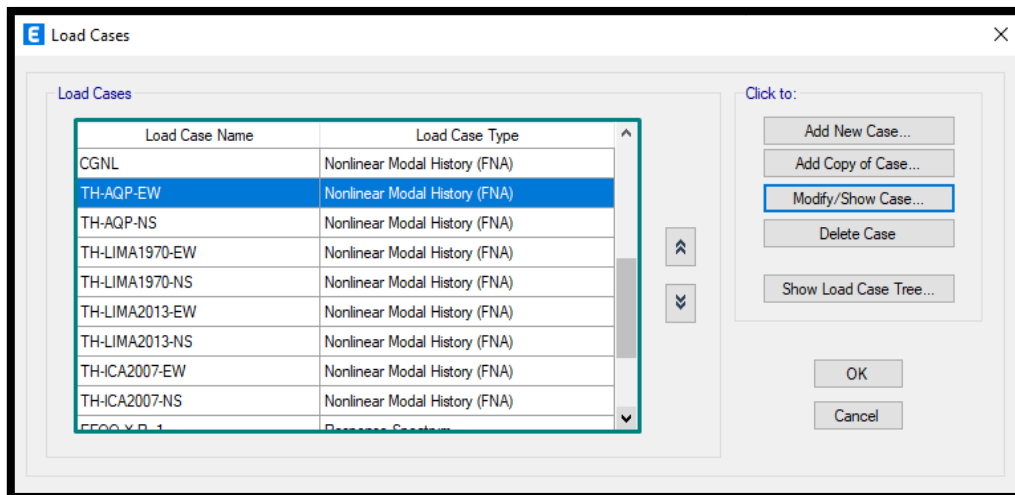


Figura 137. Casos de tiempo-historia para cada componente del sismo. Fuente: Propia.

Con los casos creados se procederá a analizar la estructura para obtener sus derivas de entrepiso. A continuación, mediante las tablas 45 y 46 se mostrará los resultados de las derivas máximas y mínima que se obtuvieron para el caso TH-AQP (sismo de Arequipa) en el componente EW para la dirección X-X.

Tabla 43

Derivas máximas debido al caso TH-AQP EW en la dirección X-X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	X	0.006151
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	X	0.006503
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	X	0.005919
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	X	0.003188

Fuente: Propia

Tabla 44

Derivas mínimas debido al caso TH-AQP EW en la dirección X-X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	X	0.00627
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	X	0.007085
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	X	0.00653
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	X	0.00343

Fuente: Propia

La deriva que se tomará para el análisis del componente EW del sismo de Arequipa será el mayor valor entre la deriva máxima y mínima, resultando lo mostrado en la tabla 47.

Tabla 45

Derivas máximas totales debido al caso TH-AQP EW en la dirección X-X

Story	Output Case	Direction	Drift Max
Story4	TH-AQP-EW	X	0.00627
Story3	TH-AQP-EW	X	0.007085
Story2	TH-AQP-EW	X	0.00653
Story1	TH-AQP-EW	X	0.00343

Fuente: Propia

De la misma forma, se analizarán las derivas para el componente NS del sismo de Arequipa en la dirección X-X. En las tablas 48 y 49 se muestran las derivas máximas y mínimas obtenidas del análisis tiempo-historia.

Tabla 46

Derivas máximas debido al caso TH-AQP NS en la dirección X-X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	X	0.006071
Story3	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	X	0.006286
Story2	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	X	0.005484
Story1	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	X	0.003068

Fuente: Propia

Tabla 47

Derivas mínimas debido al caso TH-AQP NS en la dirección X-X

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	X	0.006089
Story3	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	X	0.006594
Story2	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	X	0.0059
Story1	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	X	0.002982

Fuente: Propia

En la tabla 50 se muestra las derivas máximas totales para el componente NS del sismo de Arequipa en la dirección X-X.

Tabla 48

Derivas máximas totales debido al caso TH-AQP NS en la dirección X-X

Story	Output Case	Direction	Drift Max
Story4	TH-AQP-NS	X	0.006089
Story3	TH-AQP-NS	X	0.006594
Story2	TH-AQP-NS	X	0.0059
Story1	TH-AQP-NS	X	0.003068

Fuente: Propia

Una vez terminado de analizar los componentes EW y NS del sismo de Arequipa para la dirección X-X, ahora se analizará para las componentes para la dirección Y-Y.

Tabla 49

Derivas máximas debido al caso TH-AQP EW en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.015427
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.017441
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.01954
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.012333

Fuente: Propia

Tabla 50

Derivas mínimas debido al caso TH-AQP EW en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.014073
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.0186
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.018816
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.011402

Fuente: Propia

En la tabla 53 se muestra los valores máximos de las derivas de entrepiso obtenidas en las tablas 51 y 52 para el componente EW en la dirección Y-Y.

Tabla 51

Derivas máximas totales debido al caso TH-AQP EW en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Direction	Drift Max
Story4	TH-AQP-EW	Y	0.015427
Story3	TH-AQP-EW	Y	0.0186
Story2	TH-AQP-EW	Y	0.01954
Story1	TH-AQP-EW	Y	0.012333

Fuente: Propia

En la tabla 54 y 55 se muestran las derivas máximas y mínimas obtenidas a partir del componente NS del sismo de Arequipa para la dirección Y-Y.

Tabla 52

Derivas máximas debido al caso TH-AQP NS en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	Y	0.014581
Story3	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	Y	0.017388
Story2	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	Y	0.019694
Story1	TH-AQP-NS	NonModHist	Max	Y	0.012395

Fuente: Propia

Tabla 53

Derivas mínimas debido al caso TH-AQP NS en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Story4	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	Y	0.012511
Story3	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	Y	0.017666
Story2	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	Y	0.018515
Story1	TH-AQP-NS	NonModHist	Min	Y	0.010605

Fuente: Propia

En la tabla 56 se muestra los valores máximos de las derivas de entrepiso obtenidas en las tablas 54 y 55 para el componente NS en la dirección Y-Y.

Tabla 54

Derivas máximas totales debido al caso TH-AQP NS en la dirección Y-Y

Story	Output Case	Direction	Drift Max
Story4	TH-AQP-NS	Y	0.014581
Story3	TH-AQP-NS	Y	0.017666
Story2	TH-AQP-NS	Y	0.019694
Story1	TH-AQP-NS	Y	0.012395

Fuente: Propia

El mismo procedimiento se repetirá para el análisis de los otros dos sismos en cada componente (EW y NS). Para ver los resultados de las derivas de los otros sismos, dirigirse al anexo.

La norma E.030 establece que en caso se trabajará con menos de 7 registros (como es nuestro caso) los resultados con los que se trabajará serán con los máximos valores obtenidos en el análisis. Además, las distorsiones que se obtengan para compararlos con la normativa peruana no deberán de exceder de 1.25 veces.

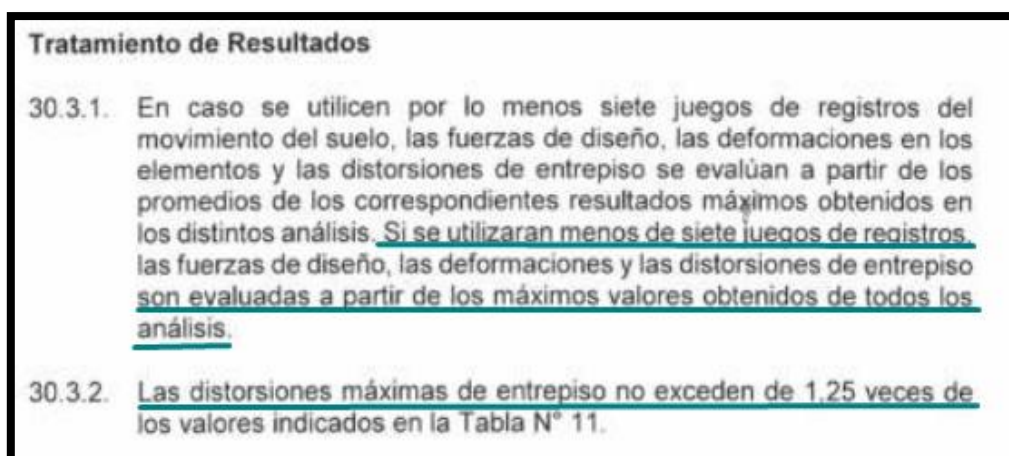


Figura 138. Tratamiento de resultados según la E.030. Fuente: E.030, 2019.

Como factor de conversión para evaluar las derivas del tiempo-historia de cada análisis, se utilizará el factor $1/1.25 = 0.8$.

Tabla 55

Derivas resultantes debido al análisis tiempo-historia para la dirección X-X

DIRECCIÓN X-X								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	X-dir	X-Dir*0.8
4	0.0063	0.0061	0.0072	0.0073	0.0060	0.0059	0.0073	0.0058
3	0.0071	0.0066	0.0075	0.0078	0.0063	0.0066	0.0078	0.0063
2	0.0065	0.0059	0.0071	0.0069	0.0060	0.0061	0.0071	0.0057
1	0.0034	0.0031	0.0039	0.0036	0.0033	0.0032	0.0039	0.0031

Fuente: Propia

Tabla 56

Derivas resultantes debido al análisis tiempo-historia para la dirección Y-Y

DIRECCIÓN Y-Y								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	Y-dir	Y-Dir*0.8
4	0.0154	0.0146	0.0156	0.0166	0.0170	0.0176	0.0176	0.0141
3	0.0186	0.0177	0.0182	0.0227	0.0189	0.0188	0.0227	0.0182
2	0.0195	0.0197	0.0203	0.0244	0.0195	0.0204	0.0244	0.0195
1	0.0123	0.0124	0.0125	0.0146	0.0118	0.0126	0.0146	0.0117

Fuente: Propia

Como se puede observar, la estructura presenta una distorsión en la dirección X que está dentro de lo permitido por la norma E.030 al presentar derivas menores a 0.007 teniendo en cuenta que se consideró un agrietamiento para la estructura. Por el contrario, para la dirección Y, se muestra que se tienen derivas muy por encima de lo permitido por la normativa E.030, por lo tanto, se refuerza la premisa de reforzar la estructura. Para dicho propósito se utilizará los disipadores de fluido viscoso.

La norma peruana E.030 en su artículo 32 “Desplazamiento laterales relativos admisibles” establece que para sistemas elaborados de concreto armado debe presentar una máxima distorsión de entrepiso de 0.007.

Tabla N° 11	
LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO	
Material Predominante	(Δ_i / h_{ei})
Concreto Armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Figura 139. Límites de distorsión de acuerdo a la E.030. Fuente: Propia.

Es por eso que la deriva objetivo a considerar será el valor de 0.007 que es el valor que establece nuestra norma peruana, por otra parte se puede notar que la mayor deriva que obtiene debido al espectro sísmico de la estructura se produce en el eje Y-Y con una distorsión de 0.0195 mientras que en el eje X-X presenta una distorsión menor de 0.0063, estos valores nos permiten darnos cuenta que el uso de los disipadores se realizará en la dirección más desfavorable, es decir en el eje Y-Y, y solo se tomará en cuenta esta dirección como reforzamiento.

➤ **Cálculo del factor de reducción de respuesta (B) para el disipador**

Se calculará el factor de reducción de respuesta (B), mediante la siguiente fórmula:

$$B = \frac{\text{Deriva Máxima}}{\text{Deriva objetivo}}$$

Ecuación 17

Para el cálculo del factor “B” se considera como deriva objetivo la establecida por la norma E.030 de 0.007 y como deriva máxima la calculada por el análisis tiempo-historia para la dirección Y-Y.

$$B_{YY} = \frac{0.0244}{0.007} = 3.49$$

➤ **Cálculo del amortiguamiento efectivo (B_{eff}):**

Luego se procede a calcular el factor “B_{eff}” que viene hacer el amortiguador efectivo, que será calculado reemplazando la ecuación 3:

$$3.49 = \frac{2.31 - 0.41\text{Ln}(5)}{2.31 - 0.41\text{Ln}(\text{Beff})}$$

Ecuación 18

$$\text{Beff}_{YY} = 88.32\%$$

Este factor de amortiguamiento efectivo comprende el amortiguamiento inherente más el amortiguamiento viscoso del disipador, esto conlleva a restar el amortiguamiento inherente, que según la norma E.030 será del 5%.

$$\text{Beff}_{YY} = 88.31\% - 5\%$$

$$\text{Beff}_{YY} = 83.32\%$$

Sin embargo según la ASCE 7-10 establece que el amortiguamiento de los disipadores de fluido viscoso debe estar en el rango del 20% y 40% ya que, si la estructura posee mucho amortiguamiento, va a lograr que su ductilidad disminuya, provocando que la estructura sea más rígida y cuando sea sometido a las sollicitaciones sísmicas, éste logre fallar originando rótulas plásticas, que como se sabe, la presencia de rótulas plásticas en una estructura, sobre todo si aparece en las columnas provoca que la estructura colapse.

➤ **Corrección de la deriva objetivo para la dirección Y-Y:**

Se calcula nuevamente el amortiguamiento:

$$B_{eff_{YY}} = 40\% + 5\%$$

$$B_{eff_{YY}} = 45\%$$

Con este nuevo valor de B_{eff} se calcula el nuevo factor de respuesta "B"

$$B_{YY} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(45)}$$

$$B_{YY} = 2.2023$$

Con este nuevo factor se calcula la nueva deriva esperada de diseño.

$$2.2023 = \frac{0.02021}{\text{Deriva objetivo}}$$

$$\text{Deriva objetivo } (Y - Y) = 0.00918$$

$$\text{Deriva objetivo } (Y - Y) = 0.010$$

➤ **Diseño del disipador**

a) Rigidez del disipador:

Para el empleo del perfil metálico que llevará el disipador, se escogió un material de tipo HSS con las siguientes características.

Atlas HSS Section Properties (Round) - ASTM A500													
Shape	OD	Nominal Wall Thickness, t	Design Wall Thickness, td	Nominal Wt.	Area, A	D/t	I	S	r	Z	J	C	Surface Area
	(in.)	(in.)	(in.)	(lb/ft)	(in. ²)		(in. ⁴)	(in. ³)	(in.)	(in. ³)	(in. ⁴)	(in. ³)	(ft ² /ft)
HSS 20 x 0.625	20	0.625	0.581	129.45	35.4	34.4	1670	167	6.87	219	3340	334	5.24
HSS 20 x 0.500	20	0.500	0.465	104.23	28.5	43.0	1360	136	6.91	177	2720	272	5.24
HSS 20 x 0.375	20	0.375	0.349	78.67	21.5	57.3	1040	104	6.96	135	2080	208	5.24
HSS 20 x 0.250	20	0.250	0.233	52.78	14.5	85.8	707	70.7	6.98	91.0	1410	141	5.24
HSS 18 x 0.625	18	0.625	0.581	116.09	31.8	31.0	1210	134	6.17	176	2420	269	4.71
HSS 18 x 0.500	18	0.500	0.465	93.54	25.6	38.7	985	109	6.20	143	1970	219	4.71
HSS 18 x 0.375	18	0.375	0.349	70.66	19.4	51.6	754	83.8	6.23	109	1510	168	4.71
HSS 18 x 0.250	18	0.250	0.233	47.44	13.0	77.3	513	57.0	6.28	73.6	1030	114	4.71
HSS 16 x 0.625	16	0.625	0.581	102.73	28.1	27.5	838	105	5.46	138	1680	210	4.19

Figura 140. Perfiles metálicos Round tipo HSS. Fuente: ASTM A500, s.f.

A partir de la figura 140 se seleccionó el perfil HSS 20.00x.0.50 como brazo metálico del disipador.

Tabla 57

Perfil metálico Round tipo HSS seleccionado para el disipador de fluido viscoso

PERFIL METÁLICO ROUND			
Forma	Espesor de pared de diseño (m)	Área (m ²)	Radio (m)
HSS20.00X0.50	0.0118	0.0184	0.176

Fuente: Propia.

A continuación, se muestra la ubicación de los brazos metálicos junto con su longitud considerando las medidas de la edificación.

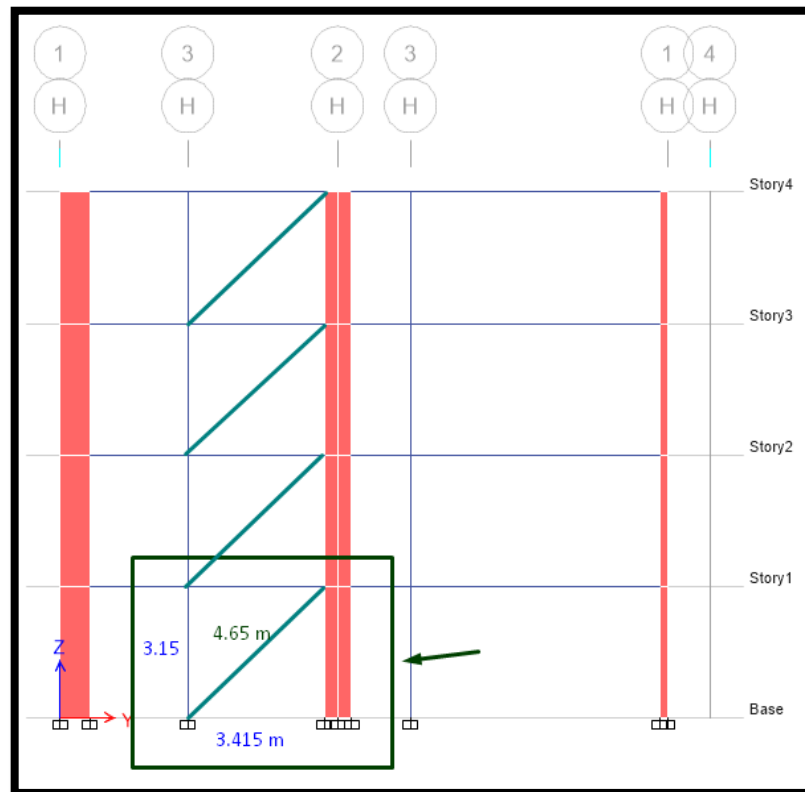


Figura 141. Longitud del disipador 01 en la estructura. Fuente: Propia.

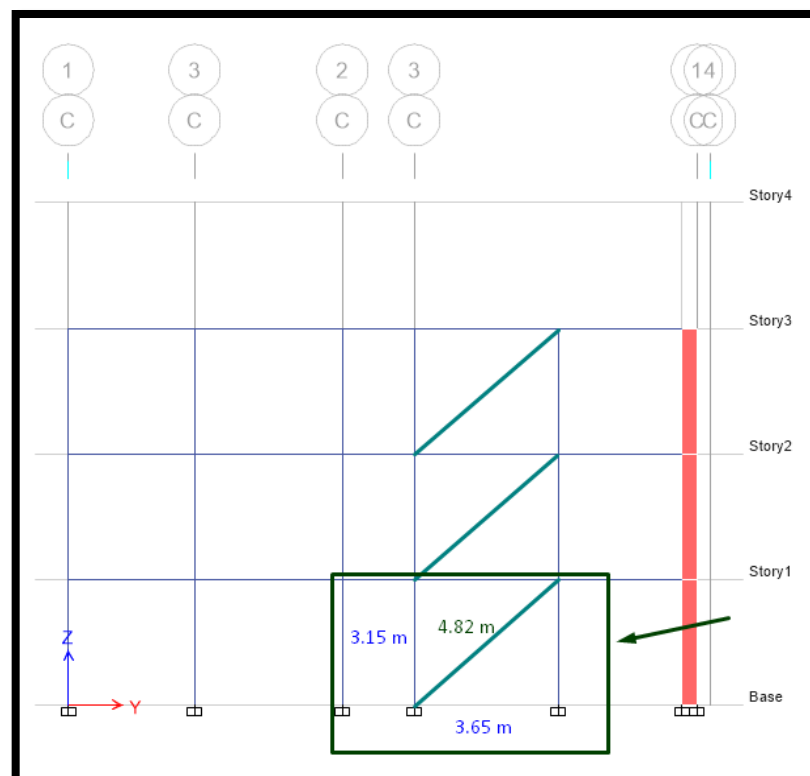


Figura 142. Longitud del disipador 02 en la estructura. Fuente: Propia

Teniendo la geometría del brazo metálico de perfil HSS 20.00x0.50 se calcula la rigidez del disipador empleando la siguiente fórmula:

$$K = \frac{EA}{L}$$

Datos a considerar:

E = Módulo de elasticidad del acero ($20.4 * 10^6 \text{ T/m}^2$)

A = Área del brazo metálico (0.0184m^2)

L = Longitud (ver figura 120 y 121).

Finalmente, se procede a calcular la rigidez del perfil metálico para las dos posiciones donde irá el disipador en la dirección Y de la estructura.

- Rigidez del brazo metálico del Y-Y para el disipador 01:

$$K = \frac{(20.4 * 10^6 * 0.0184)}{4.65}$$

$$K = 80722.581 \frac{T}{m^2}$$

- Rigidez del brazo metálico del Y-Y para el disipador 02:

$$K = \frac{(20.4 * 10^6 * 0.0184)}{4.82}$$

$$K = 77875.51 \frac{T}{m^2}$$

Tabla 58

Propiedades finales de los disipadores en disposición diagonal.

Disposición diagonal		
Propiedad	EJE Y-Y Disipador 01	EJE Y-Y Disipador 02
E	20400000 Tn/m ²	20400000 Tn/m ²
L	4.65 m	4.82 m
K	80722.581 Tn/m	77875.51 Tn/m

Fuente: Propia

b) Coeficiente de amortiguamiento:

Para el caso del cálculo del coeficiente de amortiguamiento,

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

Ecuación 19

Donde:

B_H : Amortiguamiento de la estructura

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador

M_i : Masa del nivel i

Θ_j : Angulo de inclinación del disipador j

Φ_i : Desplazamiento del primer modo de vibración

Φ_{ij} : Desplazamiento relativo del primer modo de vibración

A: Amplitud del desplazamiento relativo del primer modo de vibración

W: Frecuencia angular

λ : Lambda

Según CDV representaciones, en sus especificaciones para el diseño con disipadores recomienda usar un valor de $\alpha = 0.5$, por lo cual para los siguientes datos se desarrolló una hoja de Excel de diseño para facilitar el valor del coeficiente de amortiguamiento.

Exponent α	Parameter λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Figura 143. Exponente α vs Parámetro λ . Fuente: FEMA 274, 2000

Primero mediante el programa Etabs, se obtendrá los valores de la masa sísmica por piso para poder calcular el peso de la edificación por nivel.

Story	Diaphragm	Mass X kgf-s ² /m	Mass Y kgf-s ² /m	XCM m	YCM m	Cum Mass X kgf-s ² /m	Cum Mass Y kgf-s ² /m
Story1	D1	10738.63	10738.63	17.4098	7.4751	10738.63	10738.63
Story2	D2	10267.97	10267.97	17.7516	7.2763	10267.97	10267.97
Story3	D3	8641.98	8641.98	15.6327	6.8949	8641.98	8641.98
Story4	D4	4400.7	4400.7	9.3688	6.752	4400.7	4400.7

Figura 144. Masas por piso de la estructura. Fuente: Propia

Se acomodan los datos a formato Excel para un mejor cálculo.

Tabla 59

Peso por nivel de la estructura en toneladas

NIVEL	MASA (kgf-s ² /m)	PESO (T)
1	10738.63	105.35
2	10267.97	100.73
3	8641.98	84.78
4	4400.7	43.17

Fuente: Propia

Luego, se calculará los desplazamientos máximos en la dirección de análisis a partir de los casos de tiempo-historia.

Tabla 60

Desplazamientos máximos en la dirección Y de cada caso tiempo-historia

Story	Elevation	Location	TH-AQP Y-Dir (m)	TH- L1970 Y- Dir (m)	TH- L2013 Y- Dir (m)	MAX (m)
Story4	12.6	Top	0.166295	0.133042	0.190388	0.190388
Story3	9.45	Top	0.149693	0.111766	0.134701	0.149693
Story2	6.3	Top	0.100524	0.076907	0.091229	0.100524
Story1	3.15	Top	0.039044	0.030004	0.035856	0.039044
Base	0	Top	0	0	0	0

Fuente: Propia

A partir de los desplazamientos obtenidos se procederá a realizar la diferencia de desplazamientos por nivel detallado en la tabla 63.

Tabla 61

Desplazamientos máximos por piso

	Φ_i	Φ_{i+1}	Φ_{rj}
			Diferencia
Base	0	0.039044	0.039044
1°	0.039044	0.100524	0.06148
2°	0.100524	0.149693	0.049169
3°	0.149693	0.190388	0.040695
4°	0.190388		

Fuente: Propia

Considerando el ángulo de inclinación del disipador 01 (43°), el exponente $\alpha = 0.5$, el peso de entrepiso y los desplazamientos máximos, se desarrollará la siguiente tabla.

Tabla 62

Cálculos para el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 01

NIVEL	PESO X (T)	COS θ	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$
1	105.35	0.731	0.0048	0.161
2	100.73	0.731	0.0095	1.018
3	84.78	0.731	0.0068	1.900
4	43.17	0.731	0.0051	1.565
			0.0263	4.643

Fuente: Propia

Finalmente se calculará el coeficiente de amortiguamiento con los datos obtenidos anteriormente expuestos en la tabla 65.

Tabla 63

Factores para el coeficiente de amortiguamiento

α	0.5	Frecuencia (1/T)	1.855
b _{eff}	40	Frec. Ang (ω)	11.657
b _{inh}	5	$\omega^{(2-\alpha)}$	39.8003
b _{visc}	35	$A^{(1-\alpha)}$	0.24900
t (seg)	0.539	λ	3.496
A (Amplitud)	0.0620		

Fuente: Propia

Para el disipador 01 se ubicará los disipadores en los 4 niveles de la superestructura de la edificación, por lo que se dividirá el valor de amortiguamiento en dicho valor obteniendo un coeficiente de 274.994 T*s/m

Tabla 64

Coeficiente de amortiguamiento para el disipador de fluido viscoso

ΣC	1099.97
# Disipadores por piso	4
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	274.994

Fuente: Propia

El mismo procedimiento se realizará para el disipador 02 donde se cuenta con un ángulo de 41° obteniendo los siguientes desplazamientos de la tabla 67.

Tabla 65

Cálculos para el coeficiente de amortiguamiento

NIVEL	MASA X (T)	COS θ	$\cos\theta^{(1+\alpha)} * \Phi r_j^{(1+\alpha)}$	$m * \Phi_i^2$
1	105.35	0.755	0.0051	0.161
2	100.73	0.755	0.0100	1.018
3	84.78	0.755	0.0071	1.900
4	43.17	0.755	0.0054	1.565
			0.0276	4.643

Fuente: Propia

Para el disipador 02 dentro de la edificación sólo se cuenta con 3 niveles, por lo que el coeficiente de amortiguamiento obtenido será de 349.770 T*s/m.

Tabla 66

Coeficiente de amortiguamiento para el disipador de fluido viscoso 02

ΣC	1049.31
# Disipadores por piso	3
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	349.770

Fuente: Propia

Realizando un redondeo a los valores de amortiguamiento se obtendrán las siguientes propiedades del brazo metálico del disipador.

a) Propiedades del disipador 01:

$$C = 280 \text{ T*s/m}$$

$$K = 80722.581 \text{ T/m}^2$$

$$\alpha = 0.5$$

b) Propiedades del disipador 02:

$$C = 350 \text{ T*s/m}$$

$$K = 77875.51 \text{ T/m}$$

$$\alpha = 0.5$$

➤ Modelamiento del disipador

Una vez calculado las propiedades del disipador se procede a colocar y modelar los disipadores en el programa Etabs, para ello se debe configurar el disipador como elemento no lineal y de tipo “Link” asignando sus propiedades, tal como se muestra a continuación.

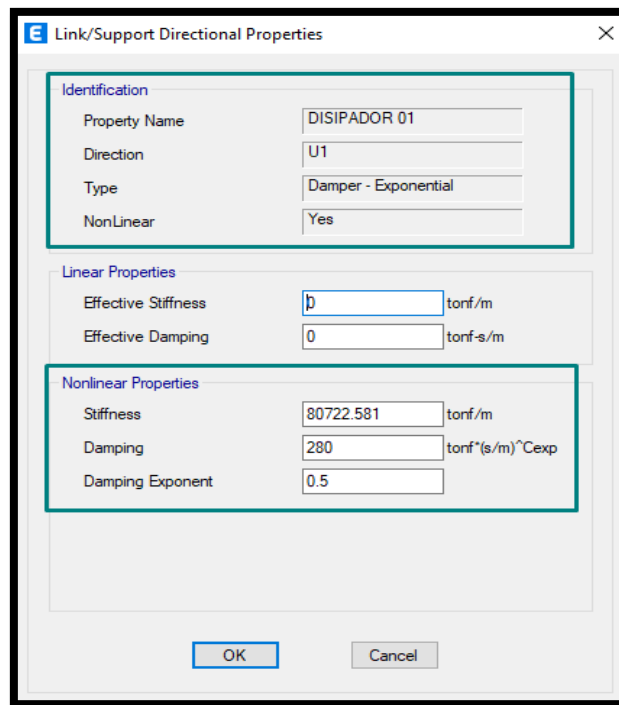


Figura 145. Definición de propiedades para el disipador 01. Fuente: Propia

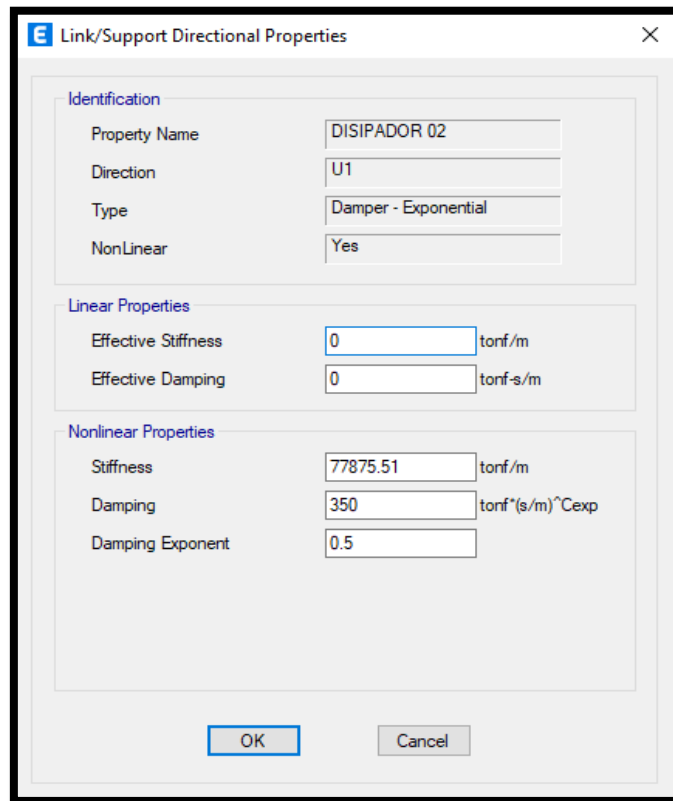


Figura 146. Definición de propiedades para el disipador 02. Fuente: Propia

En las figuras 147 y 148 se muestra cómo se modelaron y ubicaron los disipadores.

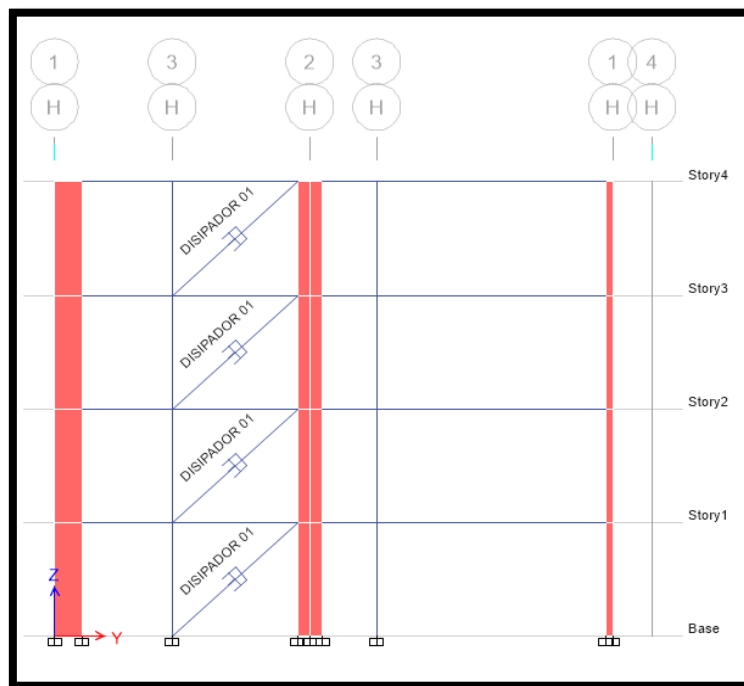


Figura 147. Incorporación del disipador 01 a la estructura en ETABS. Fuente: Propia.

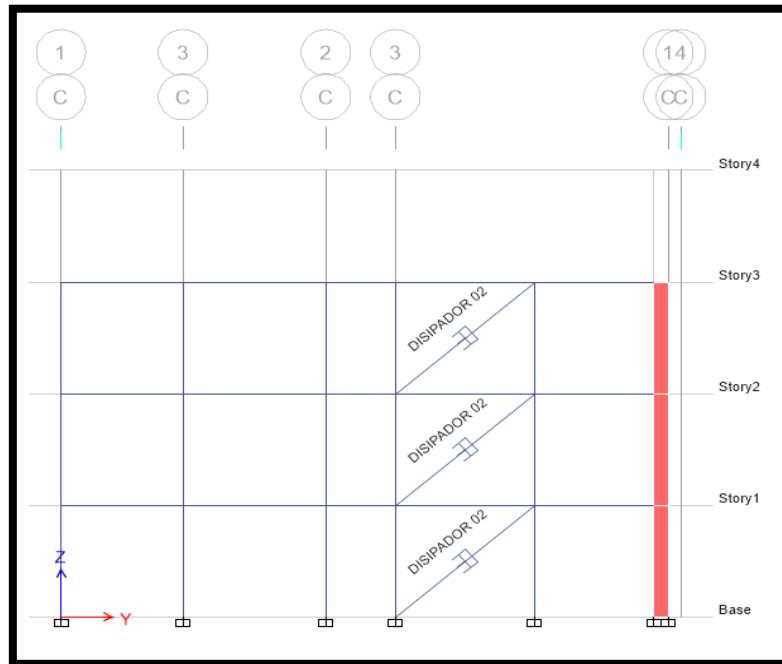


Figura 148. Incorporación del disipador 02 a la estructura en ETABS. Fuente: Propia.

Una vez terminado de modelar los disipadores, se analizará la estructura y se verifica que el periodo de vibración de la estructura sigue siendo igual a la estructura sin disipadores, con un valor de 0.539 segundos.

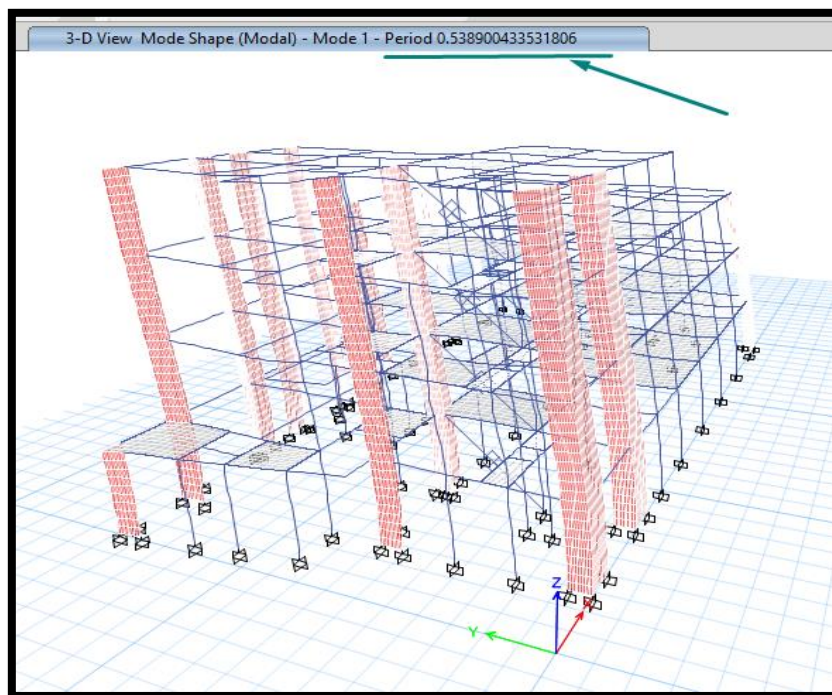
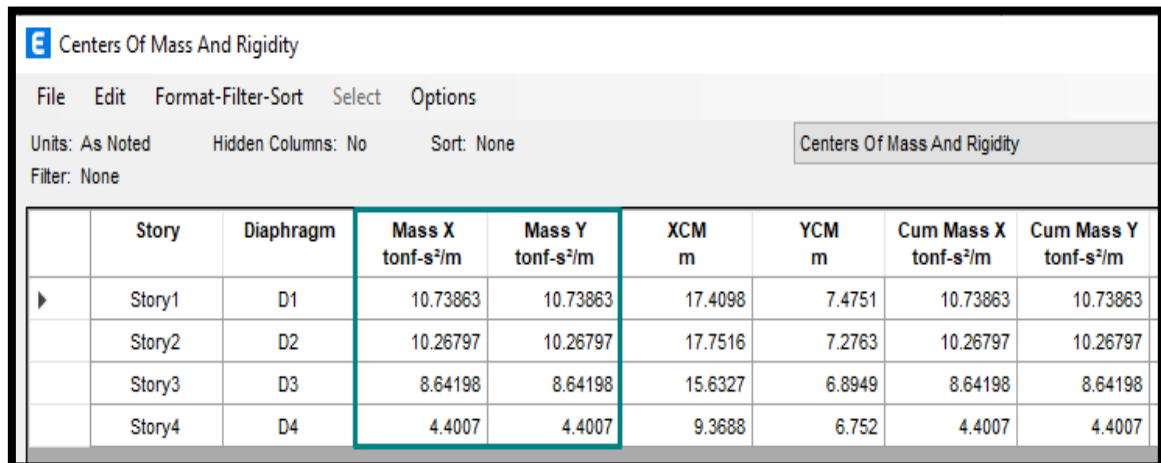


Figura 149. Verificación del periodo de la estructura. Fuente: Propia.

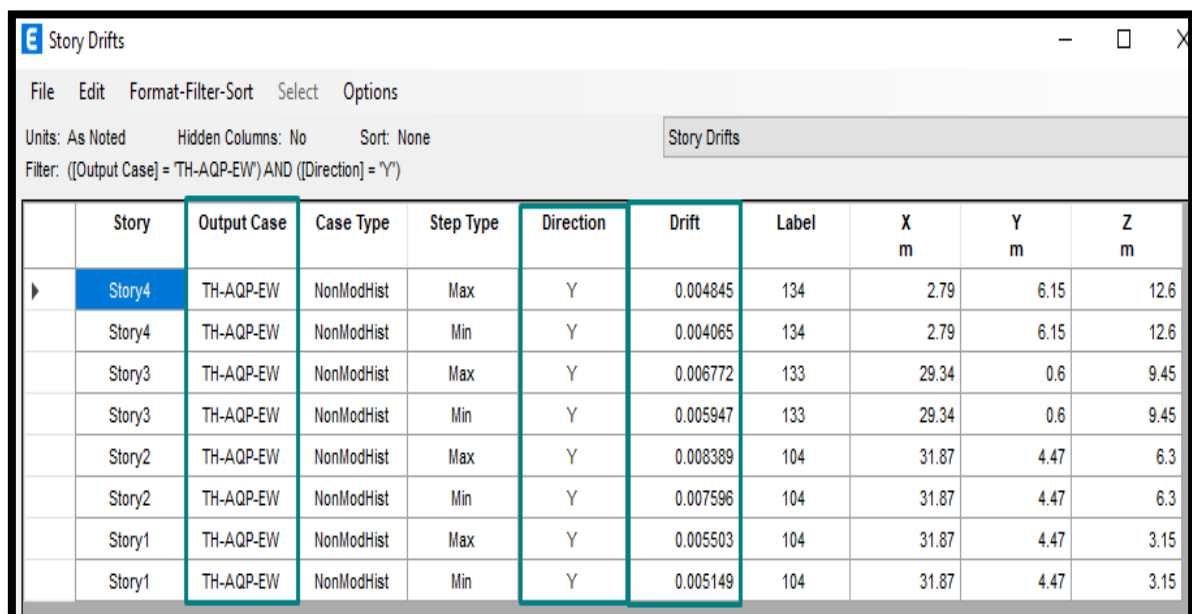
También se puede verificar que la masa de la edificación sigue siendo la misma a la estructura sin disipadores, por lo que se puede afirmar que los disipadores no afectan la rigidez de la estructura.



	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
▶	Story1	D1	10.73863	10.73863	17.4098	7.4751	10.73863	10.73863
	Story2	D2	10.26797	10.26797	17.7516	7.2763	10.26797	10.26797
	Story3	D3	8.64198	8.64198	15.6327	6.8949	8.64198	8.64198
	Story4	D4	4.4007	4.4007	9.3688	6.752	4.4007	4.4007

Figura 150. Masas de la estructura. Fuente: Propia.

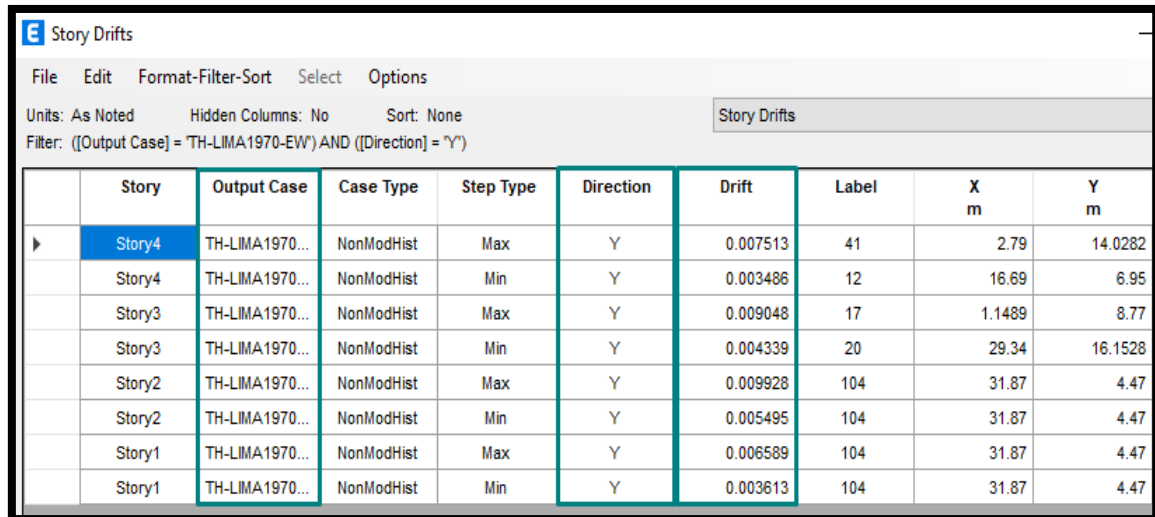
Sin embargo, si se revisa las derivas obtenidas para la dirección Y (que es la más desfavorable y la dirección de estudio) a partir de los casos tiempo-historia (TH-AQP) se puede notar que dichas distorsiones si han disminuido considerablemente.



	Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
▶	Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.004845	134	2.79	6.15	12.6
	Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.004065	134	2.79	6.15	12.6
	Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.006772	133	29.34	0.6	9.45
	Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.005947	133	29.34	0.6	9.45
	Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.008389	104	31.87	4.47	6.3
	Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.007596	104	31.87	4.47	6.3
	Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.005503	104	31.87	4.47	3.15
	Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.005149	104	31.87	4.47	3.15

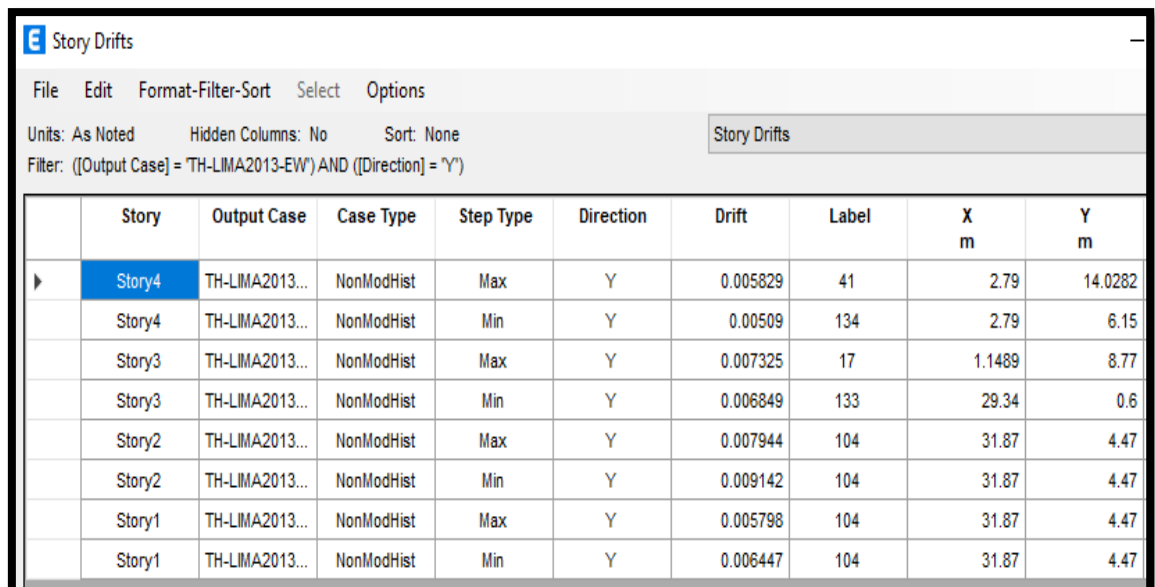
Figura 151. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-AQP. Fuente: Propia

Este cambio también se puede notar para los otros casos de tiempo-historia (Lima1970 y Lima2013) y se puede visualizar en las figuras 152 y 153.



Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m
Story4	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.007513	41	2.79	14.0282
Story4	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.003486	12	16.69	6.95
Story3	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.009048	17	1.1489	8.77
Story3	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.004339	20	29.34	16.1528
Story2	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.009928	104	31.87	4.47
Story2	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.005495	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.006589	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.003613	104	31.87	4.47

Figura 152. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-LIMA 1970. Fuente: Propia.



Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m
Story4	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.005829	41	2.79	14.0282
Story4	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.00509	134	2.79	6.15
Story3	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.007325	17	1.1489	8.77
Story3	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.006849	133	29.34	0.6
Story2	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.007944	104	31.87	4.47
Story2	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.009142	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.005798	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.006447	104	31.87	4.47

Figura 153. Derivas de entrepiso en la dirección Y debido al caso TH-LIMA 2013. Fuente: Propia

Las derivas máximas se calcularon nuevamente tanto para la dirección X (ver tabla 69) como para la dirección Y (ver tabla 70) a partir de los tres casos de tiempo-historia y se

ajustó el valor a la normativa E.030 verificando que para la dirección Y, aún sigue pasando el límite permitido por la norma que es 0.007.

Tabla 67

Derivas de entrepiso de acuerdo a la norma E.030 para la dirección X-X

DIRECCIÓN X-X								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	X-dir	X-Dir*0.8
4	0.0062	0.0065	0.0077	0.0073	0.0067	0.0062	0.0077	0.0062
3	0.0068	0.0070	0.0081	0.0078	0.0069	0.0065	0.0081	0.0064
2	0.0062	0.0063	0.0074	0.0068	0.0061	0.0058	0.0074	0.0059
1	0.0034	0.0032	0.0038	0.0036	0.0031	0.0030	0.0038	0.0030

Fuente: Propia

Tabla 68

Derivas de entrepiso de acuerdo a la norma E.030 para la dirección Y-Y

DIRECCIÓN Y-Y								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	Y-dir	Y-Dir*0.8
4	0.0048	0.0044	0.0075	0.0070	0.0058	0.0049	0.0075	0.0060
3	0.0068	0.0065	0.0090	0.0088	0.0073	0.0077	0.0090	0.0072
2	0.0084	0.0078	0.0099	0.0116	0.0091	0.0103	0.0116	0.0093
1	0.0055	0.0054	0.0066	0.0081	0.0064	0.0071	0.0081	0.0065

Fuente: Propia

Como alternativa de solución, se colocó unos disipadores con las propiedades del disipador 02 pero sólo para los dos primeros niveles, ya que la arquitectura de la edificación no permite la inclusión de disipadores en el tercer nivel.

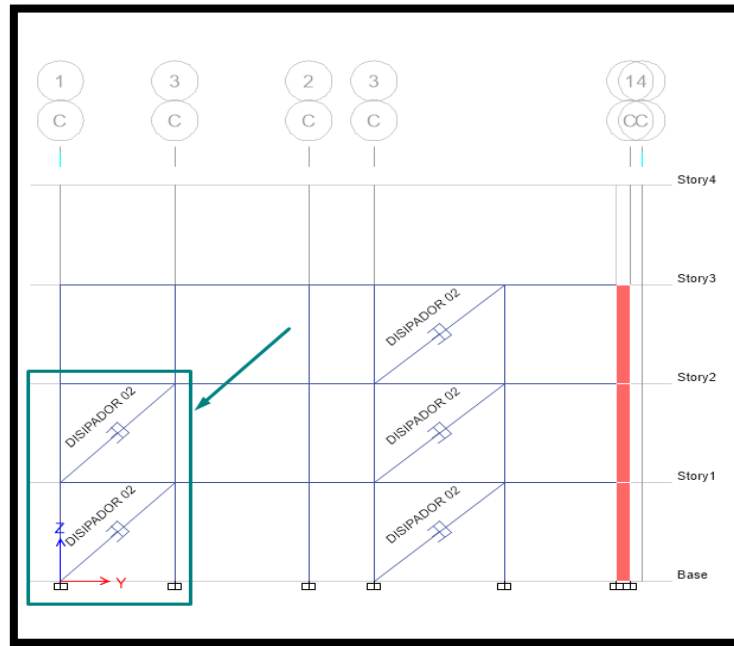


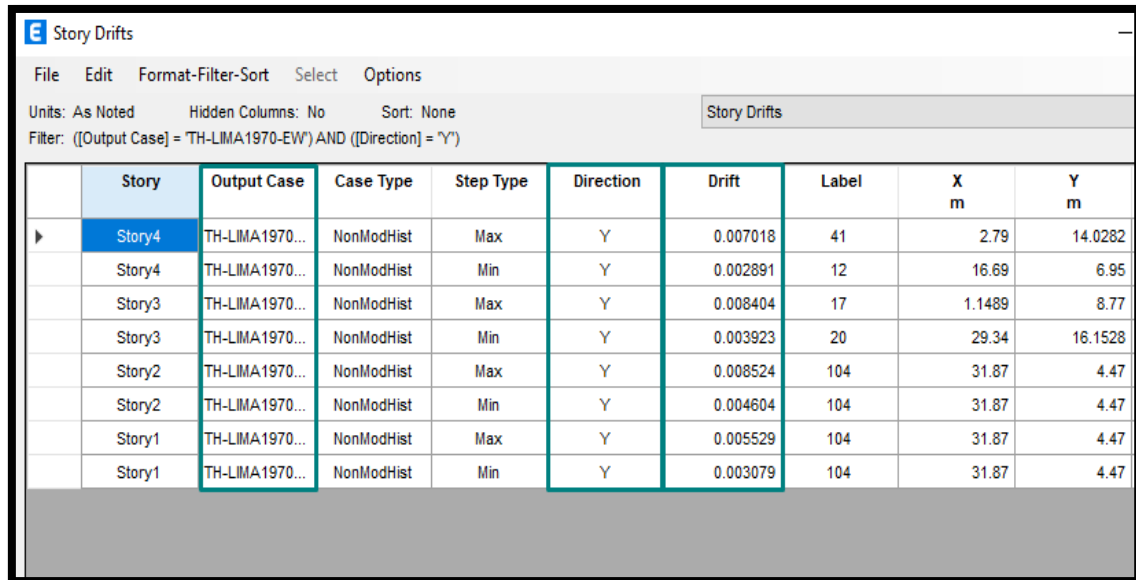
Figura 154. Incorporación de nuevos disipadores. Fuente: Propia.

Nuevamente se analizará la edificación y se verifica que las derivas en la dirección Y han disminuido nuevamente para el caso de tiempo-historia del sismo de Arequipa.

Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m	Z m
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.004691	134	2.79	6.15	12.6
Story4	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.004623	134	2.79	6.15	12.6
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.005815	17	1.1489	8.77	9.45
Story3	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.005838	17	1.1489	8.77	9.45
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.00634	104	31.87	4.47	6.3
Story2	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.005942	109	2.79	4.35	6.3
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Max	Y	0.004279	104	31.87	4.47	3.15
Story1	TH-AQP-EW	NonModHist	Min	Y	0.003923	104	31.87	4.47	3.15

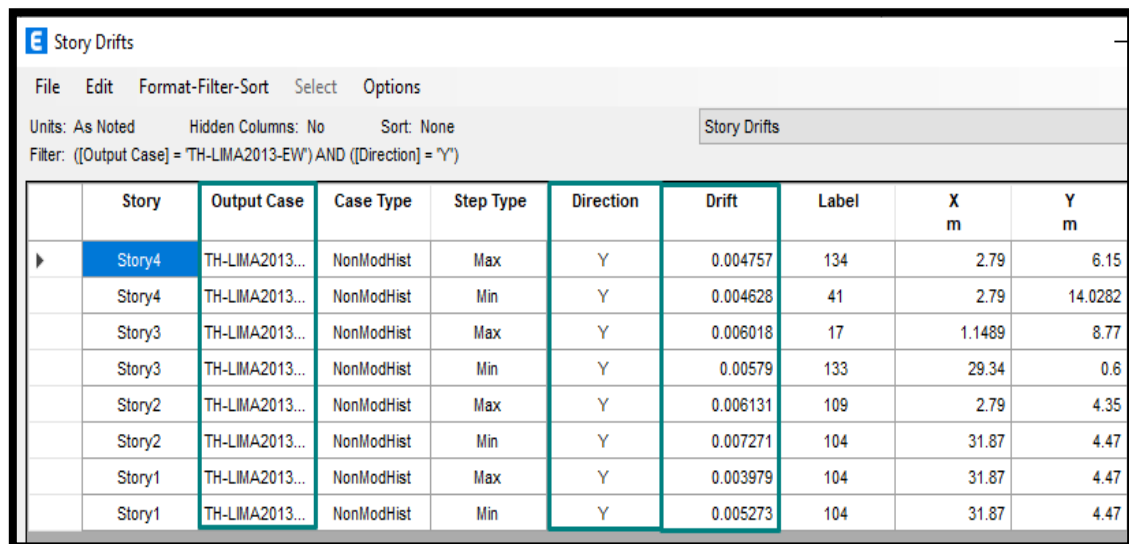
Figura 155. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-AQP. Fuente: Propia.

También se puede notar que las derivas disminuyeron para los otros dos casos de tiempo-historia (ver figura 156 y 157).



Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m
Story4	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.007018	41	2.79	14.0282
Story4	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.002891	12	16.69	6.95
Story3	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.008404	17	1.1489	8.77
Story3	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.003923	20	29.34	16.1528
Story2	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.008524	104	31.87	4.47
Story2	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.004604	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA1970...	NonModHist	Max	Y	0.005529	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA1970...	NonModHist	Min	Y	0.003079	104	31.87	4.47

Figura 156. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-LIMA 1970. Fuente: Propia



Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift	Label	X m	Y m
Story4	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.004757	134	2.79	6.15
Story4	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.004628	41	2.79	14.0282
Story3	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.006018	17	1.1489	8.77
Story3	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.00579	133	29.34	0.6
Story2	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.006131	109	2.79	4.35
Story2	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.007271	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA2013...	NonModHist	Max	Y	0.003979	104	31.87	4.47
Story1	TH-LIMA2013...	NonModHist	Min	Y	0.005273	104	31.87	4.47

Figura 157. Derivas para la dirección Y debido al caso TH-LIMA 2013. Fuente: Propia

En la tabla 71 y 72 se volvió a calcular las derivas máximas para la dirección X e Y a partir de los 3 casos de tiempo-historia y ajustando los resultados a la normativa E.030. Se verifica que la deriva máxima para la dirección Y es de 0.0075 por lo que se puede considerar

aceptable considerando que a la estructura se le consideró un porcentaje de agrietamiento en sus secciones en su análisis, por lo que, se puede dar como válido los resultados obtenidos.

Tabla 69

Derivas de entrepiso de acuerdo a la norma E.030 para la dirección X-X

DIRECCIÓN X-X								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	X-dir	X-Dir*0.8
4	0.0061	0.0068	0.0078	0.0073	0.0064	0.0064	0.0078	0.0062
3	0.0066	0.0073	0.0081	0.0073	0.0066	0.0067	0.0081	0.0065
2	0.0062	0.0065	0.0075	0.0065	0.0059	0.0059	0.0075	0.0060
1	0.0033	0.0032	0.0039	0.0033	0.0030	0.0029	0.0039	0.0032

Fuente: Propia

Tabla 70

Derivas de entrepiso de acuerdo a la norma E.030 para la dirección Y-Y

DIRECCIÓN Y-Y								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	Y-dir	Y-Dir*0.8
4	0.0047	0.0045	0.0070	0.0063	0.0048	0.0048	0.0070	0.0056
3	0.0058	0.0055	0.0084	0.0078	0.0060	0.0060	0.0084	0.0067
2	0.0063	0.0058	0.0085	0.0093	0.0073	0.0076	0.0093	0.0075
1	0.0043	0.0040	0.0055	0.0067	0.0053	0.0055	0.0067	0.0054

Fuente: Propia

➤ Comportamiento histerético de los disipadores

Se verificará el comportamiento que tienen los disipadores mediante la gráfica de desplazamiento vs fuerza, donde tal como se vio en el marco teórico, esta gráfica deberá tener una forma elíptica. En las figuras 158 y 159 se muestra la nomenclatura de cada disipador que se ubicó en la estructura.

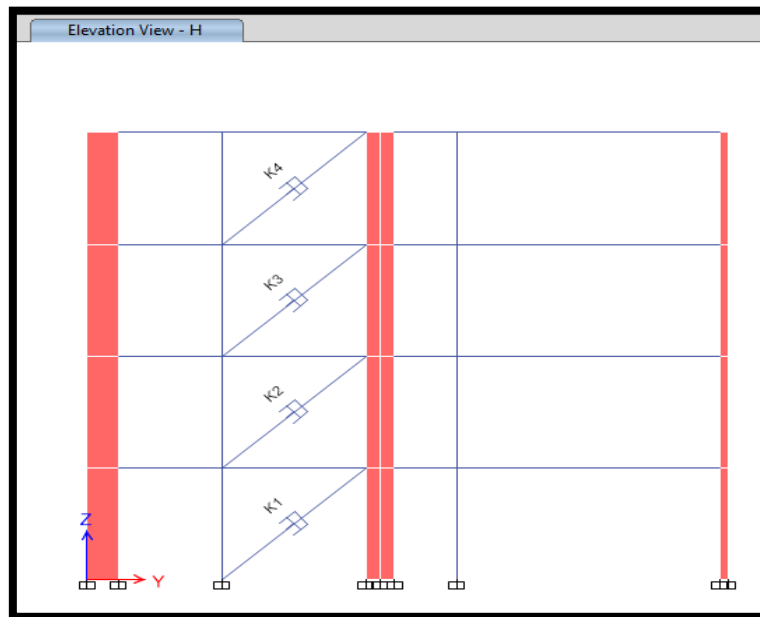


Figura 158. Nomenclatura de los disipadores -Elevación H. Fuente: Propia

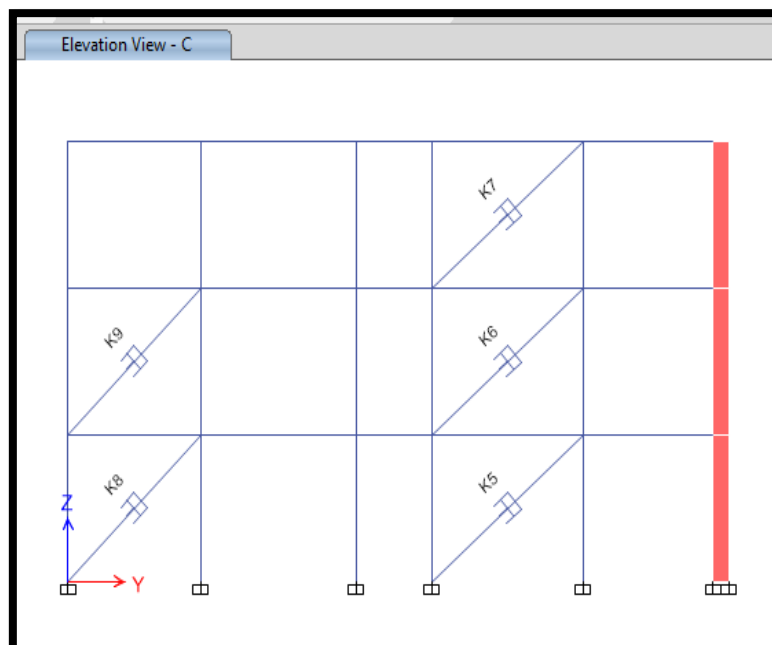


Figura 159. Nomenclatura de los disipadores – Elevación C. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K1.

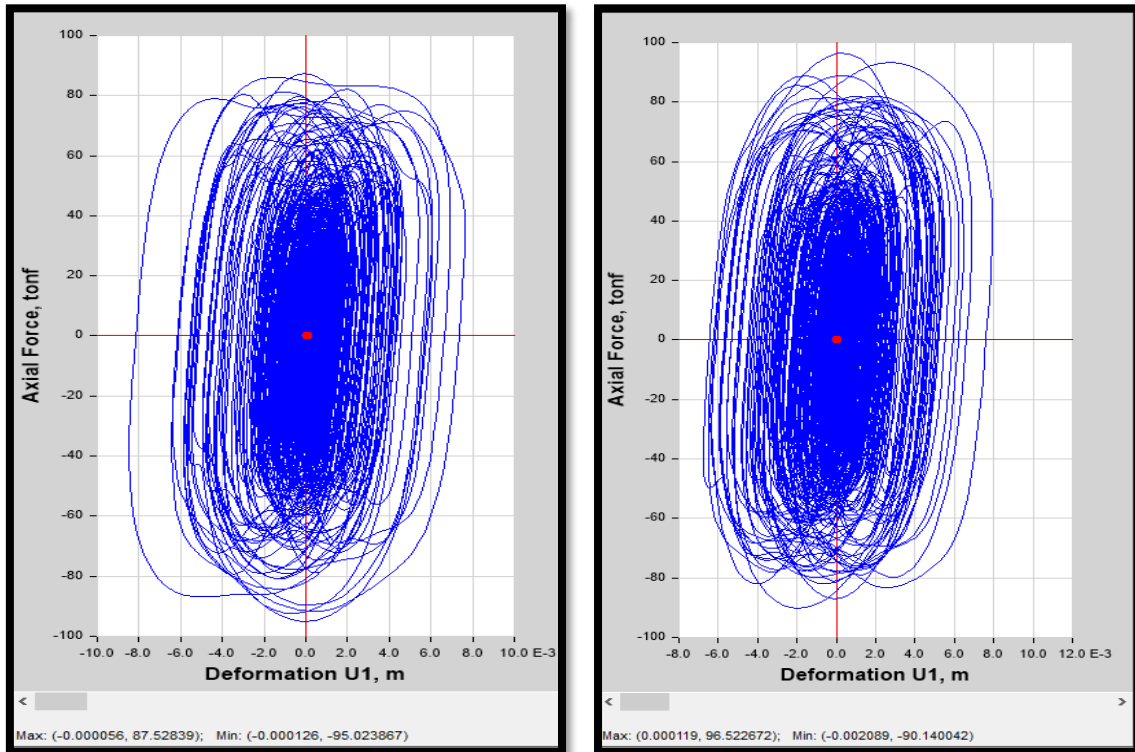


Figura 160. Curva de histéresis Disipador K1 – Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K2.

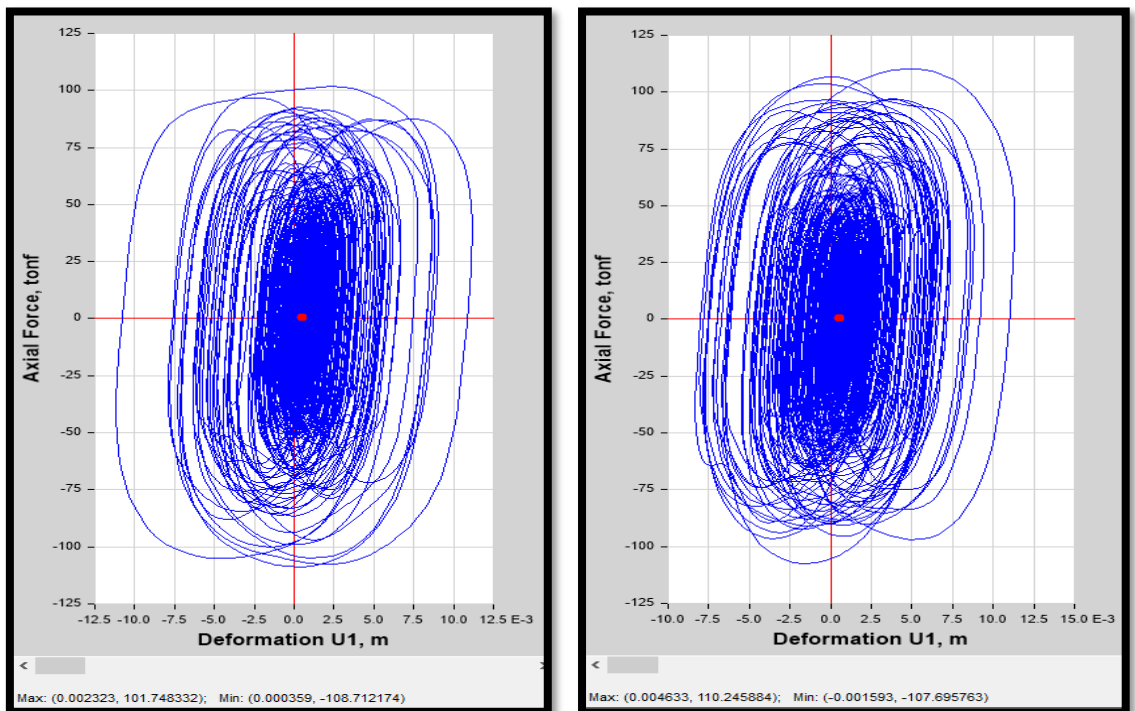


Figura 161. Curva de histéresis Disipador K2–Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K3.

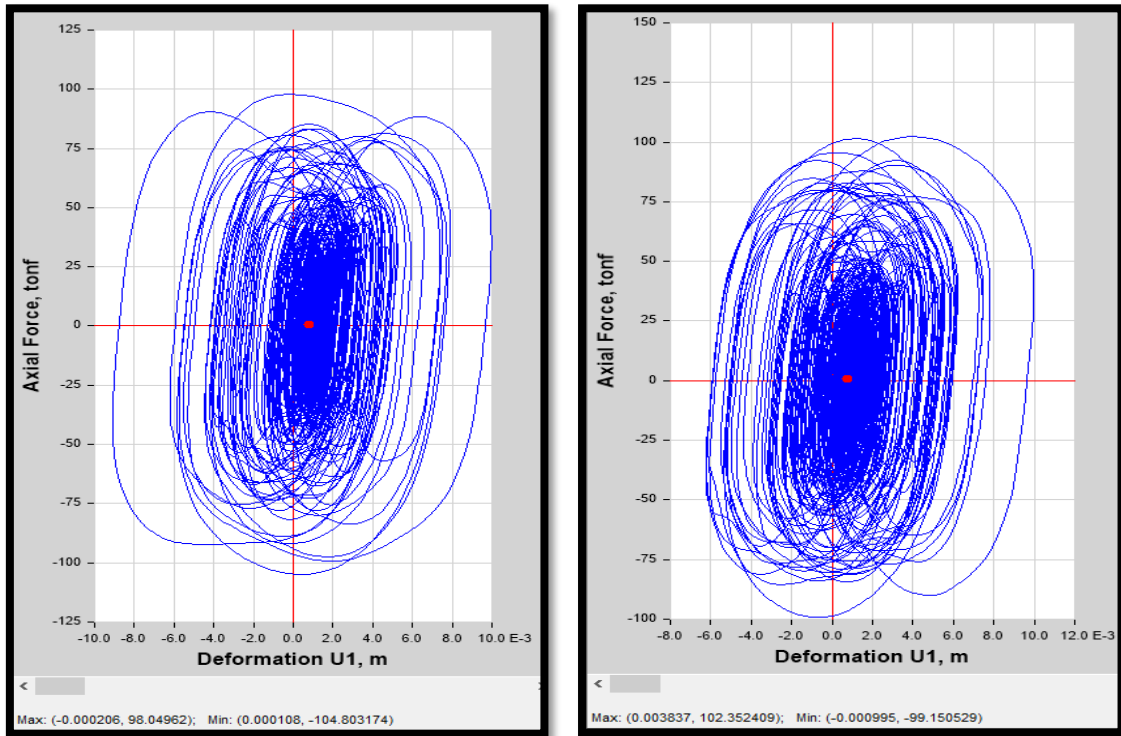


Figura 162. Curva de histéresis Disipador K3-Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia.

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K4.

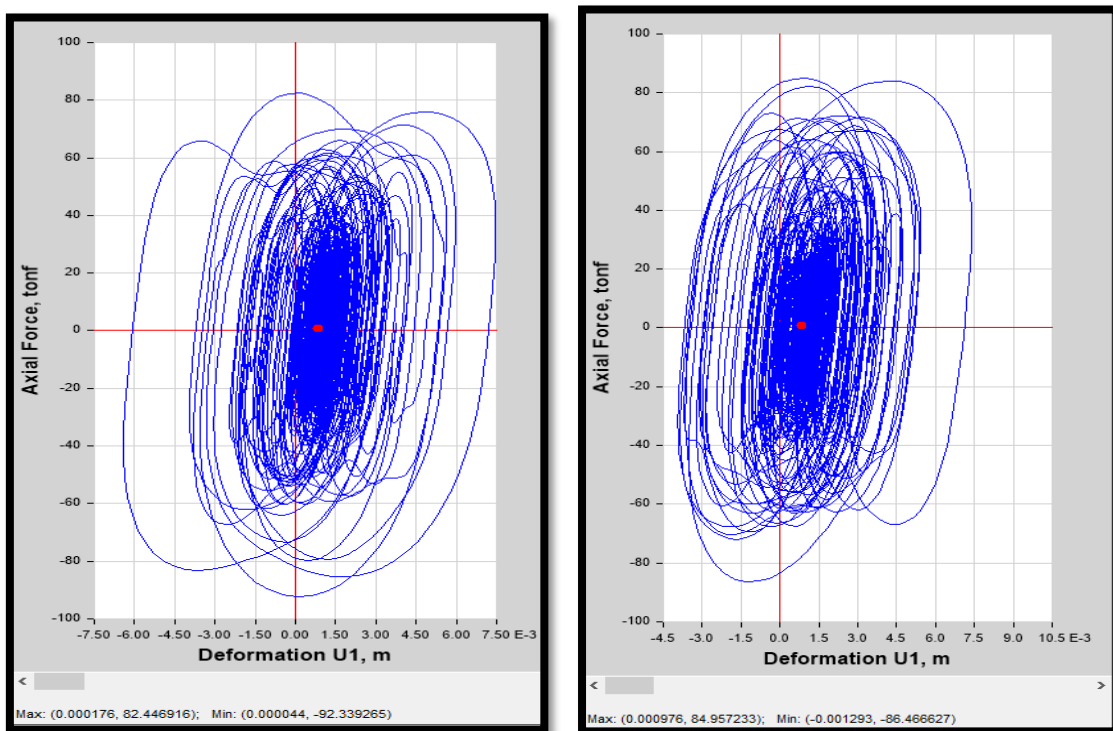


Figura 163. Curva de histéresis Disipador K4-Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K5.

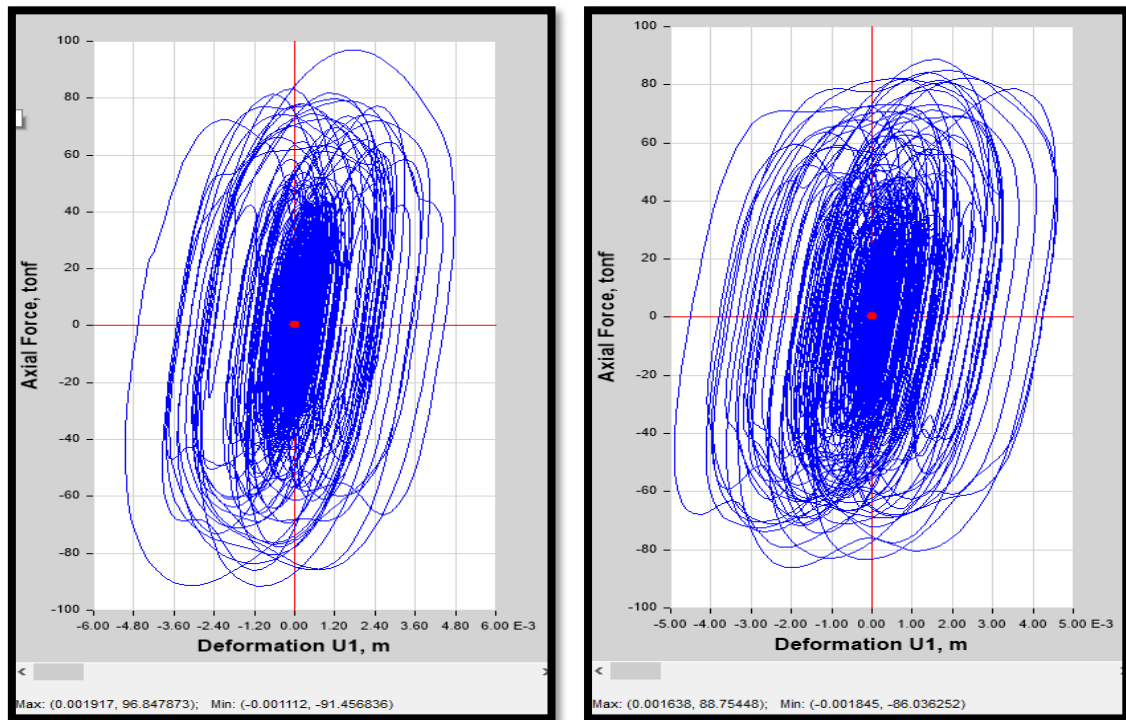


Figura 164. Curva de histéresis Disipador K5-Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K6.

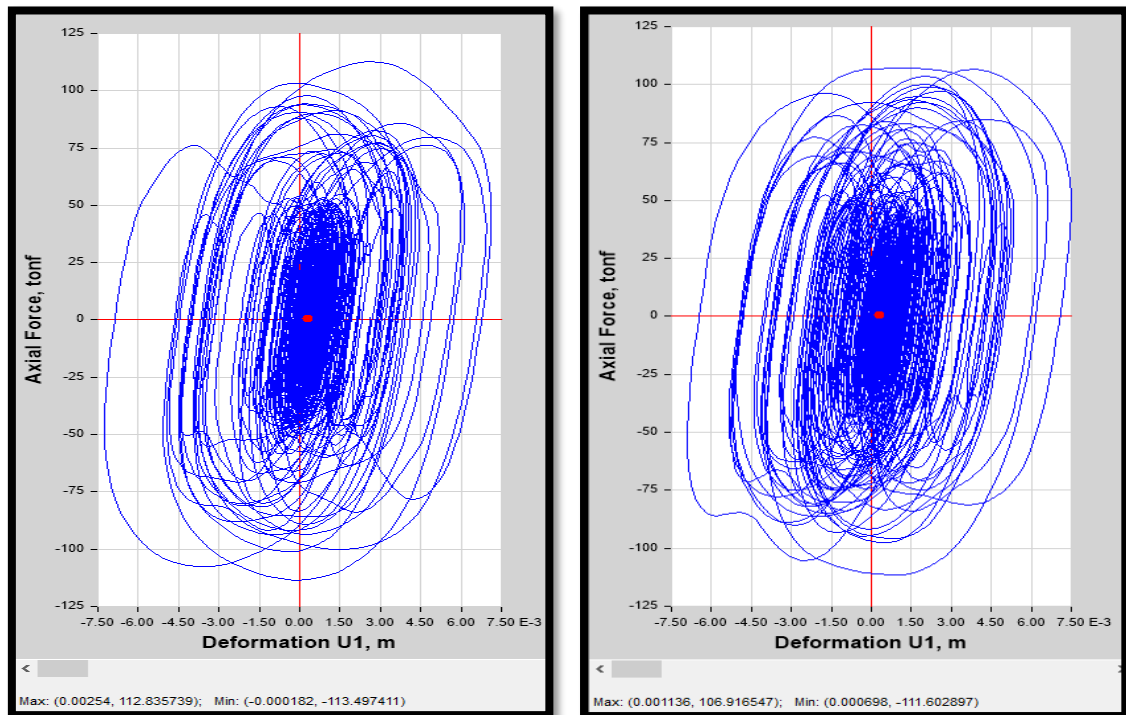


Figura 165. Curva de histéresis Disipador K6-Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K7.

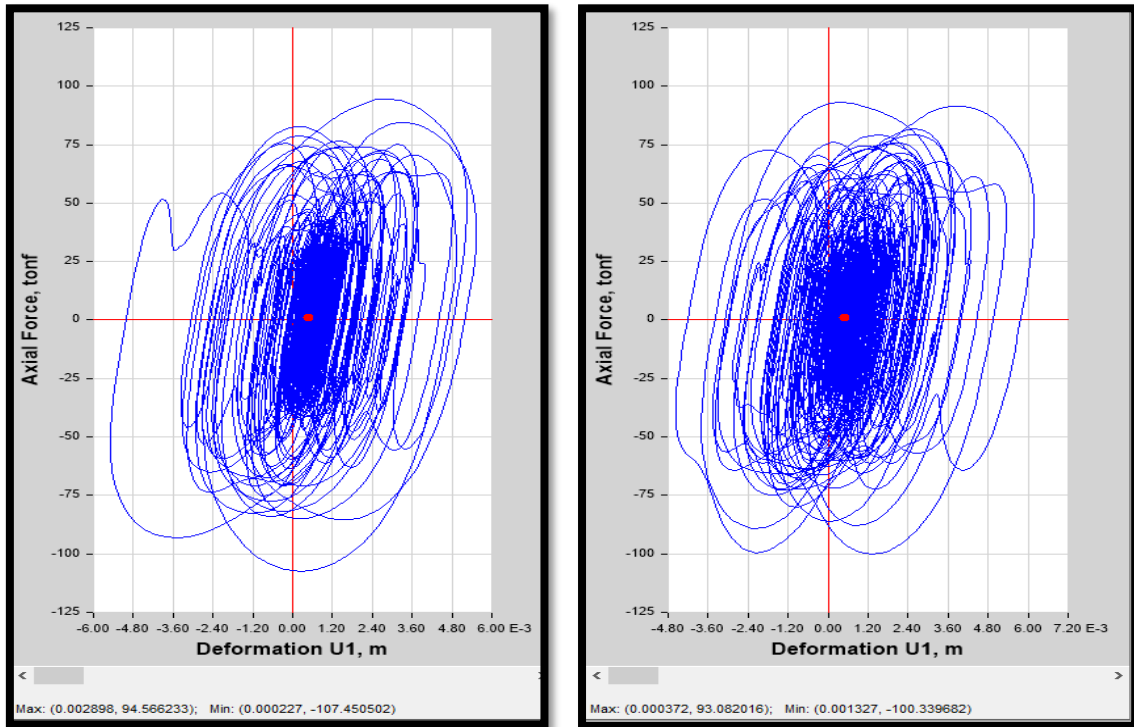


Figura 166. Curva de histéresis Disipador K7-Caso TH-AQP EW y NS. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K8.

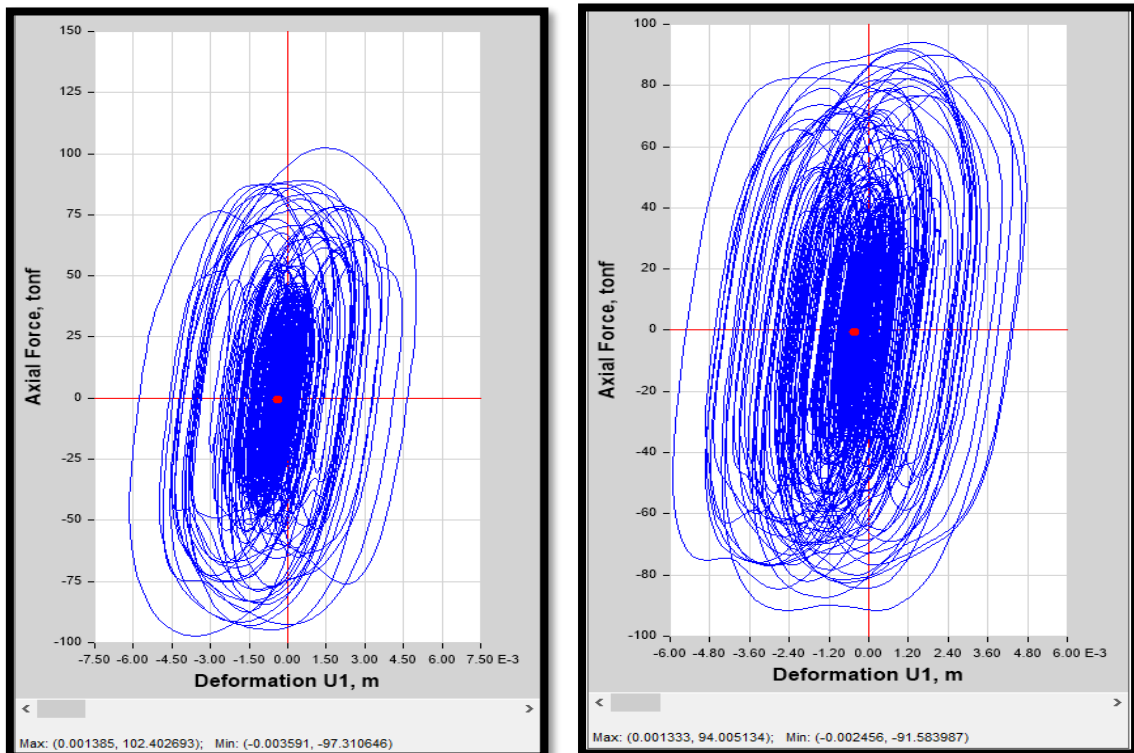


Figura 167. Curva de histéresis Disipador K8-Caso TH-AQP EW. Fuente: Propia

Se muestran las curvas histeréticas del caso TH-AQP (EW y NS) para el disipador K9.

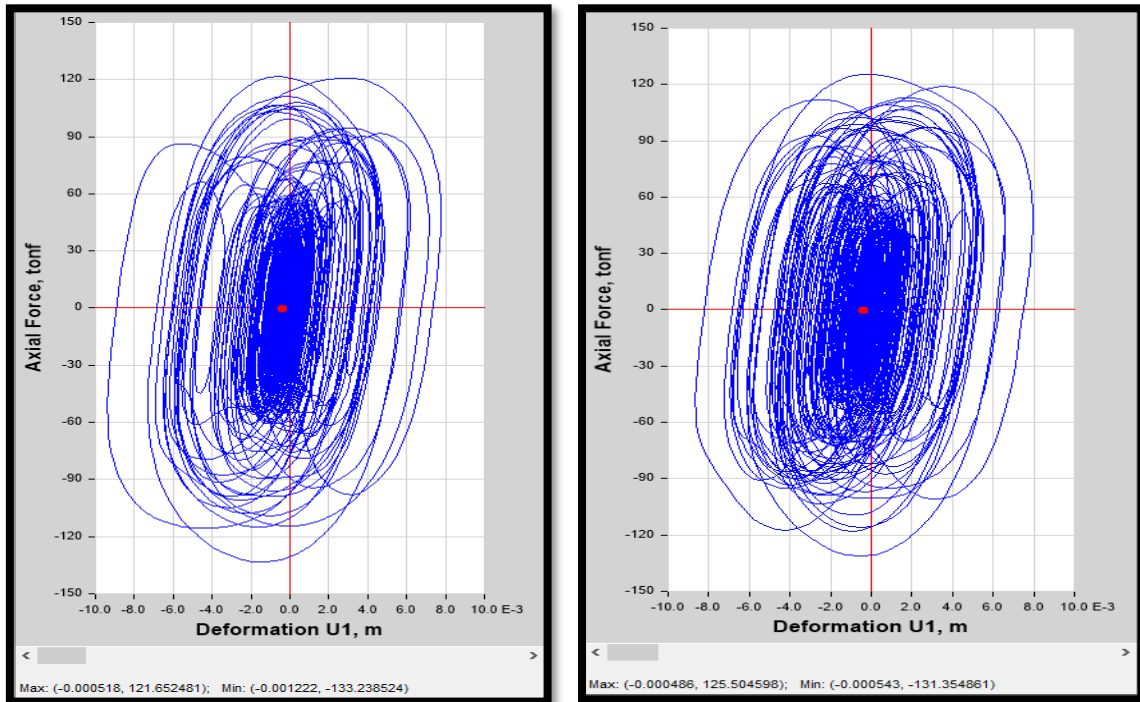


Figura 168. Curva de histéresis Disipador K9-Caso TH-AQP EW. Fuente: Propia

De la misma forma se analizará las curvas histeréticas debido a los casos de Lima1970 y Lima2013 (ver anexos). También se puede evaluar el porcentaje de disipación de energía por parte de los disipadores, para ello, se mostrarán los porcentajes por cada caso TH.

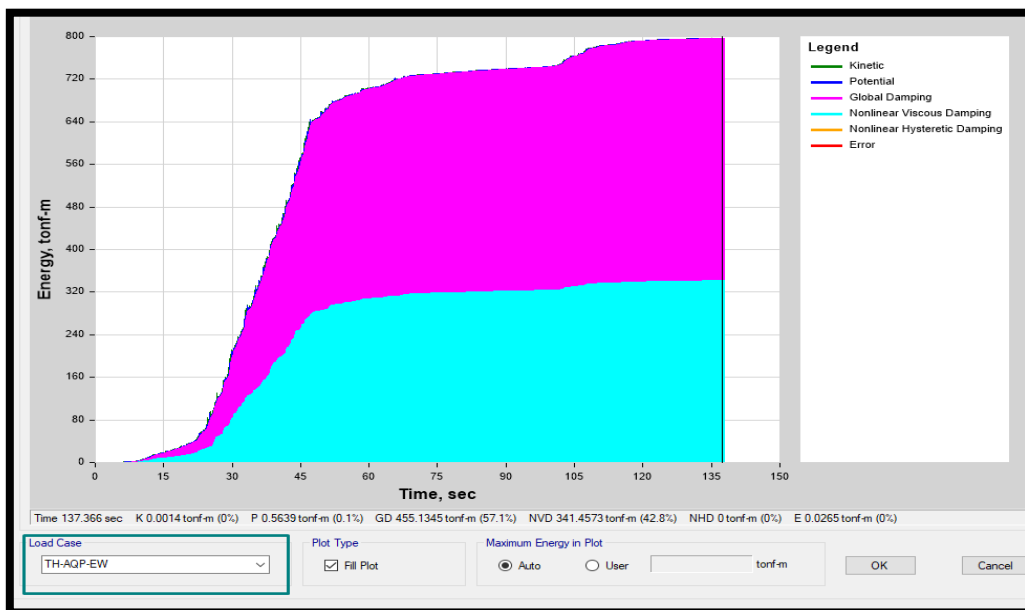


Figura 169. Disipación de energía debido al caso TH-AQP EW. Fuente: Propia

En la figura 169 se muestra que debido al caso TH AQP- EW los disipadores de fluido viscoso disipan un 42.8% de energía de la energía entrante a la estructura. Por otro lado, debido al caso TH-AQP NS los disipadores disipan un 52% de la energía entrante.

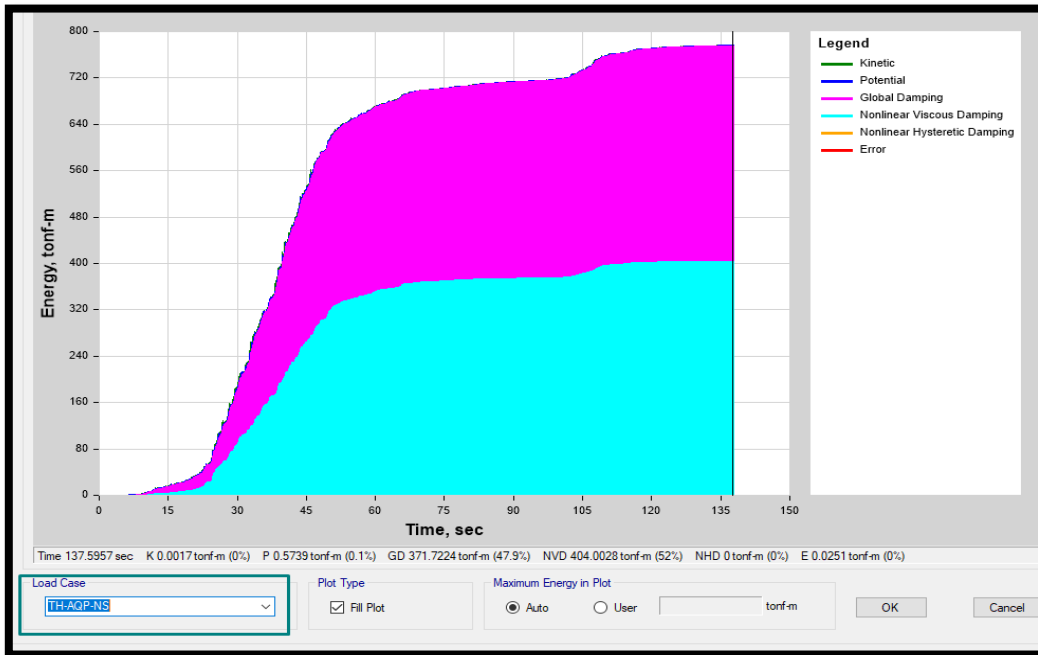


Figura 170. Disipación de energía debido al caso TH-AQP NS. Fuente: Propia

Debido al caso TH-LIMA1970 EW los disipadores disipan un total de 41.4%.

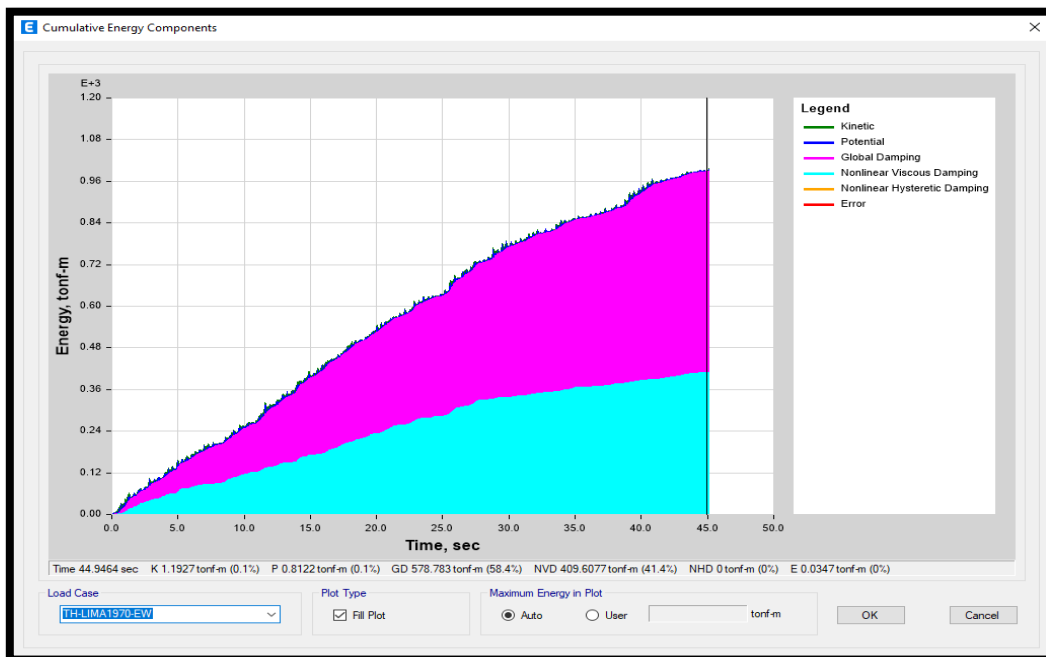


Figura 171. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA1970 EW. Fuente: Propia

Debido al caso TH-LIMA1970 NS los disipadores disipan el 48% de la energía.

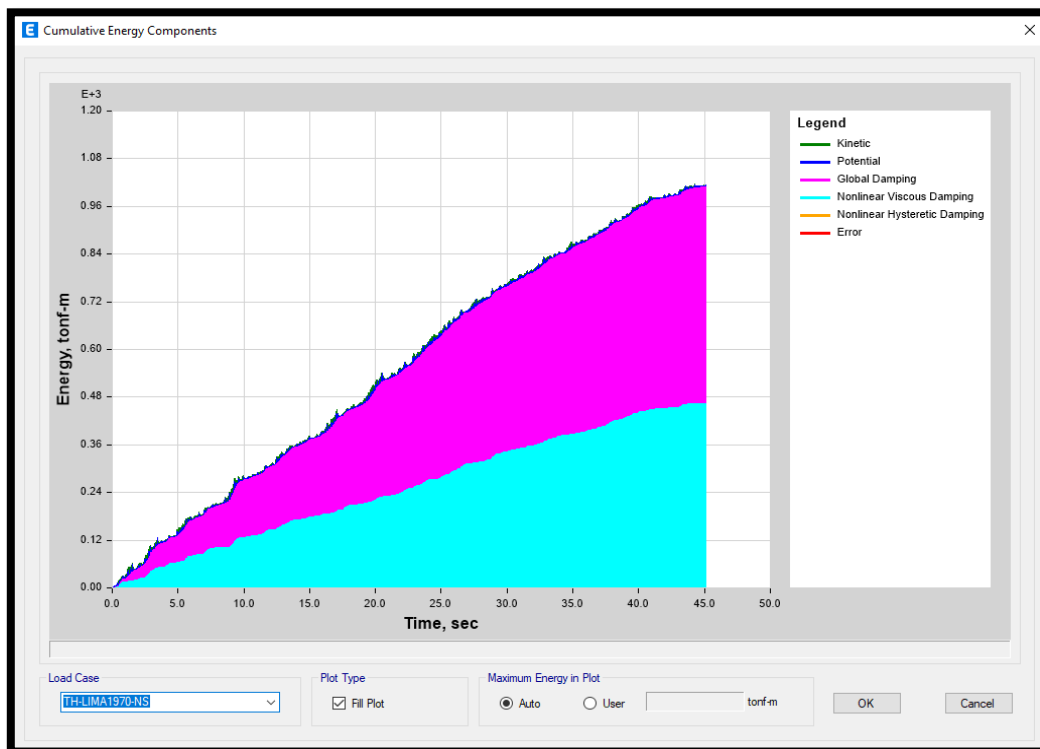


Figura 172. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA1970 NS. Fuente: Propia

Debido al caso TH-LIMA2013 EW los disipadores disipan el 43% de la energía.

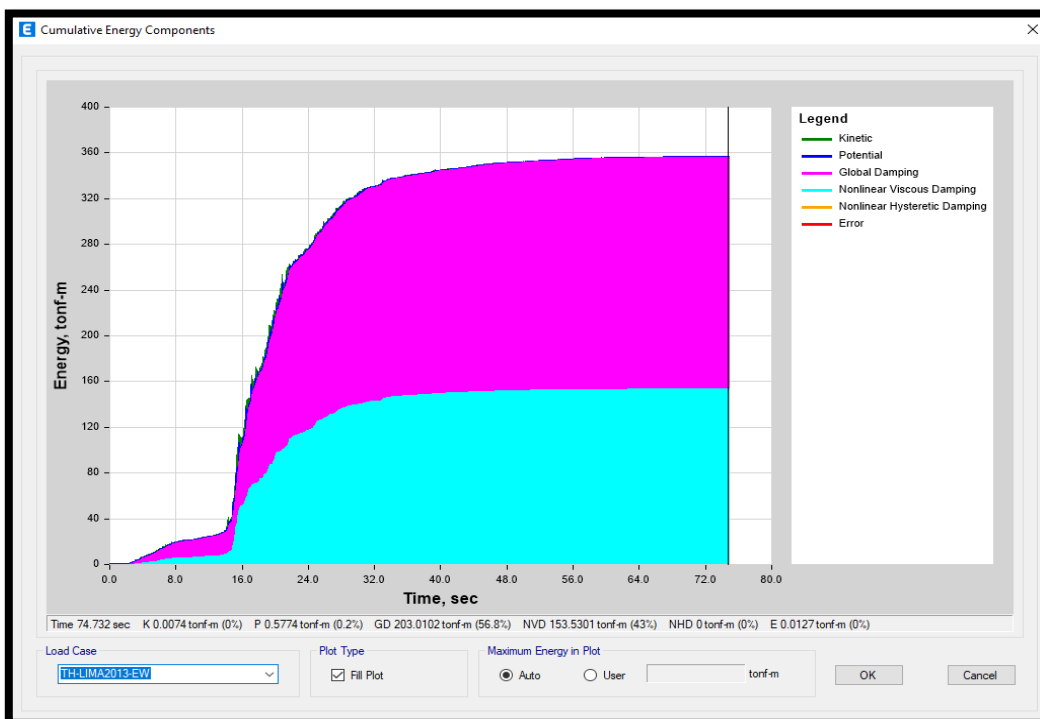


Figura 173. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA2013 EW. Fuente: Propia

Debido al caso TH-LIMA2013 NS los disipadores disipan el 36.9% de la energía.

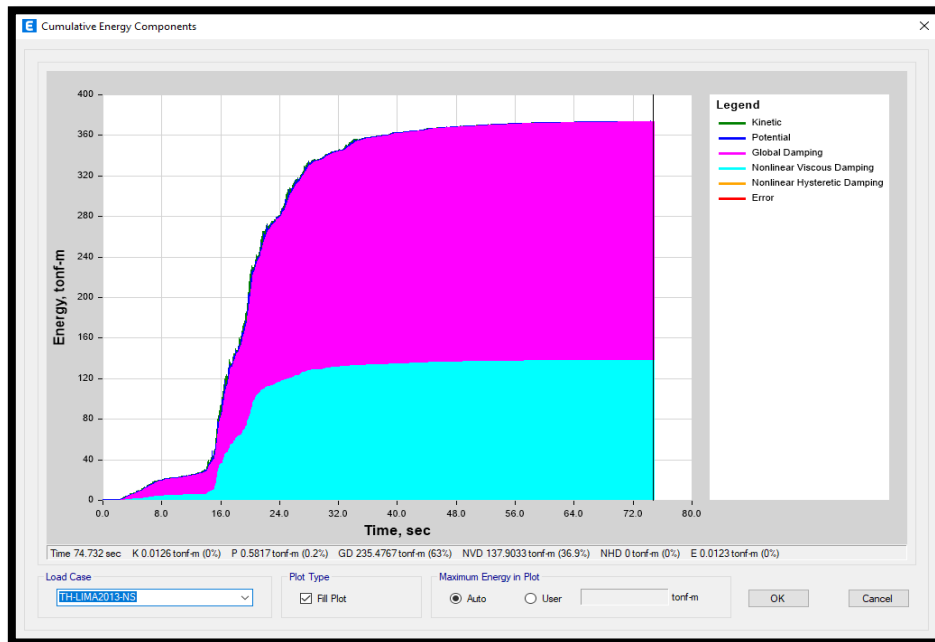


Figura 174. Disipación de energía debido al caso TH-LIMA2013 NS. Fuente: Propia

➤ **Dimensiones del disipador de fluido viscoso y su placa base**

Se obtendrán las fuerzas máximas de los disipadores a partir de todos los casos de tiempo-historia (Ver figura 175 y176).

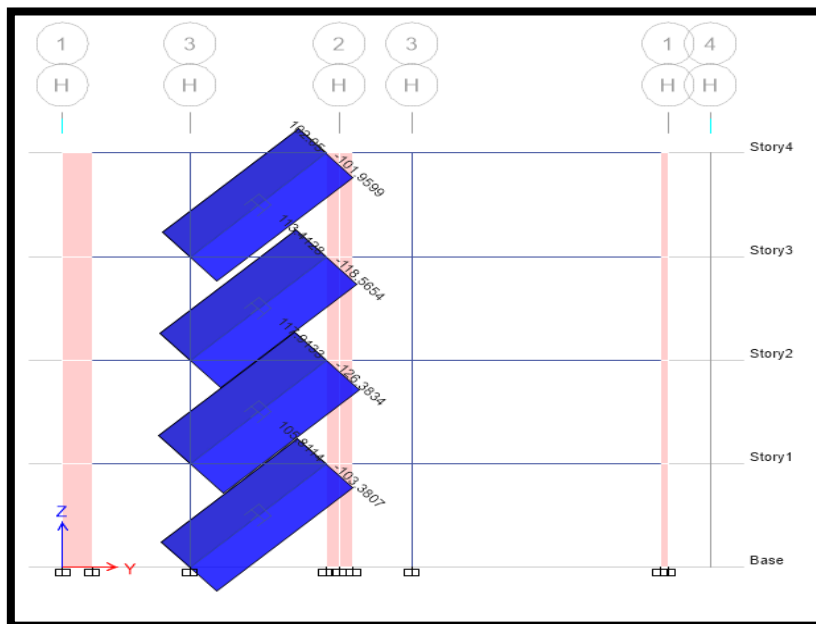


Figura 175. Fuerzas axiales en los disipadores - Elevación H. Fuente: Propia

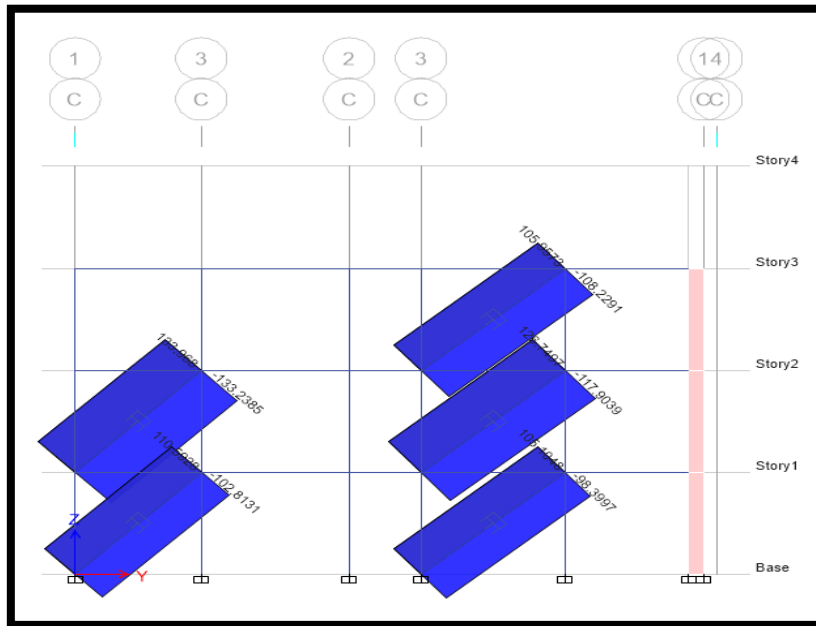


Figura 176. Fuerzas axiales en los disipadores – Elevación C. Fuente: Propia

A partir de las fuerzas obtenidas se estandarizará a valores que se usan comercialmente en el mercado (kip). La empresa Taylor Devices, muestra un catálogo de medidas de los disipadores a partir de los niveles de fuerzas con los que trabaja el dispositivo.

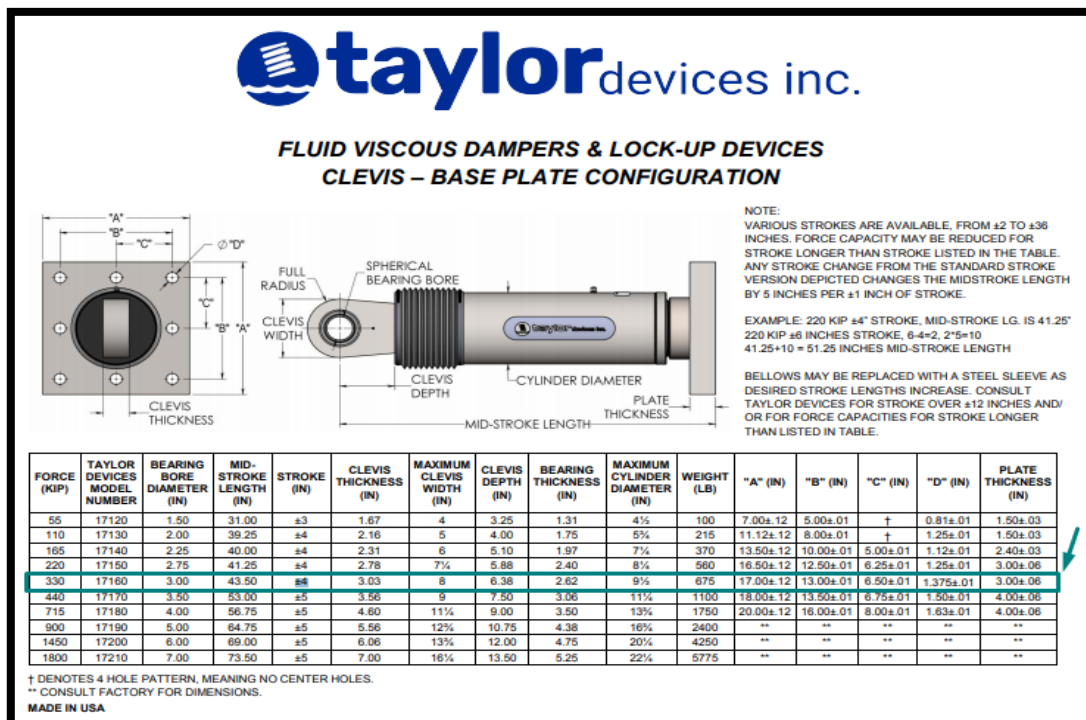


Figura 177. Tabla de las propiedades de los disipadores. Fuente: Taylor Devices, s.f.

En la tabla 73 se muestra los resultados de las fuerzas máximas que se obtuvieron y como se estandarizó a un valor de 330 kip como fuerza del disipador.

Tabla 71

Fuerzas en los disipadores

Disipador	Fuerza (T)	Fuerza (kip)	Disipador (kip)
1	105.81	233.27	330 KIP
2	126.38	278.62	330 KIP
3	118.57	261.40	330 KIP
4	102.96	226.99	330 KIP
5	105.11	231.73	330 KIP
6	126.75	279.44	330 KIP
7	108.23	238.61	330 KIP
8	110.59	243.81	330 KIP
9	133.24	293.74	330 KIP

Fuente: Propia

En tabla 74 y 75 se muestran las medidas del disipador seleccionado (330 kip) y su placa base que le corresponde expresados en centímetros.

Tabla 72

Propiedades del disipador seleccionado (330 kip)

Force	Bearing Bore Diameter (cm)	Mid Stroke Length (cm)	Stroke (inches)	Clevis thickness (cm)	Clevis Width (cm)	Clevis Depth (cm)	Cylinder Dia (cm)	Weight (lbs)
330 kip	7.62	110.49	4	7.6962	20.32	16.21	24.13	675

Fuente: Propia

Tabla 73

Dimensión de la placa base para el disipador

Force	"A" (cm)	"B" (cm)	"C" (cm)	"D" (inches)	Plate Thickness (cm)
330 kip	43.18	33.02	16.51	1.375 ± 0.01	7.62

Fuente: Propia

En la figura 178 se muestra las dimensiones obtenidas para el disipador de 330 kip expresado en centímetros.

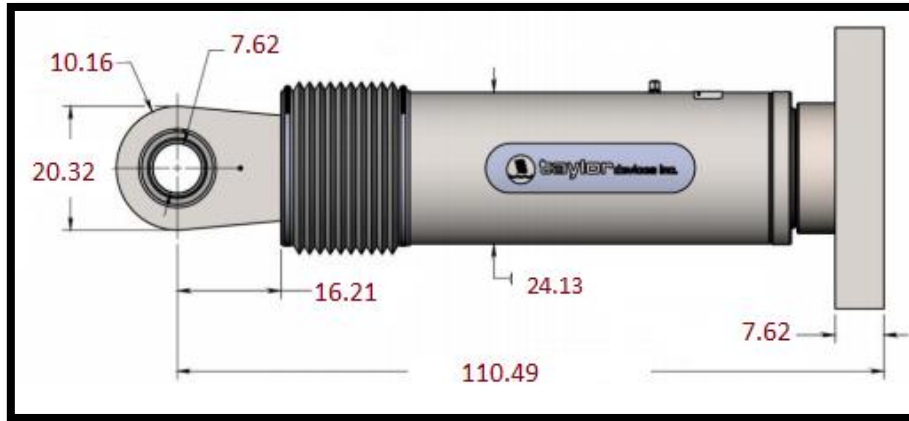


Figura 178. Dimensiones del disipador de 330 kip. Fuente: Propia

A si mismo, se muestran las dimensiones que tendrá la placa base para el disipador de 330 kip expresado en centímetros.

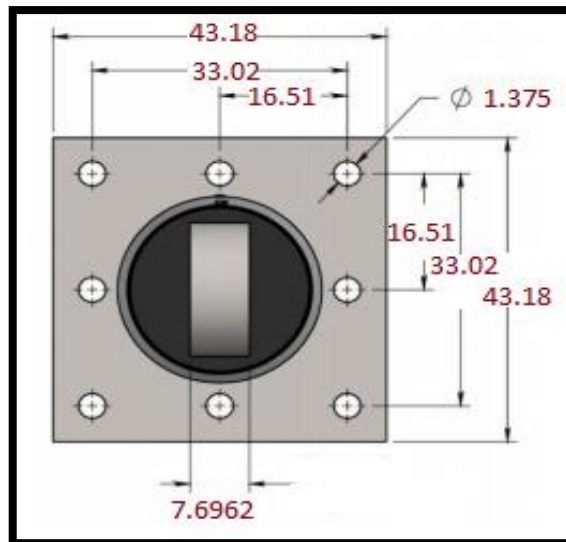


Figura 179. Dimensiones de la placa base para el disipador de 330 kip. Fuente: Propia.

Cabe mencionar, que cada dispositivo cuenta con un factor de seguridad de forma incorporada, es por ello, que no se necesitará ningún tipo de amplificación adicional a las fuerzas de diseño.

➤ **Diseño de los elementos que conforman los disipadores**

Para el diseño de los elementos que conforman el sistema de disipación a base de disipadores de fluido viscoso, la ASCE 7-16 recomienda considerar un factor de amplificación de 1.5 para las fuerzas máximas esperadas por parte de los disipadores. En la tabla 76 se muestra las fuerzas amplificadas por cada disipador.

Tabla 74

Fuerzas máximas de los disipadores amplificadas.

Disipador	Fuerza (T)	Fuerza (kip)
1	105.81	158.715
2	126.38	189.57
3	118.57	177.855
4	102.96	154.44
5	105.11	157.665
6	126.75	190.125
7	108.23	162.345
8	110.59	165.885
9	133.24	199.86

Fuente: Propia

A. Diseño del brazo metálico

Para el análisis del palacio municipal con los disipadores de fluido viscoso se consideró un brazo metálico cuya sección fue el tipo HSS 20.00x0.50. Por lo tanto, a continuación, se procederá a verificar si el perfil seleccionado cuenta con los requerimientos necesarios para resistir las fuerzas máximas de tracción y compresión que se producen en el

dispositivo. En la figura 180 se muestra las propiedades del brazo metálico HSS según lo estipulado por la ASTM A500.

Atlas HSS Section Properties (Round) - ASTM A500													
Shape	OD	Nominal Wall Thickness, t	Design Wall Thickness, td	Nominal Wt.	Area, A	D/t	I	S	r	Z	J	C	Surface Area
	(in.)	(in.)	(in.)	(lb/ft)	(in. ²)		(in. ⁴)	(in. ³)	(in.)	(in. ³)	(in. ⁴)	(in. ³)	(ft ² /ft)
HSS 20 x 0.625	20	0.625	0.581	129.45	35.4	34.4	1670	167	6.87	219	3340	334	5.24
HSS 20 x 0.500	20	0.500	0.465	104.23	28.5	43.0	1360	136	6.91	177	2720	272	5.24
HSS 20 x 0.375	20	0.375	0.349	78.67	21.5	57.3	1040	104	6.96	135	2080	208	5.24
HSS 20 x 0.250	20	0.250	0.233	52.78	14.5	85.8	707	70.7	6.98	91.0	1410	141	5.24
HSS 18 x 0.625	18	0.625	0.581	116.09	31.8	31.0	1210	134	6.17	176	2420	269	4.71
HSS 18 x 0.500	18	0.500	0.465	93.54	25.6	38.7	985	109	6.20	143	1970	219	4.71
HSS 18 x 0.375	18	0.375	0.349	70.66	19.4	51.6	754	83.8	6.23	109	1510	168	4.71
HSS 18 x 0.250	18	0.250	0.233	47.44	13.0	77.3	513	57.0	6.28	73.6	1030	114	4.71
HSS 16 x 0.625	16	0.625	0.581	102.73	28.1	27.5	838	105	5.46	138	1680	210	4.19

Figura 180. Propiedades geométricas de los perfiles HSS. Fuente: ASTM A500, s.f.

Para el diseño del brazo metálico, se considerará el caso más desfavorable, para ello se seleccionó el disipador K5 que se encuentra en el primer nivel y se realizó un bosquejo de cómo se ubicaría el disipador para definir la longitud del brazo metálico (ver figura 181).

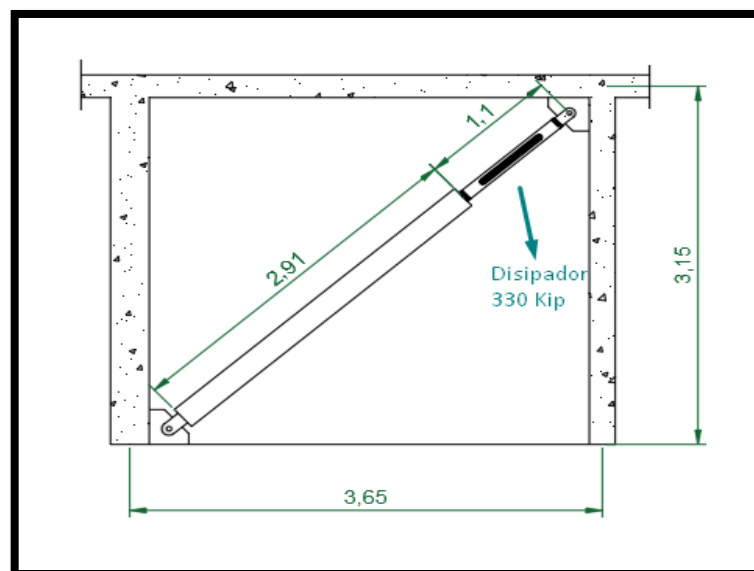


Figura 181. Dimensión y ubicación del disipador de análisis. Fuente: Propia.

A partir de lo mencionado anteriormente, se obtiene las siguientes propiedades para el brazo metálico HSS 20.00x0.50:

- Área del brazo metálico: $A = 28.5 \text{ in}^2$
- Radio del brazo metálico: $r = 6.91 \text{ in}$
- Módulo de elasticidad del acero: $E = 29\,000 \text{ ksi}$
- Esfuerzo de fluencia: $F_y = 35 \text{ ksi}$
- Resistencia en tensión: $F_u = 50 \text{ ksi}$

El disipador seleccionado (K5) cuenta con una fuerza de diseño de 105.11 T, por lo tanto, se verificará las fuerzas máximas de compresión (ϕP_n) y tensión (ϕT_n) esperando que superen la fuerza de diseño.

El brazo metálico del disipador k5 según la figura 181 cuenta con una longitud de diseño de 2.91 m, por lo que para el cálculo del esfuerzo elástico (F_e) se considerará su equivalente de 114.57 pulg.

- Cálculo del esfuerzo elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Ecuación 20

$$F_e = \frac{\pi^2 * 29000}{\left(\frac{114.57}{6.91}\right)^2}$$

$$F_e = 1041.15 \text{ ksi}$$

- Cálculo de F_{cr} :

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) * F_y$$

Ecuación 21

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{35}{1041.15} \right) * 35$$

$$F_{cr} = 34.511 \text{ ksi}$$

- Verificación de la fuerza a compresión del brazo metálico:

$$\phi P_n = \phi * F_{cr} * A$$

Ecuación 22

$$\phi P_n = 0.9 * 34.511 * 28.5$$

$$\phi P_n = 885.20 \text{ kips} = 401.52 \text{ Toneladas}$$

$$\phi P_n = 401.51 \text{ T} > 105.11 \text{ T} \dots\dots (Ok)$$

- Verificación de la fuerza a tensión del brazo metálico:

$$\phi T_n = \phi * F_y * A$$

Ecuación 23

$$\phi T_n = 0.9 * 35 * 28.5$$

$$\phi T_n = 897.75 \text{ kips} = 407.21 \text{ Toneladas}$$

$$\phi T_n = 407.21 \text{ T} > 105.11 \text{ T} \dots\dots (Ok)$$

B. Diseño de la conexión brazo metálico-disipador viscoso

De acuerdo al catálogo proporcionado por la empresa Taylor Device, le correspondió las siguientes medidas de la placa base (ver figura 179), donde a partir del tamaño de sus perforaciones se podrá determinar el tipo de perno estructural que se utilizará.

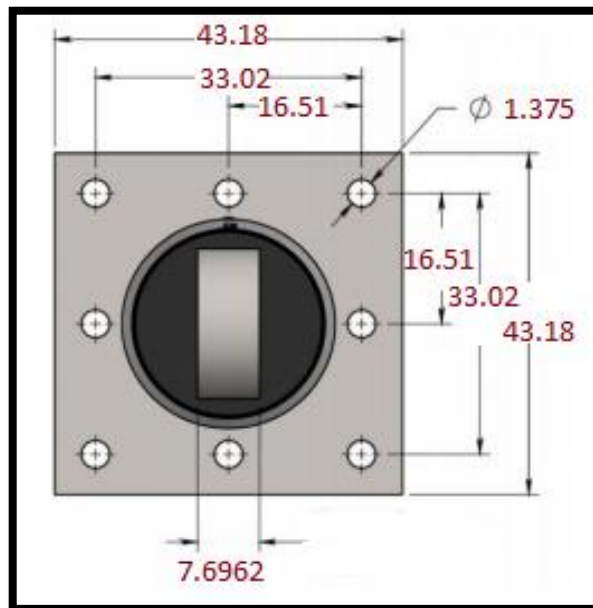


Figura 182. Dimensiones de la placa base del disipador de 330kip. Fuente: Propia

Se sabe que:

$$db + 1/8'' = dh$$

Ecuación 24

Donde:

db= Diámetro del perno

dh = Diámetro del agujero

Por lo tanto, el diámetro del perno “db” será:

$$db = dh - 1/8''$$

$$db = 1.375'' - 1/8''$$

$$db = 1.25'' = 1 \frac{1}{4}''$$

Para el diseño de conexiones metálicas usando perno se utilizó las especificaciones establecidas por las normativas AISC, ASTM y la RCSC donde a partir estas normativas se determinarán las dimensiones de los pernos, arandelas y tuercas.

- **Tipo de perno**

Los pernos estructurales están normalizados por la ASTM A325 y A490 y se clasifican a su vez, en dos grupos, tal como se ve en la figura 183.

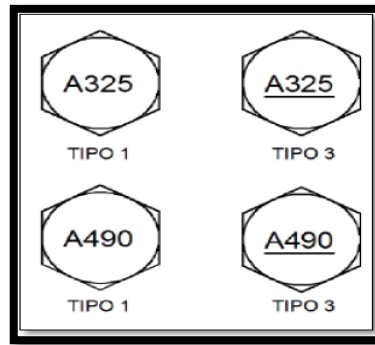


Figura 183. Pernos A325 y A490. Fuente: Propia

Los pernos A325 y A490 se clasifican en dos grupos donde el grupo 1 se usa para altas temperaturas y el grupo 3 cuando se requiere una alta resistencia a la corrosión.

Además, es importante mencionar que los pernos A325 para diámetros entre $\frac{1}{2}$ " - 1" poseen una resistencia mínima a la tensión de 120 KSI, mientras que, para diámetros de $1\frac{1}{8}$ " - $1\frac{1}{2}$ " la resistencia mínima es de 105 KSI. Por otro lado, los pernos A490 para diámetros de $\frac{1}{2}$ " - 1" poseen una resistencia mínima a la tensión entre 150 a 170 KSI.

Para la presente investigación se consideró usar el perno de tipo A325 - Grupo 1 ya que es el más usado en el mercado nacional. El comportamiento del perno se verificará más adelante.

- **Dimensiones de los pernos, tuercas y arandelas**

Tal como se indicó anteriormente, las dimensiones de los pernos y las tuercas se encuentran normalizadas por la RCSC tal como se visualiza en la figura 184 y 185, donde para la presente investigación se está utilizando el diámetro del perno de $1\frac{1}{4}$ ".

Tabla 1 Dimensiones estándares de pernos y tuercas⁴

Diámetro Nominal del Perno <i>db, in.</i>	Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada			Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas	
	Ancho a través de cara plana <i>F, plg.</i>	Altura <i>H1, plg.</i>	Longitud Roscada <i>T, plg.</i>	Ancho a través de cara plana <i>W, plg.</i>	Altura <i>H2, plg.</i>
1/2	7/8	5/16	1	7/8	31/64
5/8	1 1/16	25/64	1 1/4	1 1/16	39/64
3/4	1 1/4	15/32	1 3/8	1 1/4	47/64
7/8	1 7/16	35/64	1 1/2	1 7/16	55/64
1	1 5/8	39/64	1 3/4	1 5/8	63/64
1 1/8	1 13/16	11/16	2	1 13/16	1 7/64
1 1/4	2	25/32	2	2	1 7/32
1 3/8	2 3/16	27/32	2 1/4	2 3/16	1 11/32
1 1/2	2 3/8	15/16	2 1/4	2 3/8	1 15/32

Figura 184. Dimensiones de los pernos estructurales y tuercas. Fuente: RCSC, 2004.

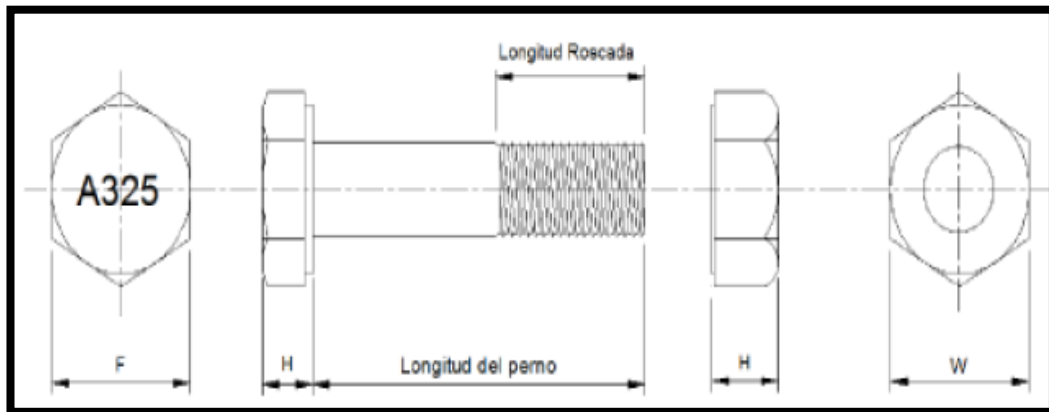


Figura 185. Detalles de los pernos de alta resistencia. Fuente: Propia.

Mediante la tabla 77 se muestra las dimensiones del perno seleccionado expresado en centímetros, mientras que, en las figuras 186 y 187 se visualizan de forma gráfica las dimensiones del perno estructural y de su tuerca.

Tabla 75

Dimensiones del perno 1 ¼ y su tuerca

Unid	Diámetro Nominal del Perno	Dimensiones del perno estructural			Dimensiones de la tuerca	
		Ancho a través de la cara plana	Altura	Longitud Roscada	Ancho a través de la cara plana (W)	Altura (H2)
in	1 1/4	2	25/32	2	2	1 7/32
cm	3.175	5.08	1.98	5.08	5.08	3.10

Fuente: Propia

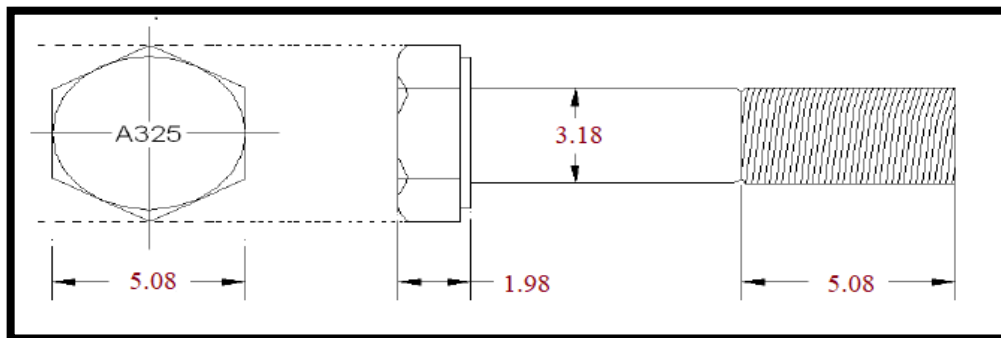


Figura 186. Detalles del perno de 1 ¼. Fuente: Propia.

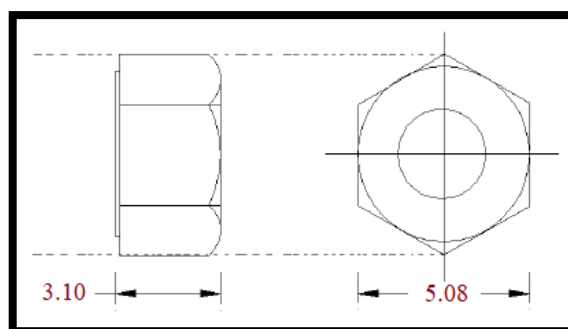


Figura 187. Detalles de la tuerca. Fuente: Propia

En cuanto a las dimensiones de las arandelas, éstas están especificadas y detalladas bajo la ASTM F436 (ver figura 188) donde dependiendo del tipo de perno le corresponde unas respectivas dimensiones para las arandelas.

Circular, Clipped Circular and Extra Thick			Thickness(T), in.				Clipped
Nominal Size	Nominal Outside Diameter (OD), in.	Nominal Inside Diameter (ID), in.	Circular and Clipped		Extra Thick		Min. Edge Distance(E) ^A , in.
			min	max	min	max	
1/4	0.625	0.281	0.051	0.080	-	-	0.219
5/16	0.688	0.344	0.051	0.080	-	-	0.281
3/8	0.813	0.406	0.051	0.080	-	-	0.344
7/16	0.922	0.469	0.051	0.080	-	-	0.406
1/2	1.063	0.531	0.097	0.177	0.305	0.375	0.438
9/16	1.188	0.625	0.110	0.177	0.305	0.375	0.500
5/8	1.313	0.688	0.122	0.177	0.305	0.375	0.563
3/4	1.468	0.813	0.122	0.177	0.305	0.375	0.656
7/8	1.750	0.938	0.136	0.177	0.305	0.375	0.781
1	2.000	1.063	0.136	0.177	0.305	0.375	0.875
1 1/8	2.250	1.188	0.136	0.177	0.305	0.375	1.000
1 1/4	2.500	1.375	0.136	0.177	0.305	0.375	1.094
1 3/8	2.750	1.500	0.136	0.177	0.305	0.375	1.219
1 1/2	3.000	1.625	0.136	0.177	0.305	0.375	1.313
1 3/4	3.375	1.875	0.178 ^B	0.28 ^B	0.305	0.375	1.531
2	3.750	2.125	0.178 ^B	0.28 ^B	0.305	0.375	1.750
2 1/4	4.000	2.375	0.24 ^C	0.34 ^C	0.305	0.375	2.000
2 1/2	4.500	2.625	0.24 ^C	0.34 ^C	0.313	0.375	2.188
2 3/4	5.000	2.875	0.24 ^C	0.34 ^C	0.313	0.375	2.406
3	5.500	3.125	0.24 ^C	0.34 ^C	0.313	0.375	2.625

Figura 188. Medidas estandarizadas de arandelas. Fuente: ASTM F436, s.f.

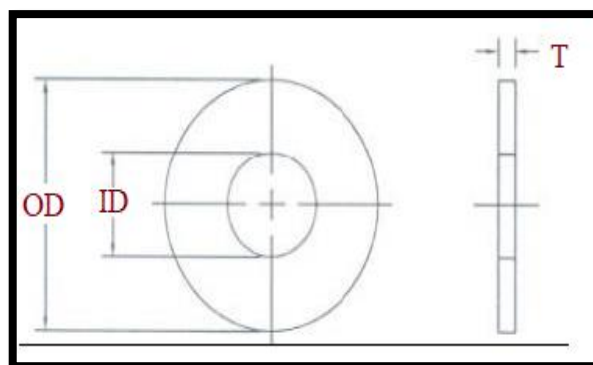


Figura 189. Nomenclatura para las arandelas. Fuente: ASTM F436, s.f.

A partir de la tabla 78 se determinó las dimensiones de la arandela expresado en centímetros al considerar un perno con un diámetro de 1 1/4”.

Tabla 76

Dimensiones de la arandela para el perno de 1 1/4"

Unid	Diámetro nominal del perno	Diámetro exterior (OD)	Diámetro interior (ID)	Espesor máximo (C. max)
in	1 1/4	2.50	1.375	0.177
cm	3.175	6.35	3.493	0.450

Fuente: Propia

Para calcular la longitud del perno se sumará la medida de las placas que llevará (Grip), más los espesores de las arandelas, más un valor proporcionado por la tabla C-2.2 de la RCSC (ver figura 190). El valor resultante se redondeará a 1/4" para longitudes de Grip menores a 5" y 1/2" para longitudes mayores a 5".

Diámetro Nominal del Perno <i>db, plg.</i>	Para Determinar la Longitud requerida, Anadir al Grip, <i>plg.</i>
1/2	11/16
5/8	7/8
3/4	1
7/8	1 1/8
1	1 1/4
1 1/8	1 1/2
1 1/4	1 5/8
1 3/8	1 3/4
1 1/2	1 7/8

Figura 190. Incremento al valor del Grip. Fuente: RCSC, 2004

En la figura 191 se muestra un bosquejo de cómo quedaría las dimensiones de la conexión entre el brazo metálico (HSS 20x0.50) y el disipador de 330 kip.

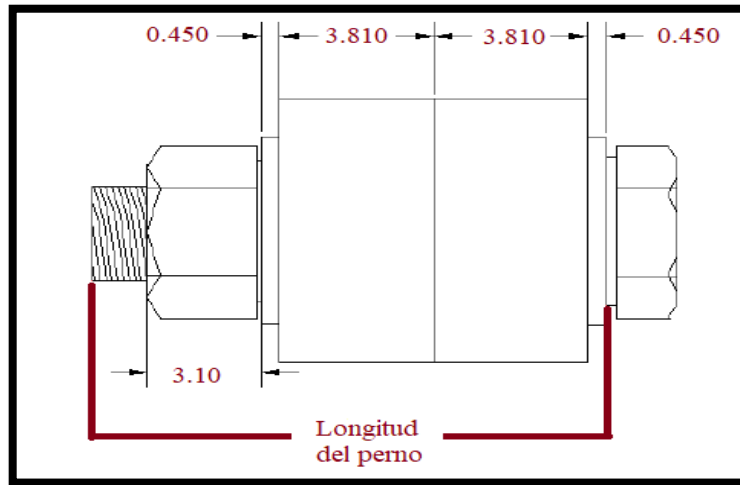


Figura 191. Cálculo de la longitud del perno. Fuente: Propia.

Se calculará el valor de la longitud del perno de la siguiente manera:

$$\text{Long. perno} = 2(\text{arandela}) + \text{Grid} + 1\ 5/8''$$

Ecuación 25

$$\text{Long. perno} = 2(0.450\text{ cm}) + 2(3.81\text{ cm}) + 4.13\text{cm}$$

$$\text{Long. perno} = 12.65\text{ cm} = 4.98''$$

El valor obtenido, tal como se mencionó anteriormente se redondeará al valor de 1/4" ya que la longitud del Grip (7.62 o 3") es menor a 5".

$$\text{Long. Perno} = 5.23'' \text{ o } 13.28\text{ cm}$$

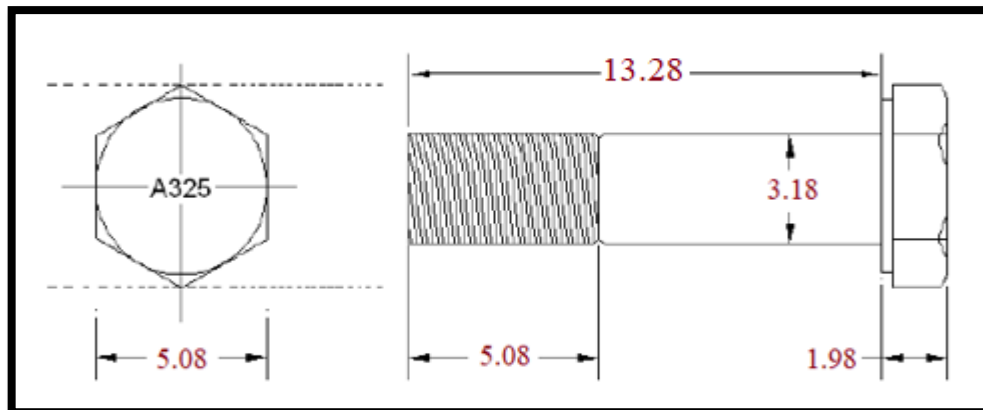


Figura 192. Dimensiones del perno para la conexión extensor-disipador. Fuente: Propia

Como se mencionó, para pernos A325 los diámetros entre 1 1/8” – 1 1/2” tendrán una resistencia a la tensión de 105ksi, por lo que la resistencia de diseño (ϕT_n) será:

$$\phi T_n = \phi * A_b * F_u$$

Ecuación 26

$$\phi T_n = 0.75 * 105 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2} * (1.25 \text{ in})^2$$

$$\phi T_n = 123.05 \text{ kip} = 55.81 \text{ Tn}$$

Sólo se evalúa las fuerzas de tensión en la conexión, ya que, sólo está sometido a esfuerzos axiales de tracción y compresión, mas no, a esfuerzo de corte.

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\phi T_n = 8 \text{ pernos} * 55.81 \text{ Tn/Perno}$$

$$\phi T_n = 446.48 \text{ Tn}$$

$$446.48 \text{ Tn} \geq 105.11 \text{ tn} \text{ (Ok)}$$

En la figura 191 se visualiza cómo se ubicaría la conexión entre el brazo metálico (HSS20x0.50) y el disipador viscoso (330Kip) junto con sus detalles de conexión.

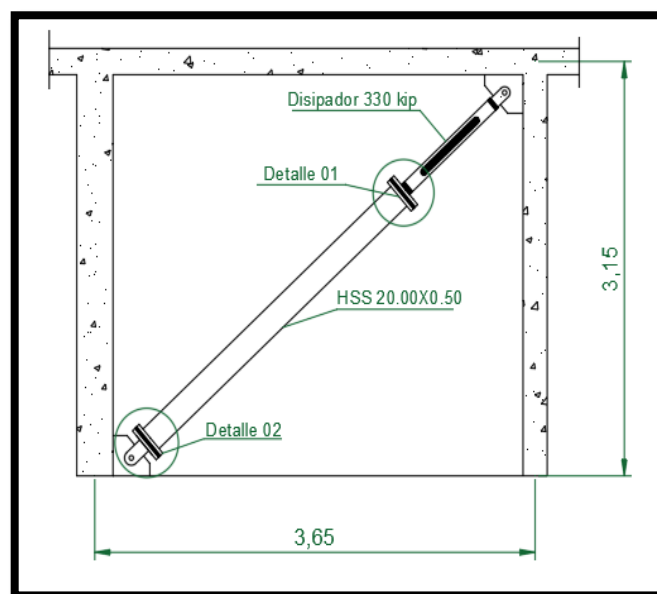


Figura 193. Ubicación del disipador de 330 kip en el pódico de diseño. Fuente: Propia.

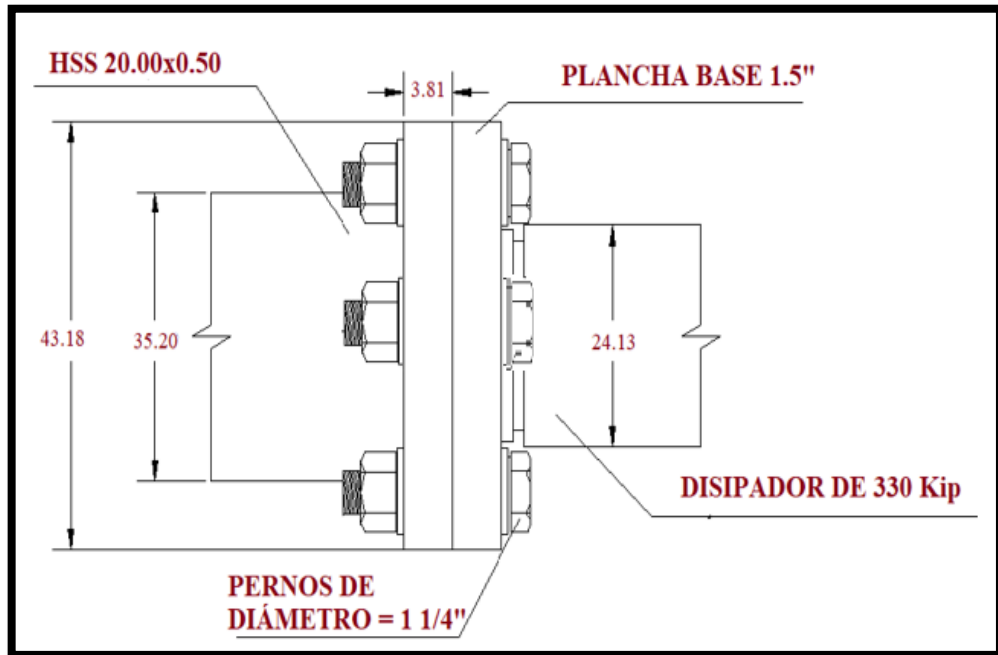


Figura 194. Detalle 01 de la conexión brazo metálico-disipador. Fuente: Propia.

Para las dimensiones de la placa base y ubicación de los pernos para la unión Brazo metálico – Barra de conexión; se consideró las mismas que el del brazo metálico-disipador, puesto que las fuerzas que se generan en el brazo metálico son iguales. (ver figura 195).

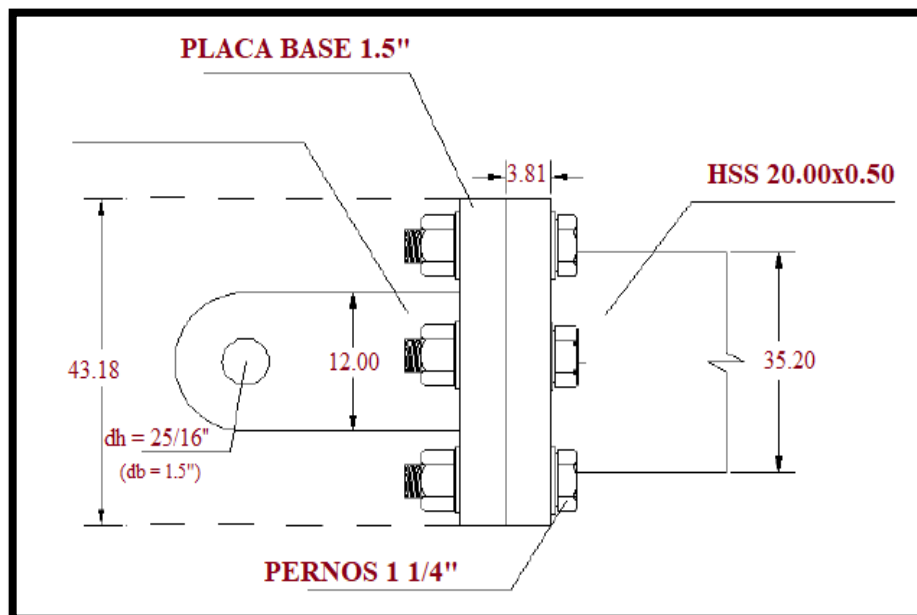


Figura 195. Detalle 02 Conexión brazo metálico – barra de conexión. Fuente: Propia

C. Diseño del perno estructural de conexión

Se consideró un perno A490 de diámetro 1.5” para la unión entre la barra de conexión y las cartelas cuyo bosquejo de sus dimensiones se muestran en la figura 196 y 197.

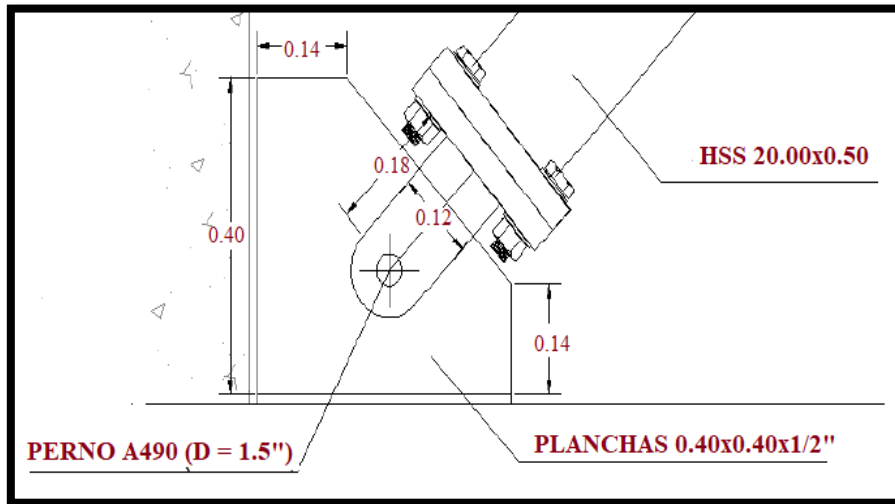


Figura 196. Propuesta de detalle de conexión inferior. Fuente: Propia.

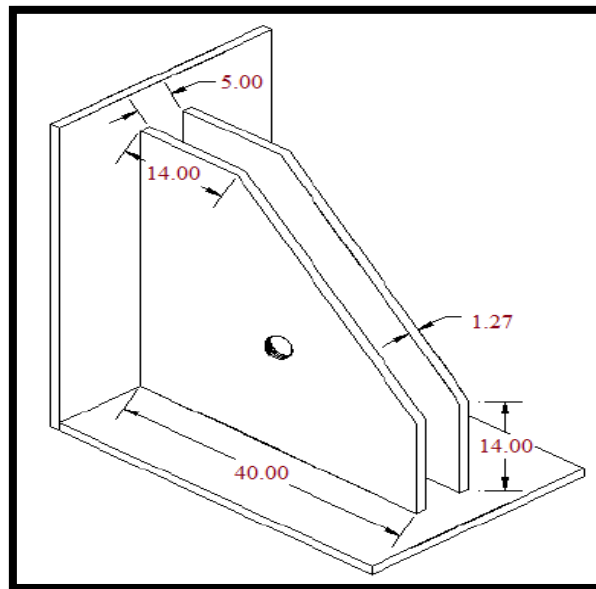


Figura 197. Propuesta del detalle en cm de las cartelas metálicas. Fuente: Propia

A partir de la figura 184 se definió las medidas del perno de 1.5” (1 ½”), y de las figuras 188 y 190, se obtuvieron las medidas de la arandela y del incremento de Grid. Además, consideró un espesor de 5cm de longitud del perno para la barra de conexión.

Tabla 77

Dimensiones del perno 1 ½”

Unid	Diámetro Nominal del Perno	Dimensiones del perno estructural			Dimensiones de la tuerca	
		Ancho a través de la cara plana	Altura	Longitud Roscada	Ancho a través de la cara plana (W)	Altura (H2)
in	1 1/2	2 3/8	15/16	2 1/4	2 3/8	1 15/32
cm	3.81	6.033	2.381	5.715	6.033	3.731

Fuente: Propia

Con el diámetro del perno 1 ½” se obtuvo las medidas correspondientes de las arandelas.

Nominal Size	Nominal Outside Diameter (OD), in.	Nominal Inside Diameter (ID), in.	Thickness(T), in.				Clipped Min. Edge Distance(E) ^A , in.
			Circular and Clipped		Extra Thick		
			min	max	min	max	
1/4	0.625	0.281	0.051	0.080	-	-	0.219
5/16	0.688	0.344	0.051	0.080	-	-	0.281
3/8	0.813	0.406	0.051	0.080	-	-	0.344
7/16	0.922	0.469	0.051	0.080	-	-	0.406
1/2	1.063	0.531	0.097	0.177	0.305	0.375	0.438
9/16	1.188	0.625	0.110	0.177	0.305	0.375	0.500
5/8	1.313	0.688	0.122	0.177	0.305	0.375	0.563
3/4	1.468	0.813	0.122	0.177	0.305	0.375	0.656
7/8	1.750	0.938	0.136	0.177	0.305	0.375	0.781
1	2.000	1.063	0.136	0.177	0.305	0.375	0.875
1 1/8	2.250	1.188	0.136	0.177	0.305	0.375	1.000
1¼	2.500	1.375	0.136	0.177	0.305	0.375	1.094
1 3/8	2.750	1.500	0.136	0.177	0.305	0.375	1.219
1 ½	3.000	1.625	0.136	0.177	0.305	0.375	1.313
1 ¾	3.375	1.875	0.178 ^B	0.28 ^B	0.305	0.375	1.531
2	3.750	2.125	0.178 ^B	0.28 ^B	0.305	0.375	1.750

Figura 198. Medidas de arandelas según el perno. Fuente: ASTM F436, s.f.

En la tabla 80 se muestra las medidas de la arandela correspondiente al perno de 1 ½” expresada en centímetros, mientras que, en la figura 199 se detalla sus dimensiones.

Tabla 78

Dimensiones de la arandela para el perno de 1 ½”

Unid	Diámetro nominal del perno	Diámetro exterior (OD)	Diámetro interior (OI)	Espesor máximo (C. max)
in	1 1/2	3	1.625	0.177
cm	3.81	7.62	4.13	0.45

Fuente: Propia

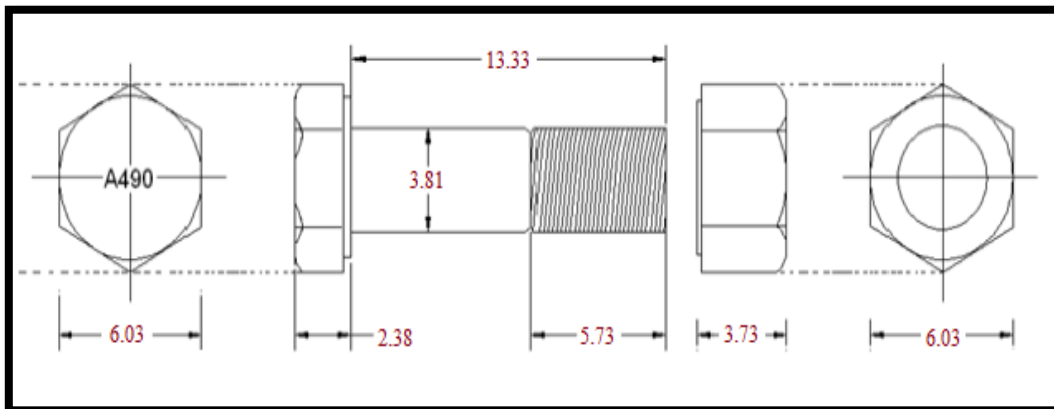


Figura 199. Detalle del perno de 1 ½”. Fuente: Propia.

En la figura 200 se muestra los esfuerzos a los que está sometido el perno que será de una cortante doble, por lo que se tendrá que verificar dicho esfuerzo.

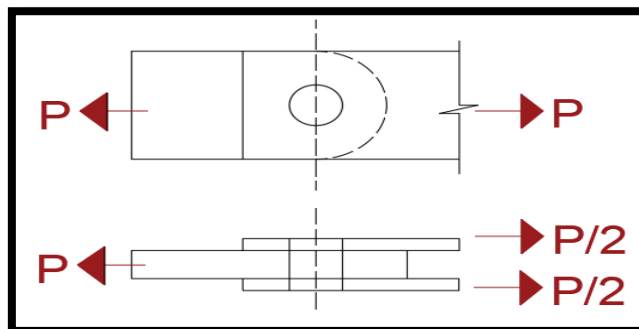


Figura 200. Fuerza de cortante doble que sufre el perno. Fuente: Propia.

El esfuerzo máximo de corte será:

$$\phi R_n = \phi m F_v$$

Ecuación 27

$$\phi P_n = \phi R_n * A_b * n$$

Ecuación 28

Donde:

ϕR_n : Esfuerzo máximo de corte del perno

ϕ : 0.75

m : Número de planos (será 1 cuando esté sometido a cortante simple y 2 para cortante doble)

F_v : 0.5 F_u si falla en la parte lisa o 0.4 F_u si falla en la parte en rosca.

F_u : Para el perno A490 equivale a 150 ksi.

A_b : Área neta transversal del perno a la altura del plano de cortante

ϕP_n : Fuerza cortante máxima del perno

N : Número de pernos

Al reemplazar los datos se calculará el esfuerzo máximo de corte del perno considerando que la falla del perno se dará en la parte rosca:

$$\phi R_n = \phi m F_v$$

$$\phi R_n = (0.75) * 2 * (0.4 * 150)$$

$$\phi R_n = 90 \text{ ksi}$$

La fuerza cortante máxima del perno será:

$$\phi P_n = \phi R_n * A_b * n$$

$$\phi P_n = 90 \frac{Kip}{in^2} * \left(\frac{\pi * (1.5 in)^2}{4} \right) * 1$$

$$\phi P_n = 159.04 kip = 72.141 Tn$$

$$\phi P_n = 72.141 Tn > 105.11 \dots (NO)$$

Como con un solo perno no cumple los esfuerzos por corte, se considerará 2 pernos, por lo que se volverá a calcular:

$$\phi P_n = 90 \frac{Kip}{in^2} * \left(\frac{\pi * (1.5 in)^2}{4} \right) * 2$$

$$\phi P_n = 318.08 kip = 144.28 Tn$$

$$\phi P_n = 144.28 Tn > 105.11 (OK)$$

D. Diseño de la barra de conexión

Se muestra el detalle de cómo quedará la barra de conexión que se une a las cartelas.

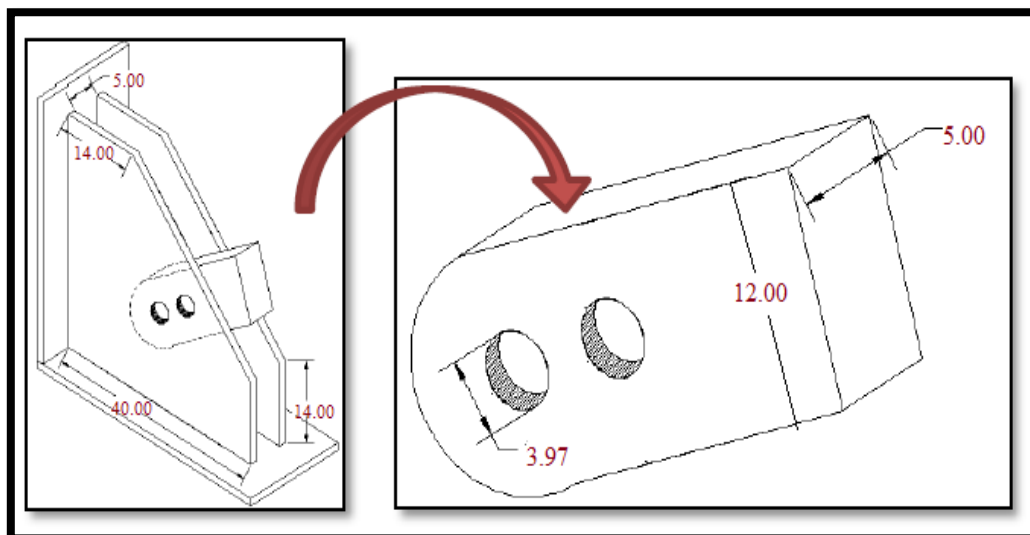


Figura 201. Detalle de la barra de conexión. Fuente: Propia.

Se procederá a verificar la fluencia del área bruta de la barra de conexión, así como la fractura de su área neta, donde el mayor valor de los dos resultados será el que se usará para

el diseño. Este dispositivo está sometido a los esfuerzos de tensión, por lo tanto, se usará las siguientes fórmulas:

- Fluencia del área bruta:

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\phi * F_y}$$

Ecuación 29

Donde:

A_g : Área bruta requerida de la sección

ϕ : Factor de resistencia igual a 0.90

F_y : Esfuerzo de fluencia 36Ksi (Acero A36)

- Fractura del área neta:

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\mu * \phi * F_u}$$

Ecuación 30

Donde:

A_g : Área bruta requerida de la sección

A_h : Área del agujero

μ : Porcentaje de la sección que trabaja para absorber esfuerzos

ϕ : Factor de resistencia igual a 0.90

F_u : Esfuerzo mínimo de rotura en tensión 58 ksi (Acero A36)

A partir de las fórmulas mostradas (29 y 30), se calculará los valores de la fluencia del área bruta y la fractura del área neta considerando que el valor P_u será la fuerza de diseño del disipador K5 con la que se viene verificando que es 105.11 T (157.665 kip).

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\phi * F_y}$$

$$A_{g_{req}} \geq \frac{157.665 \text{ kip}}{0.9 * 36 \text{ Ksi}}$$

$$A_{g_{req}} \geq 4.87 \text{ in}^2 = 31.42 \text{ cm}^2$$

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\mu * \phi * F_u} + A_h$$

El diámetro del orificio (d_h) = $\phi_{perno} + \text{Orificio Std}$

El diámetro del orificio (d_h) = 1.5" + 1/16" = 1.56"

Espesor = 5 cm = 1.968 in

Área del orificio = 1.968*1.56 = 3.07 in²

$$A_{g_{req}} \geq \frac{157.665 \text{ kip}}{1 * 0.75 * 58 \text{ ksi}} + 3.07 \text{ in}^2$$

$$A_{g_{req}} \geq 6.69 \text{ in}^2$$

$$A_{g_{req}} \geq 43.16 \text{ cm}^2$$

Tal como se mencionó anteriormente, el área bruta requerida de diseño será el mayor valor obtenido a partir de la fluencia del área bruta y la fractura del área neta, por lo que se procederá a verificar la fluencia del elemento de conexión.

$$A_{g_{req}} \geq 43.16 \text{ cm}^2$$

$$A_g = (5 \text{ cm} \cdot 12 \text{ cm})$$

$$A_g = 60 \text{ cm}^2$$

$$A_g > A_{g_{req}}$$

$$60 \text{ cm}^2 > 43.16 \text{ cm}^2 \dots (\text{Ok})$$

Por último, se definirá la separación mínima que debe tener el perno con respecto a los bordes del elemento de conexión. La norma RCSS establece las siguientes consideraciones:

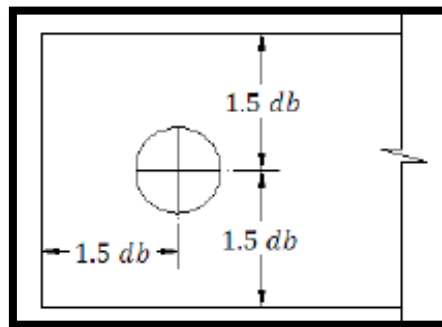


Figura 202. Espaciamiento mínimo del perno con respecto al borde. Fuente: RCSC, 2004

Como el diámetro del perno es de 1.5" o 3.81cm; la distancia mínima con respecto a los bordes será: $1.5 \cdot (3.81 \text{ cm})$ que equivale a 5.72 cm.

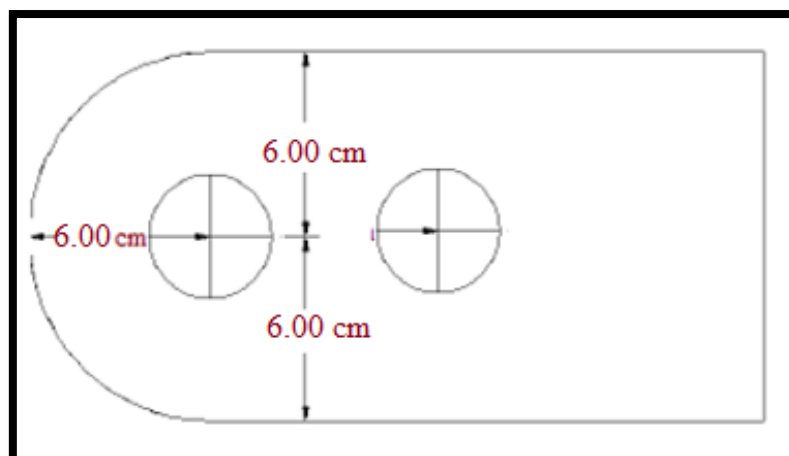


Figura 203. Dimensiones de la conexión con respecto a los bordes. Fuente: Propia.

Considerando la medida de la conexión definida en la figura 199, se verifica que la distancia mínima con respecto a los bordes cumple ya que, el espaciamiento que hay es de 6.00 cm > 5.715 cm (ok), por lo tanto, se verifica que la dimensión definida cumple.

E. Diseño de los pernos de anclaje

Los pernos de anclaje pueden ser colocados antes o después del vaciado de concreto (ver figuras 204 y 205) y su diseño está normalizados por el ACI 318-08 en el apéndice D.

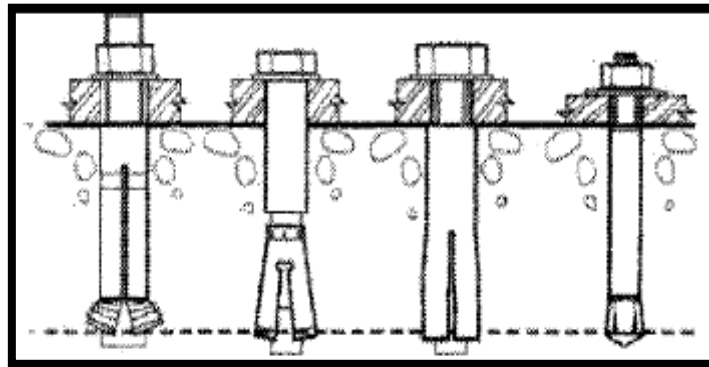


Figura 204. Anclajes post-instalados. Fuente: ACI 318, 2008

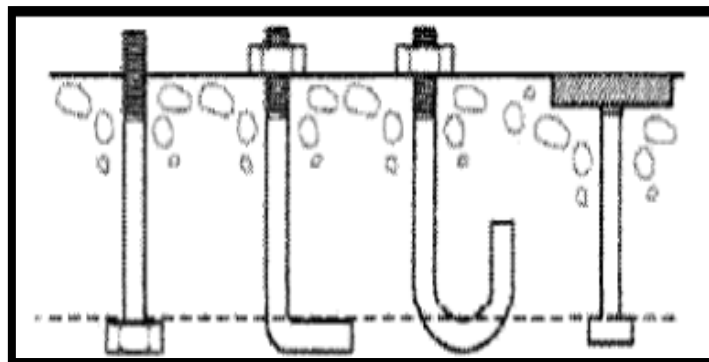


Figura 205. Anclajes preinstalados. Fuente: ACI 318, 2008

Dentro de las especificaciones para el diseño de los anclajes menciona que se deben cumplir con la resistencia en tracción y corte.

$$\phi N_n \geq N_{ua}$$

$$\phi V_n \geq V_{ua}$$

Donde:

ϕN_n : Resistencia de diseño en tracción de un anclaje o grupo de anclajes

ϕV_n : Resistencia de diseño en corte de un anclaje o grupo de anclajes

La normativa establece la siguiente ecuación para el cálculo de la resistencia nominal “ N_n ” de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción.

$$N_n = n * A_{se} * f_{uta}$$

Ecuación 31

Donde:

n: Número de anclajes.

A_{se} : Área transversal efectiva del anclaje sometido a tracción

F_{uta} : Resistencia a la tracción del perno de anclaje

Además, el valor de A_{se} se obtiene a partir de la siguiente ecuación, aunque también se puede obtener por el fabricante:

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left(d_a \frac{0.9743}{n_t} \right)^2$$

Ecuación 32

Donde:

n_t : Es el número de hilos por mm

d_a : Es el diámetro exterior del anclaje

Para el valor de f_{uta} , no deberá ser mayor que el menor valor entre:

- 860MPA
- $1.9(f_{ya})$ donde: f_{ya} es la resistencia a la fluencia en el acero de anclaje.

Para la presente investigación se utilizará los pernos expansivos de la marca Trubolt, fabricados por la empresa ITW Red Head en Los Estados Unidos. Además, este tipo de pernos son importados y distribuidos a nivel nacional por la empresa CDV Representaciones.

Las especificaciones técnicas de los pernos de anclaje tipo Trubolt se muestran en la figura 206.

TRUBOLT WEDGE ANCHOR DESIGN INFORMATION ^{1,2,3}												
DESIGN INFORMATION	Symbol	Units	Nominal Anchor Diameter									
			1/4		3/8		1/2		5/8		3/4	
Anchor O.D.	d_o	in	0.250		0.375		0.500		0.625		0.750	
Effective embedment	h_{ef}	in	1-1/2	2	1-3/4	2-5/8	1-7/8	3-3/8	2-1/2	4	3-1/2	4-3/4
Minimum member thickness	h_{min}	in	4	4	4	5	5	6	5	8	6	8
Critical edge distance	c_{ac}	in	2-5/8	3	2-5/8	5-1/4	3-3/4	6-3/4	5	8	7	9
Minimum edge distance	c_{min}	in	1-3/4	1-1/2	2-1/4	2	3-3/4	3-3/4	4-1/4	3-1/4	3-3/4	3-1/2
Minimum anchor spacing	s_{min}	in	1-3/4	1-1/2	2-1/4	2	3-3/4	3-3/4	4-1/4	3-1/4	3-3/4	3-1/2
Min. Specified Yield Strength	f_y	lb/in ²	55,000									
Min. Specified Ultimate Strength	f_{uta}	lb/in ²	75,000									
Effective tensile stress area	A_{se}	in ²	0.032		0.078		0.142		0.226		0.334	
Steel strength in tension	N_s	lb	2,385		5,815		10,645		16,950		25,050	
Steel strength in shear	V_s	lb	1,430		2,975	3,490	4,450	6,385	6,045	10,170	10,990	15,030
Pullout strength, uncracked concrete	$N_{p,uncr}$	lb	1,392	1,706	2,198	3,469	2,400	4,168	4,155	6,638	8,031	10,561
Anchor Category (All anchors are ductile)			1									
Effectiveness factor k_{con} , uncracked concrete			24									
Axial stiffness in service load range	β	lb/in	14,651	9,385	17,515	26,424	32,483	26,136	42,899	21,749	43,576	28,697
Coefficient for variation for axial stiffness in service load range			34	47	28	45	17	33	55	22	63	28
Strength reduction factor ϕ for tension, steel failure modes			0.75									
Strength reduction factor ϕ for shear, steel failure modes			0.65									
Strength reduction factor ϕ for tension, concrete failure modes, Condition B			0.65									
Strength reduction factor ϕ for shear, concrete failure modes, Condition B			0.70									

¹ Trubolt+ Anchor Design Strengths must be determined in accordance with ACI 318-05 Appendix D and this table
² The Trubolt+ Wedge Anchor is a ductile steel element as defined by ACI 318 D.1
³ 1/4", 3/8", & 1/2" diameter data is listed in ICC-ES ESR-2251.

Figura 206. Especificaciones técnicas de anclajes. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.

ITW Red Head considera los siguientes factores de reducción de resistencia " ϕ " mostradas en la figura 207. Aunque también se puede utilizar las definidas por la ACI 318.

Strength reduction factor ϕ for tension, steel failure modes	0.75
Strength reduction factor ϕ for shear, steel failure modes	0.65

Figura 207. Factor de reducción sísmica. Fuente: ACI 318, 2008

A partir de los esfuerzos con los que trabaja los disipadores de energía durante un sismo, los pernos de anclaje deberán ser diseñados para soportar fuerzas de tracción y corte. Para el diseño de los pernos de anclaje se consideró un diámetro de 3/4", donde los valores de A_{se} , f_{ya} y ϕ se obtuvieron a partir de las figuras 206 y 207.

En la figura 208 se muestra un bosquejo de la descomposición de fuerzas de la fuerza de diseño proveniente del disipador K5.

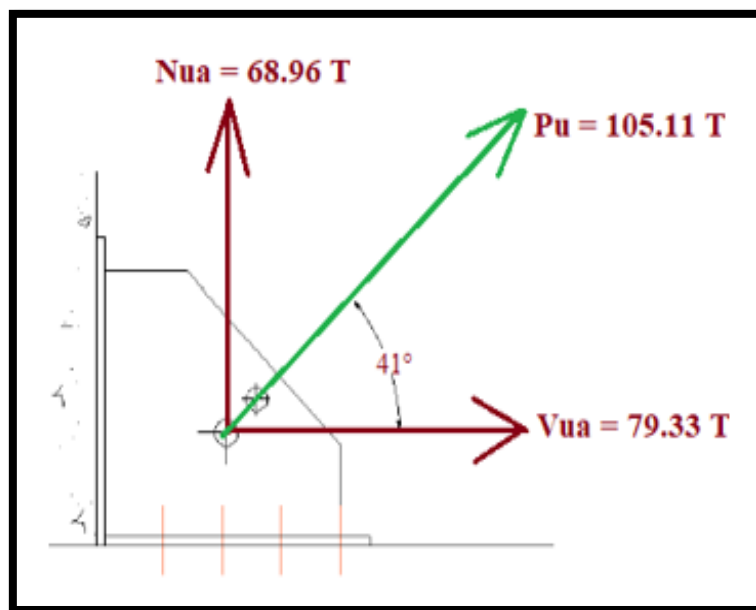


Figura 208. Fuerza N_{ua} y V_{ua} . Fuente: Propia.

- **Verificación de la resistencia a la tracción del perno de anclaje:**

$$N_n = n * A_{se} * f_{uta}$$

Ecuación 33

El valor de f_{uta} , será el menor valor entre:

$$860\text{MPa} = 124732.422 \text{ psi}$$

$$1.9(f_{ya}) = 1.9*(55000\text{psi}) = 104500\text{psi}$$

Por consiguiente, el valor de f_{uta} será 104500psi, lo que conlleva a calcular la resistencia a la tracción del perno:

$$N_n = 15 * 0.334 \text{in}^2 * 104500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$N_n = 523545 \text{ lb} = 237.48 \text{ Tn}$$

$$\phi N_n = 0.75(237.48) = 178.11 \text{ Tn}$$

$$\phi N_n(178.11 \text{ Tn}) \geq N_{ua}(68.96 \text{ Tn}) \dots (\text{Ok})$$

- **Verificación de resistencia al corte del perno de anclaje**

La ACI-318-08 establece la siguiente ecuación para obtener la resistencia nominal V_n de uno o un grupo de anclajes en corte.

$$V_n = n * 0.6 * A_{se} * f_{uta}$$

Ecuación 34

$$V_n = 15 * 0.6 * 0.334 \text{ in}^2 * 104500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$V_n = 314127 \text{ Lb} = 142.46 \text{ Tn}$$

$$\phi V_n = 0.65(142.46 \text{ Tn}) = 92.60 \text{ Tn}$$

$$\phi V_n(92.60 \text{ Tn}) \geq V_{ua}(79.33 \text{ Tn}) \dots (\text{Ok})$$

En la figura 209 se detallan las dimensiones de los pernos para diferentes diámetros proporcionado por Trubolt Wedge.

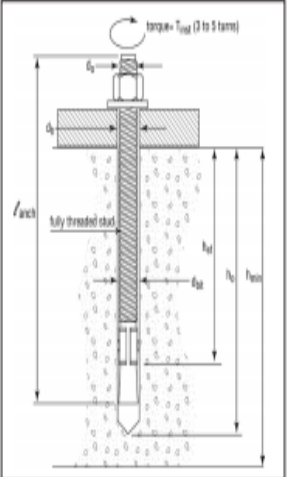
TRUBOLT WEDGE ANCHOR (IN-		TRUBOLT WEDGE INSTALLATION INFORMATION												
		Symbol	Units	Nominal Anchor Diameter (in.)										
				1/4	3/8	1/2	5/8	3/4						
Anchor outer diameter	d_0	in	0.25	0.375	0.5	0.625	0.750							
Nominal carbide bit diameter	d_{bit}	in	1/4	3/8	1/2	5/8	3/4							
Effective embedment depth	h_{ef}	in	1-1/2	2	1-3/4	2-5/8	1-7/8	3-3/8	2-1/2	4	3-1/2	4-3/4		
Min hole depth	h_0	in	2	2-1/2	2-1/2	3-3/8	2-3/4	4-1/4	3-3/4	5-1/4	4-3/4	6		
Min slab thickness	h_{min}	in	4	4	5	5	6	5	8	6	8			
Installation torque	T_{inst}	ft-lb	4	25	55	90	110							
Min hole diameter in fixture	d_h	in	5/16	7/16	9/16	11/16	13/16							

Figura 209. Medidas de los pernos de anclaje. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.

Además, para el cálculo de la longitud total del perno se deberá considerar un factor de ajuste (ver figura 210), donde se puede observar que por cada longitud le corresponde un código de identificación en basado en letras (A, B, C, etc.).

LENGTH ID MARKING ON ANCHOR HEAD		UNITS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Length of anchor, l_{anchor} (inches)	From	inches (mm)	1 ¹ / ₂ (38.1)	2 (50.8)	2 ¹ / ₂ (63.5)	3 (76.2)	3 ¹ / ₂ (88.9)	4 (101.6)	4 ¹ / ₂ (114.3)	5 (127.0)	5 ¹ / ₂ (139.7)	6 (152.4)
	Up to, but not including	inches (mm)	2 (50.8)	2 ¹ / ₂ (63.5)	3 (76.2)	3 ¹ / ₂ (88.9)	4 (101.6)	4 ¹ / ₂ (114.3)	5 (127.0)	5 ¹ / ₂ (139.7)	6 (152.4)	6 ¹ / ₂ (165.1)

Figura 210. Longitud de los pernos de anclaje. Fuente: ITW RED HEAD, s.f.

A partir de lo mostrado anteriormente, se obtiene las dimensiones finales del perno de anclaje de 3/4" de diámetro.

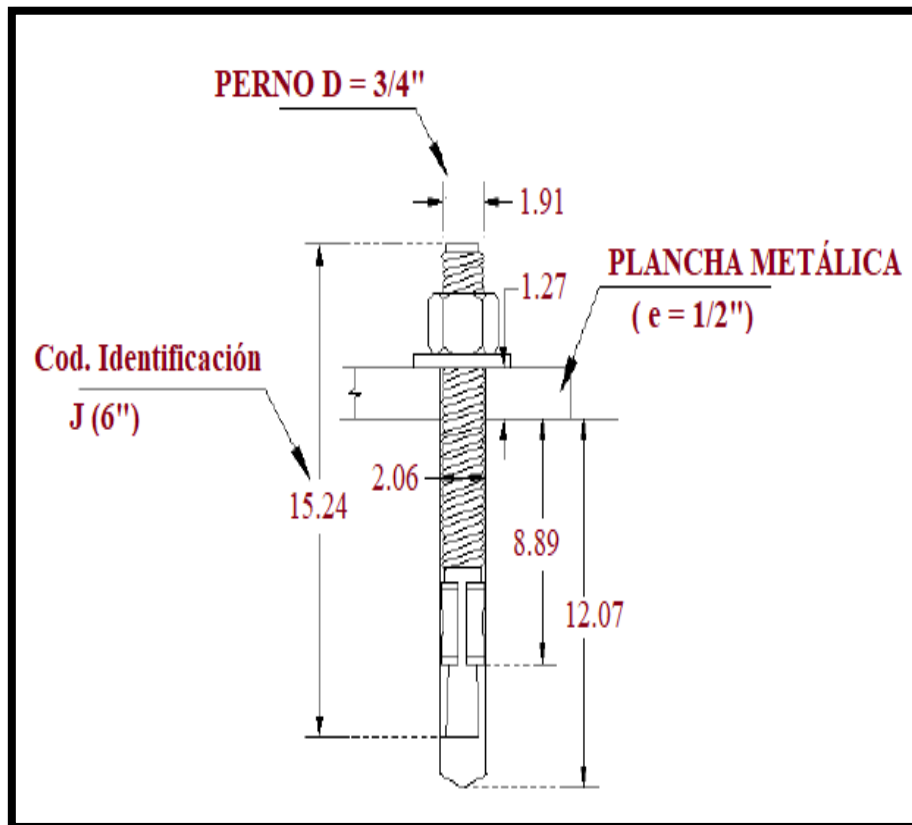


Figura 211. Detalle final del perno de 3/4". Fuente: Propia.

Por último, se deberá verificar la distancia entre los centros de pernos de anclaje donde se debe cumplir lo siguiente:

$$S \geq 6db, \text{ para pernos post instalados}$$

$$S \geq 6\left(\frac{3}{4} \text{ in}\right)$$

$$S \geq 4.5 \text{ in (11.43 cm)}$$

El espaciamiento que se considero es de 12cm (ver figuras 212 y 213) por lo que se satisface esta condición. El detallado final correspondiente a la conexión metálica – estructura de concreto se muestra a continuación.

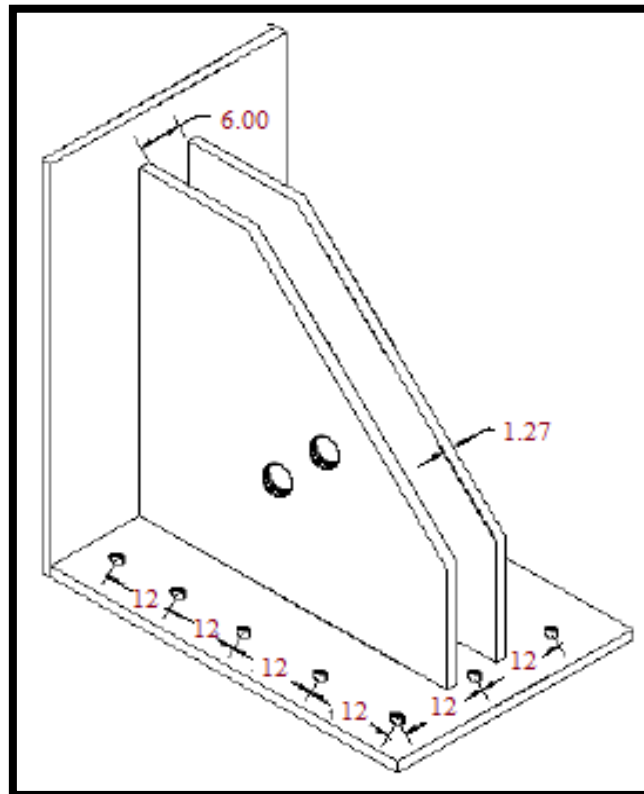


Figura 212. Detalle final de la plancha metálica. Fuente: Propia.

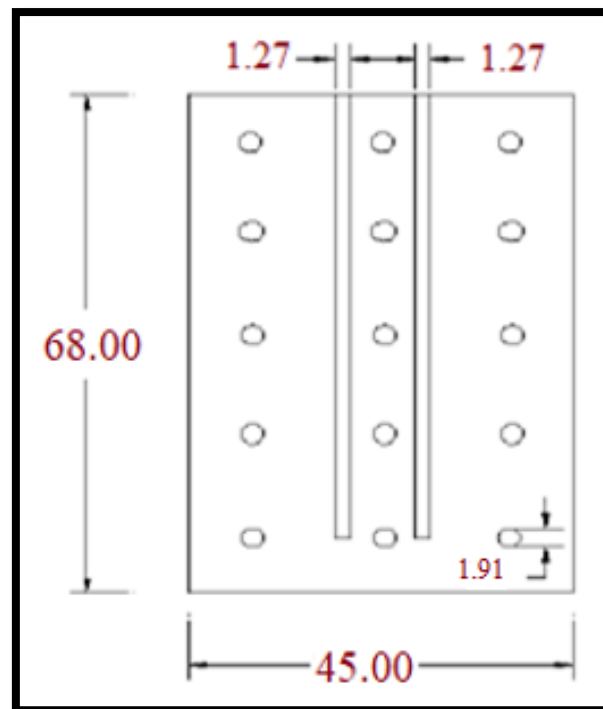


Figura 213. Vista en planta de la plancha metálica. Fuente: Propia

➤ **Precios unitarios de los dispositivos que conforman los disipadores.**

Como se mencionó, la empresa CVD Representaciones se encarga de importar y comercializar los productos que conforman los disipadores de energía, por lo que, a la hora de determinar el costo de cada disipador, la empresa señala que se debe tener la siguiente información:

- Fuerza máxima del disipador
- Coeficiente de amortiguamiento
- Exponente de velocidad
- Máximo stroke (desplazamiento)
- Máxima velocidad
- Disposición del disipador
- Cantidad de dispositivos

A partir de lo mencionado anteriormente y con los resultados obtenidos del diseño se tiene la siguiente información:

- Fuerza: 330kip
- Coeficiente de amortiguamiento: 280 T*s/m (disipador 01) y 350 T*s/m (disipador 02)
- Exponente de velocidad: $\alpha = 0.5$
- Máximo stroke: 5 cm por recomendación del fabricante como factor de seguridad.
- Máxima velocidad:

$$F = C * V^{\alpha}$$

Para el cálculo de la máxima velocidad, se consideró las máximas fuerzas de los disipadores en disposición 01 y 02 (ver tabla 94), obteniendo lo siguiente:

Para el disipador 01:

$$126.38 T = 280 * V^{0.5}$$

$$V = 0.20 \frac{m}{seg}$$

Para el disipador 02:

$$133.24 T = 350 * V^{0.5}$$

$$V = 0.14 \frac{m}{seg}$$

- Disposición del disipador: Disposición diagonal
- Cantidad de dispositivos: 9 dispositivos (ver figura 147 y 154)

Con la información mostrada se puede solicitar a la empresa CDV Representaciones el costo total de los dispositivos que conforman los disipadores de energía. Así mismo, la empresa también proporciona las siguientes consideraciones:

- Los precios de los dispositivos no incluyen IGV.
- Los precios varían de acuerdo a la cantidad que se solicite.
- Los precios de los dispositivos varían aproximadamente cada mes.
- Los precios incluyen ensayos de presión hidrostática y de velocidad realizados en laboratorio como medida de verificar la fuerza del disipador.
- Los precios incluyen capacitación/asesoría en obra para su instalación.
- Los precios no incluyen anclajes embebidos ni otro accesorio complementario.
- Los disipadores cuentan con una garantía de 35 años.
- Los disipadores incluyen protección anticorrosiva

➤ **Presupuesto por metro cuadrado de los dispositivos**

El cálculo del costo total que involucra incorporar un sistema de disipación de energía de tipo fluido viscoso como reforzamiento al palacio municipal está detallado en la tabla 81 donde se considera como precio del dólar el valor de 3.84 soles.

Tabla 79

Presupuesto total de los dispositivos de disipación de energía

Disipador	Cantidad	P.U. (\$)	Parcial (\$)
330 kip	9	10286	92578
Conexiones	9	1000	9000
		Sub total	101578
		IGV (18%)	18284
		Total	119862

Fuente: Propia

Se puede estimar una ratio del costo por metro cuadrado que involucra la incorporación de disipadores, para ello, en la tabla 82 se realizó el cálculo del área techada por niveles de la edificación.

Tabla 80

Área techada del Palacio Municipal

Piso	Área techada (m ²)
1	372.8
2	356.65
3	341.6523
4	186.35
Área total	1257.45

Fuente: Propia

A partir de la información mostrada se obtiene que el incremento del costo por metro cuadrado para el palacio municipal incorporando disipadores de fluido será de:

$$\text{Costo por metro cuadrado} = \frac{\text{Costo total del sistema de disipación}}{\text{Área techada total}}$$

$$\text{Costo por metro cuadrado} = \frac{119862 \$}{1257.45 \text{ m}^2}$$

$$\text{Costo por metro cuadrado} = 95.32 \$/\text{m}^2$$

Considerando que la edificación tiene como uso el ser un Palacio Municipal donde según la E.030 se considera como una edificación de tipo esencial, éste debe ser diseñado para que tenga un buen comportamiento estructural y no presente fallas ni daños en los elementos estructurales ni mucho menos en los ambientes, ya que, alberga oficinas donde se guarda documentación importante para el estado, también oficinas donde se realiza la atención al cliente, auditorios donde se realizan charlas importantes, entre otros.

Es por ello, el costo adicional obtenido de 95.32 \$/m² como reforzamiento del palacio municipal es válido de considerar para su aplicación aún con más razón, sabiendo que el palacio municipal pertenece a una de las regiones con más actividad sísmica en el Perú, como es el departamento de Arequipa.

Finalmente, se mostrará diferentes cuadros donde se detalla el análisis de precios unitarios de los elementos más importantes que se utilizarían para la instalación del disipador de fluido viscoso como reforzamiento en el Palacio Municipal en Arequipa.

Tabla 81

Análisis de precios unitarios de la partida del disipador de 300 kips

Partida 03.02.03 MONTAJE DE DISIPADOR DE 330 kips							
Rendimiento	und/DIA	MO. 2.0000	EQ. 2.0000	costo unitario directo por: und			39,926.055
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
147010001	CAPATAZ		hh	0.100	0.400	20.11	8.04
147010002	OPERARIO		hh	2.000	8.000	18.28	146.24
147010003	OFICIAL		hh	1.000	4.000	15.31	61.24
147010004	PEON		hh	2.000	8.000	13.77	110.16
							325.68
Materiales							
230470016	SOLDADURA		kg		5.0000	13.56	67.8
256110081	DISIPADOR DE 330 KIPS		und		1.0000	39,500.00	39,500.00
							39,567.80
Equipos							
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		10.000	325.68	32.57
							32.57

Fuente: Propia

Tabla 82

Análisis de precios unitarios de la partida de los pernos de anclaje de 3/4"

Partida 03.01.12 PERNOS DE ANCLAJE 3/4" TRUBOLT							
Rendimiento	und/DIA	MO. 50.000	EQ. 50.000	costo unitario directo por: und			48.34
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
147010001	CAPATAZ		hh	0.100	0.0160	20.11	0.32
147010002	OPERARIO		hh	1.000	0.1600	18.28	2.92
							3.24
Materiales							
202510049	PERNOS DE ANCLAJE ø 3/4"		pza		1.0000	45.00	45.00
							45.00
Equipos							
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		3.000	3.24	0.10
							0.10

Fuente: Propia

Tabla 83

Análisis de precios unitarios de la partida de la plancha metálica de 1/2"

Partida 03.02.03 PLANCHA METÁLICA 1/2"							
Rendimiento	kgDIA	MO. 220.000	EQ. 220.000	costo unitario directo por: kg			12.01
Código	Descripción Recurso	Mano de Obra	Unidad	Cuadrilla	Cantidad	Precio S/.	Parcial S/.
147010001	CAPATAZ		hh	0.100	0.0036	20.11	0.072
147010002	OPERARIO		hh	4.000	0.1455	18.28	2.660
147010003	OFICIAL		hh	3.000	0.1091	15.31	1.670
147010004	PEON		hh	5.000	0.1818	13.77	2.503
							6.906
		Materiales					
230060006	WAYPE		kg		0.0250	0.50	0.013
230290011	LIJA PARA FIERRO		hja		0.0250	2.00	0.050
230470016	SOLDADURA		kg		0.0500	13.56	0.678
254020081	PINTURA ESMALTE		gln		0.0100	40.00	0.400
254020082	PINTURA ANTICORROSIVA		gln		0.0100	45.00	0.450
254430001	AGUARRAS		gln		0.0100	20.35	0.204
256110091	PLANCHA DE ACERO 1/2"		kg		1.0300	2.87	2.956
							4.75
		Equipos					
337010001	HERRAMIENTAS MANUALES		%MO		5.000	6.9	0.35
348600001	EQUIPO DE CORTE Y SOLDADURA		hm	0.400	0.0145	0.90	0.01
							0.36

Fuente: Propia

Tabla 84

Análisis de precios unitarios de la partida del perfil HSS 20.00x0.50

Partida 03.01.06 HSS 20.00x0.50								
Rendimiento	kg/día	MO: 198.000	EQ: 198.000	Costo unitario directo por: kg			12.81	
código	Descripción recurso	mano de obra	unidad	cuadrilla	cantidad	precio s/.	parcial s/.	
147010001	capataz		hh	0.100	0.0040	20.11	0.080	
147010002	operario		hh	4.000	0.1616	18.28	2.954	
147010003	oficial		hh	3.000	0.1212	15.31	1.856	
147010004	peón		hh	5.000	0.2020	13.77	2.782	
							7.672	
			materiales					
230060006	Waype		kg		0.0250	0.50	0.013	
230290011	lija para fierro		hja		0.0250	2.00	0.050	
230470016	soldadura		kg		0.0500	13.56	0.678	
254020081	pintura esmalte		gln		0.0100	40.00	0.400	
254020082	pintura anticorrosiva		gln		0.0100	45.00	0.450	
254430001	Aguarras		gln		0.0100	20.35	0.204	
265310039	HSS 20.00x0.50		kg		1.0300	2.87	2.956	
							4.75	
			equipos					
337010001	herramientas manuales		%mo		5.000	7.67	0.38	
348600001	equipo de corte y soldadura		hm	0.400	0.0162	0.90	0.01	
							0.39	

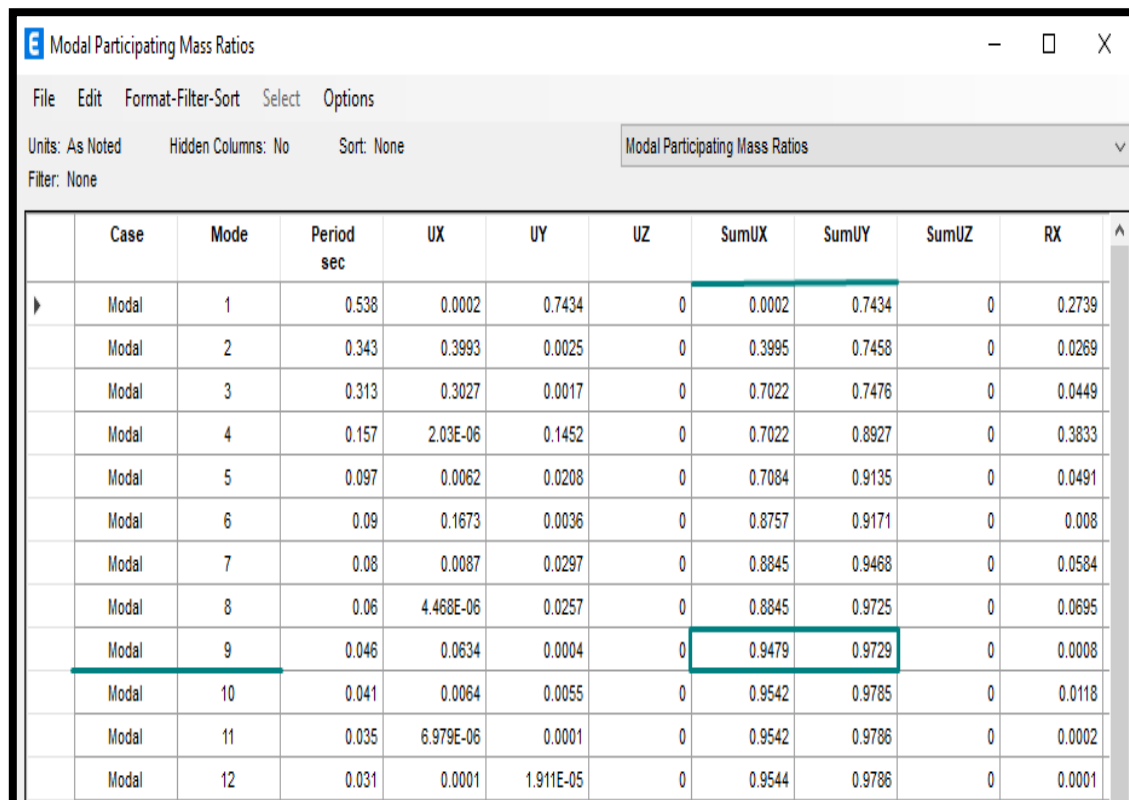
Fuente: Propia

CAPÍTULO III. RESULTADOS

3.1. Resultados del objetivo específico 01:

Al realizar el análisis estático y dinámico modal espectral al palacio municipal para evaluar su comportamiento estructural se obtuvo los siguientes resultados:

- Un periodo fundamental de 0.538 seg.
- Dirección principal de análisis: Dirección Y.
- Participación modal mínima del 90% en ambas direcciones en el modo 9.



Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.538	0.0002	0.7434	0	0.0002	0.7434	0	0.2739
Modal	2	0.343	0.3993	0.0025	0	0.3995	0.7458	0	0.0269
Modal	3	0.313	0.3027	0.0017	0	0.7022	0.7476	0	0.0449
Modal	4	0.157	2.03E-06	0.1452	0	0.7022	0.8927	0	0.3833
Modal	5	0.097	0.0062	0.0208	0	0.7084	0.9135	0	0.0491
Modal	6	0.09	0.1673	0.0036	0	0.8757	0.9171	0	0.008
Modal	7	0.08	0.0087	0.0297	0	0.8845	0.9468	0	0.0584
Modal	8	0.06	4.468E-06	0.0257	0	0.8845	0.9725	0	0.0695
Modal	9	0.046	0.0634	0.0004	0	0.9479	0.9729	0	0.0008
Modal	10	0.041	0.0064	0.0055	0	0.9542	0.9785	0	0.0118
Modal	11	0.035	6.979E-06	0.0001	0	0.9542	0.9786	0	0.0002
Modal	12	0.031	0.0001	1.911E-05	0	0.9544	0.9786	0	0.0001

Figura 214. Modos de vibración de la estructura. Fuente: Propia.

También se realizó la corrección por escala para que la fuerza cortante dinámica sea como mínimo el 90% de la fuerza cortante estática (según lo establecido por la norma E.030) cuyos resultados se muestran en las tablas 87:

Tabla 85

Porcentaje mínimo entre la fuerza cortante dinámica y la estática.

Vx DIN	146831.28	Vy DIN	147525.18
Vx Est	-161656.2	Vy Est	-161656.2
Vx Din/Vx Est	-0.9082	Vy Din/Vy Est	-0.9125
Cociente min	0.9	Cociente min	0.9

Fuente: Propia

Por último, se verificó las derivas máximas en ambas direcciones donde se obtuvo una deriva máxima para la dirección Y de 0.0186 y para la dirección X de 0.0071.

Tabla 86

Derivas en la dirección X

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	X	Y	Z
					m	m	m
Story4	DRIFT X	LinStatic	X	0.006438	8.24	0	12.6
Story3	DRIFT X	LinStatic	X	0.007141	27.94	0	9.45
Story2	DRIFT X	LinStatic	X	0.006596	27.94	0	6.3
Story1	DRIFT X	LinStatic	X	0.003391	27.94	0	3.15

Fuente: Propia

Tabla 87

Derivas en la dirección Y

Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift	X	Y	Z
					m	m	m
Story4	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.01425	2.79	6.15	12.6
Story3	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.017233	29.34	0.6	9.45
Story2	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.018622	31.87	4.47	6.3
Story1	DRIFT Y	LinStatic	Y	0.0113	31.87	4.47	3.15

Fuente: Propia

Con los resultados obtenidos, se concluye que, la dirección “Y” del Palacio Municipal es la más inestable y la que presenta las mayores distorsiones de entrepiso excediendo lo permitido por la norma peruana (0.007). Por otro lado, en la dirección X al presentar una deriva máxima de 0.0071 se puede considerar como válido, ya que, se castigó la estructura al asignar secciones agrietadas en las vigas y columnas de la estructura.

3.2. Resultados del objetivo específico 02:

Según los criterios que se consideraron en la presente investigación para la aplicación de disipadores de fluido viscoso como reforzamiento del Palacio Municipal, se obtuvieron los siguientes resultados:

- **Criterio 1:**

No se puede modificar la arquitectura del Palacio Municipal por las siguientes razones:

- La estructura a analizar es una edificación existente y no es viable la modificación de sus ambientes.
- Su instalación se puede dar por etapas permitiendo continuar con el funcionamiento del proyecto.
- Su instalación no modifica estéticamente la arquitectura ya que, se puede cubrir con un muro de drywall.
- La aplicación de otros sistemas de disipación de energía como aisladores o masas sintonizadas quedan descartados, ya que, estos sistemas modifican a la estructura. Para el caso de aisladores modifica la cimentación, mientras que, para la masa sintonizada modifica los últimos niveles de la edificación.

- **Criterio 2:**

Considerando el comportamiento de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento comparado con el reforzamiento tradicional, se obtiene lo siguiente:

Tabla 88

Comportamiento entre el refuerzo por disipadores y el tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
No afecta la rigidez de la estructura ya que se incorporan de forma adosada	Aumenta la rigidez de la edificación al incorporar elementos estructurales
No modifica el periodo de vibración de la estructura	Modifica el periodo de vibración de la estructura
Hace que la estructura trabaje en el rango lineal aún durante el evento sísmico	Durante un evento sísmico la estructura puede entrar en el rango no lineal
Reduce los daños significativamente de la estructura frente a las solicitaciones sísmicas	Puede generar daños significativos en la estructura frente a las solicitaciones sísmicas

Fuente: Propia

Además, se realizó en análisis del comportamiento que tienen los disipadores en 6 formas de ubicación de los disipadores, de manera de obtener la posición más óptima, concluyendo con la selección de la disposición 01.

Tabla 89

Resultados de las fuerzas y desplazamientos por cada disposición del disipador.

Tipo de edificación	Fuerza cortante basal (T)	Desplazamiento máx. (m)
Pórtico base	11.31	0.0179
Pórtico con disposición 01	15.15	0.0025
Pórtico con disposición 02	17.65	0.0019
Pórtico con disposición 03	13.37	0.0029
Pórtico con disposición 04	16.38	0.0020
Pórtico con disposición 05	13.91	0.0025

Fuente: Propia

- **Criterio 3:**

Considerando el mantenimiento de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento comparado con el reforzamiento tradicional, se obtiene lo siguiente:

Tabla 90

Mantenimiento entre el refuerzo por disipadores y el tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
No requiere mantenimiento en su vida útil	Puede requerir un mantenimiento en su vida útil
Luego de un evento sísmico, no necesita un reemplazo y sigue manteniendo su funcionalidad	Requiere una revisión de su estado luego de un evento sísmico para evaluar los daños provocados
Presenta una vida útil de 60 años sin depender tanto del evento sísmico	La vida útil depende del evento sísmico

Fuente: Propia

- **Criterio 4:**

Considerando el costo del reforzamiento, se obtiene lo siguiente:

Tabla 91

Costos entre el refuerzo por disipadores y el tradicional

Reforzamiento con disipadores de fluido viscoso	Reforzamiento tradicional
Costo mínimo ya que se instala de forma adosada adaptándose de forma accesible a la arquitectura	Puede generar costos adicionales dependiendo del tipo de reforzamiento tradicional que se utilice
No interrumpe los trabajos rutinarios del proyecto ahorrando costos de instalación	Puede generar paralización de los trabajos rutinarios del proyecto a la hora de su instalación
Genera costos mínimos al poder instalarse por etapas	Puede generar costos adicionales si se instala por etapas

Fuente: Propia

3.3. Resultados del objetivo específico 03:

Luego de realizar el análisis no lineal de tipo tiempo-historia con los tres acelerogramas seleccionados, se obtuvieron las siguientes derivas de entrepiso por cada dirección.

Tabla 92

Derivas de entrepiso en la dirección X

Nivel	DIRECCIÓN X-X						Máximo X-dir	E.030 X-Dir*0.8
	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013			
	EW	NS	EW	NS	EW	NS		
4	0.0063	0.0061	0.0072	0.0073	0.0060	0.0059	0.0073	0.0058
3	0.0071	0.0066	0.0075	0.0078	0.0063	0.0066	0.0078	0.0063
2	0.0065	0.0059	0.0071	0.0069	0.0060	0.0061	0.0071	0.0057
1	0.0034	0.0031	0.0039	0.0036	0.0033	0.0032	0.0039	0.0031

Fuente: Propia

Tabla 93

Derivas de entrepiso en la dirección Y

Nivel	DIRECCIÓN Y-Y						Máximo Y-dir	E.030 Y-Dir*0.8
	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013			
	EW	NS	EW	NS	EW	NS		
4	0.0154	0.0146	0.0156	0.0166	0.0170	0.0176	0.0176	0.0141
3	0.0186	0.0177	0.0182	0.0227	0.0189	0.0188	0.0227	0.0182
2	0.0195	0.0197	0.0203	0.0244	0.0195	0.0204	0.0244	0.0195
1	0.0123	0.0124	0.0125	0.0146	0.0118	0.0126	0.0146	0.0117

Fuente: Propia

Según lo visualizado en las tablas 94 y 95 se concluye que la estructura necesita un reforzamiento en la dirección Y para que pueda resistir un sismo severo. Para ello se utilizó los disipadores de fluido viscoso cuyas propiedades se encuentran a continuación:

- **Dimensiones del perfil para el brazo metálico del disipador:**

Tabla 94

Perfil metálico para el disipador

PERFIL METÁLICO ROUND			
Forma	Espesor de pared de diseño (m)	Área (m²)	Radio (m)
HSS20.00X0.50	0.0118	0.0184	0.176

Fuente: Propia

- **Propiedades de los dos tipos de disipadores a utilizar en disposición diagonal:**

Tabla 95

Propiedades del disipador 01 y 02 en disposición diagonal

Disposición diagonal		
Propiedad	EJE Y-Y Disipador 01	EJE Y-Y Disipador 02
E	20400000 Tn/m ²	20400000 Tn/m ²
L	4.65 m	4.82 m
K	80722.581 Tn/m	77875.51 Tn/m
C	280 T*s/m	350 T*s/m
α	0.5	0.5

Fuente: Propia

Con los disipadores como reforzamiento del palacio municipal, se revisó nuevamente las derivas de entrepiso, obteniendo los siguientes resultados para ambas direcciones.

Tabla 96

Derivas de entrepiso con disipadores en la dirección X

DIRECCIÓN X-X								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	X-dir	X-Dir*0.8
4	0.0061	0.0068	0.0078	0.0073	0.0064	0.0064	0.0078	0.0062
3	0.0066	0.0073	0.0081	0.0073	0.0066	0.0067	0.0081	0.0065
2	0.0062	0.0065	0.0075	0.0065	0.0059	0.0059	0.0075	0.0060
1	0.0033	0.0032	0.0039	0.0033	0.0030	0.0029	0.0039	0.0032

Fuente: Propia

Tabla 97

Derivas de entrepiso con disipadores en la dirección Y

DIRECCIÓN Y-Y								
Nivel	Arequipa 2001		Lima 1970		LIMA 2013		Máximo	E.030
	EW	NS	EW	NS	EW	NS	Y-dir	Y-Dir*0.8
4	0.0047	0.0045	0.0070	0.0063	0.0048	0.0048	0.0070	0.0056
3	0.0058	0.0055	0.0084	0.0078	0.0060	0.0060	0.0084	0.0067
2	0.0063	0.0058	0.0085	0.0093	0.0073	0.0076	0.0093	0.0075
1	0.0043	0.0040	0.0055	0.0067	0.0053	0.0055	0.0067	0.0054

Fuente: Propia

También, se evaluará la variación en porcentaje con respecto a las derivas entre el edificio sin disipadores y del edificio con disipadores en la dirección Y.

Tabla 98

Comparación de derivas de entrepiso

Story	Sin disipador	Con disipador	variación (%)
4	14.1	5.6	60.28%
3	18.2	6.7	63.19%
2	19.5	7.5	61.54%
1	11.7	5.4	53.85%

Fuente: Propia

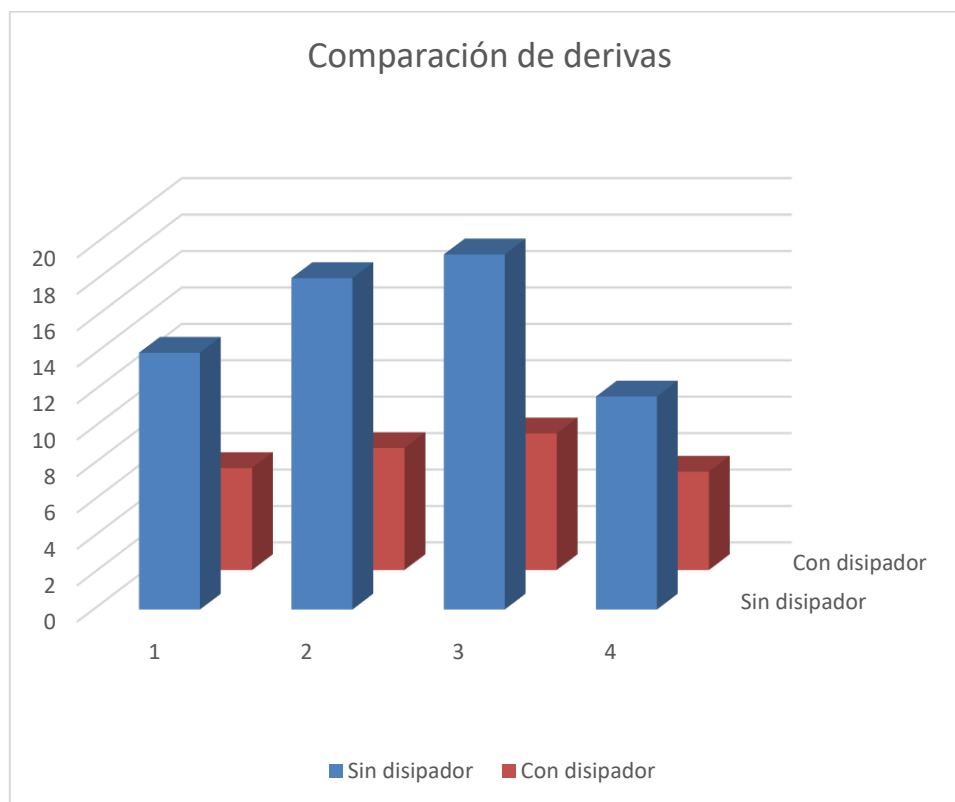


Figura 215. Cuadro de barras de derivas. Fuente: Propia

Luego, también se procederá a verificar el comportamiento que tienen los elementos estructurales como placas y columnas donde se ubican los disipadores, para esta evaluación, se tomó la elevación H donde se encuentran los disipadores desde el K1 hasta el K4.

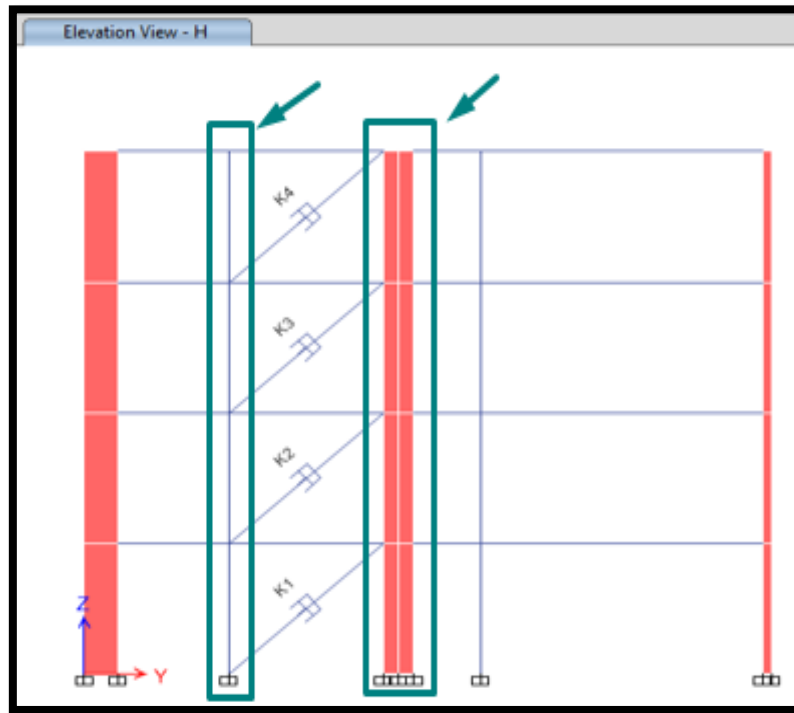


Figura 216. Pórtico de análisis (disipador 01). Fuente: Propia

Tabla 99

Fuerzas axiales en las placas

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	variación (%)
4	72.58	60.16	17.11
3	95.09	73.83	22.36
2	196.29	150.56	23.30
1	370.70	308.19	16.86

Fuente: Propia

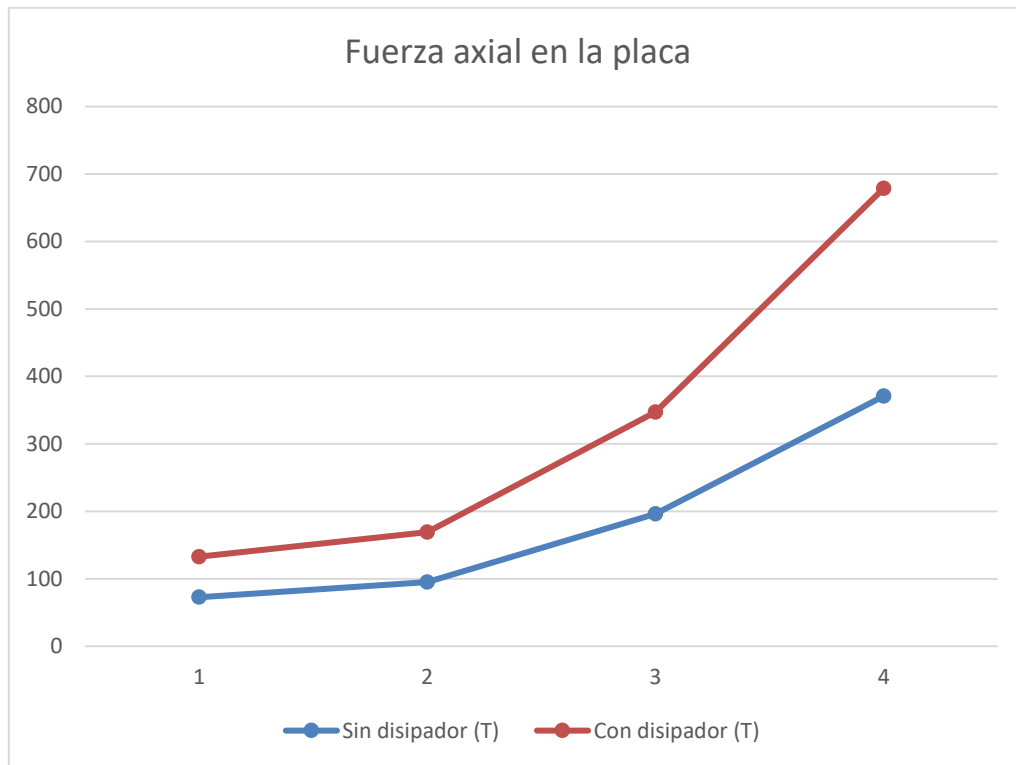


Figura 217. Comparación de fuerzas axiales en las placas. Fuente: Propia

Tabla 100

Fuerzas axiales en las columnas

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
4	2.95	22.28	-86.76
3	6.37	23.30	-72.66
2	9.97	53.36	-81.32
1	14.39	101.89	-85.88

Fuente: Propia

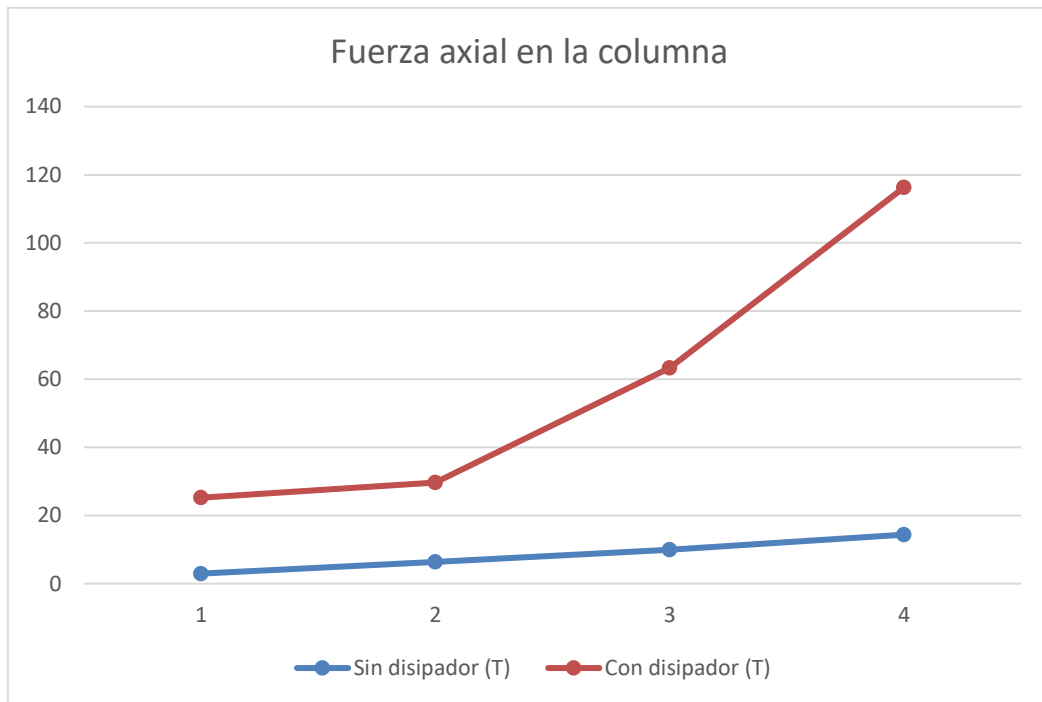


Figura 218. Comparación de fuerzas axiales en las columnas. Fuente: Propia

Luego, también se evaluará la comparación entre las fuerzas cortantes y momentos generados en las columnas y en las placas en la estructura sin disipador y con disipador.

Tabla 101

Fuerzas cortantes en las placas

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
4	50.72	22.96	54.73
3	59.35	27.36	53.90
2	62.08	29.99	51.69
1	64.57	33.26	48.49

Fuente: Propia

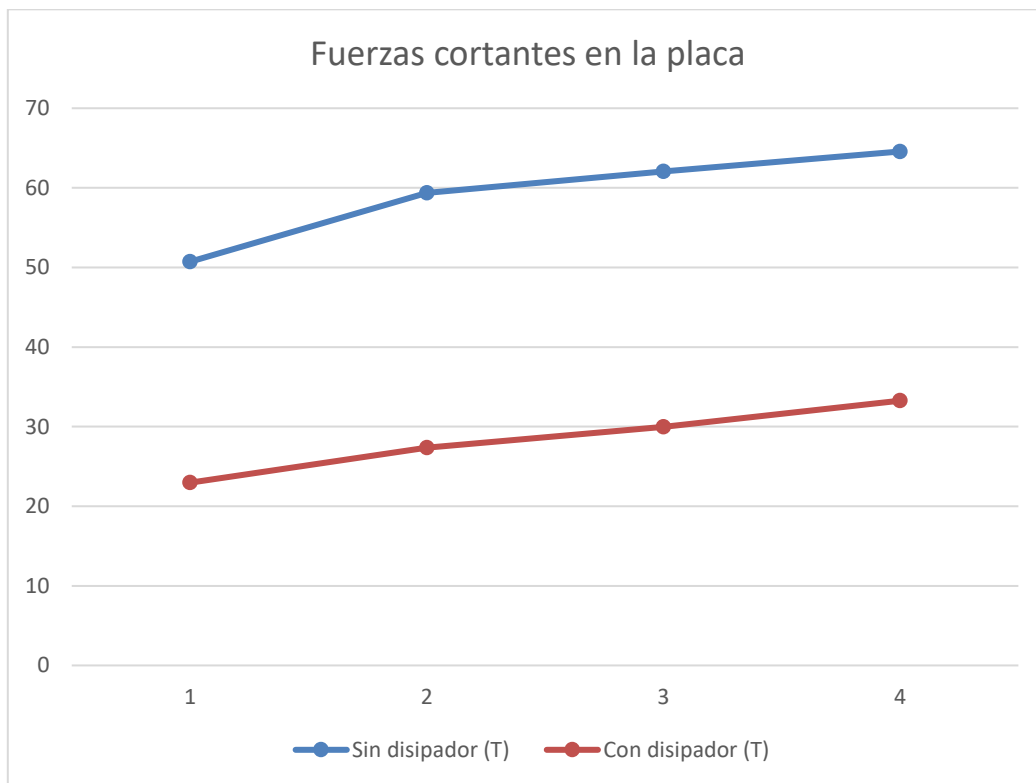


Figura 219. Fuerzas cortantes en la placa. Fuente: Propia

Tabla 102

Momentos en las placas

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
4	50.72	30.05	40.75
3	64.45	31.84	50.60
2	82.54	37.44	54.64
1	130.38	66.46	49.03

Fuente: Propia

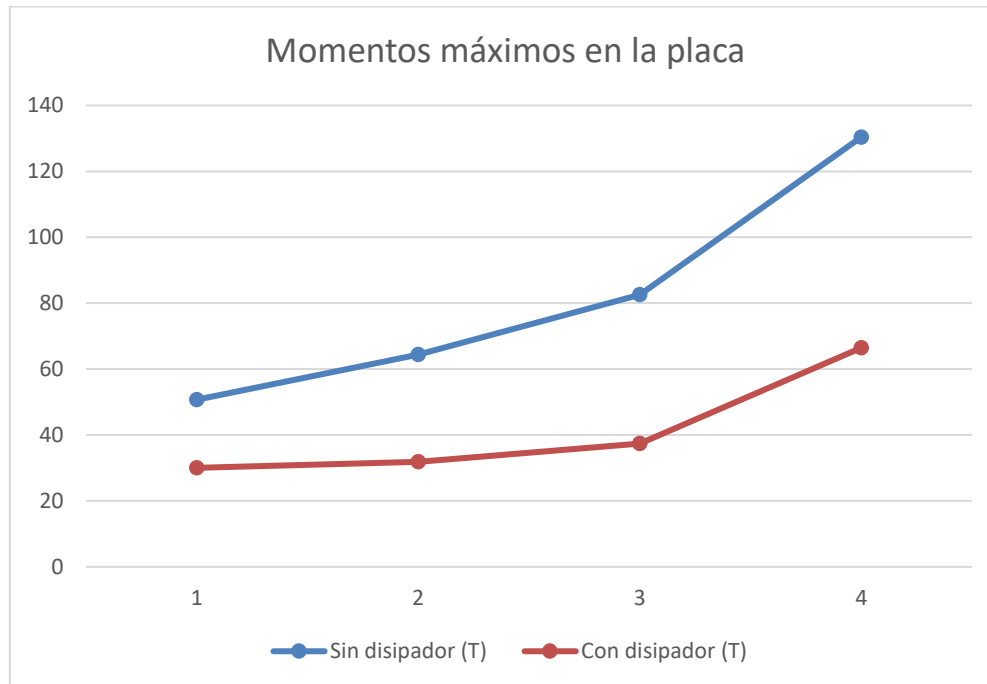


Figura 220. Momentos máximos en la placa. Fuente: Propia

Tabla 103

Fuerzas cortantes en la columna

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
4	3.43	1.43	58.31
3	3.78	1.74	53.97
2	3.71	1.76	52.56
1	2.07	1.03	50.24

Fuente: Propia

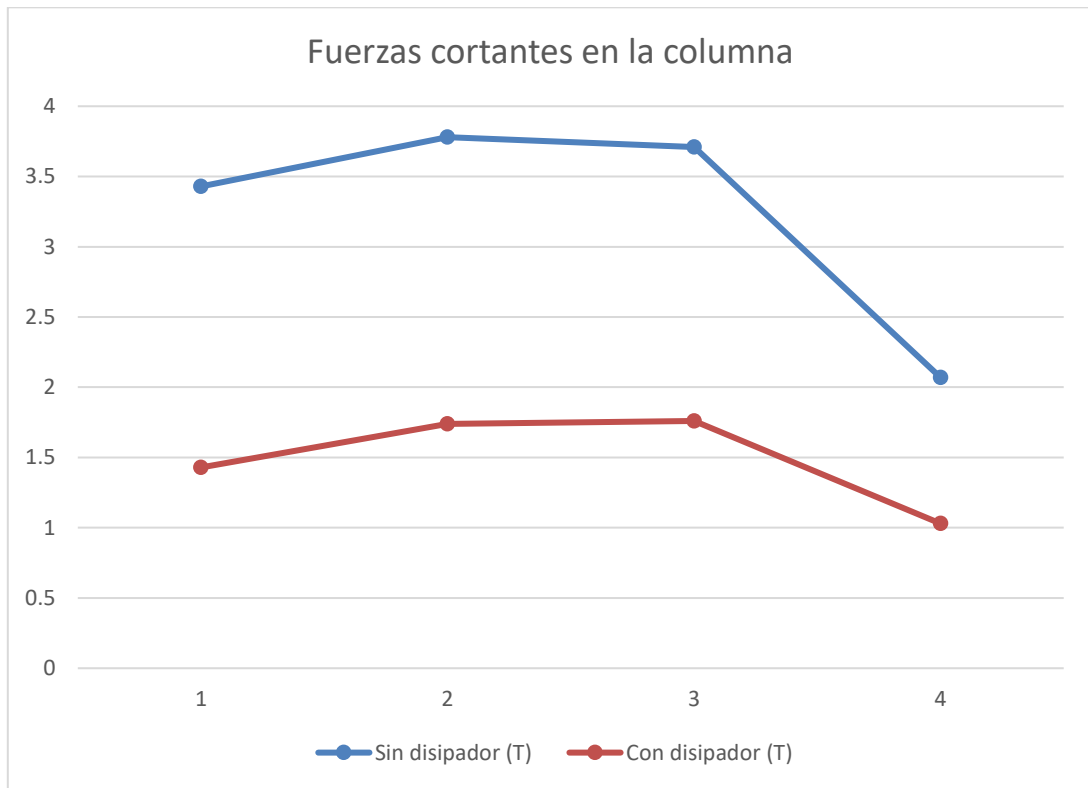


Figura 221. Fuerzas cortantes en la columna. Fuente: Propia

Tabla 104

Momentos en la columna

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
4	4.61	1.93	58.13
3	5.06	2.35	53.56
2	4.93	2.33	52.74
1	2.67	1.34	49.81

Fuente: Propia

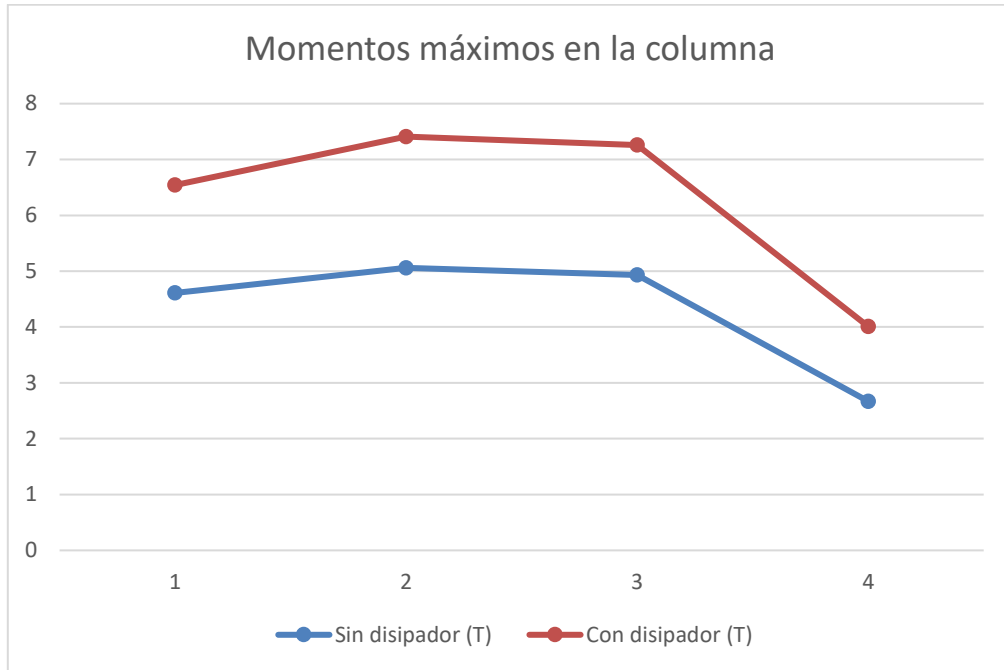


Figura 222. Momentos máximos en la columna. Fuente: Propia

También se mostrará los resultados de las fuerzas axiales, fuerzas cortantes y momentos flectores del siguiente pórtico con la disposición de disipadores 02.

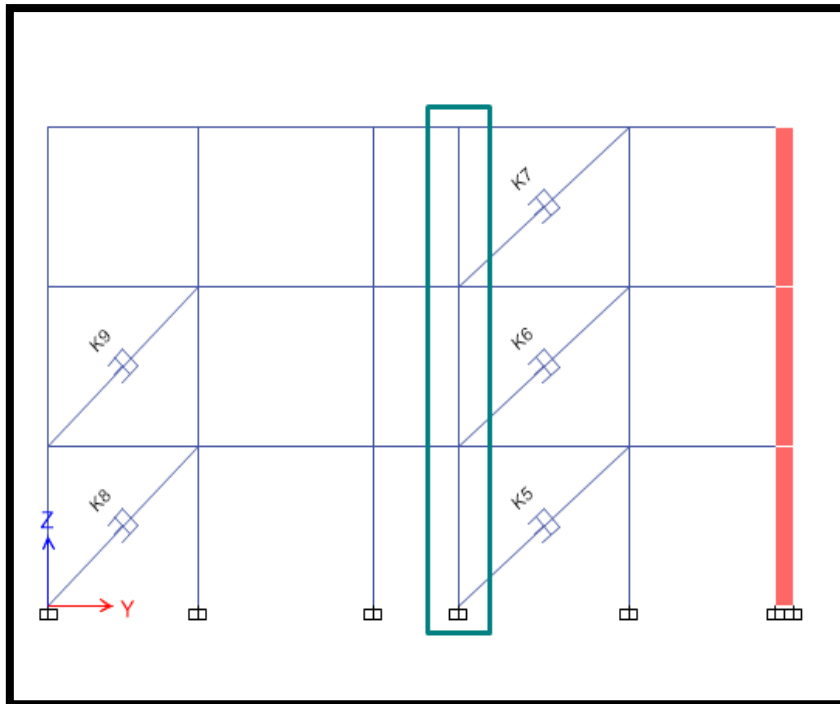


Figura 223. Columna de análisis del disipador 02. Fuente: Propia.

Tabla 105

Fuerza axial en la columna

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
3	45.38	44.89	1.08
2	139.82	54.54	60.99
1	211.05	79.19	62.48

Fuente: Propia

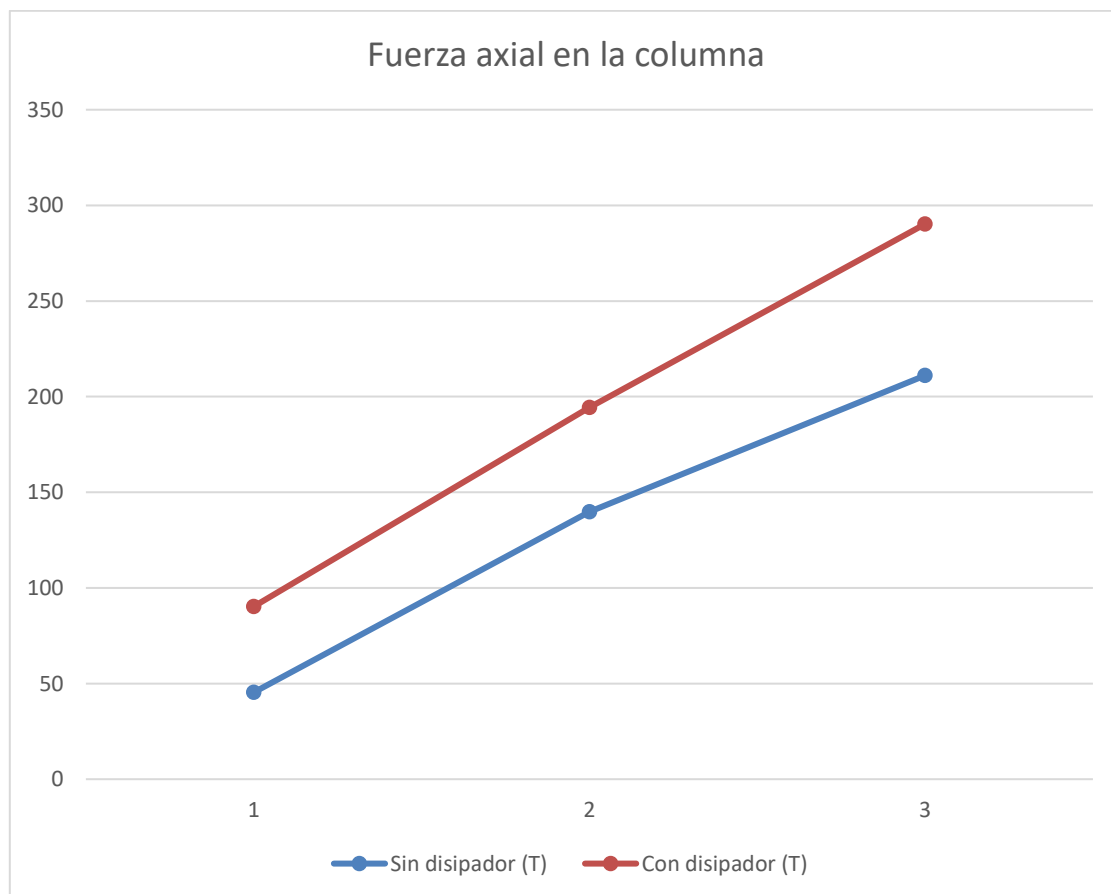


Figura 224. Fuerza axial en la columna. Fuente: Propia

Tabla 106

Fuerza cortante en la columna

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
3	30.45	9.10	70.11
2	32.70	12.75	61.01
1	20.53	9.87	51.92

Fuente: Propia

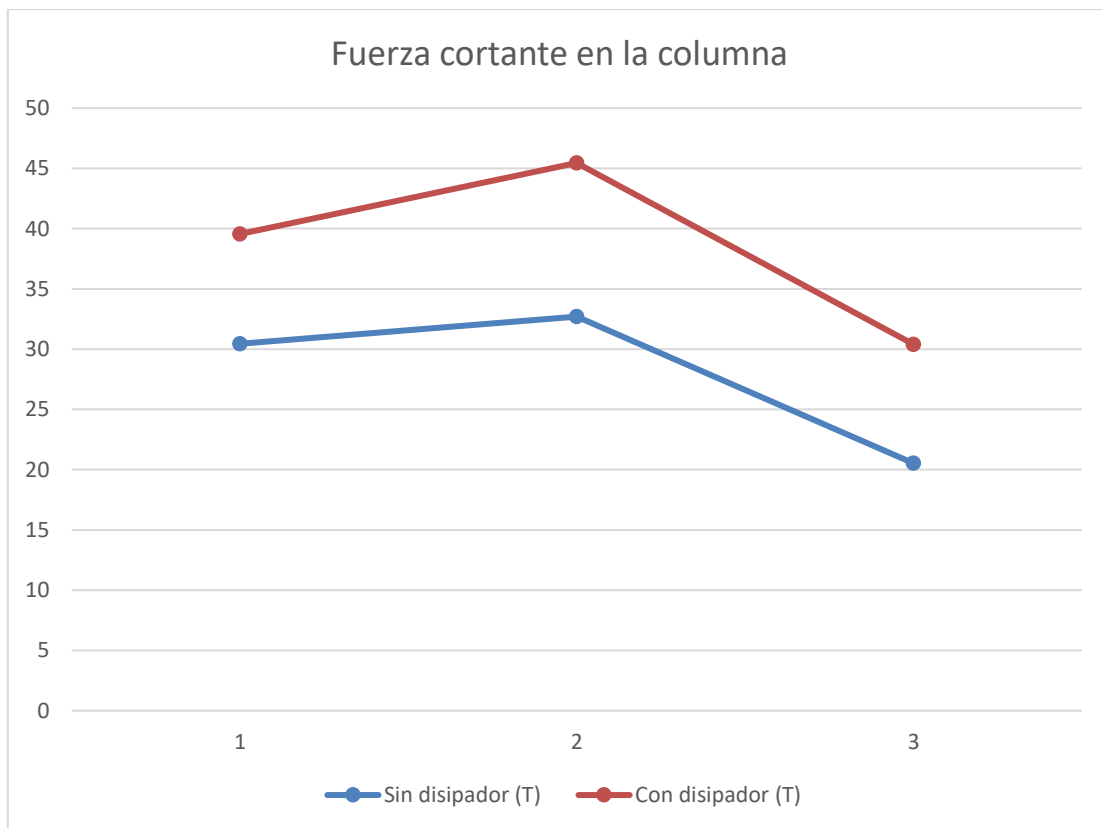


Figura 225. Fuerza cortante en la columna. Fuente: Propia

Tabla 107

Momentos en la columna

Story	Sin disipador (T)	Con disipador (T)	Variación (%)
3	40.48	12.19	69.89
2	44.37	17.37	60.85
1	28.64	13.78	51.89

Fuente: Propia

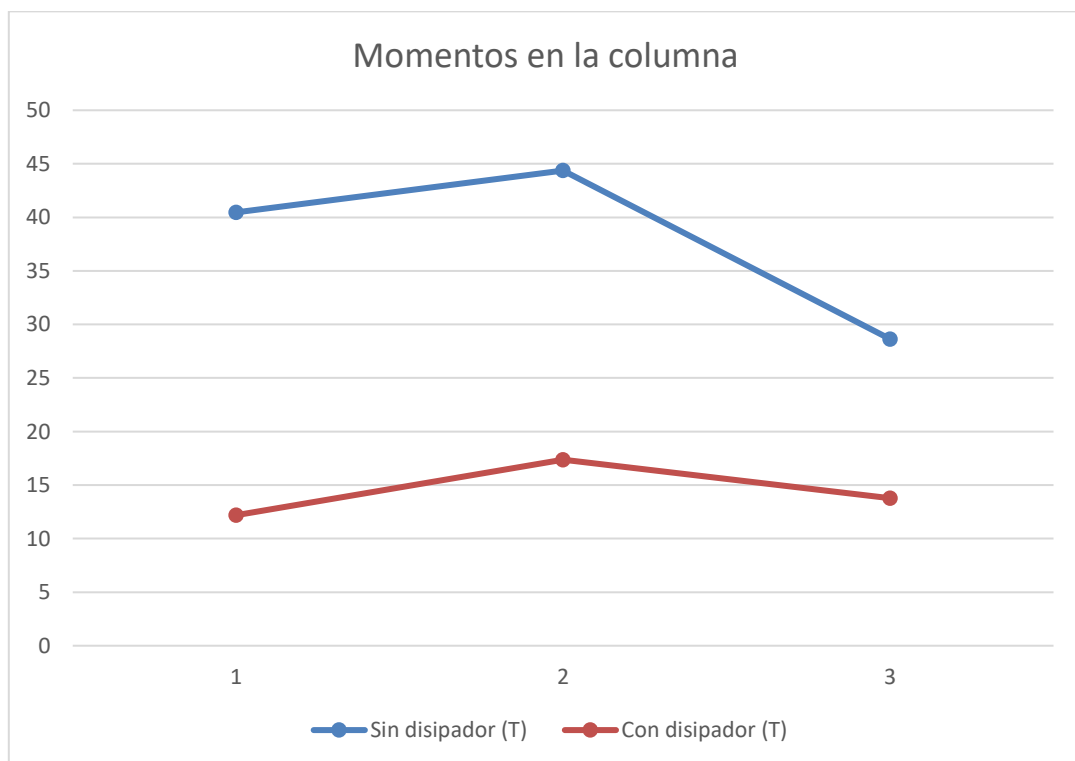


Figura 226. Momentos máximos en la columna. Fuente: Propia

- **Costo de los disipadores por m²**

Por último, se realizó una estimación del costo por metro cuadrado que se añadiría al presupuesto total de la edificación como reforzamiento.

Tabla 108

Costo total de los disipadores de 330 kip

Disipador	Cantidad	P.U. (\$)	Parcial (\$)
330 kip	9	10286	92578
Conexiones	9	1000	9000
		Sub total	101578
		IGV (18%)	18284
		Total	119862

Fuente: Propia

Considerando un área techada total de la edificación de 1257.45 m² se concluye que, el costo por metro cuadrado con la incorporación de disipadores de fluido viscoso de 330 kip será de 95.32 \$/m².

CAPÍTULO IV. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1. Discusión

- Al evaluar la estructura existente mediante el análisis dinámico modal espectral se obtuvo como derivas máximas en la dirección X el valor de 0.0071 que se considera como aceptable al considerar que se castigó la estructura con secciones agrietadas. Por otra parte, para la dirección Y se obtuvo una deriva máxima de 0.0186 siendo ésta, la dirección más desfavorable. Calderón (2014) en su tesis “Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén” obtuvo luego de la evaluación de la estructura existente una deriva del 0.0114 en la dirección X, mientras que en la dirección Y obtuvo una deriva de 0.0080 concluyendo que la mejor alternativa de reforzamiento para la estructura es mediante elementos de disipación de energía.
- Dentro de los criterios y consideraciones para la aplicación y selección de los disipadores como reforzamiento se obtuvieron los siguientes: criterios de arquitectura (al ser una edificación existente, no se puede modificar la arquitectura), de comportamiento estructural (disminución de esfuerzos y desplazamientos sin aportar rigidez), de mantenimiento (no requiere mantenimiento) y de costos (costos mínimos de instalación). La revista EIA, ISSN 1794-1237 (Numero 6, p. 105-120) de Colombia, en su publicación titulada “sistema de control de respuesta sísmica en edificaciones” elaborados por Oviedo y Duque (2006) informan sobre las grandes ventajas que conlleva incorporar los sistemas de disipación de energía como reforzamiento en edificaciones actuales, ya que, proporcionan una funcionalidad

óptima antes, durante y después de un evento sísmico, donde considerando dicho punto, éste a su vez, genera un costo menor sabiendo que si se usa un sistema convencional, luego de un evento sísmico es posible que se generen daños en los elementos estructurales provocando que la rehabilitación estructural y su mantenimiento genere un costo mucho mayor.

- Luego de analizar la estructura reforzándola con disipadores de fluido viscoso se redujo considerablemente las derivas en la dirección Y al valor de 0.0075 mientras que para la dirección X la deriva es de 0.0065 con un costo de 95.32 \$/m². Ambos resultados se consideran aceptables considerando el agrietamiento que se le asigno a los elementos estructurales. Además, se obtuvieron desplazamientos menores y un incremento en su amortiguamiento. Calderón (2014) en su tesis “Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén” luego del reforzamiento de la estructura existente mediante disipadores de fluido viscoso obtuvo una deriva en X de 0.005 y para Y una deriva de 0.0046 reduciendo considerablemente sus distorsiones de entrepiso. Además, obtuvo un costo por metro cuadrado de disipadores de 61.68 \$/m². Por otro lado, Cuntó (2014) en su tesis “Uso de disipadores viscosos en edificios de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil para el mejoramiento del desempeño sísmico” en el país de Ecuador desarrollo un análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores y sin disipadores, donde concluyó que los la edificación con disipadores obtuvo menores desplazamientos frente a una edificación sin disipadores con una reducción del 27%. Además, se logró tener una reducción de esfuerzos para los elementos estructurales como muros de corte y placas.

4.2. Conclusiones

- La evaluación y análisis de las condiciones actuales del palacio municipal en Arequipa mediante el análisis sísmico estático y dinámico ayudó a determinar su estado estructural verificando que la dirección Y (deriva de 0.0186) es la que necesitaba un reforzamiento al presentar derivas que sobrepasan el límite permitido por la normativa peruana en la E.030 Diseño Sismorresistente (deriva máxima de 0.007). Además, se evaluó y verificó que la dirección X del palacio Municipal si cumple con los requisitos de la normativa peruana en cuanto a sus derivas, por tal motivo, se concluyó que únicamente se necesita reforzamiento en la dirección Y.
- Los criterios y consideraciones que se definieron en esta investigación ayudaron a la selección y aplicación de los disipadores de energía de fluido viscoso como reforzamiento estructural al palacio municipal donde se clasificó en 4 criterios principales: la arquitectura (restricción relevante ya que no se puede modificar la estructura al ser una edificación existente) , su comportamiento estructural (mejor respuesta sísmica frente a otros sistemas de refuerzo convencional), mantenimiento (los disipadores no necesitan mantenimiento dentro de su vida útil a diferencia del reforzamiento tradicional) y el costo (costo mínimo y aceptable considerando la importancia que debe tener la edificación al tener como uso el palacio municipal donde se necesita contar con una excelente respuesta sísmica luego de un evento sísmico, por lo que su aplicación es totalmente válido)
- La aplicación de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento del palacio municipal influyó en la respuesta sísmica de tal manera que disminuyó considerablemente los desplazamientos generados por las sollicitaciones sísmicas,

por tanto, también permitió reducir las derivas de entrepiso, donde la deriva máxima en la dirección Y disminuyó de 0.0186 a 0.0075. Cabe recalcar, que, para la presente investigación se castigó la estructura considerando un agrietamiento en sus principales elementos estructurales como vigas y columnas, por lo tanto, los valores que se obtuvieron se consideran aceptables. Además, la incorporación de los disipadores generó un costo de 95.32 \$/m², reduciendo los esfuerzos cortantes y momentos flectores máximos en las columnas y placas donde se ubicaron los disipadores.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda que antes de realizar el análisis dinámico se verifique bien las irregularidades que pueda presentar las edificaciones, y de una u otra manera definir la ubicación de los disipadores teniendo en cuenta la arquitectura.
- Con respecto al uso de los acelerogramas, se recomienda escoger acelerogramas cercanos a la zona de estudio para poder contar con hecho más reales en la investigación.
- Para resultados más exactos, a la hora de obtener los acelerogramas de diseño a partir del REDACIS, se recomienda que antes de utilizarlos se corrijan mediante línea base y se filtre los ruidos externos, ya que los acelerogramas además de la vibración sísmica también incluye vibraciones del medio ambiente, automóviles, etc.
- Para el escalamiento de los registros de acelerograma, se recomienda usar un software para facilitar el proceso de escalamiento como es el SeismoMatch, así como también a la hora de crear el espectro considerar las condiciones del suelo de la zona.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- American Society of Civil Engineers (ASCE) (2005) *ASCE 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. (2016 Edition). Reston, VA.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento nacional de edificaciones*. Recuperado de: <http://www3.vivienda.gob.pe/pnc/docs/normatividad/varios/Reglamento%20Nacional%20de%20Edificaciones.pdf>, el 1 de abril de 2019.
- National Center of Earthquake Engineering Research. (1995). *Structural Response Modification Factors*. Applied Technology Council (ATC - 19).
- Federal Emergency Management Agency. (2000). *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of building*. Recuperado de: <https://www.nehrp.gov/pdf/fema356.pdf>
- Díaz la Rosa S., Marco A. (2014). *Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos* (Tesis). Trujillo: UPAO.
- Oviedo, R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras*. (Tesis de Maestría). Lima: UNI, 2008.
- Talavera, A. (2017). *Experiencia nacional en edificaciones con sistemas de protección sísmica*. (Boletín informativo).

- ETABS. *Computers and structures Inc* [CD-ROM]. Versión 16.0.2. California; University of California Berkeley, 2019. (Programa computacional).
- SEISMOMATCH [CDROM] versión 1.3.0 (Programa computacional).
- SEISMOSIGNAL versión 2021 (Programa computacional)
- Calderón, B. (2014), *Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la universidad nacional de Cajamarca-seede Jaén*. (Tesis de titulación). Cajamarca: Universidad Nacional de Cajamarca.
- Guevara, D. (2012). *Diseño de un edificio aporricado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal*. (Tesis de titulación). Lima: UPC.
- Navarro. F. (2017). *Comparación de las respuestas dinámicas en estructuras con y sin disipadores de energía pasivos de fluido viscoso en la zona sísmica cuatro*. (Proyecto de tesis). Lima: Universidad Nacional de Piura.
- Fuentes, J. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. (Tesis de Titulación). Lima: PUCP.
- CISMID. (2019). *Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres*. Recuperado de: <http://www.cismid.uni.edu.pe/>.
- Cuntó, I (2014). *Uso de disipadores viscosos en edificios de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil para el mejoramiento del desempeño sísmico*. Recuperado de: <http://repositorio.ucsg.edu.ec/handle/3317/1333>.

- Oviedo, J y Del Pilar, M. (2006). *Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones.* Recuperado de: <https://revistas.eia.edu.co/index.php/reveia/article/view/163>
- Cotacallapa, R. (2017). *Análisis de un edificio asimétrico de 10 niveles de concreto armado con amortiguadores de masa sintonizada.* Recuperado de: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/3406>
- Roncal, M. (2017). *Determinación del peligro sísmico en el territorio nacional y elaboración de aplicativo web.* Recuperado de: <http://repositorio.concytec.gob.pe/handle/20.500.12390/1942>
- Pardo, J. (2007). *Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal.* Recuperado de: <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2007/bmficip226c/doc/bmficip226c.pdf>
- Rojas, R. (2019). *Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores viscosos, los olivos, 2019.* Recuperado de: <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/41722>
- Morales, L. y Contreras, J. (2013). *Protección de una edificación existente con disipadores de energía.* Recuperado de: <http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/1708>

ANEXOS

Anexo 01: Matriz de consistencia

Titulo					
Influencia de la aplicación de disipadores de fluido viscoso para el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021					
	Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Dimensión
P.G.	¿Cómo la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?	Determinar si la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021	La aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021	Reforzamiento estructural	Tipo de Sistema Estructural
					Análisis Estático
					Análisis Dinámico
				Disipadores de fluido viscoso	Análisis No Lineal-Elástico
Respuesta sísmica					
					Costo
P.E 1	¿Cómo evaluar y analizar las condiciones estructurales actuales del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?	Evaluar y analizar las condiciones estructurales actuales del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021	La evaluación y análisis de las condiciones estructurales actuales ayudará a determinar el estado del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021	Reforzamiento estructural	Derivas
					Fuerza Cortante
				Disipadores de fluido viscoso	Distorsión de entrepiso
P.E 2	¿Qué criterios y consideraciones se utilizaron para la selección y aplicación de los disipadores	Determinar los criterios y consideraciones que se utilizaron para la selección y aplicación de	Los criterios y consideraciones que se utilizaron ayudaron en la selección y aplicación de	Reforzamiento estructural	Criterios de diseño

	de fluido viscoso como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?	los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.	los disipadores de energía como reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.	Disipadores de fluido viscoso	Ubicación y Diseño
P.E 3	¿Cómo la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021?	Determinar si la aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá en mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.	La aplicación de disipadores de fluido viscoso influirá y ayudará a mejorar la respuesta sísmica en el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021.	Reforzamiento estructural	Respuesta sísmica de la estructura
				Disipadores de fluido viscoso	Propiedad física y mecánica del disipador

Anexo 02: Validación de instrumentos: Software ETABS v.2019

CARTA DE PRESENTACIÓN

Señor: Jhonatan Hernández

Asunto: **Validación de instrumentos a través de juicio crítico**

Me es muy grato comunicarnos con usted para expresarle nuestros saludos y así mismo, hacer de su conocimiento que, siendo **bachiller en Ingeniería Civil** de la Universidad Privada del Norte, requerimos validar los instrumentos con los cuales recogeré la información necesaria para poder desarrollar mi investigación y con la cual optaré el grado de titulación en ingeniería civil.

El título nombre de mi proyecto de investigación es: **“Influencia de la aplicación de disipadores de fluido viscoso para el reforzamiento estructural del palacio municipal en el distrito de Miraflores, Arequipa 2021”** y siendo imprescindible contar con la aprobación de docentes especializados para poder aplicar los instrumentos en mención, he considerado conveniente recurrir a usted, ante su connotada experiencia en temas educativos y/o investigación educativa.

El expediente de validación, que le hago llegar contiene:

- Carta de presentación.
- Definiciones conceptuales de las variables y dimensiones.
- Matriz de operacionalización de las variables.
- Certificado de validez de contenido de los instrumentos.

Expresando mis sentimientos de respeto y consideración me despedimos de usted, no sin antes agradecerle por la atención que dispense a la presente.

Atentamente: Gustavo Apaza Mendoza

DEFINICIÓN CONCEPTUAL DE LAS VARIABLES Y DIMENSIONES

VARIABLE INDEPENDIENTE

VARIABLE: V1- Reforzamiento estructural

Según (Gonzales, Toyco, 2016). En su tesis dice que es un proceso mediante el cual se busca aumentar la resistencia, la rigidez o ambas propiedades simultáneamente.

Dimensiones de las variables:

Dimensión 1.- Respuesta sísmica inelástica

Según (Subía Carrillo & Salvador Pérez, 2014, pág. 11), nos dice que comportamiento sísmico inelástico de las estructuras se debe prevenir antes de que el sismo severo realmente ocurra. La ingeniería sismoresistente se estudia la respuesta inelástica tiempo-historia de modelos de edificios estructurados con muros de hormigón armado, diseñados de acuerdo a la norma sísmica, cuando son sometidos a acelerogramas de sismos severos.

Dimensión 2.- Respuesta dinámica

Según Barbat,A. Rodellar,J. y Lopez,F. La respuesta dinámica de estructuras lineales elásticas en la representación de estado de las ecuaciones del movimiento. La estabilidad y la precisión del algoritmo de cálculo se comparan favorablemente con las de procedimientos de integración paso a paso. El procedimiento no requiere hipótesis restrictiva cerca del tipo de matriz de amortiguamiento. Se pueden incluir algoritmos al cálculo sísmico de un dique de contención y de una estructura de edificación.

VARIABLE DEPENDIENTE

Variable: V2- Disipador de fluido viscoso

Dispositivos que absorben grandes cantidades de energía captando la fuerza sísmica a través del comportamiento plástico y la fricción entre superficies.

Dimensión 1.- Diseño estructural

Es una de las áreas donde se desarrolla la Ingeniería Civil y se realiza a partir de las potencialidades que un material puede ofrecer, así como sus características naturales que lo hacen específico, su bajo costo y las propiedades mecánicas que posee.

Dimensión 2.- Disipador de fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso funcionan según el principio de flujo de fluido a través de orificios. Un pistón de acero viaja a través de las cámaras que se llenan con aceite de silicona (inerte, no inflamable, no tóxico y estable para largos periodos de tiempo), la presión entre las dos cámaras causa que el aceite de silicona fluya a través de un orificio en la cabeza del pistón y la energía sísmica se transforma en calor, el cual se disipa en la atmósfera.

MATRIZ DE OPERACIONALIZACIÓN DE LAS VARIABLES

Variable	Definición Conceptual	Dimensiones	Indicadores
Reforzamiento Estructural	Proceso mediante el cual se busca aumentar la resistencia, la rigidez o ambas propiedades simultáneamente	Tipo de Sistema Estructural	Aporticado
		Análisis Estático	Fuerzas Equivalentes
		Análisis Dinámico	Tiempo - Historia
		Análisis No Lineal-Elástico	Sismo Severo
Disipadores de fluido viscoso	Dispositivos que absorben grandes cantidades de energía captando la fuerza sísmica a través del comportamiento plástico y la fricción entre superficies	Diseño Estructural	Cálculo estructural
		Disipadores Viscosos	Disipador Taylor Device
			Funcionalidad conjunta con el sistema Estructural
			Coefficiente de Amortiguamiento

Observaciones (precisar si hay suficiencia): PRESENTA SUFICIENCIA EL INSTRUMENTO PRESENTADO PARA REALIZAR LA INVESTIGACIÓN.

Opinión de aplicabilidad: Aplicable | | Aplicable después de corregir | | No aplicable | |

Apellidos y nombres del juez validador: Hernández M. Jonathan, DNI: 002106355

Especialidad del validador: Metodólogo – Experto

Lima, 20 de Abril del 2019

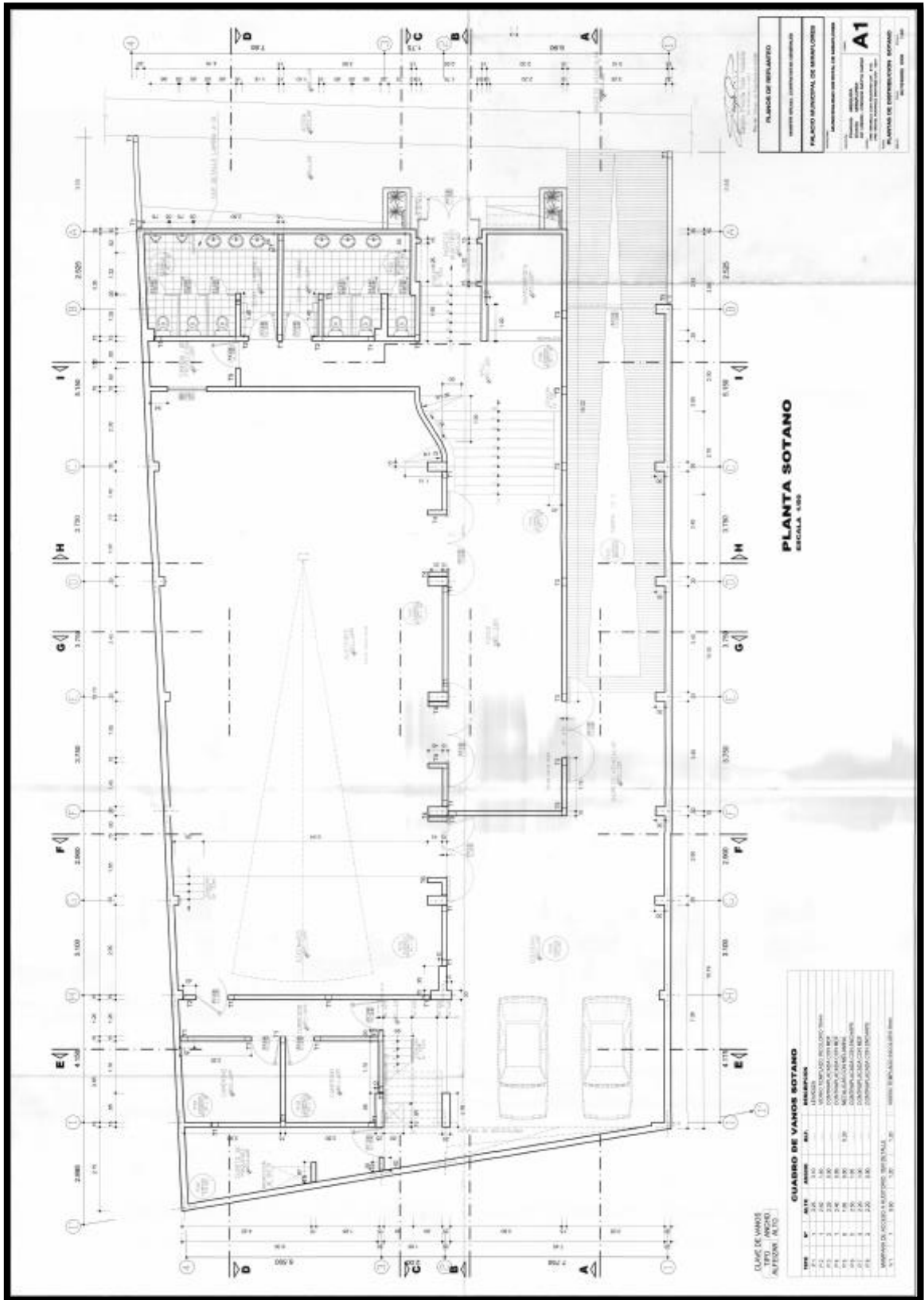
¹Pertinencia: El ítem corresponde al concepto teórico formulado.

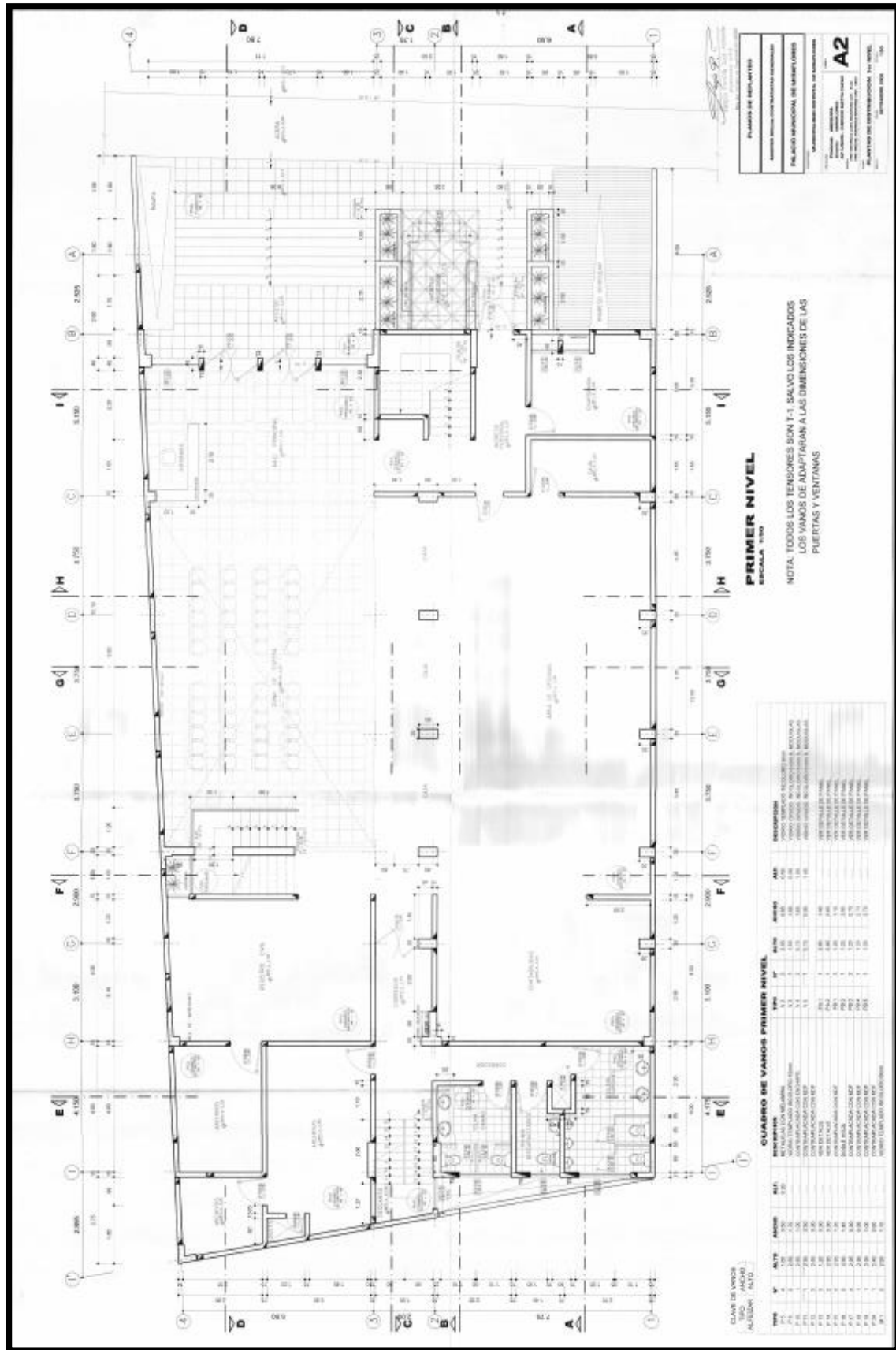
²Relevancia: El ítem es apropiado para representar al componente o dimensión específica del constructo

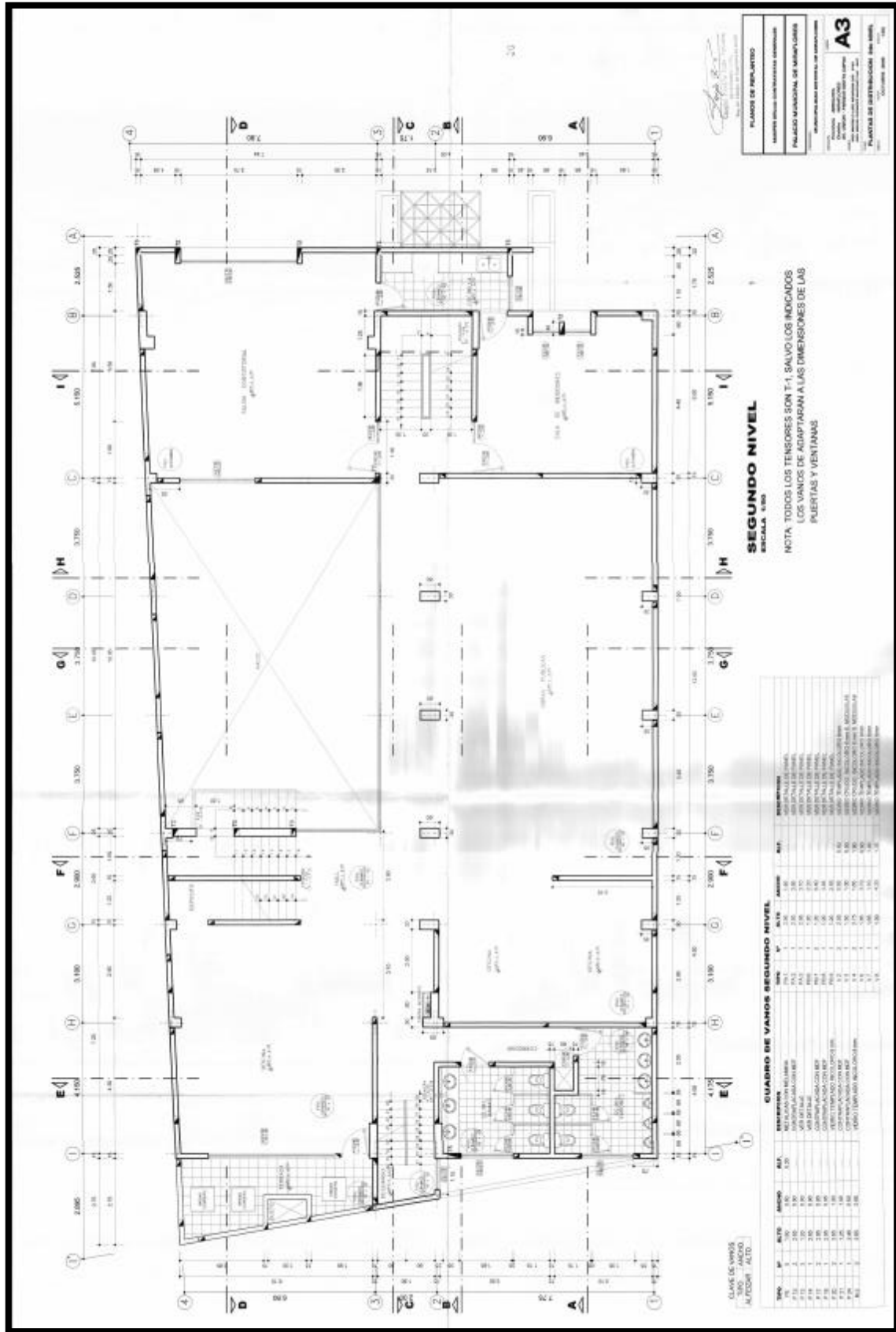
³Claridad: Se entiende sin dificultad alguna el enunciado del ítem, es conciso, exacto y directo

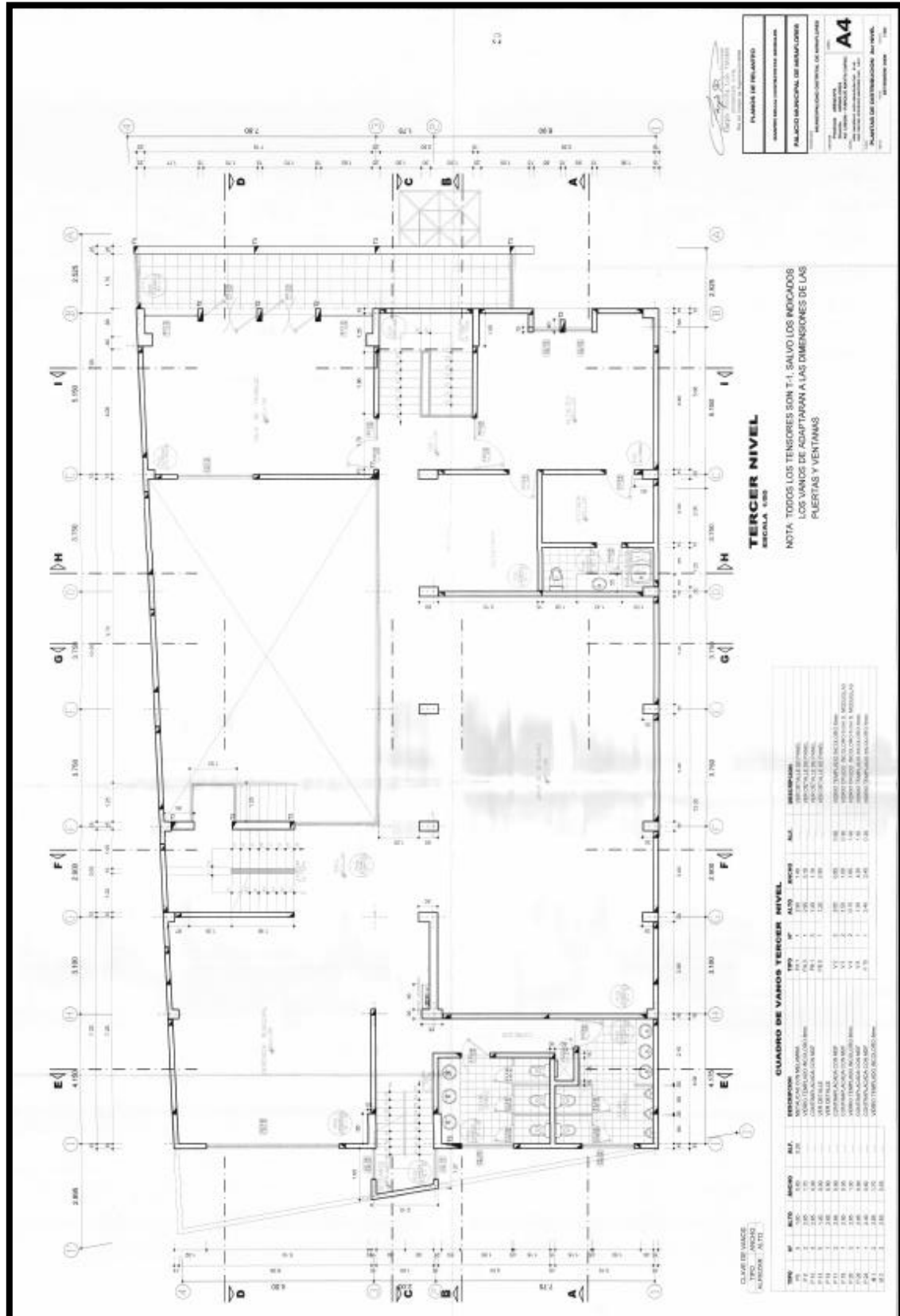
Nota: Suficiencia, se dice suficiencia cuando los ítems planteados son suficientes para medir la dimensión

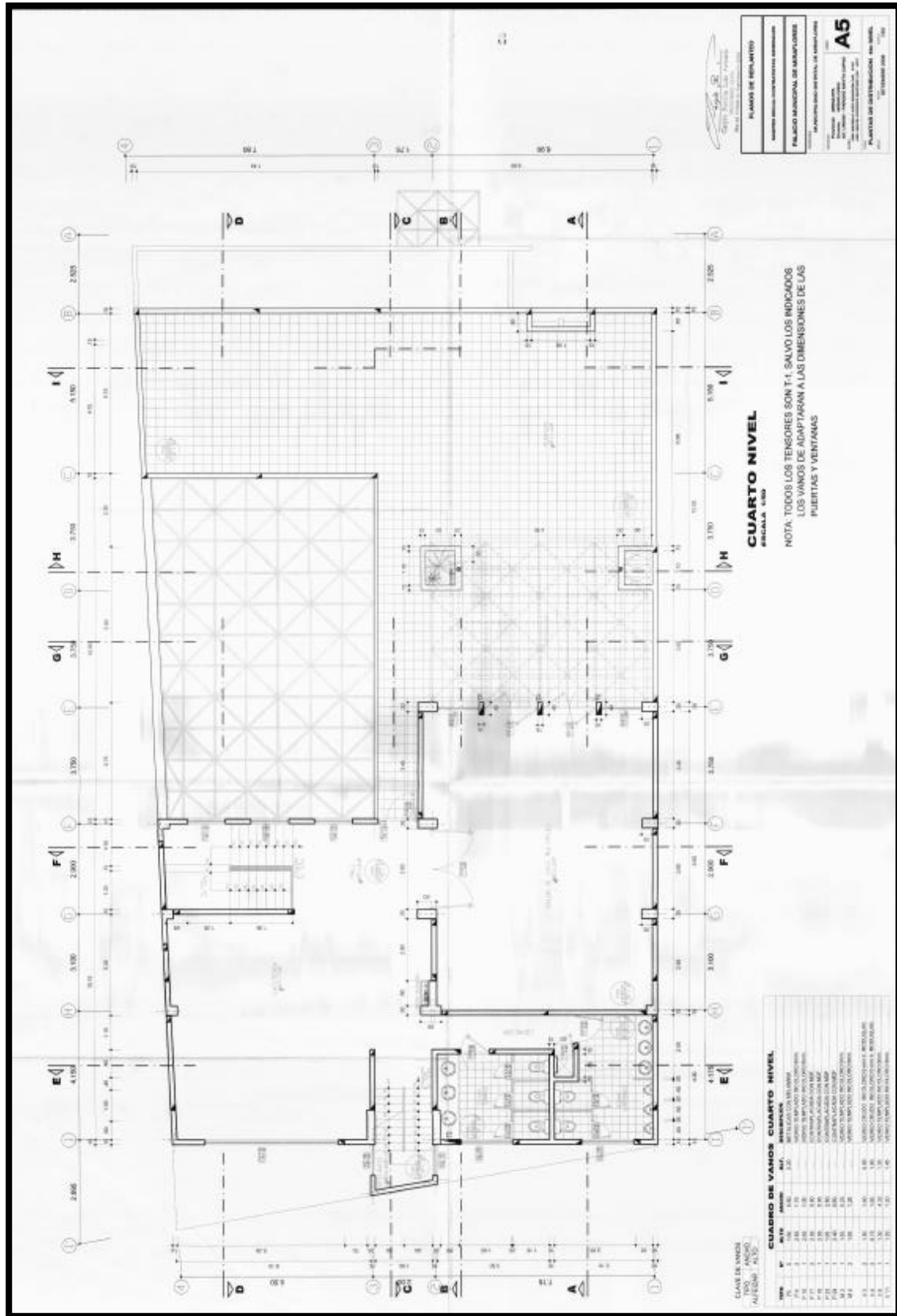
Anexo 03: Planos de arquitectura

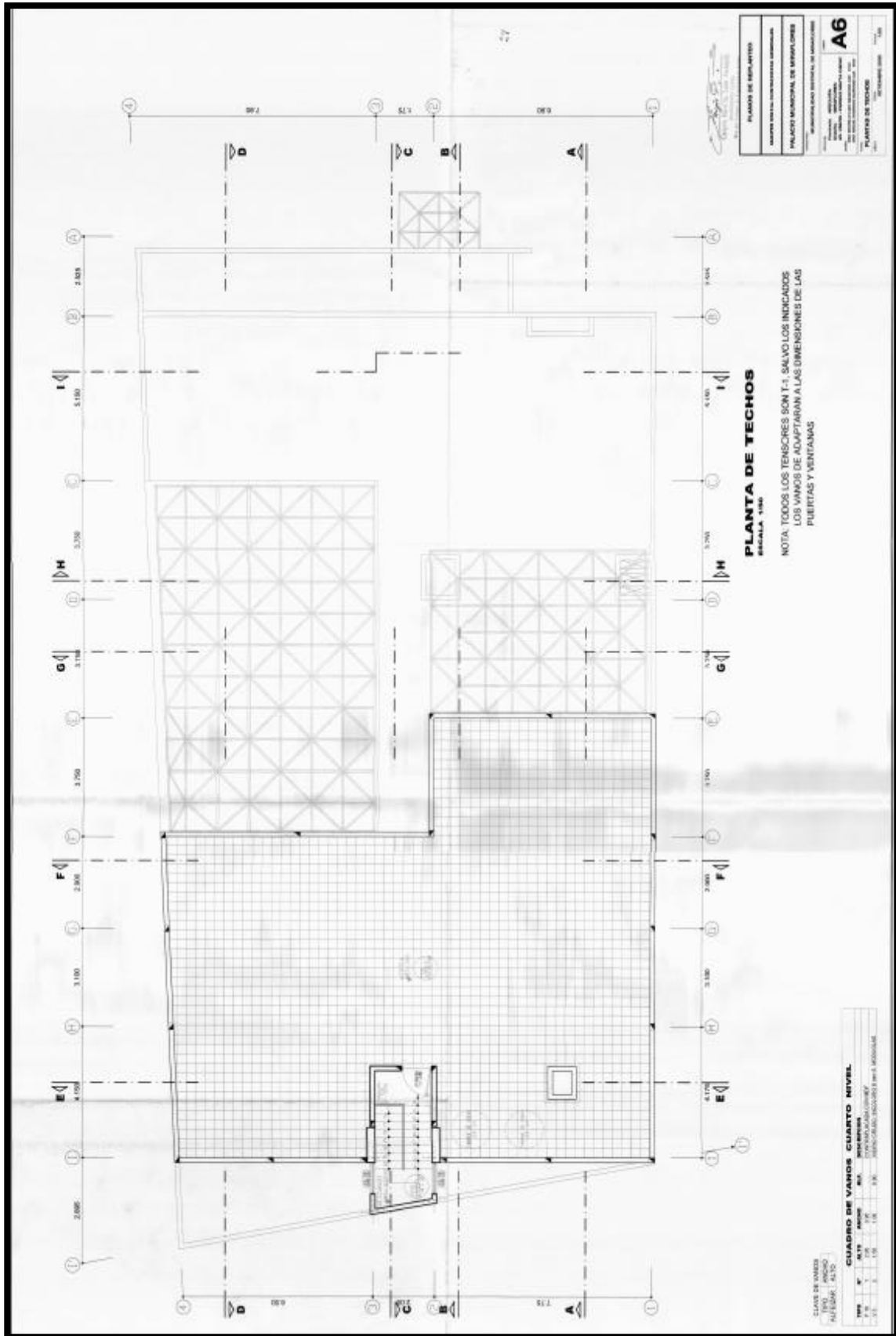






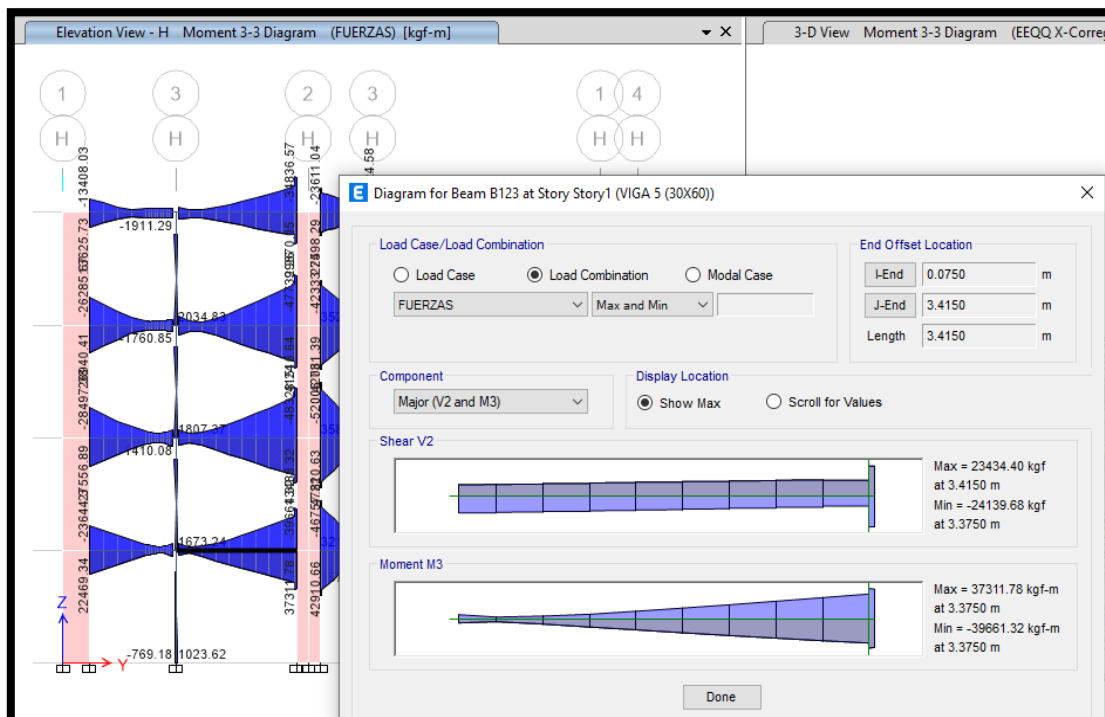
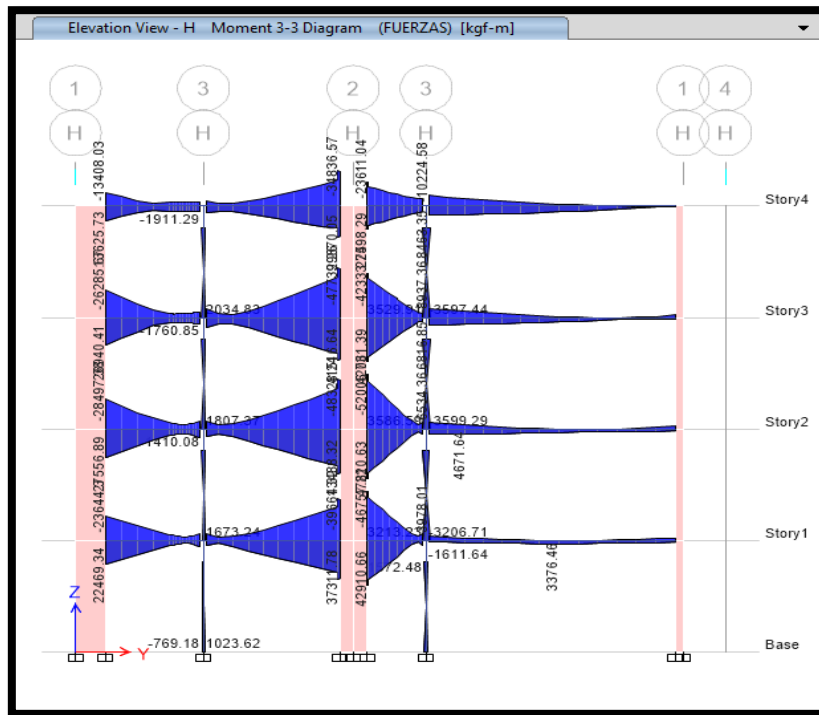




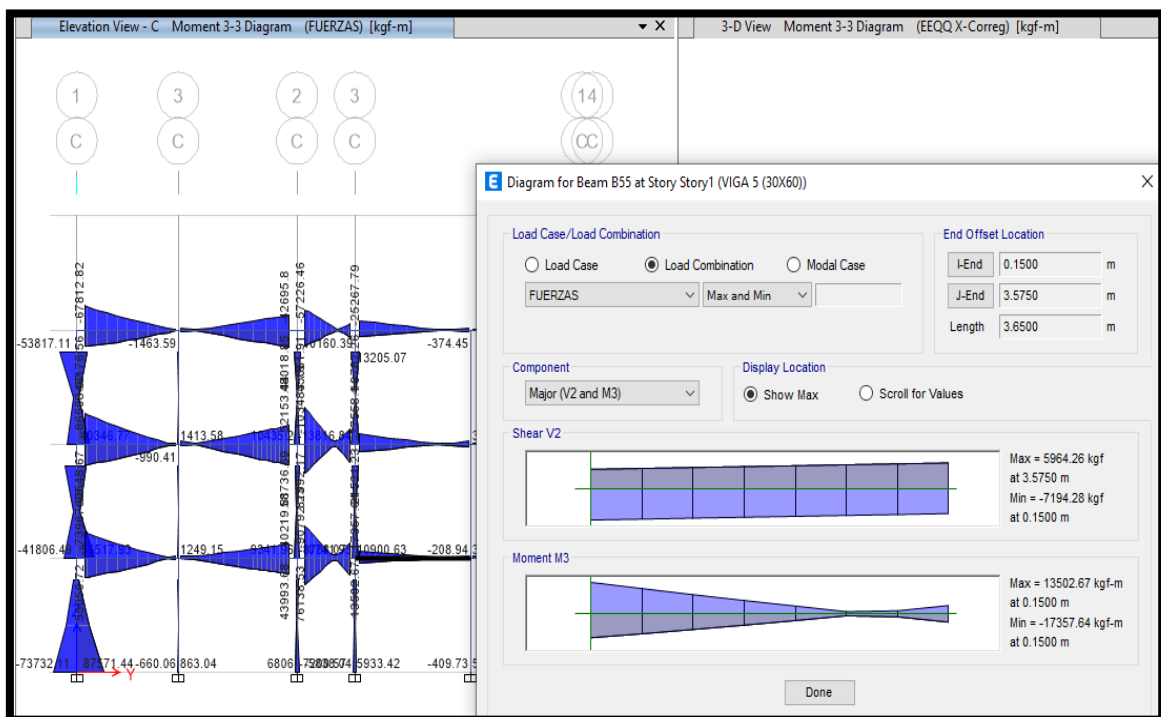
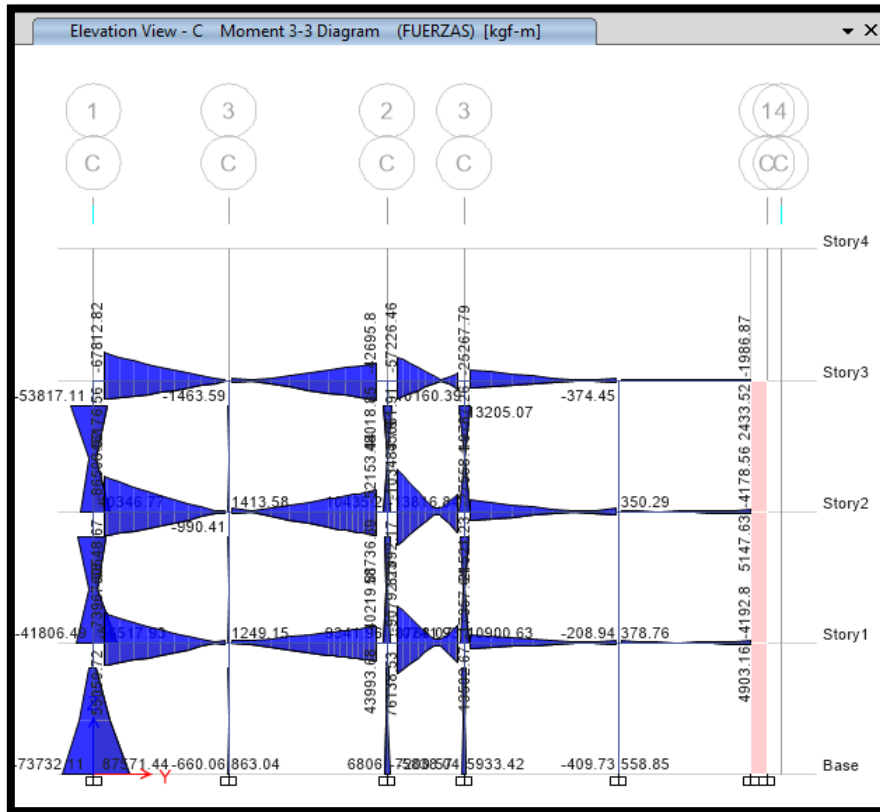


Anexo 04: Resultados en ETABS del palacio Municipal sin disipadores

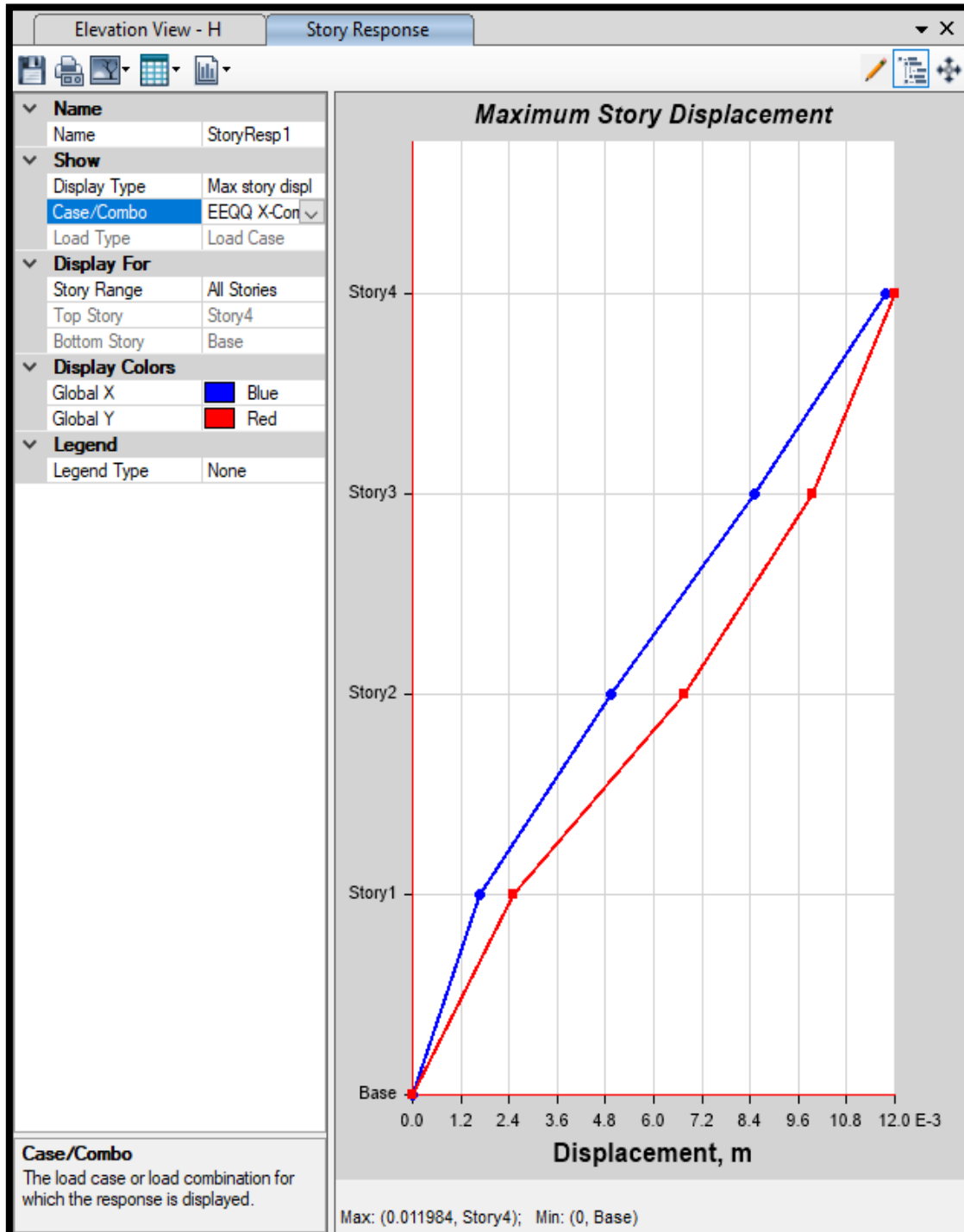
- Momentos en las vigas sísmicas para la elevación H-H



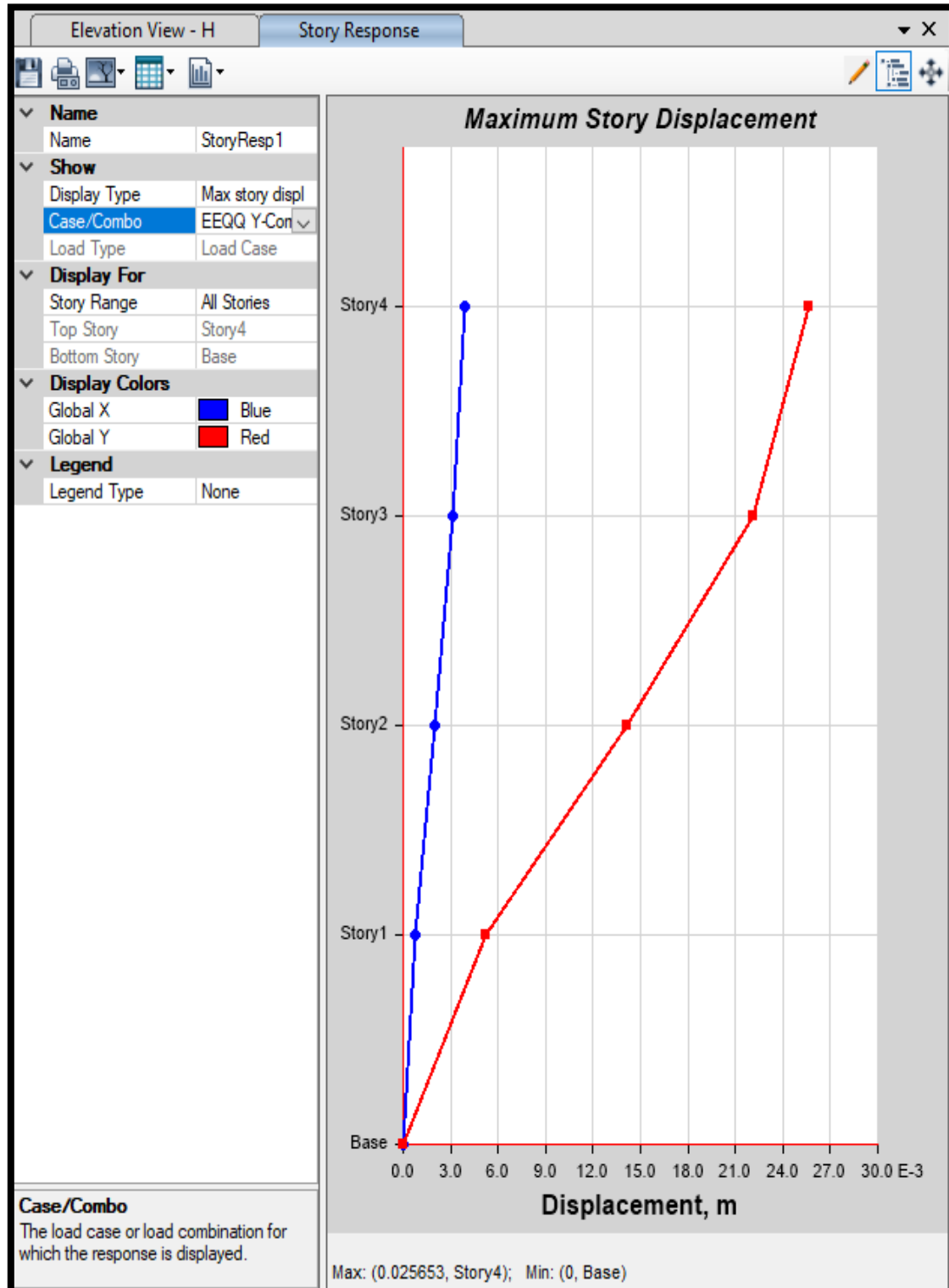
- Momentos en las vigas sísmicas para la elevación C-C



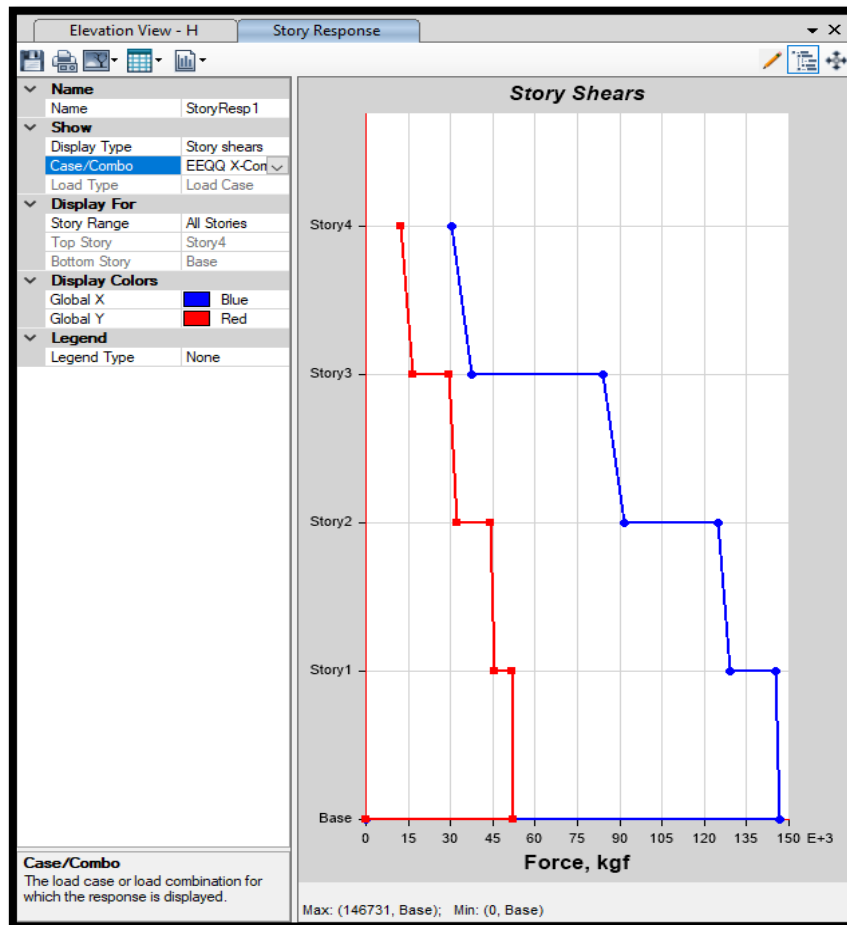
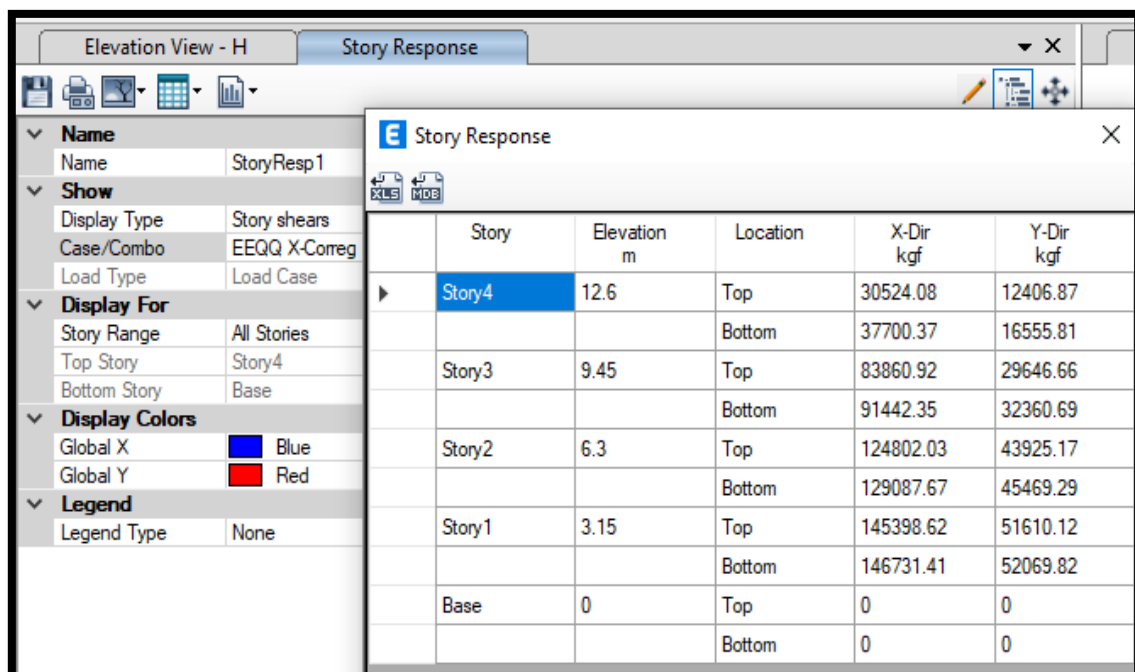
- Máximo desplazamiento en metros (caso dinámico escalado en la dirección X-X)



- Máximo desplazamiento en metros (caso dinámico escalado en la dirección Y-Y)



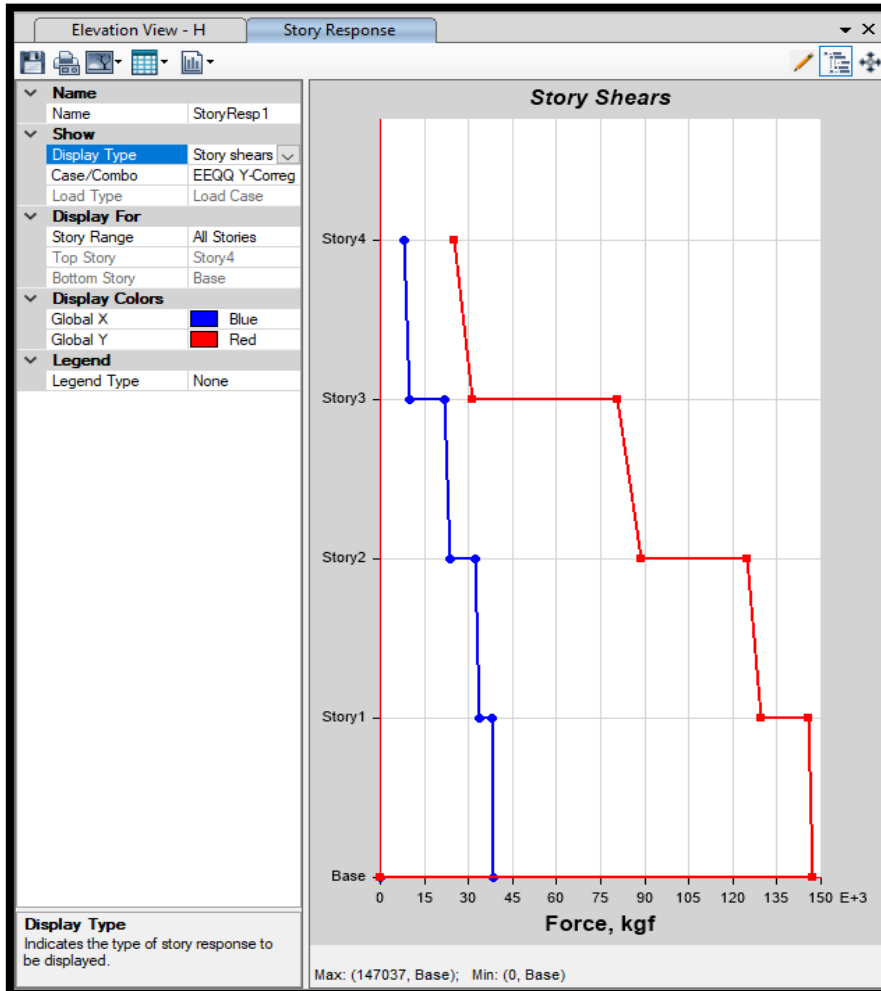
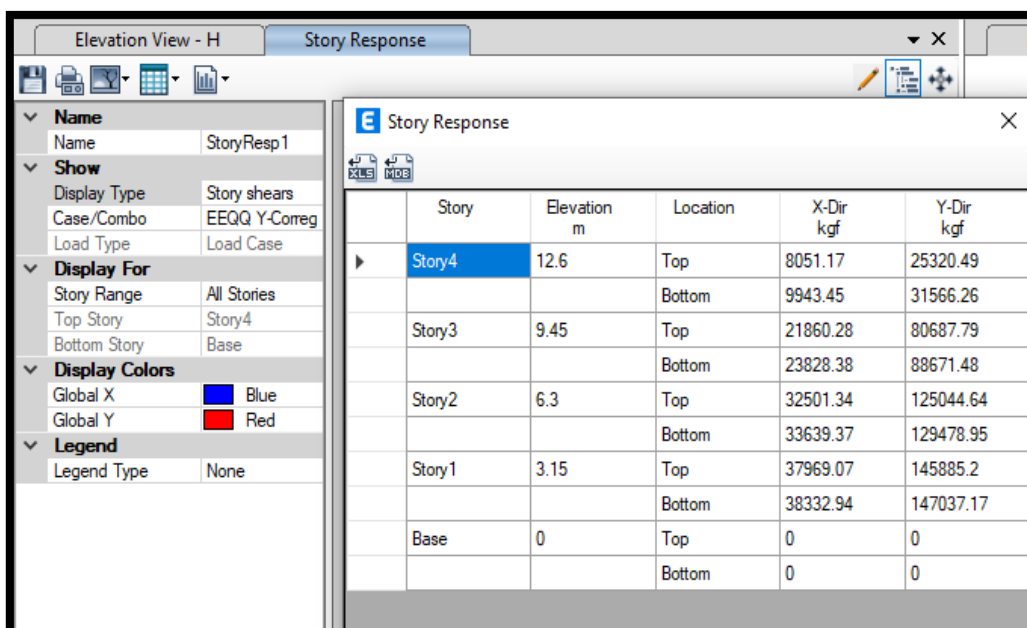
- Fuerza cortante por piso (Caso dinámico en la dirección X-X)

Story Response

Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Story4	12.6	Top	30524.08	12406.87
		Bottom	37700.37	16555.81
Story3	9.45	Top	83860.92	29646.66
		Bottom	91442.35	32360.69
Story2	6.3	Top	124802.03	43925.17
		Bottom	129087.67	45469.29
Story1	3.15	Top	145398.62	51610.12
		Bottom	146731.41	52069.82
Base	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso dinámico en la dirección Y-Y)

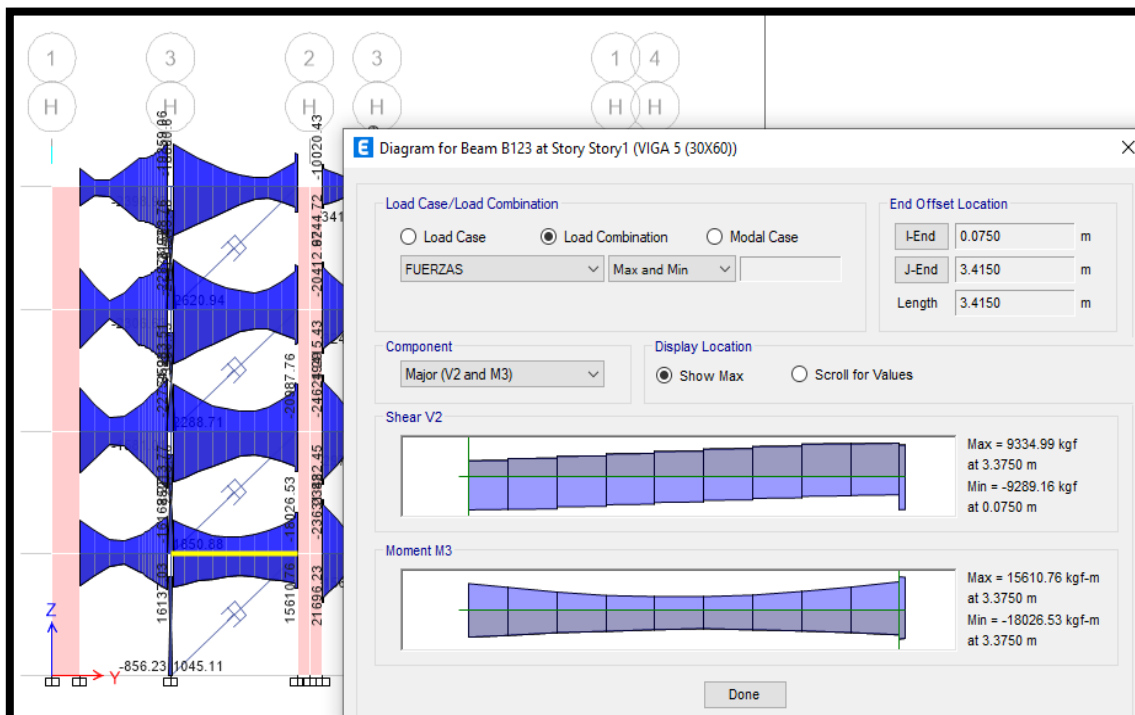
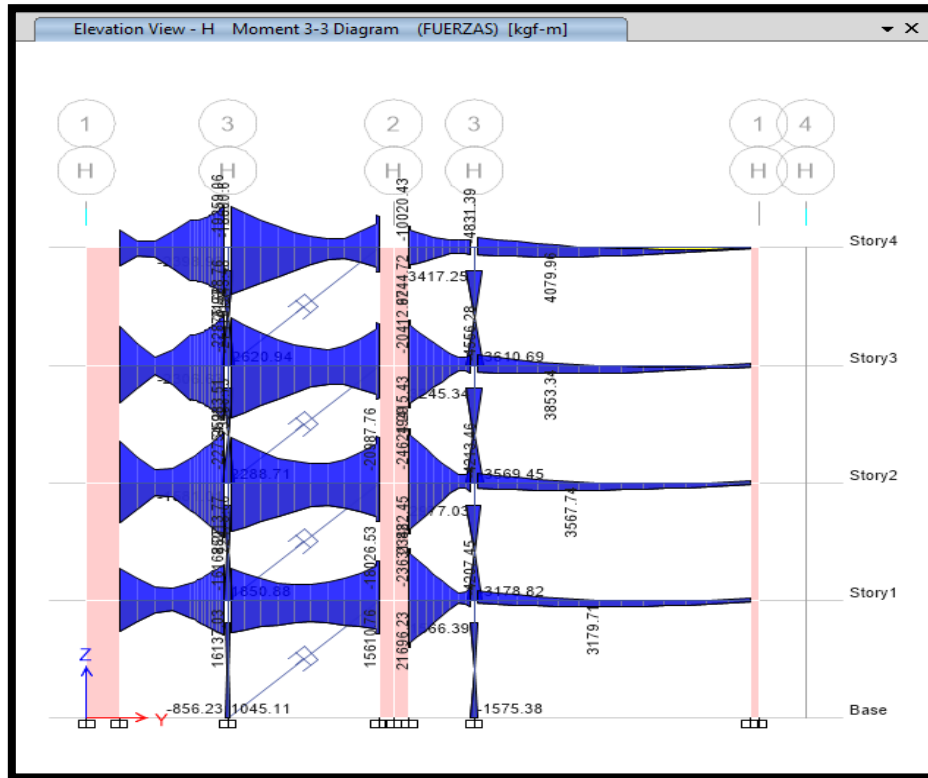



Story Response

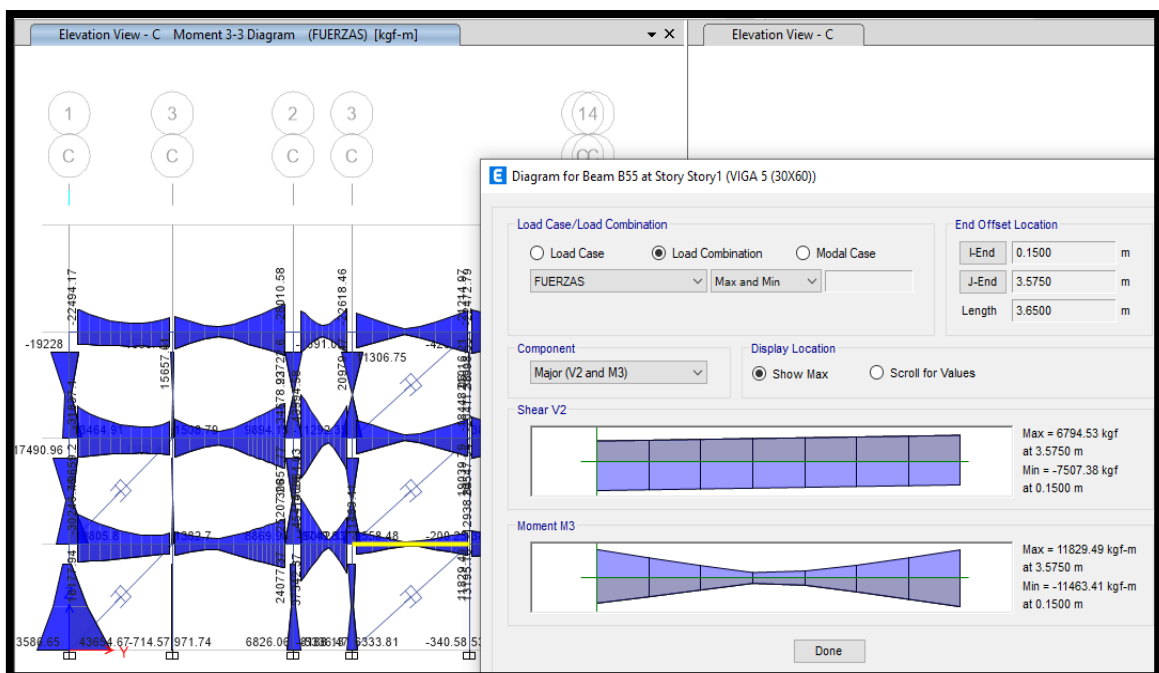
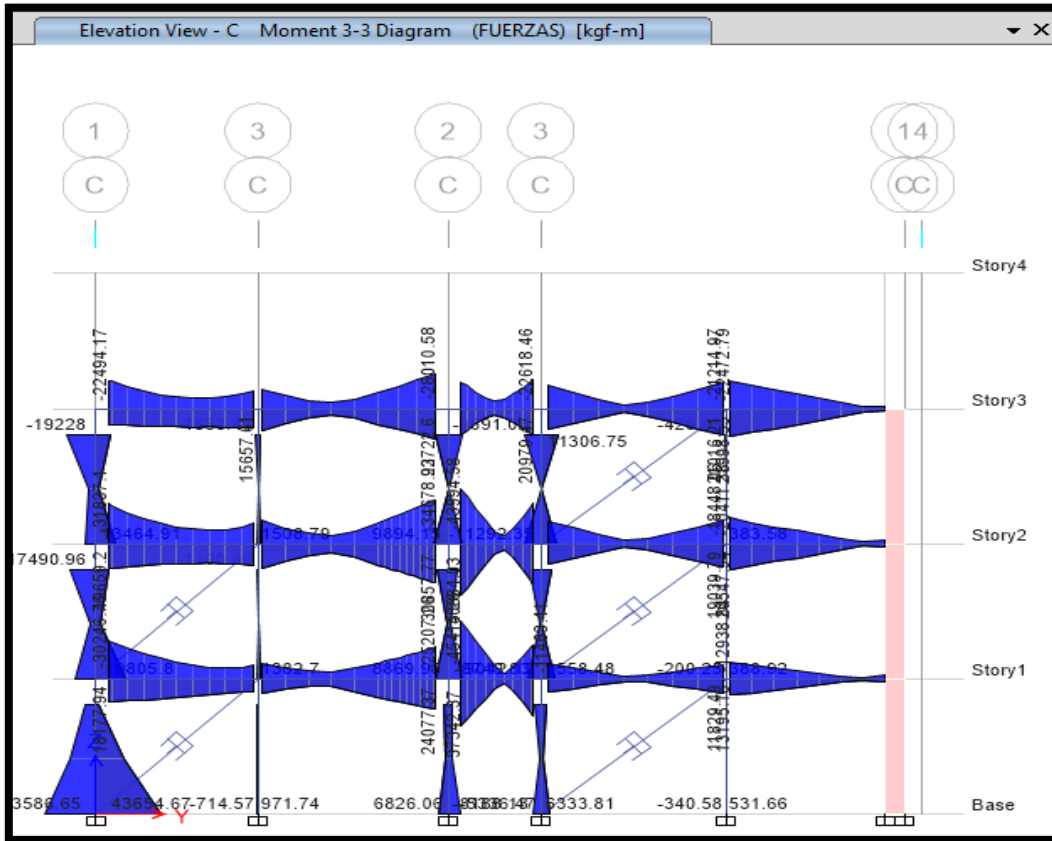
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf
Story4	12.6	Top	8051.17	25320.49
		Bottom	9943.45	31566.26
Story3	9.45	Top	21860.28	80687.79
		Bottom	23828.38	88671.48
Story2	6.3	Top	32501.34	125044.64
		Bottom	33639.37	129478.95
Story1	3.15	Top	37969.07	145885.2
		Bottom	38332.94	147037.17
Base	0	Top	0	0
		Bottom	0	0

Anexo 05: Resultados en ETABS del palacio Municipal con disipadores

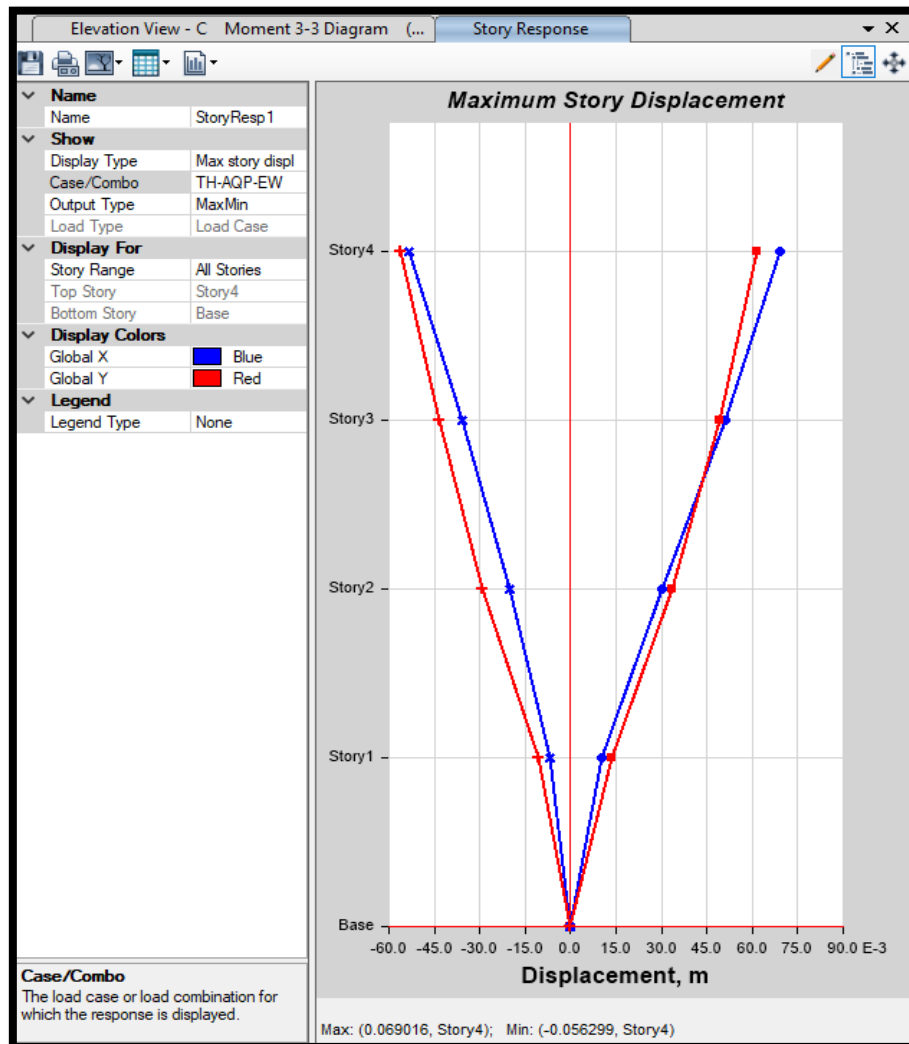
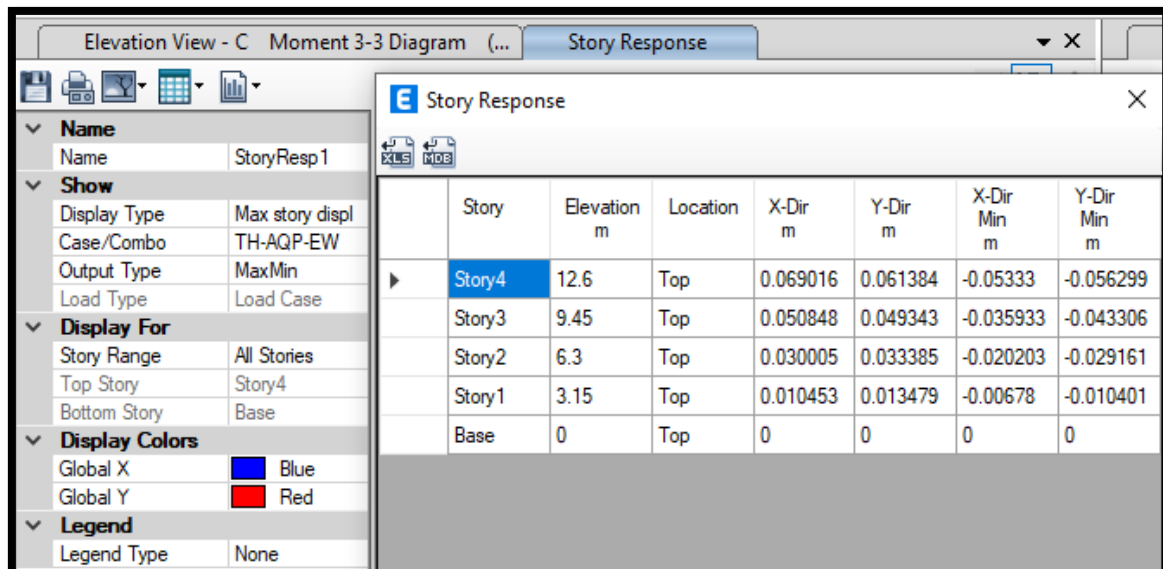
- Momentos en las vigas sísmicas para la elevación H-H



- Momentos en las vigas sísmicas para la elevación C-C

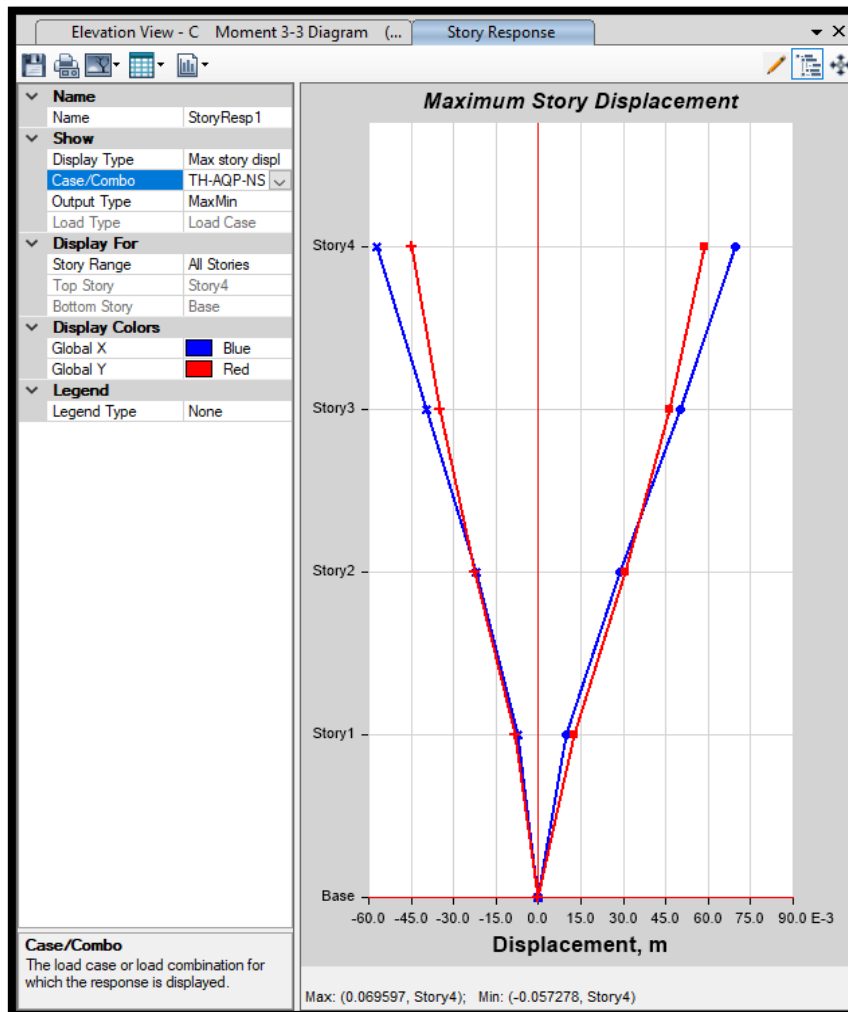
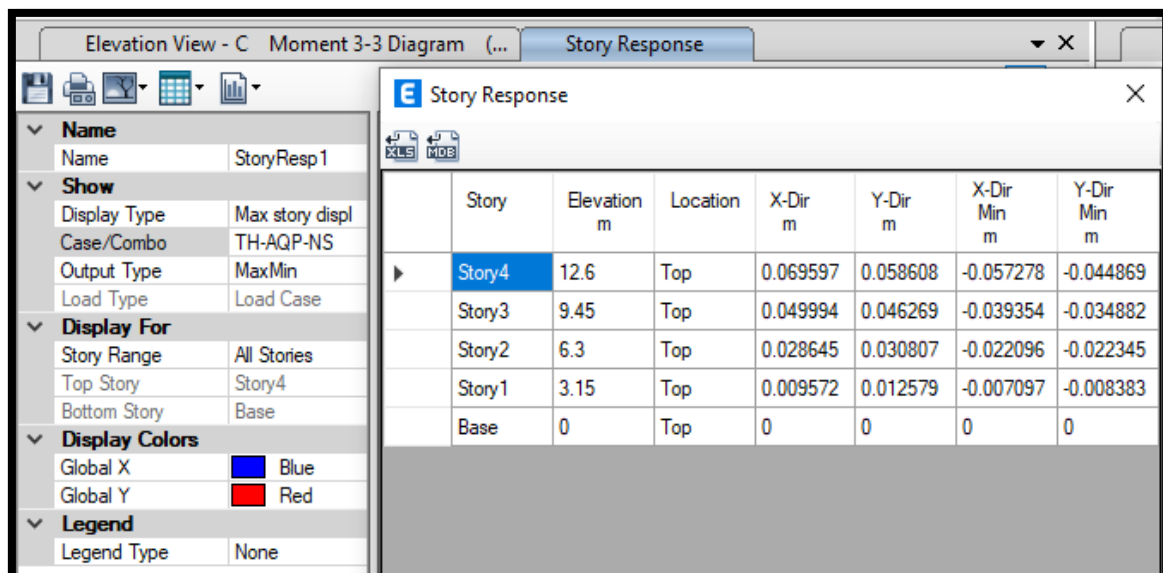


- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia AQP-EW)

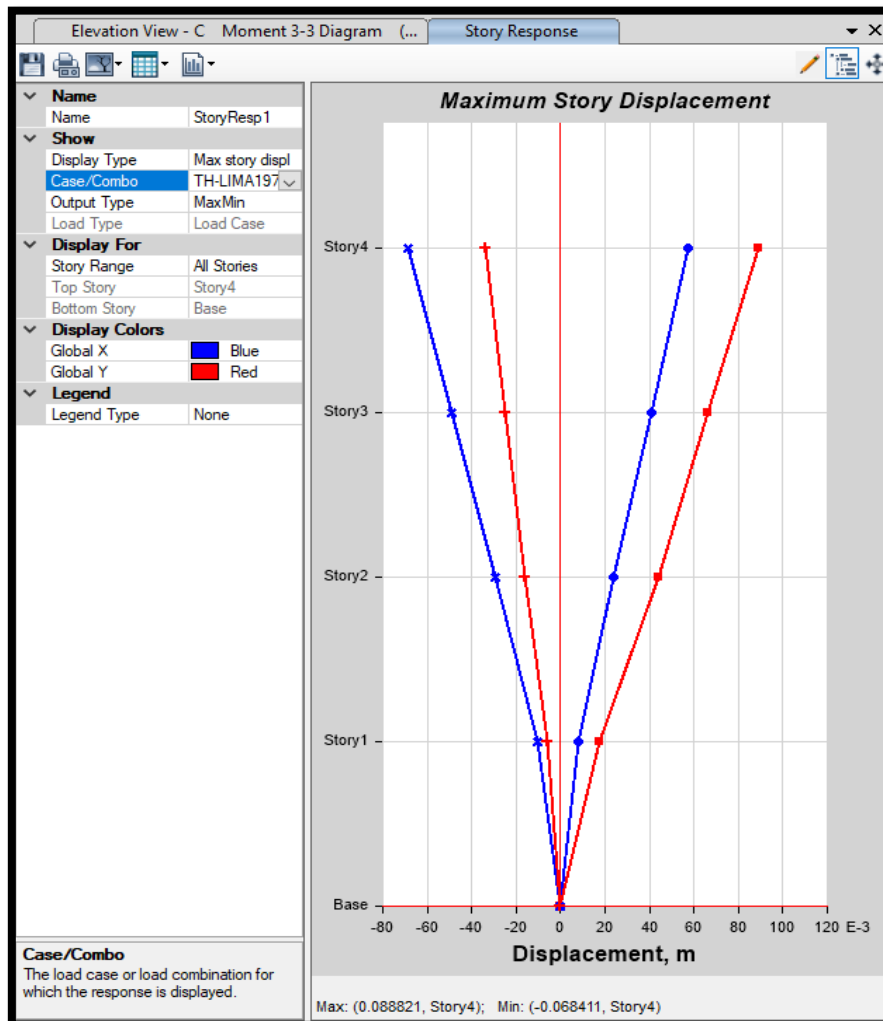
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.069016	0.061384	-0.05333	-0.056299
Story3	9.45	Top	0.050848	0.049343	-0.035933	-0.043306
Story2	6.3	Top	0.030005	0.033385	-0.020203	-0.029161
Story1	3.15	Top	0.010453	0.013479	-0.00678	-0.010401
Base	0	Top	0	0	0	0

- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia AQP-NS)

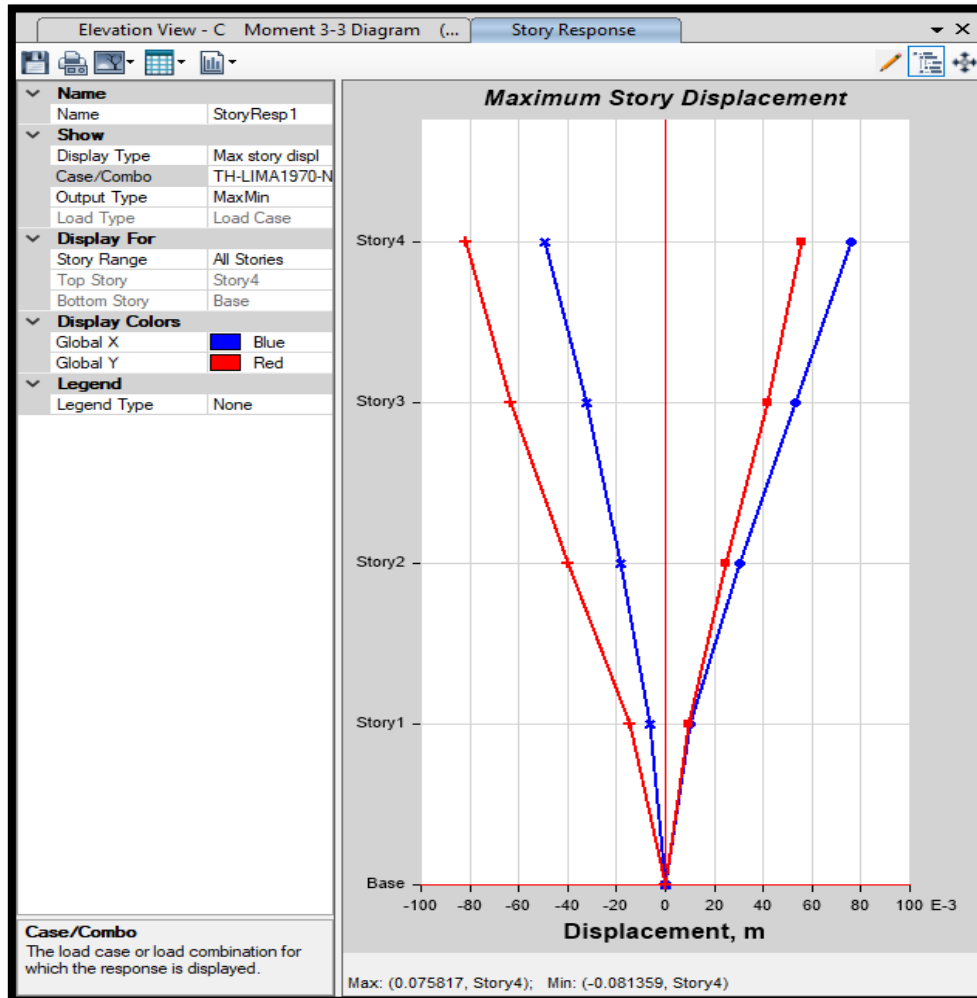
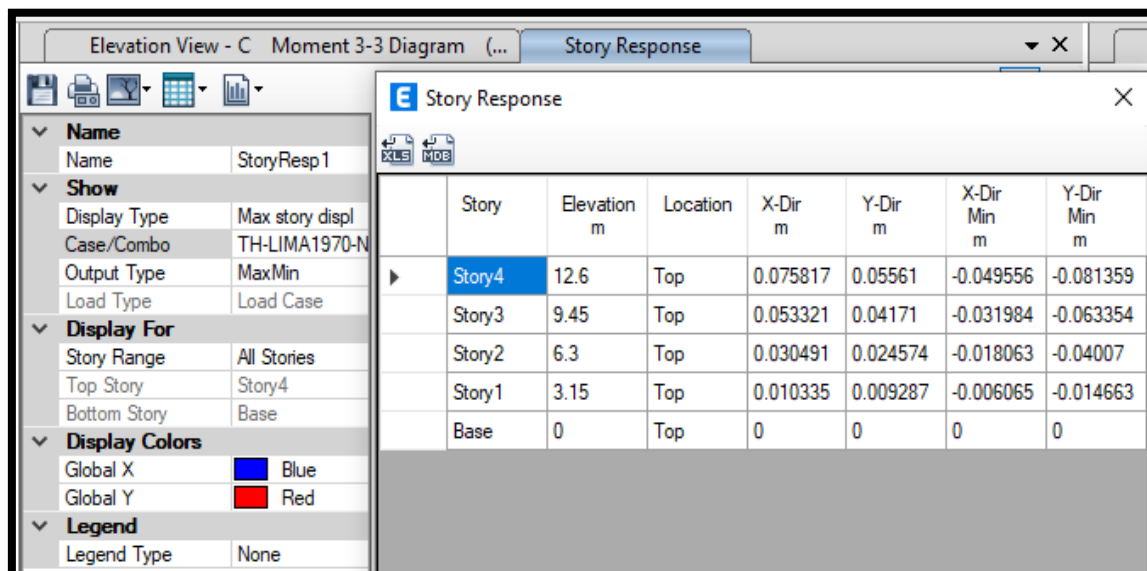
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.069597	0.058608	-0.057278	-0.044869
Story3	9.45	Top	0.049994	0.046269	-0.039354	-0.034882
Story2	6.3	Top	0.028645	0.030807	-0.022096	-0.022345
Story1	3.15	Top	0.009572	0.012579	-0.007097	-0.008383
Base	0	Top	0	0	0	0

- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia LIMA1970-EW)



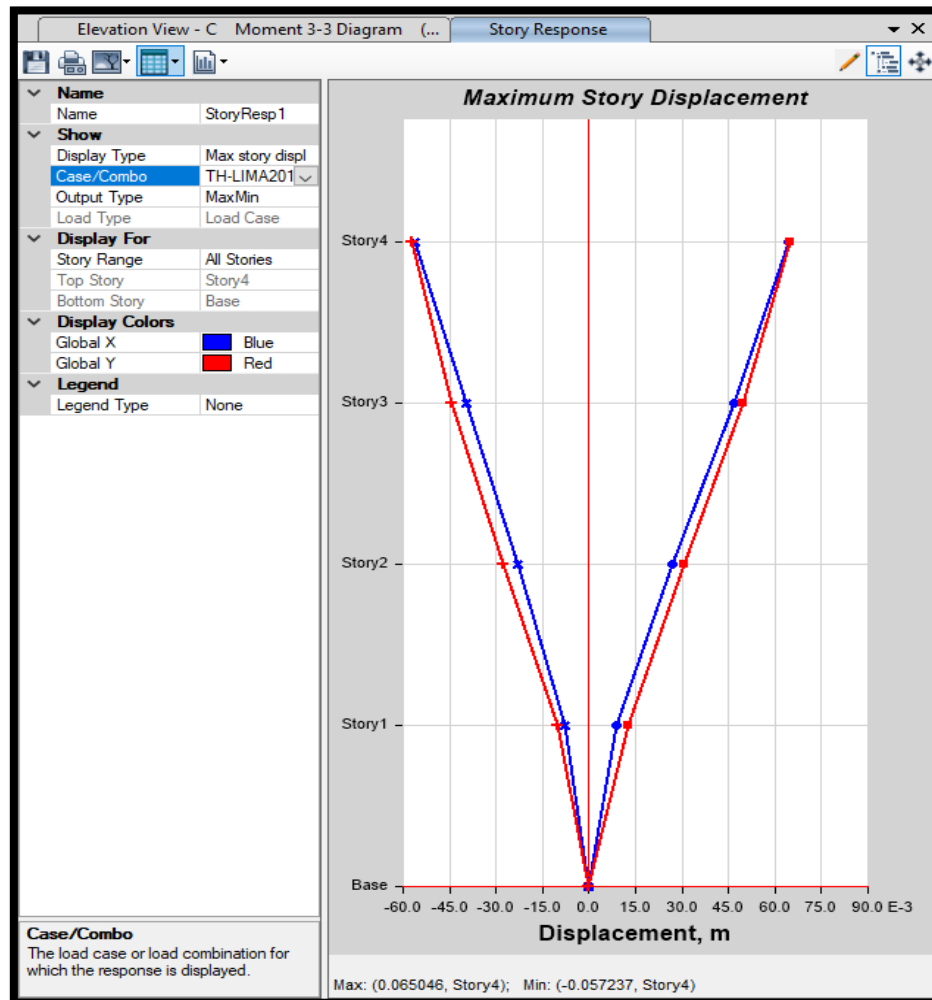
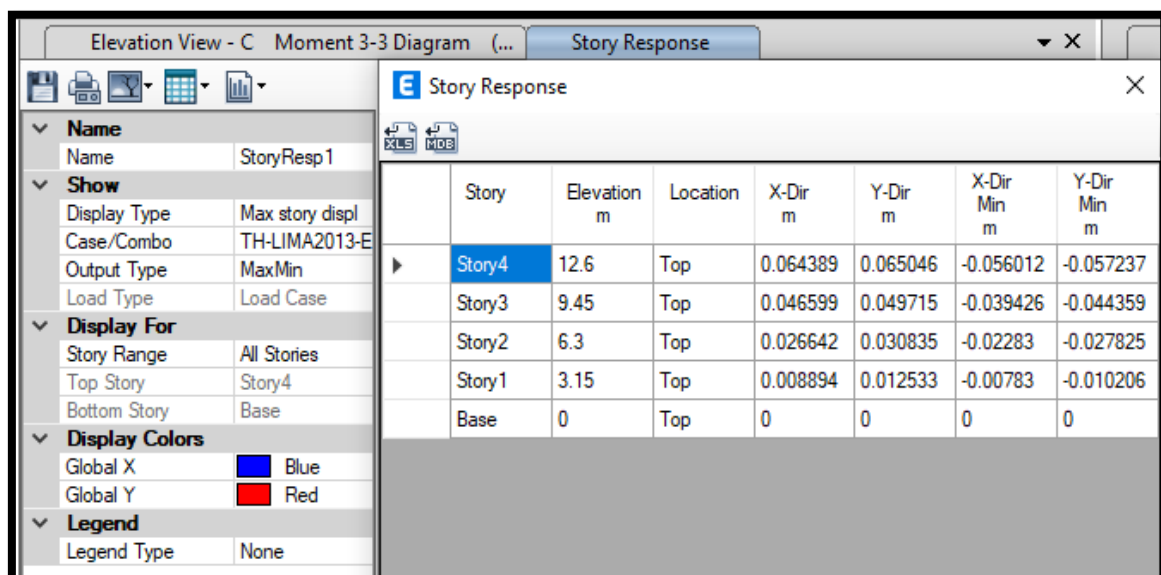
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.057123	0.088821	-0.068411	-0.034075
Story3	9.45	Top	0.0412	0.066506	-0.049124	-0.025231
Story2	6.3	Top	0.024001	0.044268	-0.029192	-0.015994
Story1	3.15	Top	0.008134	0.017417	-0.010228	-0.006128
Base	0	Top	0	0	0	0

- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia LIMA1970-NS)

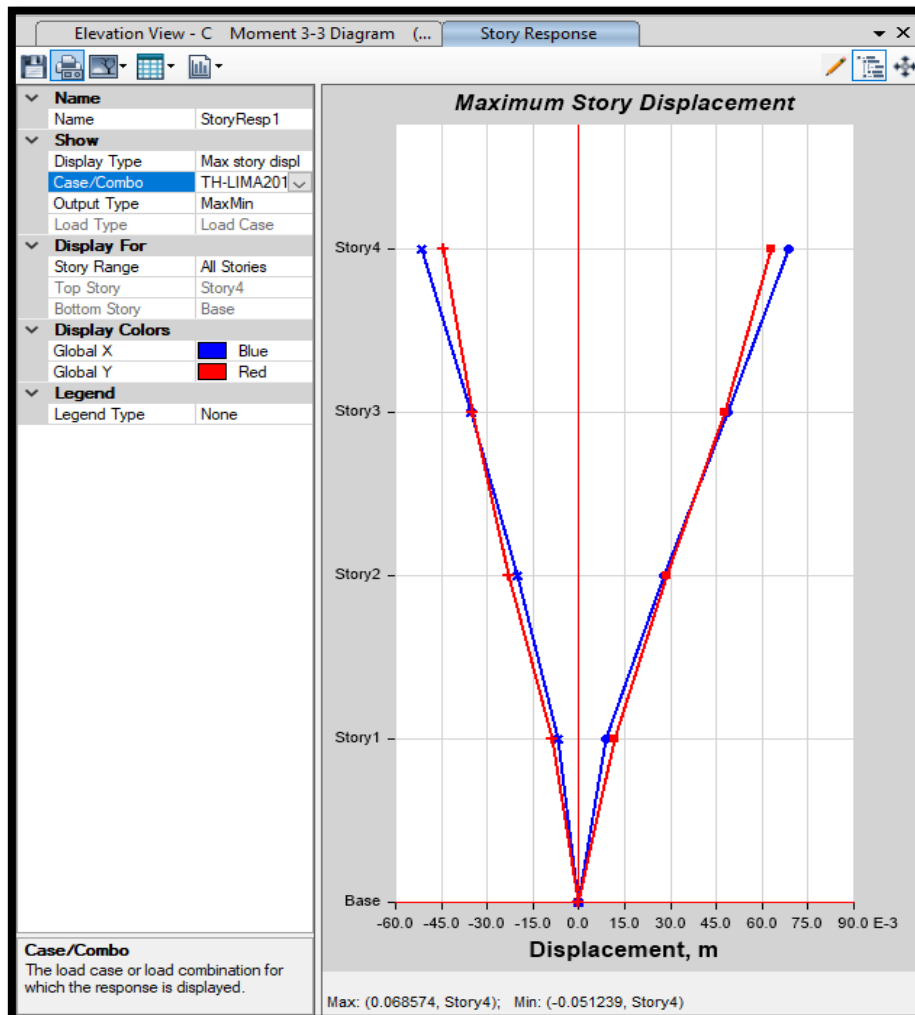
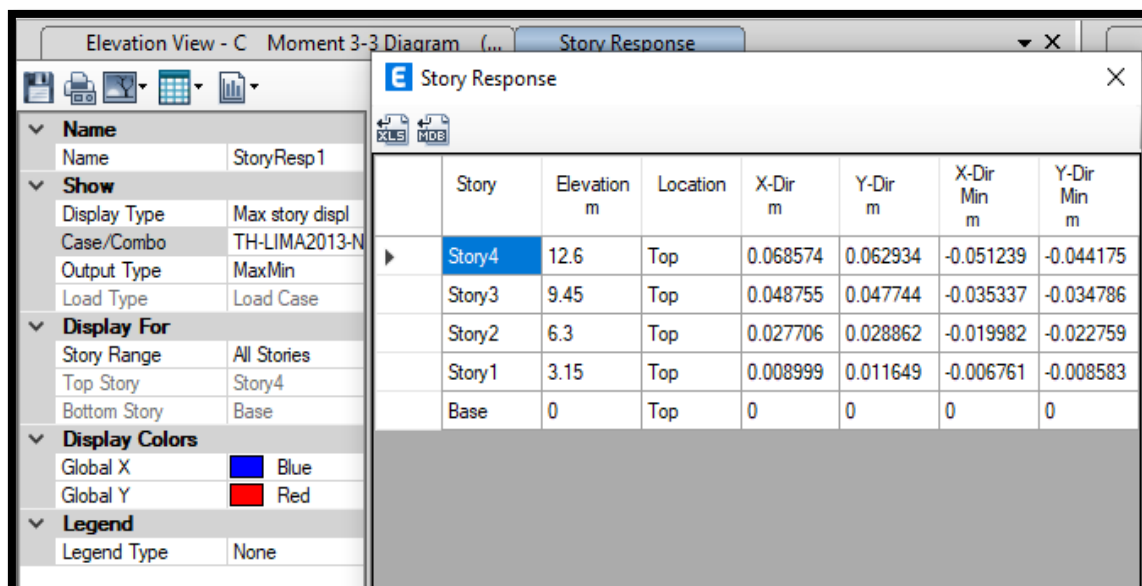
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.075817	0.05561	-0.049556	-0.081359
Story3	9.45	Top	0.053321	0.04171	-0.031984	-0.063354
Story2	6.3	Top	0.030491	0.024574	-0.018063	-0.04007
Story1	3.15	Top	0.010335	0.009287	-0.006065	-0.014663
Base	0	Top	0	0	0	0

- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia LIMA2013-EW)

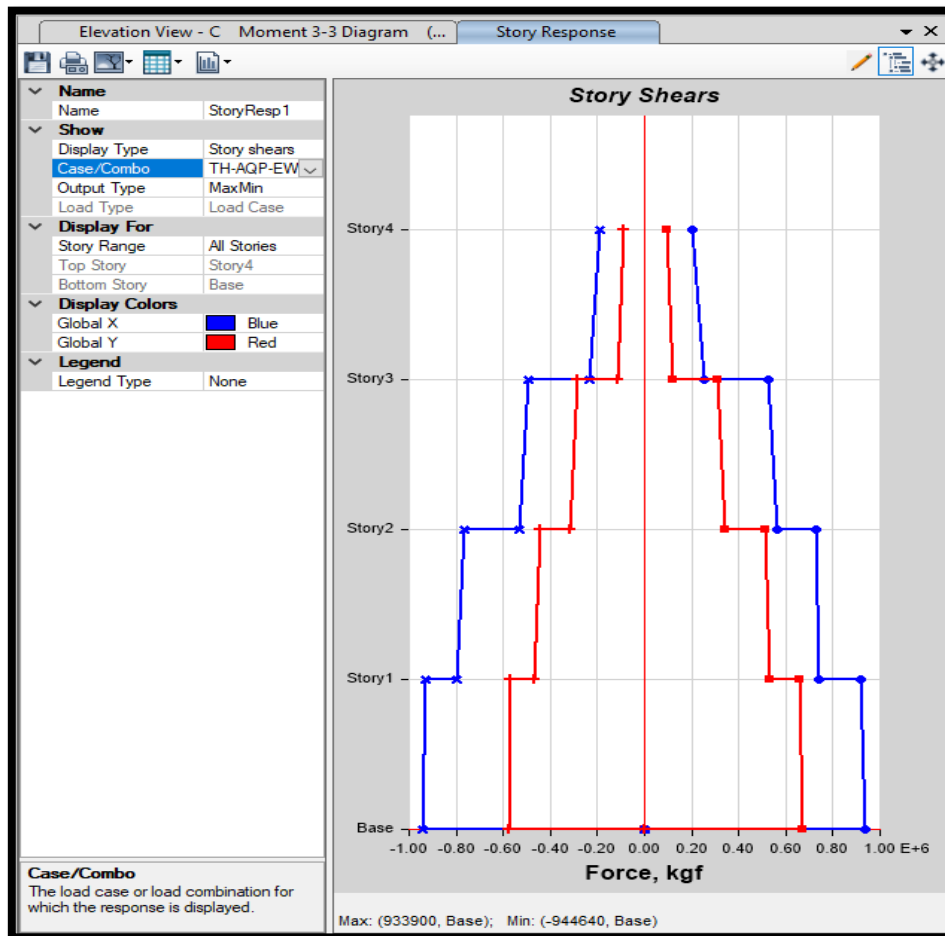
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.064389	0.065046	-0.056012	-0.057237
Story3	9.45	Top	0.046599	0.049715	-0.039426	-0.044359
Story2	6.3	Top	0.026642	0.030835	-0.02283	-0.027825
Story1	3.15	Top	0.008894	0.012533	-0.00783	-0.010206
Base	0	Top	0	0	0	0

- Máximo desplazamiento en metros (caso tiempo-historia LIMA2013-NS)

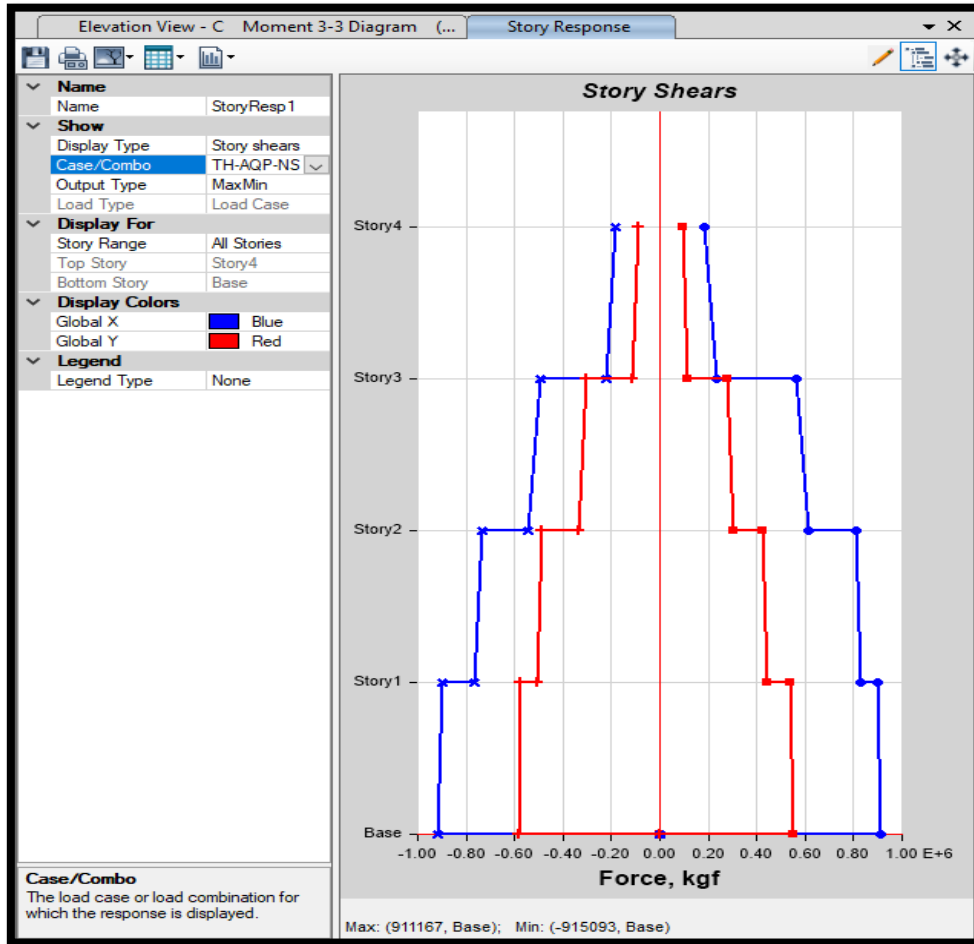
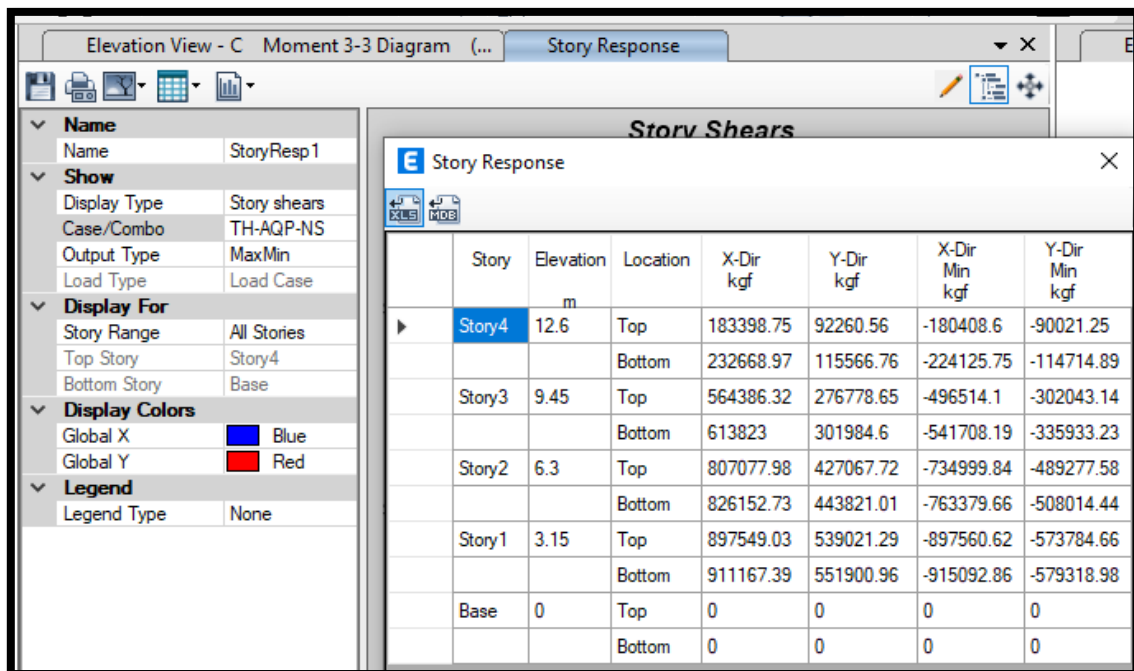
Story	Elevation m	Location	X-Dir m	Y-Dir m	X-Dir Min m	Y-Dir Min m
Story4	12.6	Top	0.068574	0.062934	-0.051239	-0.044175
Story3	9.45	Top	0.048755	0.047744	-0.035337	-0.034786
Story2	6.3	Top	0.027706	0.028862	-0.019982	-0.022759
Story1	3.15	Top	0.008999	0.011649	-0.006761	-0.008583
Base	0	Top	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH AQP-EW)



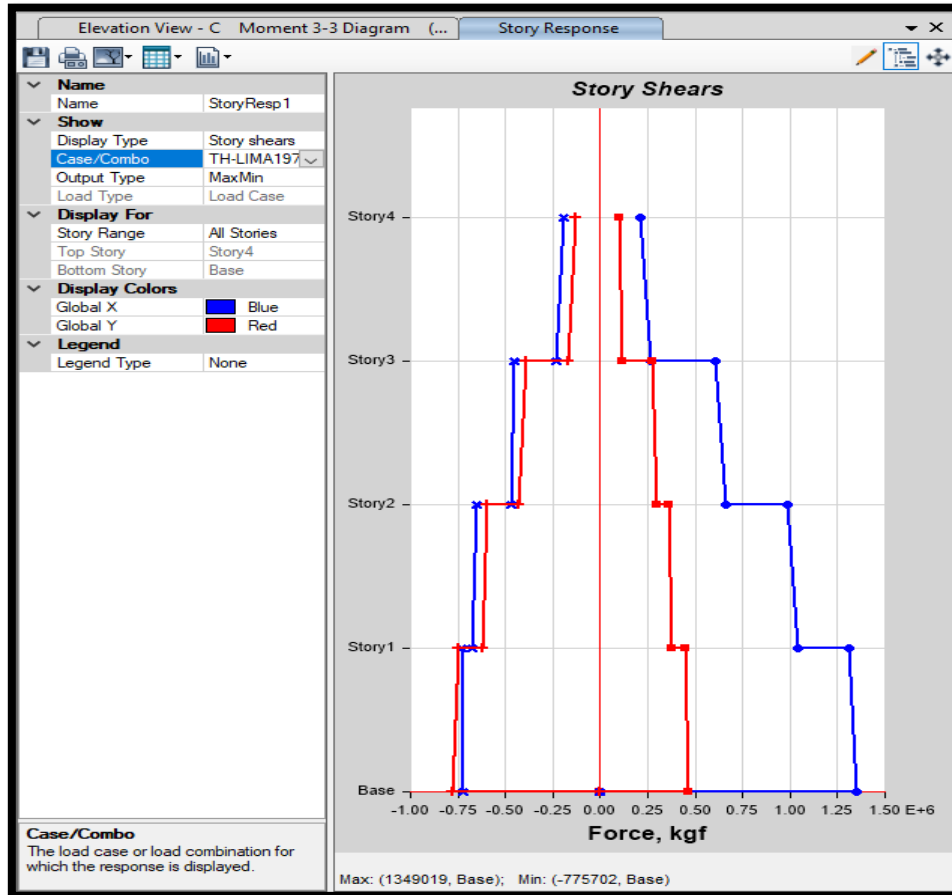
Story	Elevation	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	201838.18	94758.02	-189726.85	-86108.4
		Bottom	250939.8	121601.62	-235998.05	-111006.09
Story3	9.45	Top	522710.76	310201.82	-494758.45	-283037.14
		Bottom	560375.5	343617.33	-530332.57	-313627.81
Story2	6.3	Top	727775.64	509748.33	-766801.43	-444814.94
		Bottom	743126.05	534393.53	-798134.7	-467109.78
Story1	3.15	Top	915745.67	658232.42	-930361.88	-567245.21
		Bottom	933899.5	673496.93	-944640.24	-578154.48
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH AQP-NS)

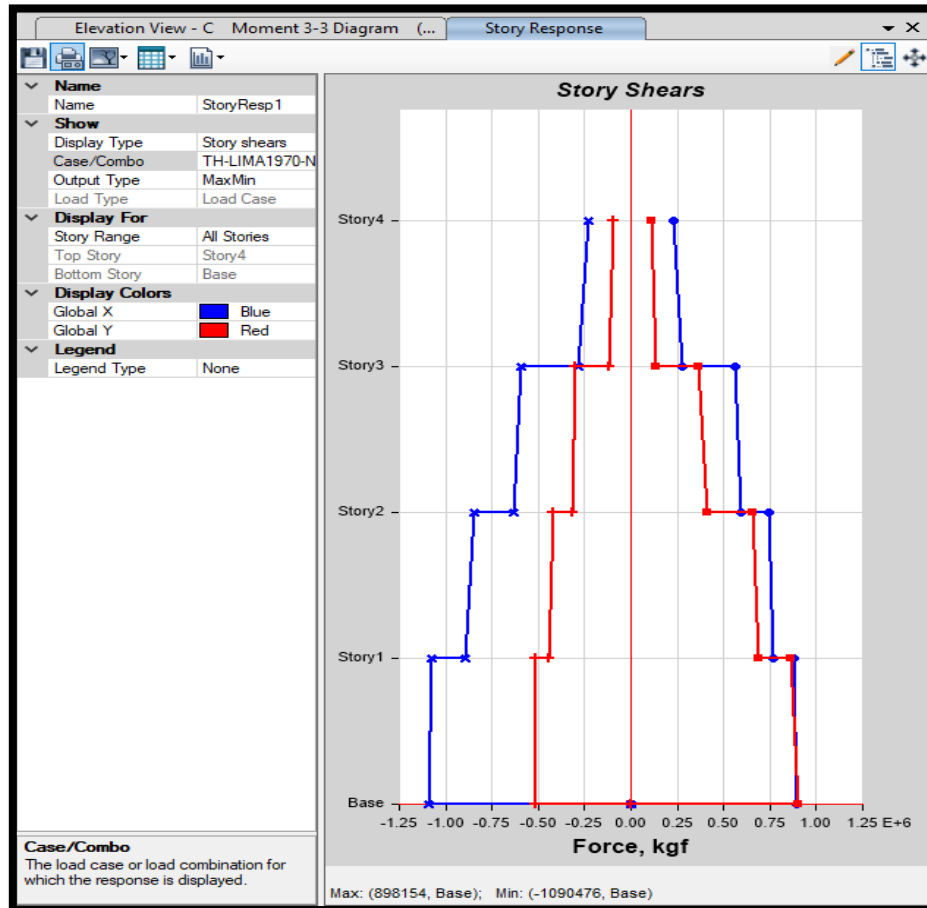
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	183398.75	92260.56	-180408.6	-90021.25
		Bottom	232668.97	115566.76	-224125.75	-114714.89
Story3	9.45	Top	564386.32	276778.65	-496514.1	-302043.14
		Bottom	613823	301984.6	-541708.19	-335933.23
Story2	6.3	Top	807077.98	427067.72	-734999.84	-489277.58
		Bottom	826152.73	443821.01	-763379.66	-508014.44
Story1	3.15	Top	897549.03	539021.29	-897560.62	-573784.66
		Bottom	911167.39	551900.96	-915092.86	-579318.98
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH LIMA1970-EW)



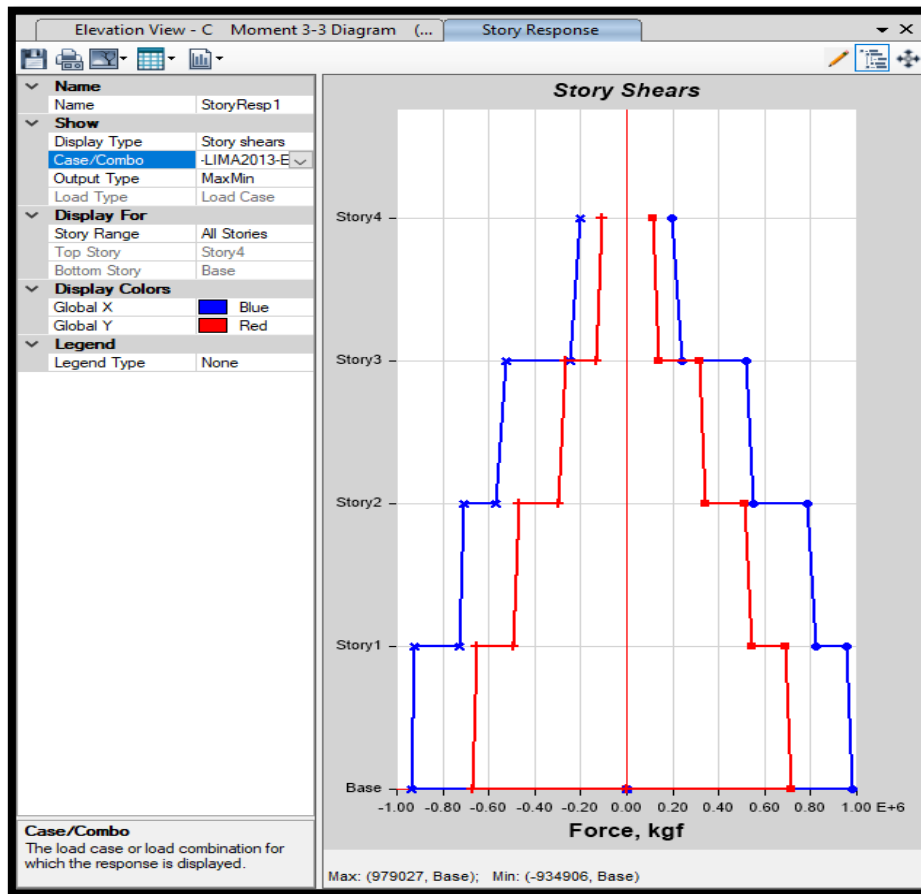
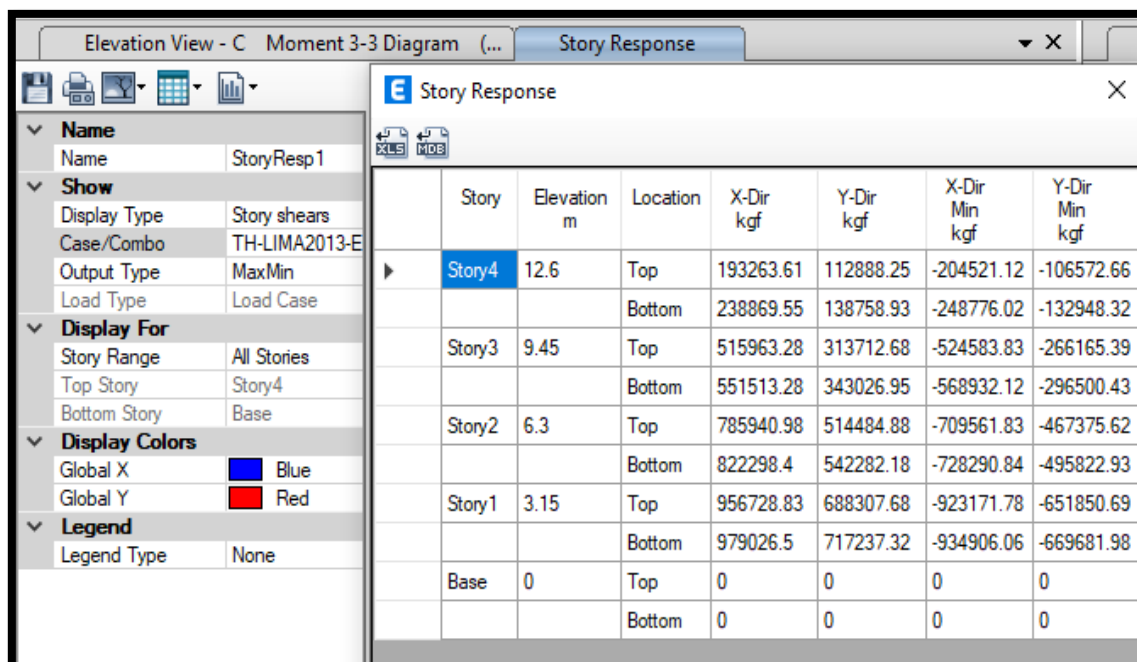
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	212866.99	96730.26	-192409.3	-132823....
		Bottom	265965.69	118668.82	-236059....	-167232....
Story3	9.45	Top	606062.67	276192.55	-451399....	-393729.2
		Bottom	660787.94	299688.03	-471158....	-432294....
Story2	6.3	Top	988201.51	361984.99	-648291.2	-595806....
		Bottom	1043675....	376452.42	-674936....	-621598....
Story1	3.15	Top	1312665....	445994.85	-727785....	-746268....
		Bottom	1349018....	462154.04	-719866.1	-775701.5
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH LIMA1970-NS)



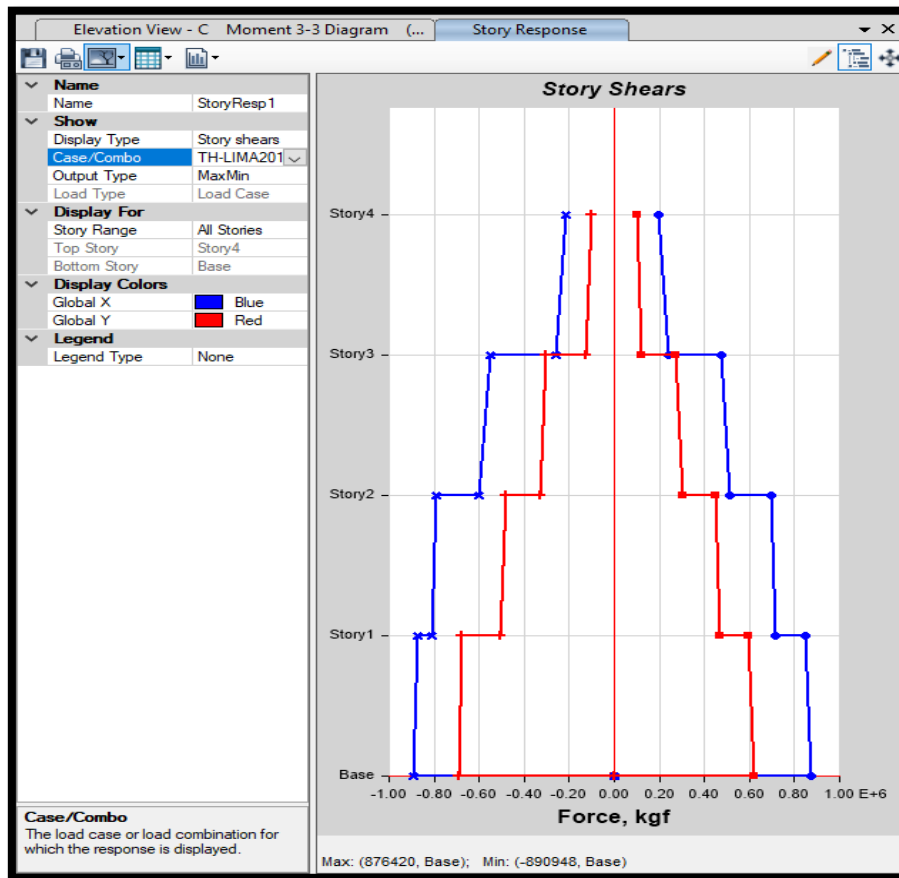
Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	227648.51	109856.14	-229925.55	-92886.94
		Bottom	280638.92	138159.42	-282688.73	-119625.49
Story3	9.45	Top	562275.14	363263.53	-591413.07	-296695.59
		Bottom	592626.68	413484.2	-634247.48	-316359.28
Story2	6.3	Top	741740.22	655444.02	-842695.06	-421141.05
		Bottom	765106.66	687335.45	-891785.89	-439510.18
Story1	3.15	Top	882014.69	861932.49	-1076848....	-511828.68
		Bottom	890693.49	898153.7	-1090475....	-513029.27
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH LIMA2013-EW)

Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	193263.61	112888.25	-204521.12	-106572.66
		Bottom	238869.55	138758.93	-248776.02	-132948.32
Story3	9.45	Top	515963.28	313712.68	-524583.83	-266165.39
		Bottom	551513.28	343026.95	-568932.12	-296500.43
Story2	6.3	Top	785940.98	514484.88	-709561.83	-467375.62
		Bottom	822298.4	542282.18	-728290.84	-495822.93
Story1	3.15	Top	956728.83	688307.68	-923171.78	-651850.69
		Bottom	979026.5	717237.32	-934906.06	-669681.98
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0

- Fuerza cortante por piso (Caso TH LIMA2013-NS)



Story	Elevation m	Location	X-Dir kgf	Y-Dir kgf	X-Dir Min kgf	Y-Dir Min kgf
Story4	12.6	Top	197517.99	98941.12	-212046.08	-103334.49
		Bottom	238300.29	122240.53	-260013.17	-128948.34
Story3	9.45	Top	473082.25	275160.21	-549118.22	-304145.32
		Bottom	512352.24	303067.85	-602235.49	-331347.46
Story2	6.3	Top	694780.61	449944.36	-792034.3	-478510.41
		Bottom	716072.55	468478.52	-806981.69	-505693.65
Story1	3.15	Top	849569.33	595332.79	-875511.12	-674143.51
		Bottom	876419.67	618287.29	-890947.69	-692638.72
Base	0	Top	0	0	0	0
		Bottom	0	0	0	0