

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**



TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN
SÍSMICA ENTRE AISLADORES SÍSMICOS Y DISIPADORES SLB
EN EL HOSPITAL HIPÓLITO UNANUE DE TACNA - 2023”**

PARA OPTAR:

TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

PRESENTADO POR:

Bach. RODRIGO ALEJANDRO CORAZI MAQUI

Bach. MARÍA ALEJANDRA FUENTES ESPINOZA

TACNA - PERÚ

2023

**UNIVERSIDAD PRIVADA DE TACNA
FACULTAD DE INGENIERIA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**

TESIS

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN
SÍSMICA ENTRE AISLADORES SÍSMICOS Y DISIPADORES SLB
EN EL HOSPITAL HIPÓLITO UNANUE DE TACNA - 2023”**

Tesis sustentada y aprobada el 11 de noviembre de 2023; estando el jurado calificador integrado por:

PRESIDENTA : Mtra. DINA MARLENE COTRADO FLORES

SECRETARIO : Mtro. CESAR MILTON GORDILLO MOLINA

VOCAL : Mtro. GIANCARLO JAVIER MACHACA FRÍAS

ASESOR : Mtro. EDGAR HIPÓLITO CHAPARRO QUISPE

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Nosotros, Rodrigo Alejandro Corazi Maqui y María Alejandra Fuentes Espinoza, egresados, de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada de Tacna, identificados con DNI 74278070 y 71874783 respectivamente, así como Edgar Hipólito Chaparro Quispe con DNI 40046616; declaramos que en calidad de autores y asesor que:

1. Somos los autores de la tesis titulado: *Análisis Comparativo De Sistemas De Protección Sísmica Entre Aisladores Sísmicos Y Disipadores SLB En El Hospital Hipólito Unanue De Tacna – 2023*, la cual presentamos para optar el Título Profesional de *Ingeniero Civil*.
2. La tesis es completamente original y no ha sido objeto de plagio, total ni parcialmente, habiéndose respetado rigurosamente las normas de citación y referencias para todas las fuentes consultadas.
3. Los datos presentados en los resultados son auténticos y no han sido objeto de manipulación, duplicación ni copia.

En virtud de lo expuesto, asumimos frente a *La Universidad* toda responsabilidad que pudiera derivarse de la autoría, originalidad y veracidad del contenido de la tesis, así como por los derechos asociados a la obra.

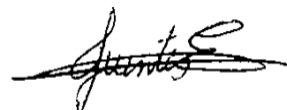
En consecuencia, nos comprometemos ante *La Universidad* y terceros a asumir cualquier perjuicio que pueda surgir como resultado del incumplimiento de lo aquí declarado, o que pudiera ser atribuido al contenido de la tesis, incluyendo cualquier obligación económica que debiera ser satisfecha a favor de terceros debido a acciones legales, reclamos o disputas resultantes del incumplimiento de esta declaración.

En caso de descubrirse fraude, piratería, plagio, falsificación o la existencia de una publicación previa de la obra, aceptamos todas las consecuencias y sanciones que puedan derivarse de nuestras acciones, acatando plenamente la normatividad vigente.

Tacna, 6 de octubre de 2023



Rodrigo Alejandro Corazi Maqui
DNI:74278070



María Alejandra Fuentes Espinoza
DNI:71874783



Edgar Hipólito Chaparro Quispe
DNI: 40046616

DEDICATORIA

A mis padres, por hacer de mi la persona que soy, muchos de mis logros se los debo a ustedes, entre los que se incluye este. Me formaron con reglas y valores, me motivaron constantemente para alcanzar mis anhelos brindándome su tierna bondad.

A mi hermana, la mejor compañía y apoyo incondicional que tengo, ha sido mi mano derecha, motivándome con palabras de aliento y perseverancia, siendo mi mayor ejemplo a imitar, quien me ha guiado en este complicado proceso y por estar presente en cada momento,

A mis abuelos, fueron las personas que, después de mis padres, más se preocupaban por mí. Sus canas representan de sabiduría y experiencia. Me enseñaron muchas cosas vitales para la vida y me encaminaron por el buen sendero.

Rodrigo Alejandro Corazi Maqui
María Alejandra Fuentes Espinoza

AGRADECIMIENTO

Gracias a mi familia, por apoyarme en cada decisión que tomo, que fueron mis mayores promotores en este proceso, mostrándome esfuerzo y amor invaluable, su ayuda fue fundamental para la culminación de esta tesis, no solo por estar presente aportando buenas cosas a mi vida, sino por el gran soporte que siempre me han demostrado.

Gracias a nuestro docente y asesor de tesis, el ingeniero Edgar Chaparro, por haber compartido sus conocimientos a lo largo de la preparación de esta investigación, quien nos ha guiado con paciencia y rectitud, en base a su experiencia y sabiduría ha sabido direccionar nuestro objetivo con responsabilidad.

Gracias a la Universidad Privada de Tacna, por haber permitido formarnos profesionalmente, gracias a todas las personas que fueron partícipes de este proceso, que fueron los responsables de realizar su pequeño aporte, que el día de hoy se ve reflejado en la culminación de esta etapa.

Rodrigo Alejandro Corazi Maqui
María Alejandra Fuentes Espinoza

ÍNDICE GENERAL

PÁGINA DE JURADOS	ii
DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO	v
ÍNDICE DE TABLAS	ix
ÍNDICE DE FIGURAS	x
RESUMEN	xvii
ABSTRACT	xviii
INTRODUCCIÓN	1
CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	3
1.1. Descripción del problema.....	4
1.2. Formulación del Problema	5
1.2.1. Problema General	5
1.2.2. Problemas Específicos.....	5
1.3. Justificación e importancia	5
1.4. Objetivos	9
1.4.1. Objetivo General	9
1.4.2. Objetivos Específicos	9
1.5. Hipótesis.....	10
1.5.1. Hipótesis General.....	10
1.5.2. Hipótesis Especificas	10
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	11
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	11
2.1.1. Antecedentes Internacionales	11
2.1.2. Antecedentes Nacionales.....	12
2.1.3. Antecedentes Locales	13
2.2. Bases Teóricas.....	14
2.2.1. Sistemas Modernos de Protección Sísmica.....	14
2.2.2. Tipos de disipadores metálicos de energía	28
2.2.3. Disipadores Metálicos SLB	36
2.2.4. Balance energético.....	64
2.2.5. Diseño por desempeño según ASCE/SEI 41/17	66
2.3. Definición de Términos.....	68

2.3.1.	Disipador de energía	68
2.3.2.	Aislador Sísmico.....	68
2.3.3.	Ductilidad.....	68
2.3.4.	Rigidez	68
2.3.5.	Acelerogramas	69
2.3.6.	Amortiguamiento	69
CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO		70
3.1.	Diseño de la Investigación	70
3.2.	Acciones y Actividades.....	70
3.3.	Materiales e Instrumentos	71
3.4.	Población y muestra de estudio	73
3.4.1.	Población.....	73
3.4.2.	Muestra	77
3.5.	Operacionalización de variables	78
3.6.	Técnicas de Procesamiento y Análisis Estadístico	80
3.6.1.	Recopilación de información	80
3.6.2.	Selección de registros	95
3.6.3.	Corrección de línea base	100
3.6.4.	Escalamiento de registro.....	104
3.6.5.	Modelamiento matemático lineal.....	112
3.6.6.	Análisis sísmico lineal sin disipadores Shear Link Bozzo	121
3.6.7.	Modelamiento matemático lineal con disipadores Shear Link Bozzo	128
CAPÍTULO IV: RESULTADOS		136
4.1.	Desplazamientos absolutos, Cortante basal y Desplazamiento relativos inelásticos mediante análisis no lineal tiempo historia.....	136
4.2.	Respuesta de Cortante basal en el tiempo	141
4.3.	Desempeño sísmico mediante aplicación de coeficientes ASCE/SE 41-17	144
4.4.	Balance Energético mediante análisis no lineal tiempo historia.....	163
4.5.	Resultado de costo directo de sistema disipadores Shear Link Bozzo	167
CAPÍTULO V: DISCUSIÓN.....		170
5.1.	Discusión del estado límite de daño estructural al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna.....	170
5.2.	Discusión del balance energético entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna	

5.3. Discusión de la diferencia de costo de implementación de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el hospital Hipólito Unanue de Tacna 173

CONCLUSIONES	174
RECOMENDACIONES.....	175
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	176
ANEXOS.....	179

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Proyectos ejecutados a nivel mundial utilizando aisladores sísmicos	6
Tabla 2. Diferencia económica para el Uso de Dispositivos de Control Pasivo de Respuesta Sísmica dentro de las Prácticas de Diseño y Construcción Colombianas Actuales	8
Tabla 3. Clasificación del Sistema de Protección Sísmica	14
Tabla 4. Clasificación de las técnicas de control de respuesta sísmica	15
Tabla 5. Aspectos Deseables para el Uso de Dispositivos de Control Pasivo de Respuesta Sísmica dentro de las Prácticas de Diseño y Construcción Colombianas Actuales	24
Tabla 6. Proyectos con Disipadores Tipo Shear Link Bozzo SLB	62
Tabla 7. La tabla muestra los 4 niveles de desempeño según ASCE/SEI 41-17	66
Tabla 8. Listado de materiales y equipos que podría ser fuente de variación de las variables a ser analizadas en la investigación	71
Tabla 9. Edificaciones en el Perú con aislamiento de base	73
Tabla 10. Edificaciones en el Perú con disipadores SLB.....	76
Tabla 11. Determinación de las variables que se analizarán en la investigación en base a los objetivos, con sus dimensiones e indicadores	78
Tabla 12. Dimensiones de columnas y resistencia a la compresión en función a sus niveles.....	94
Tabla 13. Determinación de las variables que se analizarán en la investigación en base a los objetivos, con sus dimensiones e indicadores	95
Tabla 14. Carga muerta permanente en la edificación en piso típico	113
Tabla 15. Carga muerta permanente en la edificación en azotea	113
Tabla 16. Carga muerta permanente en la edificación en azotea	117
Tabla 17. Respuesta de derivas Inelásticas por análisis no lineal tiempo historia	137
Tabla 18. Resultado de desempeño con disipadores Shear Link Bozzo.....	144
Tabla 19. Respuesta de derivas Inelásticas por análisis no lineal tiempo historia	163
Tabla 20. Resultado de cantidad de arriostres Chevron y muros desacoplados.....	167
Tabla 21. Resultados de materiales para la instalación de sistemas de disipadores Shear Link Bozzo	168
Tabla 22. Resultado de costo total de sistema de protección sísmica	169
Tabla 23. Resultado de costo total de sistema de protección con aislamiento de base	169

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Estado Situacional de los Aisladores del Hospital presentado por la Contraloría	4
Figura 2. Esquema mecanismo de operación de sistema activo	17
Figura 3. Sistema de Estructura con Sistema de Control Activo	17
Figura 4. Estructura con Sistema de Control Híbrido.....	18
Figura 5. Estructura con Sistema de Control Semi-Activo	19
Figura 6. Estructura con Sistema de Control Semi-Activo	20
Figura 7. Clasificación de los sistemas de control pasivos	22
Figura 8. Tipos de Disipación Pasiva de Energía	23
Figura 9. Ciclo Carga Deformación Disipador Activado por Desplazamiento: a) Metálico, b) Friccional y c) Autocentrante	25
Figura 10. Disipadores Histeréticos	27
Figura 11. Sistema ADAS (a) Dimensiones, (b) Conexión tipo planchas en paralelo ..	28
Figura 12. Ubicación del Sistema ADAS en Muros de Hormigón	29
Figura 13. Respuesta Histerética estable del Sistema ADAS.....	29
Figura 14. Dispositivo TADAS (a) Detalle de Conexión, (b) Comportamiento Histerético	30
Figura 15. Disipador tipo Riostra Metálica con Restricción al Pandeo	31
Figura 16. Concepto de Estructura Tolerante a Daños.....	32
Figura 17. (a) Dimensiones y (b) Respuesta Histerética de Disipador Panal de Abeja	33
Figura 18. Disipador Shear-Link de Aluminio.....	34
Figura 19. Geometría del Shear Link de Dusicka	35
Figura 20. Prototipo Inicial de los Disipadores SLB	37
Figura 21. Dispositivo L30_2 ensayado en Laboratorio ISMES.....	38
Figura 22. Tercera Generación del Disipador Sísmico SLB y Conexión tipo Peine	39
Figura 23. Doble modo de Disipación de Energía en los Dispositivos SLB.....	41
Figura 24. Modelo Numérico de Dispositivo en ANSYS	42
Figura 25. Curva Monotónica de Desplazamiento (cm) vs Fuerza (kN) del dispositivo SLB	43
Figura 26. Geometría y Características Generales de los Disipadores de Energía SLB	44
Figura 27. Elección de la opción “None” en Load Patterns.....	45

Figura 28. Selección de tablas para su exportación a Excel	46
Figura 29. Relleno manual de las columnas A, B y C correspondiente a la pestaña Hoja 1	47
Figura 30. Primera iteración y verificación de la relación demanda-capacidad (D/C) .	48
Figura 31. Resultados finales después de t iteraciones.....	49
Figura 32. Ubicación de disipadores SLB	54
Figura 33. Instalación de dispositivo SLB para Nueva Construcción de Torre Ixtapa .	55
Figura 34. Instalación de dispositivo SLB para la Rehabilitación Sísmica del Hotel Celbo Dorado tras el Terremoto de Octubre del 2016 - Ecuador.....	56
Figura 35. Torre OAK 58 - México	57
Figura 36. Marina Vallarta - México	58
Figura 37. Torre Paradox - México	59
Figura 38. Urbania - México.....	60
Figura 39. Península Ixtapa - México.....	61
Figura 40. Balance de Energía	65
Figura 41. Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales- Tabla10-8 ASCE/SEI 41-17	67
Figura 42. Representación gráfica de sistemas protección sísmica entre aisladores y disipadores en el Perú	77
Figura 43. Representación gráfica de sistemas protección en edificaciones de Categoría A entre aisladores y disipadores en el Perú.....	78
Figura 44. Plano de aligerada planta de piso técnico N.S.L -2.90m	81
Figura 45. Plano de aligerado primer techo N.S.L +1.60	81
Figura 46. Plano de aligerado segundo techo N.S.L +6.10	82
Figura 47. Plano de aligerado tercer techo N.S.L +10.60	82
Figura 48. Plano de aligerado cuarto techo N.S.L +15.10	83
Figura 49. Plano de aligerado quinto techo N.S.L +19.60	83
Figura 50. Plano de aligerado sexta planta N.S.L +24.10	84
Figura 51. Plano de aligerado séptimo techo N.S.L +28.60	84
Figura 52. Niveles de del establecimiento	85
Figura 53. Plano de distribución de sótano Nivel NPT-2.90	86
Figura 54. Plano de distribución del Primer Nivel NPT+1.60	86
Figura 55. Plano de distribución del segundo Nivel NPT+6.10.....	87
Figura 56. Plano de distribución del Tercer nivel NPT+10.60.....	87
Figura 57. Plano de distribución del cuarto Nivel NPT+15.10	88
Figura 58. Plano de distribución del quinto Nivel NPT+19.10.....	88
Figura 59. Plano de distribución del sexto Nivel NPT+24.10	89

Figura 60. Plano de distribución de la azotea Nivel NPT+28.60.....	89
Figura 61. Detalle de armado de columna C-01 y C-02.....	90
Figura 62. Detalle de armado de columna C-03 y C-04.....	90
Figura 63. Detalle de armado de columna C-05 y C-06.....	91
Figura 64. Detalle de armado de columna C-07 y C-08.....	91
Figura 65. Detalle de armado de columna C-09 y C-10.....	92
Figura 66. Detalle de armado de columna C-11 y C-12.....	92
Figura 67. Detalle de armado de columna C-13 y C-14.....	93
Figura 68. Secciones, cortes y detallado de vigas.....	93
Figura 69. Casetas de registro de aceleraciones en el Perú	96
Figura 70. Archivos de texto de cada sismo	96
Figura 71. Sismo de Tarapacá dirección Este a Oeste.....	97
Figura 72. Sismo de Tarapacá dirección Norte Sur	97
Figura 73. Sismo de Tacna dirección Este a Oeste.....	98
Figura 74. Sismo de Tacna dirección Norte a Sur	98
Figura 75. Sismo de Iquique dirección Este a Oeste	99
Figura 76. Sismo de Iquique dirección Norte Sur	99
Figura 77. Sismo de Tarapacá del 2005 dirección Este a Oeste.....	100
Figura 78. Sismo de Tarapacá del 2005 dirección Norte a Sur	100
Figura 79. Sismo de Tacna del 2010 dirección Este a Oeste	101
Figura 80. Sismo de Tacna del 2010 dirección Norte a Sur	101
Figura 81. Sismo de Iquique del 2014 dirección Este a Oeste	102
Figura 82. Sismo de Iquique del 2014 dirección Norte a Sur.....	102
Figura 83. Sismo de Tarapacá del 2005	103
Figura 84. Sismo de Tacna del 2005	103
Figura 85. Sismo de Iquique del 2014	104
Figura 86. Espectro de Normativo E030 R=1	105
Figura 87. Amplificación de registros	105
Figura 88. Sismo Amplificado de Tarapacá dirección Este a Oeste.....	106
Figura 89. Sismo Amplificado de Tarapacá dirección Norte a Sur	106
Figura 90. Sismo Amplificado de Tacna dirección Este a Oeste	107
Figura 91. Sismo Amplificado de Tacna dirección Norte a Sur.....	107
Figura 92. Sismo Amplificado de Iquique dirección Este a Oeste	108
Figura 93. Sismo Amplificado de Iquique dirección Norte a Sur.....	108
Figura 94. Energía de sismo Amplificado de Tarapacá dirección Este a Oeste	109
Figura 95. Energía de sismo Amplificado de Tarapacá dirección Norte a Sur	109
Figura 96. Energía de sismo Amplificado de Tacna dirección Este a Oeste	110

Figura 97. Energía de sismo Amplificado de Tacna dirección Norte a Sur.....	110
Figura 98. Energía de sismo Amplificado de Iquique dirección Este a Oeste	111
Figura 99. Energía de sismo Amplificado de Iquique dirección Norte a Sur.....	111
Figura 100. Carga muerta primer techo	114
Figura 101. Carga muerta segundo techo	114
Figura 102. Carga muerta tercer techo	115
Figura 103. Carga muerta cuarto techo	115
Figura 104. Carga muerta quinto techo	116
Figura 105. Carga muerta sexto techo.....	116
Figura 106. Carga muerta séptimo techo.....	117
Figura 107. Carga viva primer techo.....	118
Figura 108. Carga viva segundo techo	118
Figura 109. Carga viva tercer techo.....	119
Figura 110. Carga viva cuarto techo	119
Figura 111. Carga viva quinto techo	120
Figura 112. Carga viva sexto techo	120
Figura 113. Carga viva séptimo techo	121
Figura 114. Modelamiento tridimensional de la edificación	122
Figura 115. Dimensiones en planta primer techo	123
Figura 116. Dimensiones en planta segundo techo.....	123
Figura 117. Dimensiones en planta tercer techo	124
Figura 118. Dimensiones en planta cuarto techo.....	124
Figura 119. Dimensiones en planta quinto techo.....	125
Figura 120. Dimensiones en planta sexto techo	125
Figura 121. Dimensiones en planta séptimo techo	126
Figura 122. Espectro de demanda.....	128
Figura 123. Vista isométrica de modelos matemáticos con disipadores Shear Link Bozzo	129
Figura 124. Vista en elevación de pórticos Eje A y Eje B con disipadores Shear Link Bozzo	130
Figura 125. Vista en elevación de pórticos Eje C y Eje C” con disipadores Shear Link Bozzo	130
Figura 126. Vista en elevación de pórticos Eje D y Eje E con disipadores Shear Link Bozzo	131
Figura 127. Vista en elevación de pórticos Eje F y Eje G con disipadores Shear Link Bozzo	131

Figura 128. Vista en elevación de pórticos Eje J y Eje K con disipadores Shear Link Bozzo	132
Figura 129. Vista en elevación de pórticos Eje M y Eje N con disipadores Shear Link Bozzo	132
Figura 130. Vista en elevación de pórticos Eje O y Eje P con disipadores Shear Link Bozzo	133
Figura 131. Vista en elevación de pórticos Eje 7 con disipadores Shear Link Bozzo	133
Figura 132. Vista en elevación de pórticos Eje 6 con disipadores Shear Link Bozzo	134
Figura 133. Vista en elevación de pórticos Eje 6 con disipadores Shear Link Bozzo	134
Figura 134. Vista en elevación de pórticos Eje 5 con disipadores Shear Link Bozzo	135
Figura 135. Vista en elevación de pórticos Eje 4 con disipadores Shear Link Bozzo	135
Figura 136. Derivas Inelásticas por análisis tiempo historia	137
Figura 137. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección X-X.....	138
Figura 138. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección Y-Y.....	138
Figura 139. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección X-X.....	139
Figura 140. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección Y-Y.....	139
Figura 141. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección X-X.....	140
Figura 142. Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección Y-Y.....	140
Figura 143. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección X-X	141
Figura 144. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección X-X	141
Figura 145. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección X-X.....	142
Figura 146. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección Y-Y	142

Figura 147. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección X-X.....	143
Figura 148. Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección Y-Y.....	143
Figura 149. Respuesta de fibra plástica en columna C72 para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur.....	145
Figura 150. Cortante y Momento actuante en columna C72 para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur.....	145
Figura 151. Resultado de desempeño para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur.....	146
Figura 152. Respuesta de fibra plástica en columna C41 para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste.....	148
Figura 153. Cortante y Momento actuante en columna C41 para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste.....	148
Figura 154. Resultado de desempeño para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste....	149
Figura 155. Respuesta de fibra plástica en columna C52 para Sismo Iquique 2014 Este a Oeste.....	151
Figura 156. Cortante y Momento actuante en columna C52 para Sismo Iquique 2005 Este a Oeste.....	151
Figura 157. Resultado de desempeño para Sismo Iquique 2014 Este a Oeste.....	152
Figura 158. Respuesta de fibra plástica en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur.....	154
Figura 159. Cortante y Momento actuante en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur.....	154
Figura 160. Resultado de desempeño para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur.....	155
Figura 161. Respuesta de fibra plástica en columna C47 para Sismo Tacna 2010 Norte a Sur.....	157
Figura 162. Cortante y Momento actuante en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur.....	157
Figura 163. Resultado de desempeño para Sismo Tacna 2010 Norte a Sur.....	158
Figura 164. Respuesta de fibra plástica en columna C121 para Sismo Tacna 2010 Este a Oeste.....	160
Figura 165. Cortante y Momento actuante en columna C121 para Sismo Iquique 2010 Este a Oeste.....	160
Figura 166. Resultado de desempeño para Sismo Tacna 2010 Este a Oeste.....	161
Figura 167. Porcentaje de energía absorbida por los disipadores Shear Link Bozzo.....	163

Figura 168. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tarapacá 2005 EW	164
Figura 169. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tarapacá 2005 NS	164
Figura 170. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tacna 2010 EW	165
Figura 171. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tacna 2010 NS	165
Figura 172. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Iquique 2014 EW	166
Figura 173. Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Iquique 2014 EW	166
Figura 174. Análisis comparativo de derivas Inelásticas entre el sistema de aislamiento y el sistema de disipadores Shear Link Bozzo.....	171
Figura 175. Rotaciones plásticas para columnas críticas exigidas.....	171
Figura 176. Discusión del balance energético con disipadores SLB y HBR.....	172
Figura 177. Diferencia de precio entre sistemas de protección sísmica.....	173

RESUMEN

En el presente trabajo de investigación se desarrollará, un análisis comparativo enmarcando las ventajas y desventajas del uso de disipadores sísmicos Shear Link Bozzo como sistema de protección sísmica en reemplazo del sistema de aislamiento de base de alto amortiguamiento, existente en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna; de esta manera, con la finalidad de determinar el sistema de protección sísmica conveniente que se debió instalar en el hospital, se expandirán los horizontes de investigación nacional al utilizarse un sistema de tecnología peruana, cuestionando los lineamientos de la normativa vigente E.030 y E.031 los mismos con fines ajenos al desarrollo del arte técnico-estructural. Para el análisis comparativo se tomó como objeto el Hospital Hipólito Unanue al ser una edificación Esencial A1 con sistema de protección de aislamiento de base concebido bajo los lineamientos establecidos de las normativas técnicas peruanas vigentes competentes al estudio E030 y E031. Siendo el proyecto punto de gran polémica a nivel local, nacional e internacional debido a fallas de estándares de calidad en su concepción los cuales serán redactados y citados en el presente trabajo de investigación, es de conocimiento público y cabe recalcar que el proyecto se encuentra aún inconcluso. El análisis comparativo será validado calculando la respuesta sísmica de la edificación con disipadores Shear Link Bozzo bajo los lineamientos y recomendaciones de las normativas internacionales ASCE 41-17, FEMA P58, ASCE 7-20 y comités como vision2000. Después de realizar un modelado y análisis lineal, se realizará un tratamiento de acelerogramas seleccionando 11 pares de registros para llegar a un análisis no lineal Tiempo - Historia bajo las directrices de las normativas internacionales, los resultados del modelo con dispositivos Shear Link Bozzo serán comparados con los cálculos y resultados del expediente primigenio del Hospital Hipólito Unanue con aislamiento de base, mencionados resultados de objeto de análisis y comparativa de control sismorresistente serán: formación de rotulas plásticas, derivas de entrepiso, balance energético, desempeño de la edificación, filosofía de resiliencia sísmica o funcionalidad continua, costos y tiempo de instalación. En última instancia, con la metodología empleada y aplicación de diferentes recursos los cuales nos permitirán conocer cual debió ser entre ambos sistemas de protección sísmica, el sistema conveniente que se debió instalar en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.

Palabras clave: sistemas de protección sísmica; resiliencia sísmica; desempeño sísmico y balance energético.

ABSTRACT

In the present research work, a comparative analysis will be developed, framing the advantages and disadvantages of the use of Shear Link Bozzo seismic dissipators as a seismic protection system to replace the high damping base isolation system, existing in the Hipólito Unanue Hospital in Tacna; in this way, with the purpose of determining the convenient seismic protection system that should be installed in the hospital, the horizons of national research will be expanded by using a Peruvian technology system, questioning the guidelines of the current regulations E.030 and E.031, the same for purposes other than the development of the technical-structural art. and E.031 for purposes other than the development of the technical-structural art. For the comparative analysis, the Hipólito Unanue Hospital was taken as the object, since it is an Essential A1 building with a basic isolation protection system designed under the guidelines established by the Peruvian technical regulations in force for the E030 and E031 study, since the project is a point of great controversy at local, national and international level due to quality standards failures in its conception, which will be written and cited in this research work. The comparative analysis will be validated by calculating the seismic response of the building with Shear Link Bozzo dissipators under the guidelines and recommendations of the international standards ASCE 41-17, FEMA P58, ASCE 7-20 and committees such as vision2000. After performing a modeling and linear analysis, a treatment of accelerograms will be performed selecting 11 pairs of records to reach a nonlinear analysis Time - History under the guidelines of international standards, the results of the model with Shear Link Bozzo devices will be compared with the calculations and results of the original file of the Hipolito Unanue Hospital with base isolation, mentioned results of analysis object and comparative of seismic-resistant control will be : formation of plastic patellae, interstory drifts, energy balance, building performance, seismic resilience philosophy or continuous functionality, costs and installation time. Ultimately, with the methodology used and the application of different resources, which will allow us to know which of the two seismic protection systems should have been installed in the Hipólito Unanue Hospital in Tacna.

Keywords: seismic protection systems; seismic resilience; seismic performance and energy balance.

INTRODUCCIÓN

El moderno hospital Hipólito Unanue de Tacna cuenta con un sistema de protección sísmica de aisladores, siendo de conocimiento público el indecoroso problema de ejecución que presenta en los retrasos de entrega, los exuberantes presupuestos y adicionales que aún sigue demandando la culminación del mismo.

La presente tesis desarrolla el análisis comparativo entre los aisladores sísmicos pertenecientes al hospital Hipólito Unanue y el reemplazo del mencionado a disipadores SLB (Shear Link Bozzo) como sistema de protección sísmica; por consiguiente, se realizará el diseño estructural de la edificación con los disipadores, haciendo una comparativa con la memoria de cálculo estructural existente del expediente primigenio del hospital. Al efectuar el nuevo análisis sísmico y diseño estructural que conlleva el cambio de sistema de protección sísmica, obtendremos una diferencia en el presupuesto de materiales, permitiéndonos compararlo con el presupuesto primigenio del expediente técnico, surgiendo la interrogante, de aplicarse el sistema de protección sísmica conociendo la mala gestión de obra que ejecutan las autoridades competentes, ¿Qué diferencia económica se hubiese reservado?

El trabajo de investigación está dividido en cuatro capítulos, que se describen a continuación:

El Primer Capítulo, en base a los acontecimientos suscitados internacionales y locales se formula el problema si el uso de los aisladores como sistema de protección sísmica fue el adecuado para el hospital Hipólito Unanue de Tacna, bajo esta premisa presagian las hipótesis del uso de disipadores Shear link Bozzo de tecnología peruana como sistema de protección sísmica, siguiendo los supuestos se formularán los objetivos generales y específicos.

El Segundo Capítulo, referente al marco teórico conceptual de la investigación, contiene los antecedentes que enmarcan y a la vez justifican el estudio; así como también, las bases teóricas que fundamentan el análisis comparativo estructural y las definiciones de conceptos inertes al estudio realizado.

En el Tercer Capítulo, se desarrollara el marco metodológico, haciendo referencia al tipo y diseño de investigación, la población y muestra, así como los métodos y técnicas que se usaron para la recolección de datos y el procesamiento e interpretación de los resultados, siendo la recolección de información del expediente

primigenio del hospital Hipolito Unanue de Tacna, incluido el sistema de protección sísmica de aislamiento de base, mencionado se detallara y se plasmara para el fundamento del análisis comparativo de la presente investigación. A su misma vez se especificarán los trabajos realizados en función a la normativa nacional vigente E030 y a la normativa americana ASCE41-17, previo a realizar el análisis comparativo.

En el Cuarto Capítulo, se presentarán los resultados de la edificación del Hospital Hipolito Unanue de Tacna con el sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo, siendo los resultados del análisis no lineal tiempo historia, desempeño de la edificación, balance energético y estimación de costo del sistema de protección en análisis como alternativa.

En el Quinto capítulo, se realizará la discusión de nuestros resultados en comparativa con los datos provenientes del expediente primigenio del Hospital Hipolito Unanue de Tacna el cual incluye el sistema de aislamiento, se realizará comparativa del desempeño sísmico, balance energético y diferencia de costo de ambos sistemas de protección.

Finalmente, se presentan, las conclusiones, recomendaciones y la bibliografía correspondiente, acompañados de los anexos necesarios, que se utilizaron para llevaron a cabo el presente trabajo de investigación.

CAPÍTULO I: EL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

Como ingenieros interesados en el comportamiento de las estructuras, una de nuestras preocupaciones diarias es saber cómo controlar las diversas acciones que se transforman en fuerzas creadas por la naturaleza y que indudablemente repercuten en diversos ámbitos sociales, económicos y ambientales. El Perú, al ser un país con alto riesgo sísmico, se encuentra en el límite de dos placas tectónicas, la Placa de Nazca (corteza oceánica) y la Placa Sudamericana (corteza continental), el choque de ambas placas dio lugar a la formación de la cordillera de los Andes.

En el diseño típico de estructuras resistentes a sismos, definimos un desempeño sísmico adecuado cuando los elementos estructurales que tienen la responsabilidad de aportar rigidez lateral poseen la capacidad de absorber y disipar energía, siendo aun estable por un extenso número de ciclos. La liberación de energía se produce en las regiones de rótulas plásticas espacialmente detalladas en vigas y columnas, que también forman parte del sistema de carga por gravedad. Las rótulas plásticas son un área concentrada de daño por gravedad en un pórtico que a menudo no se puede reparar. Estas propiedades estructurales son aceptables desde un punto de vista económico y, naturalmente, evitan el colapso de la estructura; ya que, garantizan la seguridad de la vida humana. En algunos casos, las características de diseño tradicionales no son aplicables. El diseño normal no es adecuado si el terremoto se mantiene después del terremoto, como una estructura importante (hospital, estación de policía, etc.). En estos casos, la estructura puede tener un diseño de resistencia suficiente para prevenir los efectos inflexibles, en consecuencia, es más caro. Algunos diseños requieren precauciones especiales para evitar daños o fallas en sistemas grandes, los cuales son necesarios para el uso continuo. La experiencia reciente con dos instalaciones hospitalarias más nuevas en el terremoto de Northridge (Earthquake Engineering Institute, 1995) ilustra los problemas que pueden surgir con un diseño particular.

En los últimos años, la investigación para prevenir el colapso de edificios, tanto en construcciones nuevas como en diseños de reacondicionamiento, se ha centrado principalmente en sistemas que resisten la acción sísmica. En lugar de la estructura convencional, hemos introducido una estructura resistente a terremotos con un disipador de energía que reduce en gran medida la fuerza causada por un gran terremoto.

1.1. Descripción del problema

El Proyecto moderno hospital Hipólito Unanue de Tacna - Perú se encuentra inconcluso y punto de gran polémica debido a que por error de proceso constructivo la losa superior de sótano por contracciones de temperatura ha generado que el aislador se incline respecto a su vertical con el plano, el proyecto se encuentra detenido ya más de 4 años, generando millonarios gastos para su reparación aun sin éxito, podemos encontrar más detalle del acontecimiento en el informe de la contraloría N° 9850-2020-CG/GRTA-SVC.

Apostando por un sistema de protección sísmica peruana, innovación y aumento de la iniciativa de investigación en el campo estructural, existen los disipadores Shear Link Bozzo como una muy buena alternativa como sistema de protección sísmica. Sin embargo, son las normativas nacionales vigentes E030 2018 y E031 2019 que someten al aislamiento de base como único sistema de protección sísmica respaldado, siendo el menos adecuado entorno a nuestra realidad nacional y en consecuencia de manera colateral obstruyendo al desarrollo de la investigación y capacitación en el campo estructural. Bajo las directivas de la Organización Mundial de la Salud los hospitales deben ser diseñados y construidos para mantener su capacidad máxima de funcionamiento después de un terremoto, lo que conocemos a ello como resiliencia sísmica, Sin embargo, en la Figura 1 se muestra la situación actual del sistema de protección sísmica del Hospital Hipólito Unanue de Tacna, que es inaceptable para dichos objetivos de premisa.

Figura 1

Estado Situacional de los Aisladores del Hospital presentado por la Contraloría



Nota. Esta imagen muestra el estado que se encuentran los aisladores sísmicos del Hospital Unanue en su última visita de control de la Contraloría.

Fuente: (Enriquez Quispe, 2023)

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema General

¿Cuál es el sistema de protección sísmica conveniente entre Aisladores sísmicos y disipadores SLB en el hospital Hipólito Unanue de Tacna?

1.2.2. Problemas Específicos

- a. ¿Cuál es el estado límite de daño estructural que se determinará al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna?
- b. ¿En qué medida favorece la distribución de energía al implementar disipadores SLB como sustituto del aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna?
- c. ¿Qué diferencias existirán en el costo al implementar los sistemas de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica para el hospital Hipólito Unanue de Tacna?

1.3. Justificación e importancia

Desde el punto de Vista Técnico:

La normativa nacional vigente NTP E.030 "Diseño Sismorresistente" 2018, de manera dictatorial induce a utilizar el sistema de protección sísmica de aisladores para las edificaciones de categoría esencial A1 en zonas sísmicas 3 y 4 en correspondencia a sus lineamientos. Denegando de manera indirecta al formulador o proyectista la posibilidad de implementar otro sistema de protección sísmica. En consecuencia, de manera colateral obstruye el desarrollo de investigación técnica, numérica y No experimental respecto a otros sistemas de protección, apreciándose en los lineamientos de la normativa nacional vigente NTP E.031 "Aislamiento Sísmico", dando a entender intenciones lejanas al desarrollo técnico del arte.

En el contexto peruano, no existen regulaciones específicas que aborden el refuerzo sísmico de edificios ya construidos. Únicamente se incluyen algunas disposiciones en la Norma de Diseño Sísmico para Edificaciones (NDSR E030), que permiten el refuerzo de edificios considerados esenciales a través de procesos de mejora gradual. Sin embargo, estas disposiciones no detallan objetivos ni procedimientos específicos para llevar a cabo dicho refuerzo.

Existen numerosos acontecimientos documentados de falla del aislamiento sísmico, como se muestra en la Tabla 1, esto dejaría expuestos miles de componentes de aisladores peligrosos instalados en estructuras aun así cumpliendo todos los requisitos normativos de los códigos de diseño propios. Según la lectura del PhD. Víctor Sayas, la principal causa sería la fabricación de los componentes sin estándares adecuados. Podríamos citar los siguientes casos documentados que respaldarían los lineamientos mencionados en el presente trabajo de investigación:

Tabla 1

Proyectos ejecutados a nivel mundial utilizando aisladores sísmicos

Proyecto	Causa	Consecuencia	Autor
La autopista transeuropea en Turquía	Los componentes del sistema de aislamiento eran de mala calidad y tenían capacidades y propiedades de desplazamiento enormemente insuficientes.	Colapso casi total de un viaducto de 2.3km de longitud.	[Roussis et al, 2002].
Edificio de la terminal principal del aeropuerto Kunming de China	Ninguno de estos aisladores se probó para el control de calidad.	Más de 600 de los aisladores de goma instalados sufrieron una delaminación de la goma del acero durante la construcción bajo solamente carga muerta parcial.	[McVitty y Constantinou, 2015].
Edificaciones durante el terremoto de Japón Sendai 2011	Se descubrió que el fabricante japonés de aisladores había falsificado sus informes de control de calidad.	Un gran número de aisladores de goma se delaminaron durante un movimiento del suelo relativamente moderados	[Takahashi et al, 2012]

(continúa)

Tabla 1 (continuación)

Proyecto	Causa	Consecuencia	Autor
El Hospital de la Mujer en Christchurch, Nueva Zelanda	Difícil concepción matemática sin estándares adecuados	Este hospital aislado sufrió más de US \$ 40 millones en daños sísmicos, según Fletcher Construction, el contratista empleado para reparar el daño. Las reparaciones del daño sísmico tardaron más de 3 años.	[Kuang]
El Hospital Olive View de California	Difícil concepción matemática sin estándares adecuados	El hospital de reemplazo de Olive View fue declarado no funcional por el daño a los componentes arquitectónicos, y no pudo atender a las personas heridas por el terremoto.	[Chevers]

Nota. Esta tabla describe las diferentes obras a nivel mundial que se han ejecutado utilizando aisladores sísmicos, sin embargo, no han tenido buenos resultados teniendo graves consecuencias que subsanar. Fuente: Elaboración Propia.

1.3.1. Desde el punto de vista económico

Al realizar el análisis comparativo de sistemas de protección sísmica, encontraremos diferencia en el presupuesto, precisamente en los gastos que requieren la fabricación, instalación y el tiempo de ejecución que demandan cada sistema de protección. Mencionada diferencia económica que se calculara en función a la comparación con el costo que demandó realmente el aislador sustentando en la información recopilada del expediente primigenio del proyecto, pudo haberse destinado para otros fines o mejores inversiones para el desarrollo económico local.

En Perú, se han desarrollado técnicas de refuerzo tradicionales y económicos para edificios escolares de armado concreto. Estas técnicas suelen aplicarse en campañas de rehabilitación y refuerzo después de sismos significativos, como se señala en el estudio de Muñoz et al. (2007). Estas técnicas se centran en abordar problemas como la falla por efectos de columna corta y buscan aumentar la rigidez y resistencia

de los edificios en la dirección longitudinal de sus pórticos. Algunas de las técnicas de refuerzo más destacadas incluyen la incorporación de muros acoplados, la intervención general de columnas, la adición de un pórtico sísmico complementario y el cerramiento de espacios con muros de albañilería.

Podemos mencionar algunas ventajas y desventajas de sistemas de protección que repercutirían indudablemente en el cálculo económico del proyecto, como se muestra en la Tabla 2. La investigación fue desarrollada por (Oviedo & Duque, 2009) cuando estudiaban amortiguadores Histeréticos para controlar la respuesta sísmica en Colombia.

Tabla 2

Diferencia económica para el Uso de Dispositivos de Control Pasivo de Respuesta Sísmica dentro de las Prácticas de Diseño y Construcción Colombianas Actuales

Aspectos Deseables	Control Pasivo	
	Aislamiento Basal	Disipadores Histeréticos
Bajo costo de instalación y puesta en obras de los dispositivos de control.		x
Bajo costo de mantenimiento de los dispositivos de control.	x	x
Bajo costo de reemplazo de los dispositivos de control.	x	
Bajo costo de fabricación de los dispositivos de control.		x
Instalación simple en obra de los dispositivos		x
No requiere mano de obra altamente calificada para la instalación de los dispositivos de control.		x

Nota. Esta tabla da a conocer aspectos económicos aprovechables de los disipadores Histeréticos, haciendo una comparativa con el aislamiento basal, donde se puede apreciar una clara diferencia que puede beneficiar para la construcción de las edificaciones. Fuente: (EFE PRIMA CE, 2017)

1.3.2. Desde el punto de vista tecnológico

La posibilidad de tener otra alternativa de sistema de protección sísmica de alta tecnología y de patente peruana, tendría como consecuencia la modificación y

actualización de los lineamientos de las normativas vigentes nacionales E030 y E031, motivando la razón de investigación a diferentes entidades nacionales, forzando el desarrollo de innovación en función a los acontecimientos de tecnología de índole estructural a nivel mundial, constituyendo un avance innovador en el diseño convencional basado en pórticos flexibles dúctiles o en muros de rigidez.

Se cree que la implementación de un sistema de protección sísmica estandarizado a nivel nacional podría ser una alternativa para disminuir la susceptibilidad de los hospitales. Dadas las ventajas económicas y constructivas que ofrecen los disipadores Histeréticos, podrían emplearse como una solución para fortalecer la resistencia sísmica de los hospitales en Perú.

Cuando comienza y termina el movimiento sísmico, la estructura se encuentra en reposo, lo que significa que su velocidad es nula. Por esta razón, la energía cinética de la estructura durante todo el sismo es igual a cero. Además, al final del sismo, la estructura puede o no presentar deformaciones inelásticas, pero ya no posee energía elástica de deformación que le permita regresar a su posición original, como se menciona en el trabajo de Muñoz (2021). Por lo tanto, al concluir todo el movimiento, la energía debido a la deformación elástica también es igual a cero.

No obstante, en el presente, se han introducido nuevos propósitos que definen estándares de rendimiento distintos según el nivel de riesgo sísmico. Los niveles de rendimiento previstos difieren en función del tipo de construcción que se esté evaluando. Para aquellos edificios que no cumplan con los niveles de rendimiento previstos, se lleva a cabo un plan de mejora estructural.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo General

Determinar el sistema de protección sísmica conveniente entre Aisladores sísmicos y disipadores SLB en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.

1.4.2. Objetivos Específicos

- a. Calcular el estado límite de daño estructural al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna

- b. Cuantificar la diferencia de costo de implementación de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el hospital Hipólito Unanue de Tacna
- c. Obtener la distribución de energía entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis General

El sistema de protección sísmica de disipadores SLB, es el más conveniente para el hospital Hipólito Unanue de Tacna.

1.5.2. Hipótesis Específicas

- a. Al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica, el Hospital Hipólito Unanue de Tacna aún se encontraría en el mismo estado límite de daño estructural.
- b. Los Disipadores SLB son un sistema de protección sísmica de menor costo a diferencia del aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.
- c. Se obtendrá una correcta distribución de energía entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Antecedentes Internacionales

En el artículo de investigación SR522 Seismic Isolation Bearings encontramos el rodamiento de aisladores sísmicos del puente del río Snohomish de la ciudad de Monroe - Estados Unidos a raíz de los factores medio ambientales propios de la zona, afectaría las propiedades mecánicas del mismo demostrando los rigurosos controles de calidad que tendrían que someterse para cerciorar un buen funcionamiento. Redactan que la entidad competente WSDOT (departamento de transporte del estado de Washington) tuvo por finalidad que el sistema péndulo de triple fricción proporcionen aislamiento sísmico durante la vida útil del puente del río Snohomish. Teniendo en cuenta la intrusión de agua y el nivel de corrosión aparente de las superficies de acero deslizantes de los cojinetes internos en menos de tres años después de que se entregaron estos cojinetes en el lugar de trabajo, WSDOT está preocupado por la capacidad a largo plazo de estos cojinetes para aislar sísmicamente la superestructura. EPS (empresa de poliestireno expandido) simuló la formación de óxido en un cojinete de prueba al agregar agua contaminada y polvo de hierro a las superficies deslizantes de acero del cojinete y permitir que el agua se evapore. Han afirmado que las pruebas de laboratorio posteriores de este cojinete demuestran el rendimiento sísmico esperado de un cojinete oxidado.

El WSDOT no estuvo de acuerdo en que dicha prueba tenga la capacidad de predecir con precisión el rendimiento del mismo rodamiento después de muchos años de exposición a la humedad ambiental y reconoce que se requerirá una inspección periódica de estos rodamientos. Dependiendo del nivel de degradación observado, algunos de estos apoyos pueden requerir remoción y prueba para asegurar su capacidad de proporcionar aislamiento sísmico a largo plazo. Los resultados de tales pruebas pueden concluir la necesidad de reemplazar los cojinetes (Leland et al. 2015).

En COINESED 2017, I Congreso Internacional de Estructuras de Edificación, Lima-Perú, 1 y 2 abril 2017, Las deficiencias en los aisladores de estructuras han expuesto numerosos componentes peligrosos de aisladores instalados en estructuras que supuestamente "cumplen con el código". La principal causa de estas deficiencias radica en la fabricación de componentes sin seguir los estándares adecuados.

Un ejemplo relevante que se menciona en el texto es el caso del Hospital Olive View en California. Durante un terremoto de magnitud 6.6, el hospital experimentó un colapso significativo. En contraste, su sucesor no sufrió daños estructurales durante un terremoto subsiguiente de magnitud 6.8. Sin embargo, las aceleraciones registradas en los pisos del nuevo hospital superaron los 0.8 g, resultando en un extenso daño no estructural. A pesar de la resistencia estructural, el Hospital de Olive View de reemplazo fue declarado no funcional debido a los daños en sus componentes arquitectónicos, lo que impidió la atención a las personas heridas por el terremoto. Además, el hospital de reemplazo fue evacuado el día del terremoto y permaneció cerrado por un período de tres meses. (Zayas, 2017).

En el estudio de implementación de disipadores SLB en estructuras prefabricadas, se examina un edificio prefabricado de cinco niveles con planta libre, que incorpora 80 dispositivos SLB simples. Este enfoque integra el sistema de protección sísmica Shear Link Bozzo con la prefabricación de elementos estructurales simples. El propósito principal es proporcionar al edificio una rigidez lateral que suele ser deficiente en sistemas prefabricados, mejorar su confiabilidad estructural, y agilizar el proceso de construcción prefabricada. El peso sísmico del edificio se estima en 14075 kN y cuenta con columnas de altura completa junto con vigas biarticuladas, según la referencia de Machado en 2020. Este enfoque busca abordar las limitaciones inherentes a las estructuras prefabricadas, ofreciendo una solución integral que combine las ventajas de los disipadores SLB con la eficiencia de la prefabricación, contribuyendo así a la mejora general de la resistencia y confiabilidad sísmica de dichas estructuras. (Machado, 2020).

2.1.2. Antecedentes nacionales

Se llevó a cabo la simulación de un ensayo en una mesa vibrante con dispositivos de disipación sísmica diseñados para viviendas de bajo costo, realizado en la Universidad Católica del Perú. Este experimento no solo evidencia la eficacia de los disipadores en el contexto del diseño sismorresistente, sino que también implica la aplicación de un pórtico equipado con dispositivos de disipación de energía y sometido a diversas intensidades y señales sísmicas mediante una mesa vibrante. Tras obtener los resultados del ensayo, se llevó a cabo un estudio paramétrico de las condiciones de contorno en la estructura elástica. Este análisis tenía como objetivo encontrar el modelo con el período que mejor se ajustara al de la estructura ensayada. Además, se realizó otro estudio paramétrico de las propiedades del disipador, considerando un modelo de conector no lineal de tipo Wen. Esto permitió determinar las propiedades óptimas a utilizar en el diseño de viviendas que incorporen estos disipadores (Bozzo, 2018).

Se llevó a cabo un análisis exhaustivo de una nueva alternativa de control antisísmico de alta tecnología para la construcción de hospitales en Perú, donde la normativa exige el uso de aislamiento de base en edificaciones esenciales. Este estudio se centró en la evaluación estructural de un edificio construido con aisladores sísmicos y el mismo edificio con la implementación del sistema de disipación de energía SLB (Shear Link Bozzo). Los resultados obtenidos para cada técnica de control antisísmico estudiada incluyen derivas de entrepiso, aceleraciones de piso, balance energético y análisis de rotulas plásticas, todos evaluados bajo la filosofía de funcionalidad continua. Se observaron respuestas estructurales similares en ambos casos, cumpliendo con los límites establecidos por los códigos de diseño peruanos. Sin embargo, en lo que respecta al balance energético, se encontró que los aisladores no cumplen con las expectativas en términos de disipación de energía, mientras que los dispositivos SLB sí alcanzan los resultados esperados. Este análisis sugiere que la implementación del sistema SLB puede ser una opción más efectiva en términos de control antisísmico para hospitales, superando las limitaciones encontradas con los aisladores convencionales (Vidal et al. 2021).

Se investigó la respuesta sísmica de una estructura arquitectónica no uniforme siguiendo las pautas del Reglamento Nacional de Edificaciones E0.30. Se argumenta que, durante un evento sísmico, la estructura debe ser capaz de disipar la energía generada por sus componentes estructurales clave. Para mitigar los posibles daños causados por un sismo, es factible llevar a cabo un análisis que contemple la integración de dispositivos de disipación de energía, como los dispositivos SLB. (Heinz Paul, 2019).

2.1.3. Antecedentes locales

Se realizó la inspección visual y se elaboró el estado situacional de edificio principal de 7 pisos y un semisótano, con un área en planta aproximada de 7400 metros cuadrados, en este edificio se encontrarán los servicios hospitalarios básicos, como emergencias, farmacia, UCI, consulta externa, entre otros. De las visitas de inspección física a Obra, se han observado desplazamientos laterales en aisladores sísmicos del rango de 0,35 cm a 2,60 cm aproximadamente. El edificio principal presenta irregularidades de planta y altura, por lo que se plantea una junta de aproximadamente 10cm y que estará sobre el sistema de aislamiento. Del mismo modo, se han observado desplazamientos laterales en deslizadores sísmicos del rango de 0,35 cm a 2,25 cm aproximadamente. Dichos desplazamientos laterales permanentes provocan una excentricidad de la carga vertical en el aislador en estado estático la cual podría disminuir su eficiencia ante sismos para los cuales fueron diseñados (Enriquez, 2020).

2.2. Bases Teóricas

2.2.1. Sistemas modernos de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica o también llamados sistemas de control de vibraciones tienen como propósito principal garantizar la resiliencia de una estructura después de la ocurrencia de un evento sísmico. Esta nueva tendencia suplementa a los sistemas resistentes tradicionales con dispositivos que permiten controlar o disminuir sus vibraciones, desplazamientos y sobre todo reducir el daño estructural.

Diversos autores y bibliografías dependientes de cada país clasifican a los sistemas de protección sísmica en función a criterios, comportamiento o nomenclatura, como se puede observar en la Tabla 3, sin embargo, al encontrarnos en el continente sudamericano, de corte o tendencia a las investigaciones y actualizaciones estadounidenses tomamos como referencia los lineamientos establecidos en la normativa Internacional Americana ISO 3010 International Standard Basis for Design of Structures – Seismic Action on Structures,

Los autores de la presenta investigación señalan que los disipadores en análisis Shear Link Bozzo se encuentran dentro de la clasificación de sistemas pasivos, como se muestra en la Tabla 4, por consiguiente, en los siguientes puntos de enmarcaciones teóricas se profundizara ello, sin embargo, de manera breve para ilustrar la presentación se mencionará de manera puntual y resumida las demás clasificaciones.

Tabla 3

Clasificación del Sistema de Protección Sísmica

Tipo de Sistema		Clasificación	
Sistema Activo	Arriostres Activos	Tendones Activos	Oscilador Activo
Sistema Pasivo	Aislamiento Base	Disipador de Energía	Efecto de masa Adicional
Sistema Semi Activo	Sistemas de control de Amortiguamiento	Sistemas de control de Rigidez	
Sistema Híbrido	Aislamiento Activo	Oscilador Híbrido	

Nota. Esta tabla presenta los tipos y clasificación de los sistemas de protección sísmica, destacando el Disipador de Energía que será utilizado para la investigación. Fuente: (Muñoz Horna, 2021)

Tabla 4*Clasificación de las técnicas de control de respuesta sísmica*

Sistema de Control	Tipo	Tipo	Dispositivo
Control Pasivo	Aislamiento sísmico	Mecanismos deslizantes o de rodillos	Apoyo de rodillos
			Apoyo de placa deslizante, tipo péndulo, basculante
			Capa deslizante Otros
		Elemento flexible	Elastómero de multicapas
			Dispositivo Flexible Otros
	Disipación de energía	De tipo histerético	Acero
			Plomo Otros
		De tipo friccionante	Hidráulico
			Viscoso Otros
	Efecto de masa adicional	De tipo viscoelástico	De masa y resorte
De tipo pendular			
Vibración de líquido Otros			
	Otro		
Control Semiactivo	Control de amortiguamiento	Sistema de amortiguamiento variable	De tipo Hidráulico Otros
	Control de rigidez	Sistema de rigidez variable	Riostra Otros
	Otro		
Control activo e híbrido	Efecto de masa	Amortiguamiento activo de masa Amortiguamiento híbrido de masa	
	Control de fuerza	Tendón activo Otros	
	Otro		

Nota. Esta tabla presenta la clasificación de sistemas de protección de control y su tipología.
Fuente: (Oviedo & Duque, Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones, 2006)

2.2.1.1. Sistema de protección sísmica activos

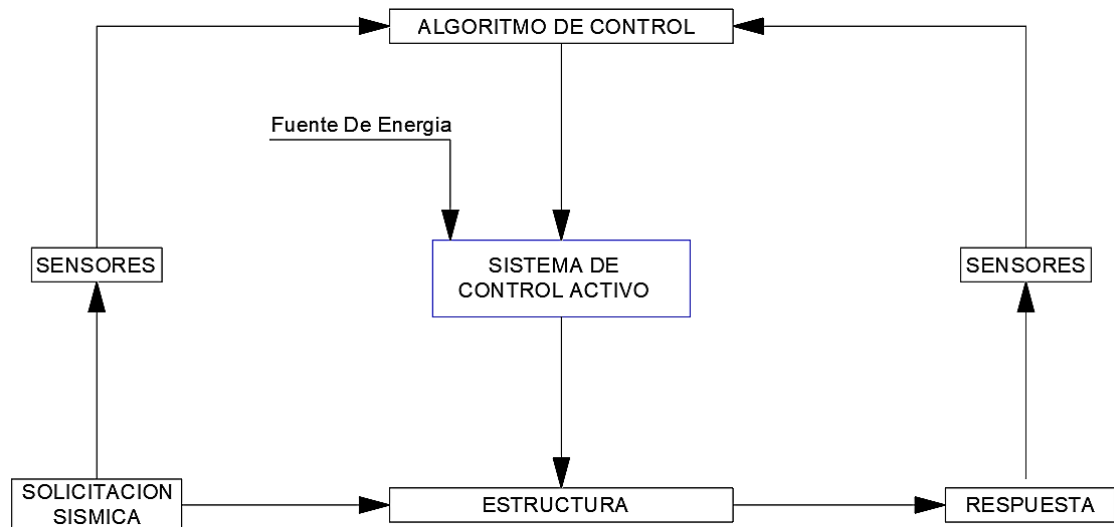
Son sistemas de protección sísmica de alta complejidad que engloban una serie de componentes como se puede observar en la Figura 2, éstos son sensores de movimiento, sistemas de control, procesamiento de datos, y actuadores dinámicos. Contando con la característica y peculiaridad a diferencia de otras clasificaciones de supervisar y monitorear la respuesta de la estructura ante un evento sísmico y es así como al detectar movimientos y magnitudes de fuerza aplican fuerzas de contraparte para restar movimientos y controlar el daño en elementos estructurales y no estructurales.

Son los acelerómetros los sensores principales quienes tienen la responsabilidad de detectar excitaciones externas mediante la respuesta de la estructura, aplicando un algoritmo de control el cual en tiempo real procesa la información obtenido por el instrumento y determina las fuerzas necesarias que deberán aplicar los actuadores para garantizar un determinado nivel desempeño, cabe señalar que diferentes textos señalan la importancia de selección de puntos estratégicos para la ubicación de mencionados dispositivos e instrumentos. Mencionado ello, nos vemos ligados a definir la función indispensable que cumplen los actuadores, quienes aplican las fuerzas que el sistema requiere sobre elementos de arriostres metálicos o tendones también activos y es así como se logra la protección sísmica.

Como se muestra en la Figura 3, podemos mencionar como una de sus principales desventajas el requerimiento de una fuente de energía o de alimentación continua externa al propio, el cual despliega numerosas limitantes en su aplicación además del elevado costo que presenta en el mercado. A si como también podemos resaltar una de sus principales bondades el cual lo califica como una muy buena alternativa de sistema de protección sísmica siendo la adaptación o modificación de la respuesta de los dispositivos en tiempo real a lo largo de los eventos demandantes. A diferencia de los sistemas de control pasivos, los sistemas activos presentan mayor efectividad técnica en el control de respuesta sísmica, sin embargo, como ya mencionamos esto es absolutamente limitado por su costo y la gran fuente de energía que requiere para su funcionamiento. El desarrollo de estos dispositivos fue concebido en los países de Estados Unidos y Japón, siendo el país japonés de ambos el que más aplicaciones y usos ha tenido en sus diferentes edificios en su mayoría siempre esbeltos y de gran altura, esto se debe a los espacios reducidos en su metrópolis y a las constantes demandas que la naturaleza condiciona. (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

Figura 2

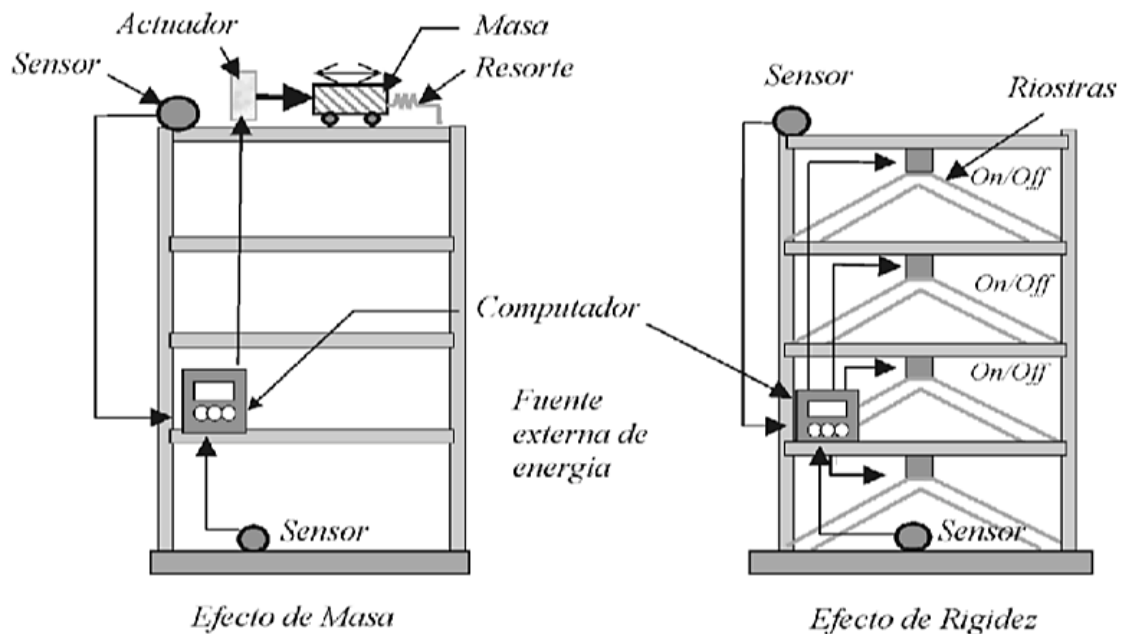
Esquema mecanismo de operación de sistema activo



Nota. Este esquema representa la secuencia del sistema de protección de control activo desde el ingreso de energía mediante la sollicitación sísmica y la interacción con todos sus componentes. Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

Figura 3

Sistema de Estructura con Sistema de Control Activo



Nota. Esta figura representa el sistema de control activo sobre una estructura ante un movimiento sísmico. Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

2.2.1.2. Sistema de protección sísmica híbridos

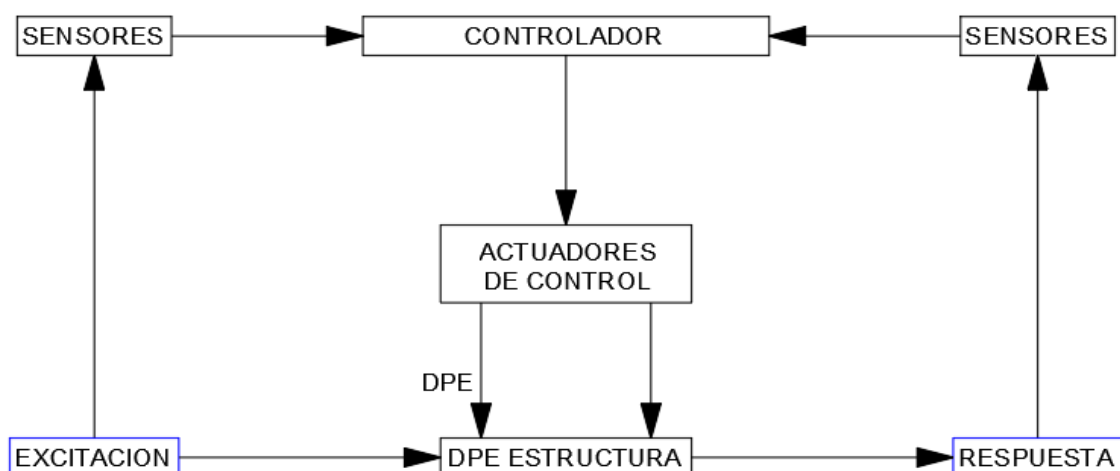
Denominamos sistemas híbridos al acoplamiento de sistemas de control activos y sistemas de control pasivos, como se puede observar en la Figura 4, de esa manera logramos una mayor eficiencia en el control de respuesta sísmica debido a que nos suplementamos de las bondades de cada sistema y suprimimos mediante la interacción de ambos las limitantes características propias.

Para controlar la respuesta sísmica se utiliza un dispositivo pasivo denominado (DPE) y suplementándose con los actuantes activos, los sistemas híbridos son superiores a los sistemas netamente activos, demandan un menor requerimiento de energía y en caso de fallar el componente activo, el sistema pasivo seguirá ejerciendo funciones de control y protección sísmica, de esta manera se genera un sistema con mayores redundantes y se aumenta notablemente el grado de confiabilidad. (Boza et al. 2013)

Los sistemas de control híbrido se centran en su mayoría en dos categorías principales: los osciladores híbridos, conocidos como "Hybrid Mass Damper - HMD", y el aislamiento de base con control activo del desplazamiento. Los HMD resultan de la fusión de un oscilador resonante (TMD) con un actuador activo, lo que conlleva a un buen funcionamiento del sistema, mejorando el desempeño del oscilador resonante, incrementando la eficiencia del sistema y permitiendo su adaptabilidad a los cambios en las características dinámicas de la estructura.

Figura 4

Estructura con Sistema de Control Híbrido



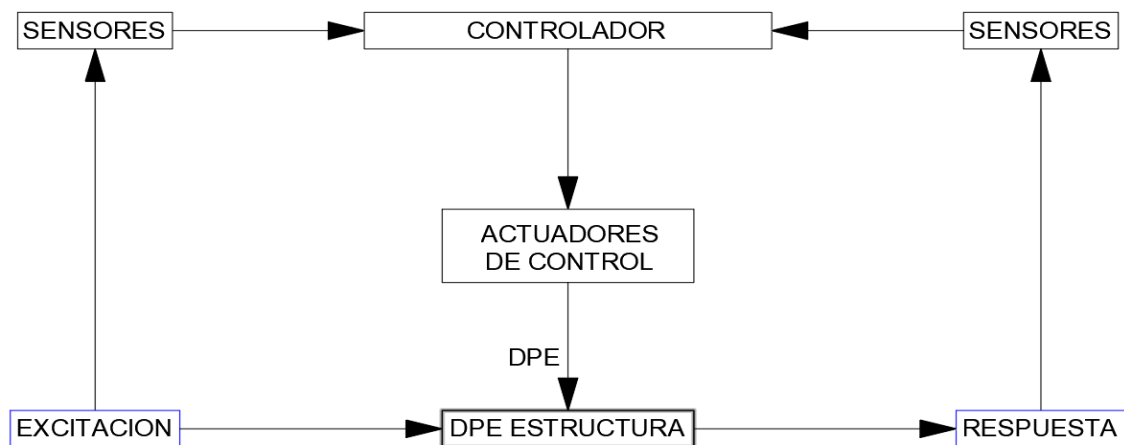
Nota. Este esquema en serie muestra el comportamiento que tendría una estructura con sistema de control híbrido ante un movimiento sísmico. Fuente: (Boza Farfan & Galán Tirapo, 2013)

2.2.1.3. Sistema de protección sísmica semiactivos

El funcionamiento de los sistemas semi - activos es similar a los sistemas activos como se puede observar en la Figura 5, con la principal diferencia y característica de la inexistencia de un actuador que aplique fuerzas para controlar las repuestas en la estructura, sin embargo, son acreedores de Varias características que se pueden ajustar en tiempo real utilizando actuadores para minimizar la respuesta de un sistema estructural, todo ello manteniendo bajos los costos de energía.

Figura 5

Estructura con Sistema de Control Semi-Activo



Nota. Este esquema muestra el mecanismo de acción de un sistema de control híbrido que tendría en una estructura ante un movimiento sísmico. Fuente: (Boza Farfan & Galán Tirapo, 2013)

Entre las técnicas de control utilizadas se incluyen: la modificación de la fricción de manera variable, la incorporación de dispositivos hidráulicos con rigidez o amortiguamiento ajustable, y el uso de amortiguadores que pueden controlarse mediante campos eléctricos o magnéticos para variar su viscosidad.

Los sistemas de control semiactivos reducen la respuesta de los edificios al alterar la rigidez y el amortiguamiento de la estructura, y requieren una cantidad relativamente baja de energía. Los ejemplos más conocidos de esta categoría son los sistemas de amortiguación variable y los sistemas de rigidez variable.

En un sistema semiactivo, su capacidad de acción se encuentra restringida a dos cuadrantes, es decir, solo opera en la misma dirección de la velocidad del edificio, en secciones previas, se han proporcionado resultados vinculados a la dinámica estructural de los modelos y las particularidades de los diversos sistemas de control.

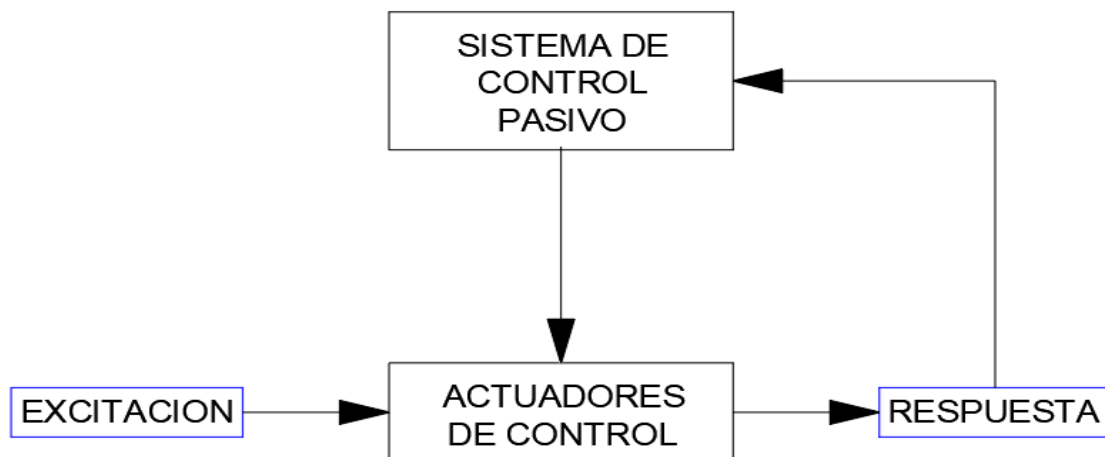
2.2.1.4. Sistemas de protección sísmica pasivos

Los sistemas de control pasivo poseen conexiones inertes que no cambian sus propiedades con el tiempo, sin embargo, sí podrían cambiar durante un evento sísmico, mencionados dispositivos son instalados en la estructura con el fin de reducir la respuesta sísmica de la estructura sin el requerimiento de alguna fuente de energía externa para su funcionamiento (Fujitani & Saito , 2006).

El objetivo de los dispositivos de control pasivos es eximir en los elementos resistentes de una estructura la energía proveniente del sismo, en la Figura 6 se muestra la estructura con Sistema de Control Semi-Activo, de esta manera se logra controlar el comportamiento inelástico de los elementos que aportan rigidez global en la estructura, prácticamente enfocamos un fin de un comportamiento elástico de cualquier elemento resistente, reduciendo así notablemente los desplazamientos y el daño que podrían sufrir ante cualquier excitación externa.

Figura 6

Estructura con Sistema de Control Semi-Activo



Nota. Este esquema muestra el mecanismo de un edificio que tendría con un sistema de control pasivo ante un movimiento sísmico. Fuente: (Boza Farfan & Galán Tirapo, 2013)

Una característica de los sistemas pasivos es su tendencia de tener un costo de instalación y adquisición económico, sencilla forma de instalar, robustos y fiables que las demás categorías. Además, se acoplan fácilmente a las características de la estructura, poseen una forma asertiva de concepción matemática y satisfacen las demandas sísmicas previstas, haciéndole un sistema muy eficiente (Lopez & Bozzo, 1999).

2.2.1.5. Clasificación de sistemas de protección sísmica pasivos

Tradicionalmente, el enfoque del diseño estructural se ha centrado en determinar las fuerzas externas que una edificación debe ser capaz de resistir sin exceder ciertos límites de deformación aceptables. Si la respuesta estructural, en términos de deformación (deriva), cae fuera de los límites establecidos por los criterios de diseño en la normativa RNE E.030, se realizan modificaciones en la estructura. Luego, se recalcula la respuesta estructural y se verifica si los niveles de deformación cumplen con los criterios de diseño. Si la respuesta estructural se encuentra dentro de los parámetros de diseño, la estructura se considera adecuada para soportar las fuerzas de diseño especificadas.

Indirectamente, se controla el nivel de daño estructural al controlar el nivel de deformación, y se acepta un desplazamiento que no comprometa la seguridad de los ocupantes ni la estabilidad de la edificación (Oviedo & Duque, Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones, 2006).

Existen varios tipos de sistemas de control, y esta tesis haciendo referencia a los disipadores Shear Link Bozzo pertenece a la familia de disipadores histeréticos metálicos, que son dispositivos pertenecientes a la categoría de sistemas pasivos de disipación de energía. Se les llama "pasivos" porque, una vez instalados, no pueden modificar sus propiedades de control estructural a excepciones de circunstancias durante el sismo. Estos dispositivos funcionan en respuesta al movimiento de la estructura, generando fuerzas que se oponen al desplazamiento de la misma. (Fujitani & Saito , 2006).

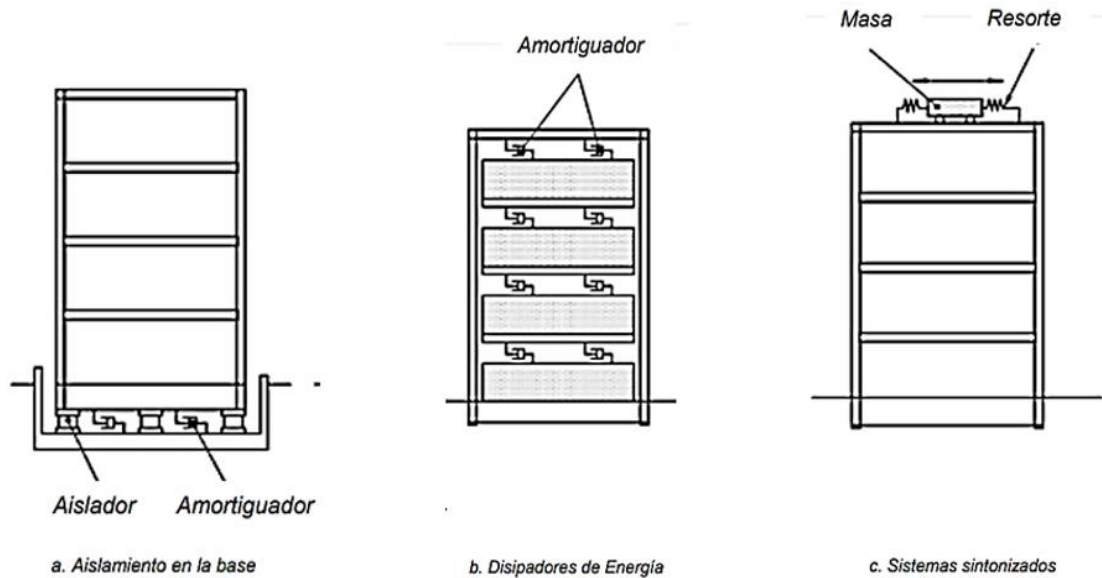
Su implementación se ha llevado a cabo en varios lugares alrededor del mundo, incluyendo países como Japón, Nueva Zelanda, Francia, Italia, México, Canadá y Estados Unidos. Los sistemas de control pasivo ofrecen grandes ventajas, entre las que se cuentan:

- Simplifican los procedimientos de verificación del estado del dispositivo.
- Requieren menos componentes adicionales que puedan afectar la respuesta de la edificación frente a una excitación externa.
- Facilitan la simplicidad en los procedimientos de análisis y diseño estructural.
- No dependen de una fuente de energía externa para operar durante un sismo.

Dentro de la categoría de sistemas pasivos, se pueden identificar tres grupos principales: aisladores de base, disipadores de energía y sistemas sintonizados, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

Clasificación de los sistemas de control pasivos



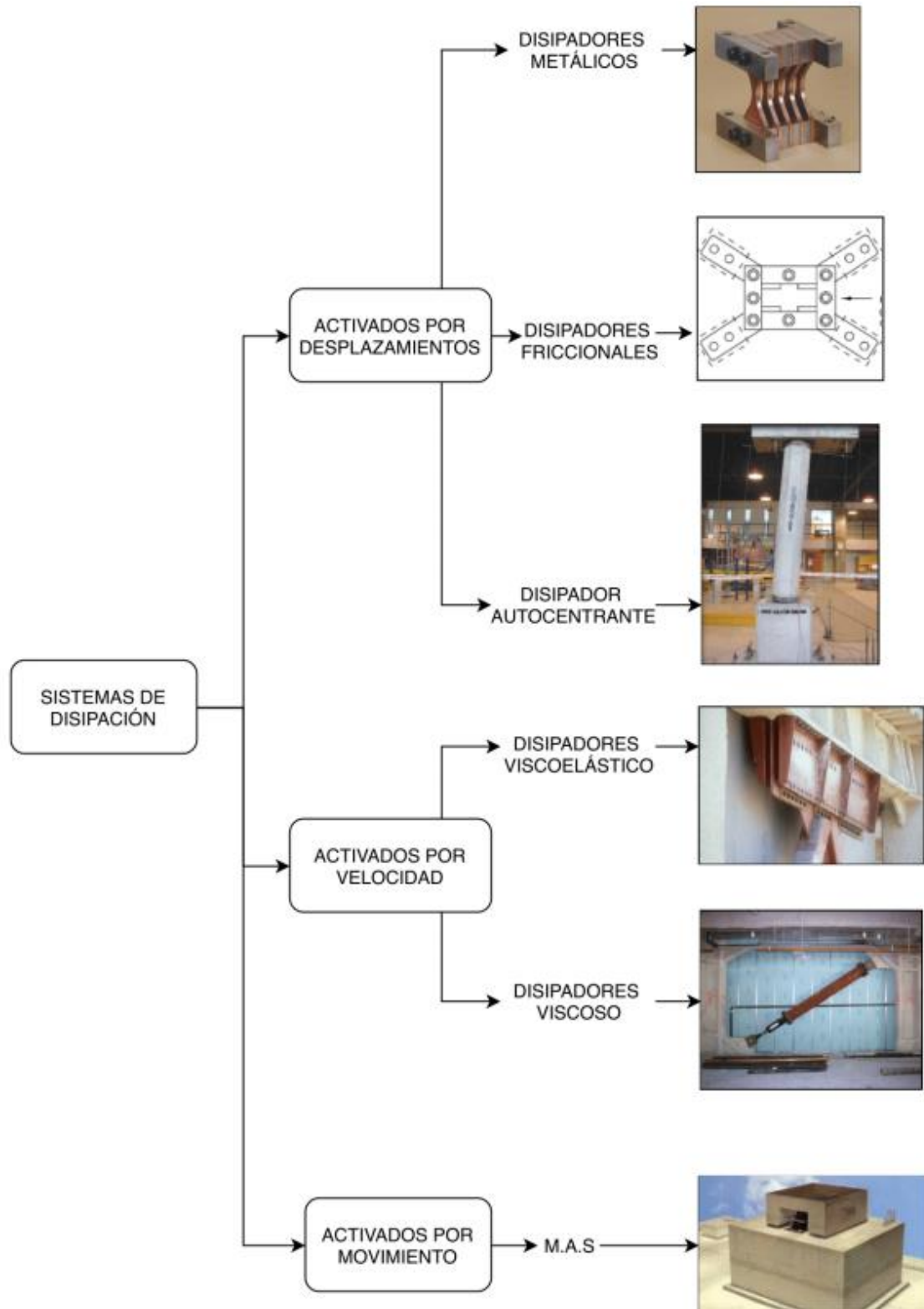
Nota. La imagen muestra la clasificación de los sistemas de control pasivos en 3 grupos, a su misma vez señala la idealización matemática de cada prototipo común, siendo el aislamiento de base un sistema con dispositivos en la base, seguidamente apreciamos a los disipadores de energía como dispositivos que se ubican entre elementos resistentes bajo una conexión de soporte y finalmente los sistemas de masa sintonizado siendo una interpretación de masa conectados mediante resortes ubicados en el último nivel de la edificación. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

El enfoque principal de esta tesis son los disipadores de energía al tener como variable principal los disipadores Shear Link Bozzo. En la Figura 8 podemos apreciar la clasificación de los sistemas de disipadores mediante su acción de activación por desplazamientos, velocidad o movimiento, de acuerdo al material revisado y a las diferentes bibliografías, los suscritos aducen que los disipadores Shear Link Bozzo bajo esta clasificación se encontrarían en los disipadores metálicos activados por desplazamiento.

Los disipadores Histeréticos dependen del desplazamiento y se basan en la plastificación de metales por flexión, cortante o extrusión. Éstos cambian la energía de entrada del sismo en energía térmica a través de la histéresis plástica de metal o energía friccional, como se puede apreciar en la Tabla 5 donde se refleja la comparativa del uso de los dispositivos de control pasivo. Tal comportamiento consiste en ciclos de carga, descarga y recarga en los cuales el material sobrepasa el límite de elástico sin fallar y de esta manera disipa cantidades significativas de energía. Los metales son los materiales que inhiben el comportamiento histerético más estable debido a su ductilidad.

Figura 8

Tipos de Disipación Pasiva de Energía



Nota. Este esquema presenta la clasificación del sistema de disipación cuando estos sean activados. Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

Tabla 5

Aspectos Deseables para el Uso de Dispositivos de Control Pasivo de Respuesta Sísmica dentro de las Prácticas de Diseño y Construcción Colombianas Actuales

Aspectos Deseables	Control Pasivo		
	Aislamiento Basal	Disipadores Histeréticos	Masa Sintonizada
Bajo costo de instalación y puesta en obras de los dispositivos de control.		x	
Larga vida útil de los dispositivos.	x	x	x
Bajo costo de mantenimiento de los dispositivos de control.	x	x	x
Baja probabilidad de reemplazo post-sismo de los dispositivos de control.	x		x
Bajo costo de fabricación de los dispositivos de control.		x	
Instalación simple en obra de los dispositivos		x	
Reducción del daño estructural por sismo.	x	x	x
Simplicidad en el uso para la rehabilitación o reforzamiento de estructuras existentes.		x	x
Simplicidad en la implementación en sistemas de pórticos.	x	x	x
Simplicidad en la implementación en sistemas de muros de carga.		x	x
No requiere mano de obra altamente calificada para la instalación de los dispositivos de control.		x	
Alto control de daño en contenidos.	x		x
Bajo impacto en las prácticas de construcciones actuales.		x	
Fácil consecución de materiales necesarios para la fabricación de los dispositivos en el país.		x	
Baja interrupción del continuo funcionamiento de estructuras indispensables durante la instalación o reemplazo de los dispositivos de control.	x	x	x

Nota. Esta tabla da a conocer aspectos necesarios y aprovechables para el diseño y construcción de edificaciones con sistema de Control Pasivo, tomando en cuenta que algunos dispositivos no necesariamente requieren mantenimiento, para las técnicas de aislamiento basal y masa adicional se han desarrollado algunos dispositivos simples con un costo inferior a los comúnmente utilizados. Fuente: (EFE PRIMA CE, 2017)

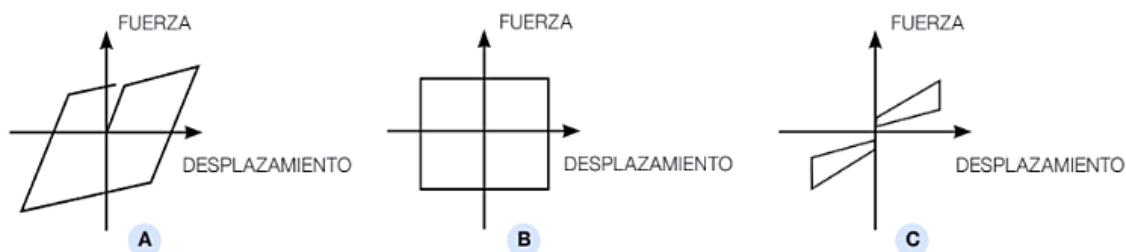
2.2.1.6. Disipadores activados por desplazamiento

Los disipadores de esta categoría se activan por medio de los desplazamientos relativos de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un terremoto. Estos dispositivos disipan energía a través de la deformación plástica de sus componentes o mediante la fricción entre superficies especialmente diseñadas para estos fines. Bajo esta clasificación se encuentran los dispositivos metálicos, friccionales, de extrusión de materiales y los sistemas autocentrante.

La Figura 9, muestra ciclos fuerza deformación típicos de disipadores activados por desplazamientos. El área encerrada por la curva corresponde a la energía disipada por el dispositivo. (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

Figura 9

Ciclo Carga Deformación Disipador Activado por Desplazamiento: a) Metálico, b) Friccional y c) Autocentrante



Nota. Esta imagen representa el desplazamiento de deformación que tendría una estructura con disipadores activados por desplazamientos ante una gran fuerza. Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

2.2.1.7. Disipadores histeréticos

Los disipadores Histeréticos aprovechan las propiedades de deformación no elástica del material utilizado en su construcción. Principalmente, se emplea acero, ya que este material, debido a su alta uniformidad, facilita la caracterización mecánica del dispositivo. En términos generales, su comportamiento se modela a partir de curvas de

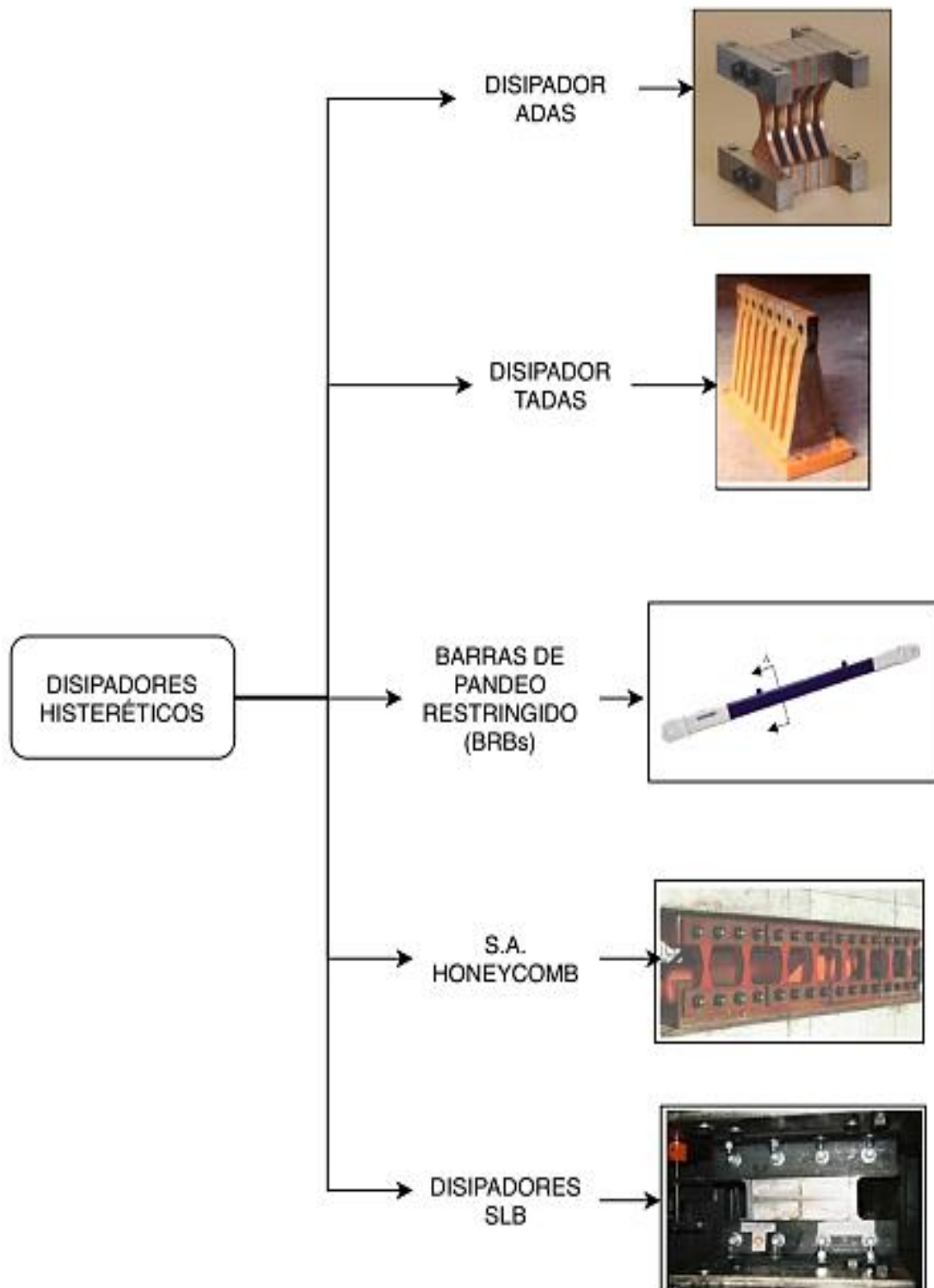
fuerza-desplazamiento, y la cantidad de energía que disipan se evalúa mediante los ciclos de histéresis característicos del dispositivo. Algunos ejemplos comunes de disipadores metálicos como se muestra en la Figura 10, incluyen placas sujetas a flexión, riostras metálicas, amortiguadores de barras, anillos, entre otros. Los disipadores Histeréticos metálicos ofrecen medidas de rehabilitación o reforzamiento estructural sin dañar de manera significativa la arquitectura y brindando un mayor nivel de seguridad en comparación con las técnicas tradicionales. Sin embargo, el aislamiento basal resulta más efectivo en el caso de la restauración estructural de monumentos que no pueden sufrir los desplazamientos requeridos por los disipadores Histeréticos. En este caso, es de suma importancia evitar algún daño en componentes estructurales y no estructurales que se pueda ocasionar durante la instalación de los aisladores en la base de la edificación.

El material más utilizado ha sido el acero, sin embargo, se ha diversificado, usando por ejemplo cobre, o aleaciones con diferentes metales. Estos mecanismos poseen una gran capacidad de amortiguamiento a partir de un volumen relativamente pequeño del dispositivo. Los efectos de amortiguamiento de este tipo de dispositivos varían con el nivel de sismicidad y también con la relación de la fuerza total de los amortiguadores instalados en la estructura respecto al peso total de la misma, el efecto de amortiguamiento varía con la amplitud de la vibración de la estructura (Gatica, 2012). Las ventajas de estos disipadores son:

- Comportamiento histerético estable.
- Seguridad a largo plazo.
- Su comportamiento histerético depende de los niveles de deformación alcanzados, no de la aceleración o de la velocidad de la respuesta.
- Insensibilidad a la temperatura del medio.
- Se basan en la capacidad del acero, cobre u otros materiales, de sostener muchos ciclos del comportamiento de rendimiento histerético estable para disipar la energía de entrada.
- Uso de materiales comunes en la práctica de la ingeniería.
- Su instalación y reposición son relativamente económicas, y no se deterioran en largos períodos de tiempo, lo cual los hace altamente confiables.

Los disipadores Histeréticos se sustentan en el desplazamiento y se fundamentan en la plasticidad de los metales, que puede manifestarse a través de la flexión, el corte o la extrusión. Estos dispositivos transforman la energía generada por un sismo en energía térmica mediante el fenómeno de histéresis plástica del material o por medio de la energía friccional.

Figura 10
Disipadores Histeréticos



Nota. Esta imagen nos muestra la clasificación de los disipadores Histeréticos dependiendo del tipo de desplazamiento. Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)

2.2.2. Tipos de disipadores metálicos de energía

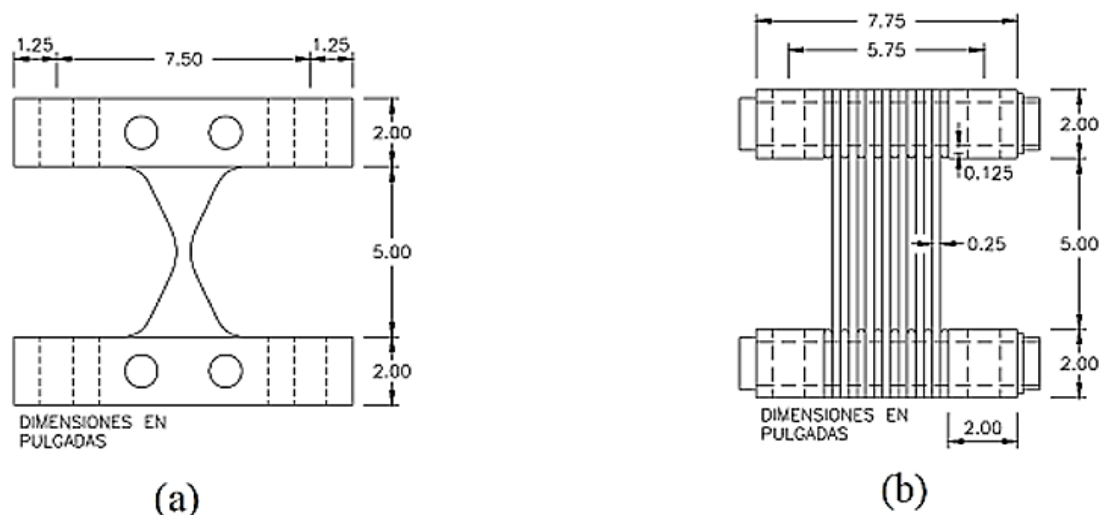
2.2.2.1. Disipadores metálicos ADAS

El sistema ADAS Adding Damping And Stiffness, desarrollado por la Corporación de Energía Betchel en la década de 1980, fue objeto de investigación por parte de (Bergman y Goel, 1987) y (Whittaker et al., 1989). Este sistema se compone de un conjunto de placas de acero con forma de X como se observa en la Figura 11, diseñadas para flexionarse, las cuales están conectadas en paralelo en los extremos superior e inferior a elementos rígidos con el propósito de evitar la posibilidad de rotación.

En el ámbito global, los usuarios de sistemas metálicos del tipo ADAS desempeñan una función de gran relevancia. Estos sistemas se emplean para reforzar y aplicar mejoras en estructuras de edificios, tal como se muestra en la Figura 12, lo que conlleva a la reducción de los posibles daños que puedan ocurrir en las construcciones. Además, la incorporación de tecnologías avanzadas ha impulsado el crecimiento y la utilización de estos componentes, gracias a su alta rigidez inicial, comportamiento estable en la respuesta estructural y su fabricación a partir de acero estructural sin necesidad de soldadura, lo que proporciona ventajas en términos de fricción y propiedades viscoelásticas.

Figura 11

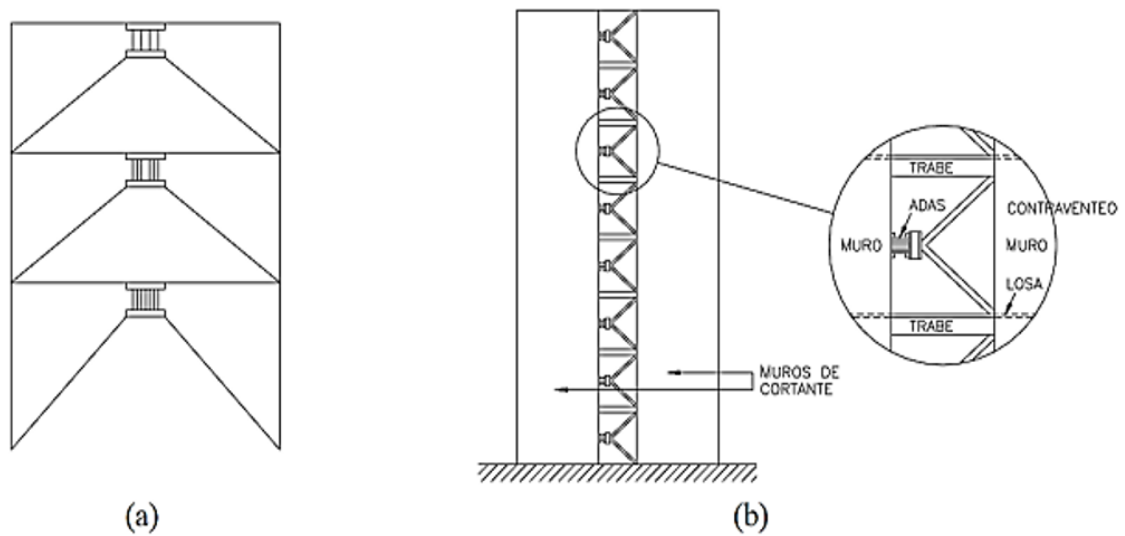
Sistema ADAS (a) Dimensiones, (b) Conexión tipo planchas en paralelo



Nota. Se exhiben las dimensiones de este sistema, así como las disposiciones usuales de las placas y sus conexiones. Además, se ilustra la ubicación de estas conexiones en el ensamblaje de las diagonales, que se sitúan por debajo de las vigas del piso. Como alternativa, también es posible instalarlas en muros adyacentes de hormigón armado, tal como se representa en la figura a continuación. Fuente: (Ramírez Machado, 2020)

Figura 12

Ubicación del Sistema ADAS en Muros de Hormigón

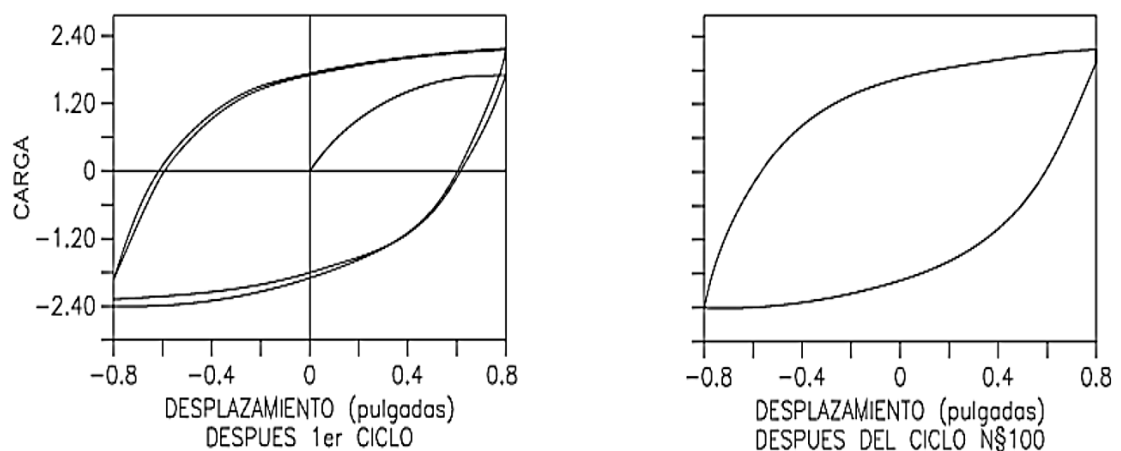


Nota. En esta imagen se puede observar el lugar adecuado para la colocación de disipadores metálicos tipo ADAS en muros acoplados de hormigón. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

La plastificación ocurre simultáneamente en cada placa. Como se puede apreciar en la Figura 13, la forma y la variación en la cantidad de placas utilizadas permiten optimizar tanto la respuesta estructural como la disipación de energía en todo el volumen.

Figura 13

Respuesta Histerética estable del Sistema ADAS



Nota. En esta imagen se puede apreciar la respuesta de un sistema de disipadores tipo ADAS frente a un movimiento sísmico, donde se optimizan los buenos resultados sin sufrir algún tipo de daño significativo después de un número de ciclos. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

2.2.2.2. Disipadores metálicos TADAS

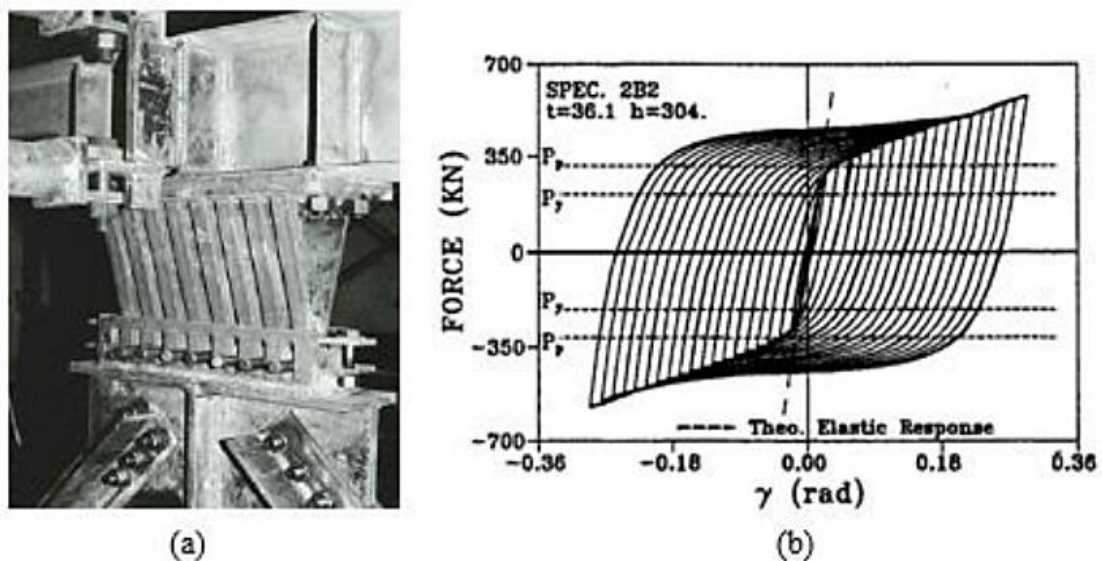
La categoría de disipadores conocidos como "Triangular-plate Added Damping and Stiffness" (TADAS) fue desarrollada por (Tsai et al., 1993) como una extensión del sistema ADAS, tal como se observa en la Figura 14, utilizando placas triangulares. Estos dispositivos constan de un conjunto de placas metálicas de espesor uniforme y forma trapezoidal, dispuestas en paralelo y soldadas a una placa base común. Las fuerzas aplicadas actúan perpendicularmente al plano mostrado. La configuración de este componente es tal que está empotrado en la parte superior y articulado en el extremo inferior, permitiendo que las placas se deformen por flexión en curvatura simple.

Esta curvatura se distribuye de manera uniforme a lo largo de las placas, lo que posibilita que la plastificación ocurra simultáneamente en toda la altura de las placas sin concentración de la curvatura.

Además, los ciclos histeréticos de estos dispositivos son prácticamente rectangulares, lo que los hace altamente eficientes, ya que el área encerrada en el ciclo es máxima y corresponde a la cantidad máxima de energía que este elemento puede disipar. Esto se traduce en una alta eficiencia en la disipación de energía, ya que la energía disipada se maximiza cuando el ciclo histerético es rectangular.

Figura 14

Dispositivo TADAS (a) Detalle de Conexión, (b) Comportamiento Histerético



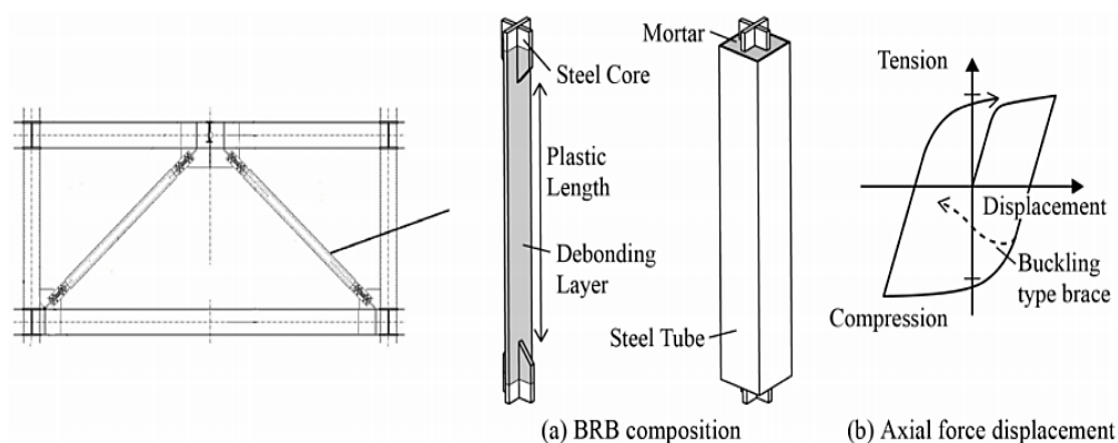
Nota. En esta imagen se puede observar a detalle el tipo de conexión y comportamiento histerético que tienen los disipadores metálicos ADAS actuantes con fuerzas perpendiculares. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

2.2.2.3. Disipadores metálicos BRB

El sistema de "Buckling-Restrained Braced" (BRB) pertenece a la categoría de dispositivos diseñados para disipar la energía generada por cargas cíclicas mediante deformación axial. Este sistema fue originalmente desarrollado e implementado en Japón y Estados Unidos. Los BRB son dispositivos que se conectan a estructuras de acero u hormigón de manera similar a tirantes concéntricos convencionales. La Figura 15 muestra que están compuestos por un núcleo de acero delgado sin límites, rodeado por un tubo metálico lleno de hormigón. El núcleo de acero interno cede bajo tensiones, mientras que la carcasa externa evita el pandeo.

Figura 15

Disipador tipo Riostra Metálica con Restricción al Pandeo



Nota. En esta imagen se precisa que los disipadores metálicos BRB restringen el pandeo, tomando en cuenta (a) su composición y (b).su fuerza de desplazamiento. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

Las características histeréticas del núcleo son consistentes y prácticamente simétricas una vez que toda la sección transversal del núcleo ha cedido. La placa de acero central contribuye a una disipación estable de energía cuando cede bajo cargas axiales inversas, mientras que el tubo de acero relleno de hormigón que lo rodea evita el pandeo debido a la compresión. Como resultado, no se produce degradación durante el ciclo de compresión.

Entre sus ventajas más destacadas se encuentra la posibilidad de ajustar de manera independiente su resistencia y rigidez, y su facilidad de instalación, que es similar a la de una barra diagonal convencional. Sin embargo, presenta algunas desventajas importantes. En primer lugar, la inspección del núcleo de acero resulta

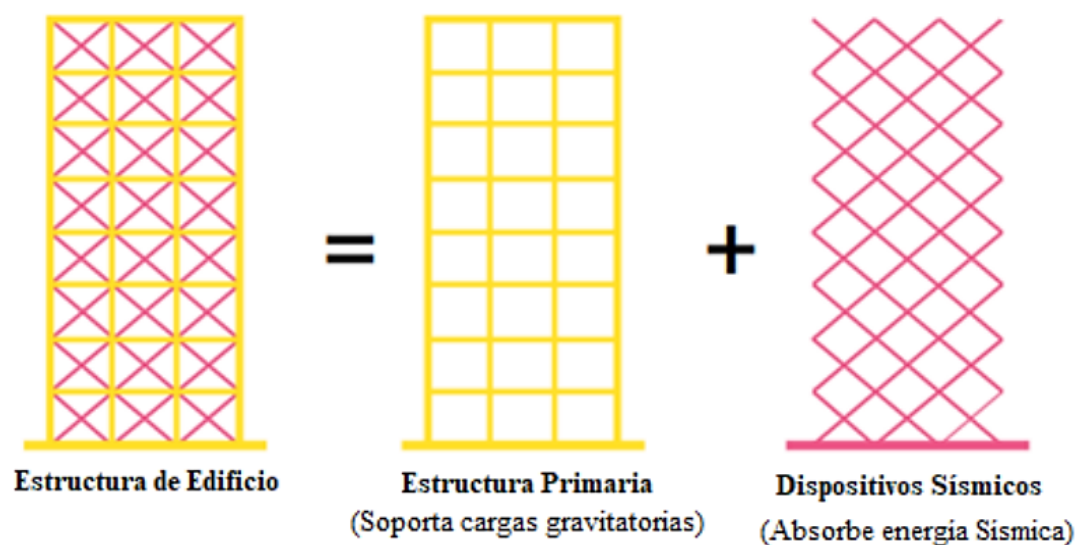
imposible sin la necesidad de desmontar la estructura reforzada, lo que puede ser un proceso costoso y complejo. Además, los materiales y la geometría de la interfaz de deslizamiento deben ser diseñados y construidos con gran precisión para permitir los movimientos relativos entre el núcleo de acero y el hormigón debido a las fuerzas de corte, lo que requiere una atención minuciosa durante el proceso de construcción.

Es importante mencionar que el estudio realizado por (Wada et al., 1995), en el cual se emplearon disipadores metálicos dentro de un marco estructural elástico, fue fundamental para la concepción del concepto de "estructura tolerante al daño", tal como se muestra en la Figura 16. Según esta teoría, la disipación de energía se enfoca en elementos específicos diseñados como "fusibles de daño", mientras que la estructura principal tiene la responsabilidad de soportar de manera segura la carga de gravedad.

Es recomendable ubicarlos de manera simétrica para evitar torsión. Los diafragmas de piso deben transmitir las fuerzas a los BRB's. Se recomienda un ángulo de inclinación de 30° a 60°. Debido a que su capacidad es casi simétrica ($T \approx P$), no es necesario colocar a los BRB's de forma alternada para que unos trabajen en tensión y otros en compresión. Los BRB's con mayor longitud de plástica muestran una mejor capacidad de disipación de energía. La falla por fatiga se presenta por rotura en tracción del núcleo debido a aplicaciones repetidas de esfuerzos.

Figura 16

Concepto de Estructura Tolerante a Daños



Nota. En esta imagen se explica cómo es que se conforma el concepto de estructura tolerante a daños, con el propósito de soportar cargas gravitatorias y absorber energía sísmica. Fuente: (Ramírez Machado, 2020)

2.2.2.4. Disipadores Honeycomb

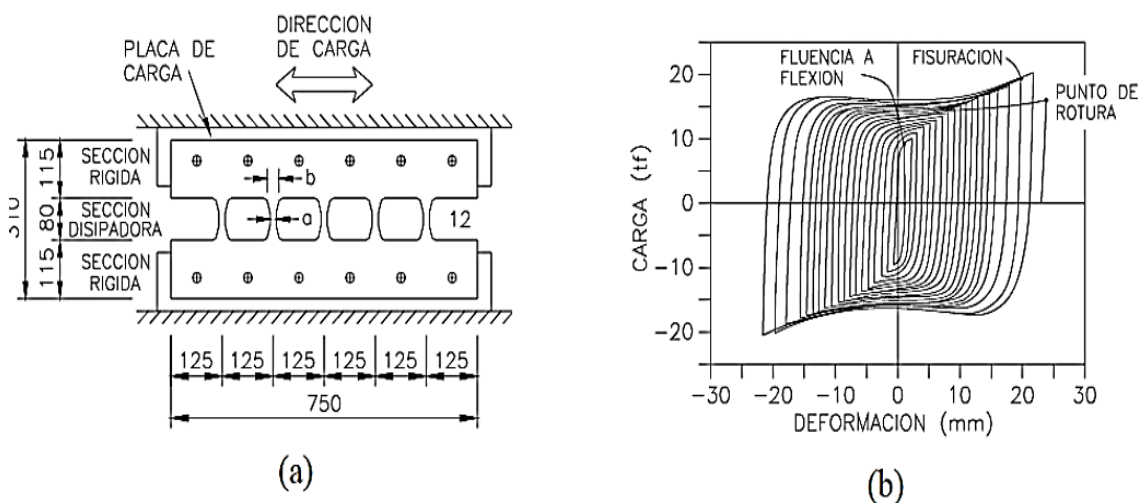
El disipador de acero alveolar, estudiado por (Kobori et al., 1992) con el propósito de mejorar la capacidad de absorción de energía en edificios de gran altura, presenta una placa de acero con aberturas en su parte central que está sometida a cargas actuando en su propio plano. En su sección transversal, las placas de estos dispositivos se disponen de forma perpendicular y están conectadas entre sí, de manera que las fuerzas actúan paralelas al plano que se muestra. Los resultados de este estudio revelaron que, al comparar dos estructuras en condiciones idénticas, excepto que una de ellas incorporaba los disipadores Honeycomb, la estructura con los disipadores logró reducir significativamente su desplazamiento, cumpliendo con los límites de desplazamiento especificados cuando era inferior al 1%.

Por lo tanto, el uso de disipadores de energía tipo Honeycomb se posiciona como una opción viable tanto para la mejora de estructuras existentes como para la construcción de nuevas edificaciones.

Los diagramas de histéresis de este tipo de dispositivo son prácticamente rectangulares como se observa en la Figura 17, lo que indica una alta estabilidad y una resistencia constante sin una degradación evidente, como se puede observar claramente.

Figura 17

(a) Dimensiones y (b) Respuesta Histerética de Disipador Panel de Abeja



Nota. El gráfico representa el tipo de respuesta que da el disipador panel de abeja con la capacidad de absorber energía a edificios de gran altura brindando una mayor estabilidad. Fuente: (Ramirez Machado, 2020).

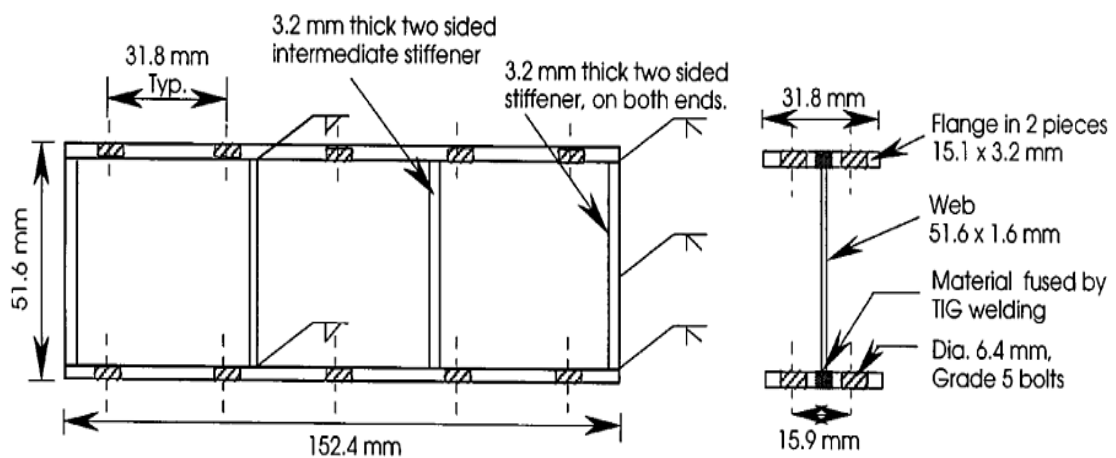
2.2.2.5. Disipadores metálicos por cortante

Rai y Wallace (1998) fueron pioneros en el desarrollo del disipador de aluminio Shear Link, una innovación destacada en el campo de la ingeniería estructural. Este disipador se diseñó específicamente para plastificar ante fuerzas laterales en modo de cortante, lo que lo hace invaluable en aplicaciones sísmicas.

En la Figura 18 se observa que el disipador de aluminio Shear Link se caracteriza por su sección transversal en forma de I, compuesta por placas de aluminio soldadas y reforzada con rigidizadores en el alma. Esta configuración única permite que el material de aluminio se deforme plásticamente cuando se le somete a cargas laterales significativas, lo que contribuye a la disipación efectiva de energía en situaciones de terremotos o eventos sísmicos. El diseño de Rai y Wallace (1998) ha sido ampliamente adoptado en la ingeniería estructural debido a su eficacia y versatilidad.

Figura 18

Disipador Shear-Link de Aluminio



Nota. El gráfico precisa las características que tienen los disipadores Shear-Link de aluminio. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

El aluminio es un material ampliamente reconocido por su versatilidad y peso ligero, lo que lo convierte en una elección popular en una variedad de aplicaciones industriales y de ingeniería. Una de las características notables del aluminio es su baja resistencia a la plastificación, lo que significa que puede deformarse plásticamente cuando se somete a cargas significativas. Esta propiedad es particularmente útil en la ingeniería de estructuras, donde se pueden aprovechar sus ventajas.

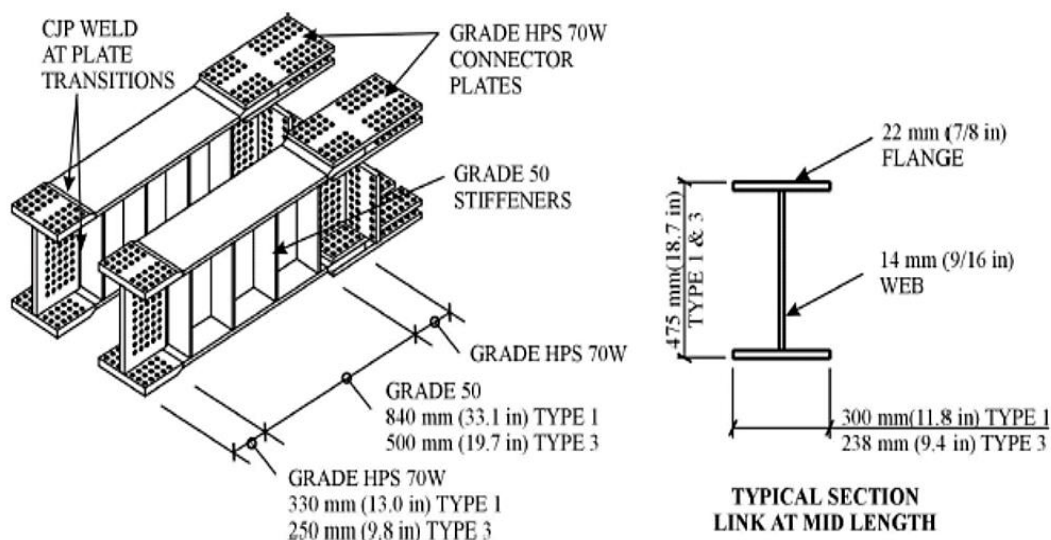
Cuando se trata de elementos estructurales, como el dissipador Shear Link propuesto por Dusicka en 2002, el uso de aluminio como material permite la utilización de una membrana o núcleo de mayor espesor. Esto, a su vez, disminuye la probabilidad de abolladuras o pandeos locales, lo que es crucial para la integridad de la estructura.

El dissipador Shear Link, como se puede observar en la Figura 19, desempeña un papel vital en la torre de soporte del nuevo cruce este del puente de la Bahía de San Francisco - Oakland. Fue diseñado específicamente para resistir terremotos de gran magnitud al disipar la energía a través del corte. Su diseño se asemeja a una viga en forma de I con rigidizadores, y está fabricado con placas de acero de diferentes espesores y propiedades del material. El acero A709 grado 50 se utiliza en el centro, mientras que el acero A709 grado HPS 70W se emplea en los extremos, lo que le confiere una resistencia excepcional y durabilidad.

En resumen, el uso del aluminio y el diseño innovador del dissipador Shear Link no solo demuestran la ingeniería avanzada utilizada en la construcción de estructuras críticas, sino que también garantizan la seguridad y la estabilidad en situaciones sísmicas, protegiendo vidas y bienes en una de las regiones geográficas más propensas a terremotos.

Figura 19

Geometría del Shear Link de Dusicka



Nota. El gráfico representa el dissipador propuesto por Dusicka con forma de I con placas de acero de diferentes espesores y propiedades, como acero A709 grado 50 en el centro y acero A709 grado HPS 70W en los extremos. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

2.2.3. Disipadores Metálicos SLB

2.2.3.1. Disipadores SLB a través del tiempo

Los dispositivos Shear Link Bozzo, abreviados como SLB, son un tipo de disipadores que forman parte de la familia de los dispositivos histeréticos metálicos. Fueron introducidos por primera vez en la Universidad de Girona, España, en 1997, como se documenta en las publicaciones de Bozzo y Barbat en 1999, Cahís, LI y Bozzo en 2000, y Cahís Carola en 2001.

El diseño de estos dispositivos se basa en el concepto de sistemas estructurales disipativos para pórticos con arriostramiento excéntrico, originalmente desarrollados por Popov y Engelhardt en 1988. Estos dispositivos aprovechan la capacidad de los metales para disipar energía a través de su plastificación bajo tensiones de cortante. Las propiedades de los SLB se pueden ajustar para lograr una amplia gama de capacidades de disipación, mediante la modificación de sus características geométricas.

Durante las últimas dos décadas, se han realizado investigaciones tanto numéricas como no experimentales con el objetivo de optimizar el rendimiento mecánico de los dispositivos SLB. Esto ha permitido un desarrollo progresivo de estos disipadores en tres generaciones, como se describe en el trabajo de Nuzzo y otros en 2018. La primera investigación numérica en esta línea se llevó a cabo en la tesis doctoral de Foti, Bozzo y López-Almansa en 1998. Esta investigación involucró una comparación de las respuestas de estructuras flexibles con un sistema rígido que incorpora disipadores genéricos.

Además, la concepción de la primera generación de dispositivos Shear Link Bozzo (SLB) fue motivada por un objetivo fundamental: proteger y aprovechar la capacidad resistente de los muros no estructurales en edificaciones. Estos innovadores dispositivos inaugurales se crearon a partir de un único bloque de acero ASTM A36, que se sometió a un proceso de fresado y se fortaleció mediante la incorporación de una sección transversal en forma de I.

Estos prototipos iniciales, aunque de escala reducida, desempeñaron un papel crucial al adaptarse a fuerzas de corte extremadamente bajas, aproximadamente alrededor de 10 kN. En la Figura 20 muestra la estructura de los SLB estaba compuesta por un marco principal y cuatro ventanas en su plano, todas diseñadas con un espesor menor en comparación con el marco. Esta disposición ingeniosa permitía una eficiente disipación de energía, lo que resultaba esencial para su función protectora. Además,

este diseño minimizaba la probabilidad de abolladuras o deformaciones no deseadas en los dispositivos.

Un aspecto de suma importancia en la fabricación de estos dispositivos radicaba en el hecho de que no se emplearon elementos soldados en la zona de plastificación. Esta estrategia fue fundamental para eliminar cualquier tensión residual generada por el proceso de soldadura, lo que garantizaba una mayor confiabilidad y durabilidad de los SLB. Como se menciona en el estudio realizado por Bozzo, Cahis y Torres en 1998, esta consideración demostró ser esencial en el desarrollo exitoso de estos dispositivos de primera generación.

En resumen, la creación de la primera generación de dispositivos SLB marcó un hito significativo en la ingeniería estructural al proporcionar una solución efectiva para proteger muros no estructurales y aprovechar al máximo su capacidad resistente, al tiempo que se abordaban con éxito las preocupaciones sobre deformaciones no deseadas y tensiones residuales.

Figura 20

Prototipo Inicial de los Disipadores SLB



Nota. La imagen presenta la primera generación de disipadores SLB aprovechando la capacidad de metales para disipar energía. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

Posteriormente, los análisis llevados a cabo por (Franchioni, 2001) en modelos a escala reducida en la mesa vibrante del laboratorio del Istituto Sperimentale Modelli e Strutture ISMES (Bérgamo, Italia), demostraron experimentalmente la posibilidad de

diseñar estructuras con niveles de fuerza propios de sistemas flexibles, pero con desplazamientos equivalentes a sistemas rígidos. Más tarde, (Hurtado y Bozzo Rotondo, 2006) realizaron una serie de ensayos experimentales en ISMES, donde generaron diversas geometrías con conexiones atornilladas destinadas al diseño sísmicamente resistente de edificios. Este proceso condujo a la segunda generación de dispositivos SLB, como se ilustra en la Figura 21, con un aumento en el número de ventanas para lograr la completa plastificación y alcanzar niveles superiores de disipación. Aunque se mantuvo esta conexión, se desarrolló una tabla que resume los parámetros de diseño más relevantes para estos dispositivos.

Figura 21

Dispositivo L30_2 ensayado en Laboratorio ISMES



Nota. La imagen que se observa es el resultado de estudios que se realizaron a ensayos posteriores originando diferentes geometrías en su uso. Fuente: (Ramírez Machado, 2020)

Después de aproximadamente dos décadas de investigación exhaustiva, se presenta la tercera iteración de los dispositivos Shear Link Bozzo (SLB). En la Figura 22 se muestra esta evolución, donde se ha puesto un fuerte énfasis en mejorar la ductilidad del disipador, lo que se ha logrado aumentando el número de ventanas en comparación con la generación anterior. Esta mejora estratégica tiene como objetivo retrasar el proceso de abolladura en las ventanas disipadoras, lo que a su vez permite

que el SLB continúe disipando energía incluso cuando se produce un desplazamiento de hasta 30 mm, según los resultados de los ensayos llevados a cabo.

Después de un riguroso proceso de pruebas y calibración realizado en la Universidad de Nápoles (Italia), se ha obtenido una tabla que contiene los parámetros de diseño específicos para los disipadores de tercera generación SLB, como se documenta en el estudio de Iasevoli en 2019.

Figura 22

Tercera Generación del Disipador Sísmico SLB y Conexión tipo Peine



Nota. La imagen que se muestra el tercer prototipo del disipador SLB mejorando su ductilidad y desplazamiento, como resultado de los ensayos. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

El dispositivo SLB de tercera generación ha alcanzado un nivel de eficiencia notable, siendo capaz de responder de manera efectiva a deformaciones inferiores a los 5 mm, lo que está por debajo del umbral de daño no estructural. Además, se ha destacado por su notable versatilidad en términos de implementación en diversas aplicaciones. Este dispositivo logra una disipación de energía constante en su plano gracias a la plastificación del material y su conexión en forma de "peine" o almenada. Además, se ha logrado una representación numérica extremadamente precisa de su comportamiento.

2.2.3.2. Propiedades mecánicas y geométricas de los disipadores SLB

Las resistencias a corte del disipador SLB están directamente relacionadas con dos factores clave: el material con el que se fabrica y el área neta de su sección transversal. Estas resistencias pueden calcularse utilizando la siguiente expresión:

La ecuación 1 proporciona la capacidad de calcular la resistencia a la fuerza cortante tomando como base el esfuerzo de fluencia y el área transversal del alma (como se hace referencia en la ecuación 1).

$$V = f_y \times A_w \quad (1)$$

Donde:

V: Resistencia a cortante

f_y : Esfuerzo nominal de fluencia

A_w : Área transversal del alma

Los estudios experimentales exhaustivos presentados en la sección anterior han proporcionado valiosos insights sobre el comportamiento de los dispositivos SLB. Los resultados obtenidos en estos estudios revelan que estos dispositivos demuestran una sobresaliente rigidez cuando se someten a cargas que se encuentran dentro del rango elástico, específicamente en el plano de disipación. Esta característica es particularmente relevante, ya que garantiza una respuesta precisa y predecible ante sollicitaciones estructurales en condiciones normales de operación.

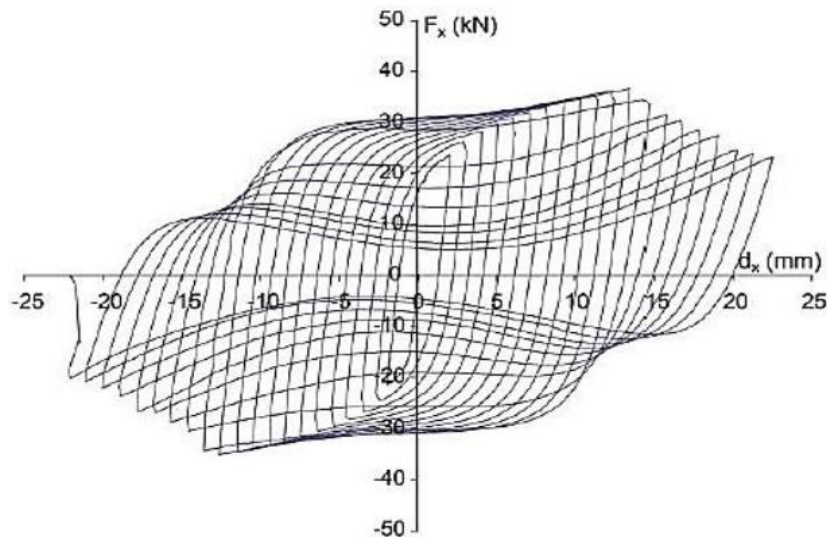
Por otro lado, se destaca que los dispositivos SLB exhiben una notable flexibilidad en su plano normal, que es perpendicular al plano de disipación. Esta flexibilidad es una propiedad distintiva que marca una diferencia significativa en comparación con otros sistemas de plastificación metálicos. Esta particularidad se traduce en una mayor capacidad de adaptación a cargas y movimientos inesperados, lo que es esencial en la ingeniería estructural moderna.

Una característica fundamental que define la eficacia de los dispositivos SLB es su modo de doble deformación. Esto significa que estos dispositivos tienen dos modos de falla diseñados específicamente para disipar energía. Esta estrategia dual en la deformación es esencial para su capacidad de absorción de energía eficiente y su desempeño sobresaliente en la mitigación de cargas sísmicas y otros eventos dinámicos, como se puede observar en la Figura 23. Esta capacidad de respuesta multifacética les permite adaptarse a diversas condiciones de carga y asegura que

puedan absorber energía de manera efectiva en una variedad de situaciones, lo que los convierte en una opción valiosa para la protección y la seguridad en la ingeniería de estructuras.

Figura 23

Doble modo de Disipación de Energía en los Dispositivos SLB



Nota. La imagen demuestra que los disipadores SLB tienen doble modo de falla. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

Uno de los aspectos fundamentales en la respuesta de los dispositivos SLB se relaciona con las deformaciones principales, que principalmente se originan debido a los esfuerzos cortantes aplicados en las denominadas "ventanas disipadoras". Una vez que estas ventanas alcanzan su punto de abolladura, la disipación de energía continúa gracias a los esfuerzos de flexión que actúan en el marco de refuerzo. Cabe señalar que, aunque la disipación de energía por flexión no es considerada en el diseño inicial de los SLB, puede considerarse como un factor adicional de seguridad, lo que demuestra la versatilidad y la capacidad de estos dispositivos para adaptarse a diferentes condiciones de carga.

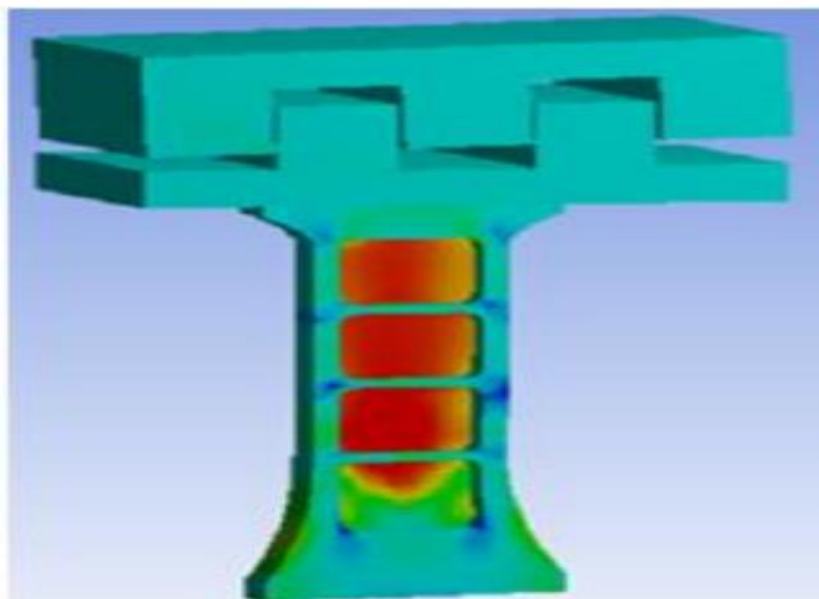
Para comprender la respuesta no lineal de los disipadores SLB, se ha recurrido a la teoría de la plasticidad como base, respaldada por técnicas de elementos finitos. Esta combinación de enfoques permite un análisis detallado de la respuesta estructural de los dispositivos.

El cálculo de la geometría de los dispositivos SLB se ha realizado utilizando el software ANSYS como se observa en la Figura 24, una herramienta ampliamente

reconocida para resolver problemas estructurales complejos (Lee, 2015). Esta metodología ha sido empleada en investigaciones recientes, como las realizadas por Pantoja y colaboradores en 2020. La Figura ilustra el modelo numérico de los dispositivos SLB de tercera generación, que ha sido objeto de estudio tanto por Bozzo en 2018 como por el equipo de Pantoja en 2020. Estos estudios tienen como objetivo verificar la concentración local de tensiones en el dispositivo y evaluar las áreas y demandas de plasticidad en diferentes situaciones de carga. Es importante mencionar que, en estos modelos numéricos, el dispositivo se ha representado como un elemento en voladizo, lo que significa que está fijado en el extremo inferior y libre en el extremo superior, en concordancia con la conexión tipo peine o almenada, sin la aplicación de fuerza axial.

Figura 24

Modelo Numérico de Dispositivo en ANSYS

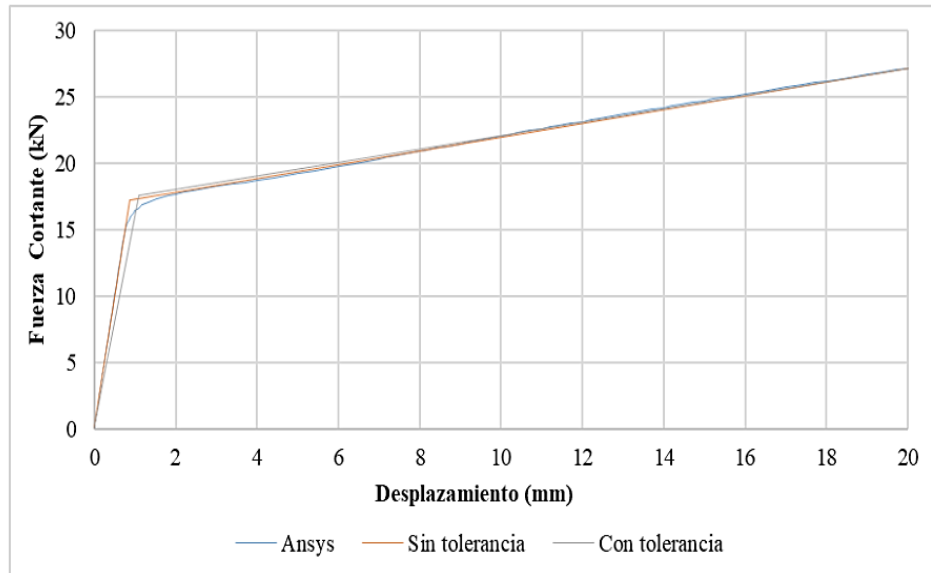


Nota. La imagen representa el modelo numérico que se desarrolló mediante el programa ANSYS para darle solución a problemas estructurales complejos. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

Además, en el proceso de análisis, el dispositivo fue sometido a una fuerza horizontal que permitió establecer la relación no lineal entre la fuerza aplicada y el desplazamiento resultante. Las curvas monotónicas correspondientes al dissipador bajo estudio se obtuvieron teniendo en cuenta la tolerancia inherente a la unión de las dos piezas que componen la conexión como se aprecia en la Figura 25. El desplazamiento máximo objetivo considerado para estas curvas fue de 20 mm. Esta información es fundamental para comprender y evaluar el comportamiento real.

Figura 25

Curva Monotónica de Desplazamiento (cm) vs Fuerza (kN) del dispositivo SLB



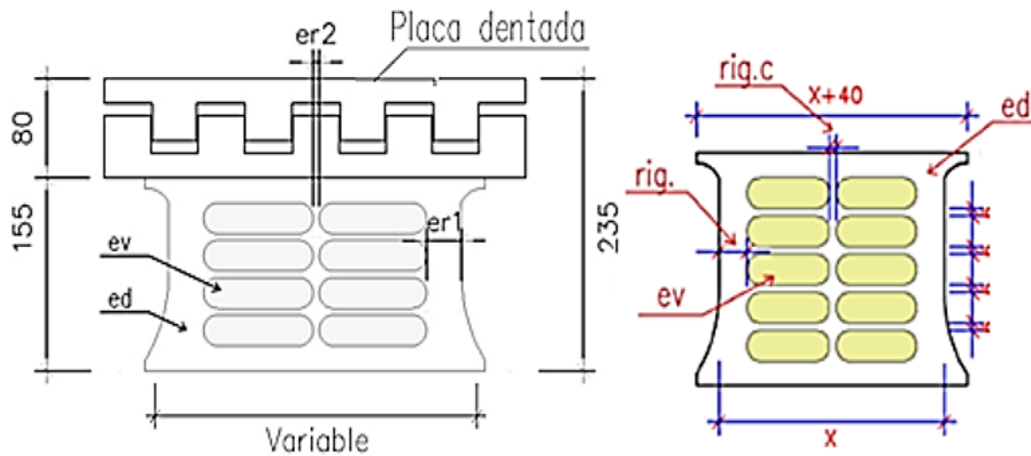
Nota. La imagen plasma la curva que se genera, a partir de, una relación de fuerza cortante y desplazamiento en el disipador SLB. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

A partir de esta respuesta no lineal, se obtuvieron los principales parámetros que caracterizan los dispositivos SLB: la rigidez elástica K_1 , la rigidez post plastificación K_2 , la fuerza de plastificación F_y , el desplazamiento de plastificación relacionado D_y , la fuerza máxima $F_{m\acute{a}x}$, el desplazamiento máximo relacionado D_y , y la energía disipada E_D . Respecto a la altura total de 235 mm de estos elementos, la conexión tipo peine corresponde a 80 y 155 mm de la altura de los dispositivos (puede variar para un proyecto de diseño específico). La magnitud de la fuerza cortante actuante en los dispositivos determina su elección y sus dimensiones.

Para un adecuado proceso de selección, se propone una notación especial para de los dispositivos SLB, representándolos con la siguiente serie: SLB (n) X_Y. Donde: n depende espesor del disipador en milímetros (en el caso de placas de 19 mm corresponde 2; para placas de 25 mm, ed será 3; mientras que ed es 4 para placas de 38 mm); X es el ancho del disipador en centímetros. El parámetro X varía entre 60 y 500 mm; Y es el espesor de la ventana (ev) en milímetros. El parámetro Y puede ser 2, 3, 4, 5 o 6 mm para cada valor dado de X. Su geometría es la indicada en la Figura 26; además, la longitud es variable de acuerdo con la fuerza de fluencia requerida.

Figura 26

Geometría y Características Generales de los Disipadores de Energía SLB



Nota. La imagen evidencia el diseño para el disipador SLB para ser seleccionado como el adecuado ante fuerzas cortantes. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

Es importante destacar que incluso pequeñas alteraciones en las dimensiones y la forma del dispositivo pueden resultar en cambios sustanciales en sus características mecánicas, incluyendo tanto su capacidad de resistencia como su rigidez. Esta particularidad aumenta la versatilidad del dispositivo, haciéndolo una opción atractiva para una variedad de soluciones de diseño.

2.2.3.3. Peculiaridades en el modelamiento matemático de los disipadores SLB- método de diseño iterativo

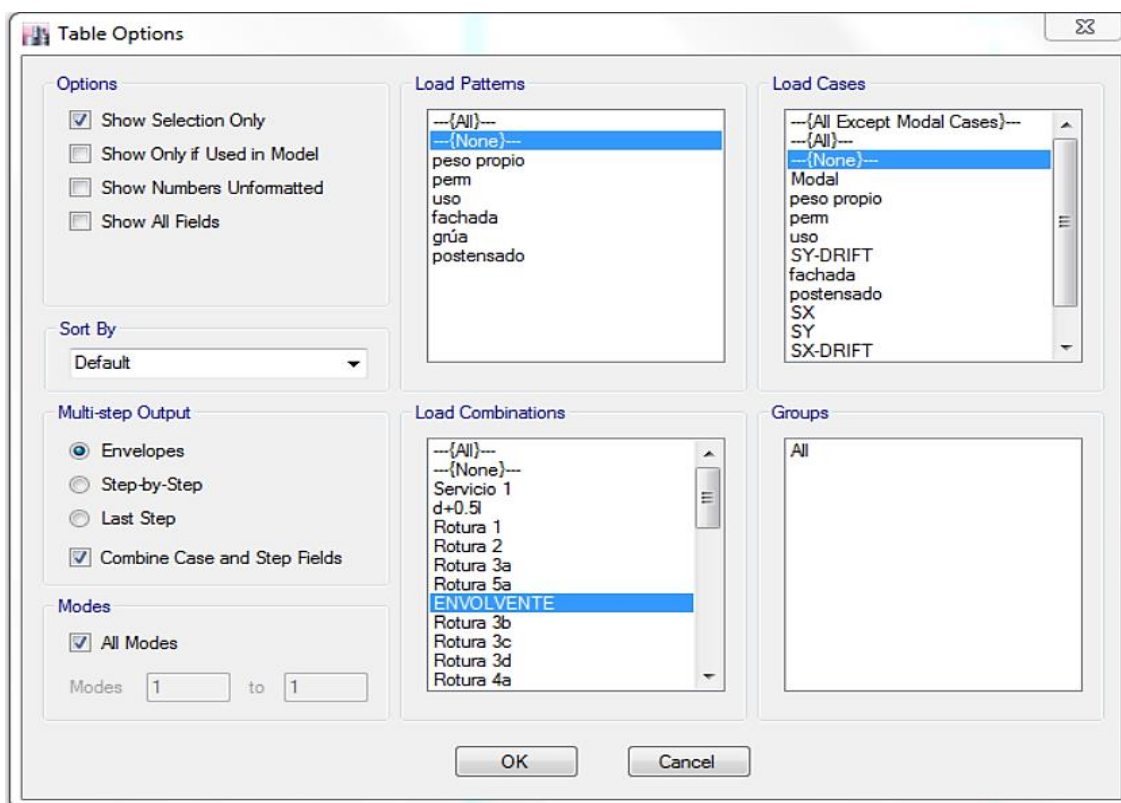
El proceso de selección inicial de los dispositivos de base aislante sísmica (SLB) se lleva a cabo mediante un análisis modal espectral lineal, lo que permite una rápida iteración para determinar la selección óptima de estos dispositivos. Aunque el procedimiento no lineal paso a paso es la herramienta más precisa disponible en la actualidad para el diseño de estos dispositivos, requiere un tiempo de cómputo considerable. A continuación, se describen los pasos involucrados en este procedimiento iterativo directo de diseño:

Primer Paso: El inicio del diseño de los disipadores implica asignar un disipador inicial a todos los elementos links que previamente se definieron en el modelo estructural. En este caso, se ha seleccionado el disipador SLB2 15_3 junto con sus propiedades definidas en el modelo ETABS. Una vez que se han asignado estas propiedades de disipadores a los links, se procede a realizar el primer análisis del modelo.

Segundo Paso: Después de completar el análisis anterior, es necesario exportar dos tablas del modelo ETABS a Excel. En esta etapa, es fundamental seleccionar únicamente los resultados que son relevantes. En este caso, los resultados de interés se encuentran en Load Combinations>Envolvente. Para lograrlo, se configura Load Patterns y Load Cases como "None", tal como se muestra la Figura 27. Es importante destacar que este procedimiento está automatizado en la aplicación (plugin) y se ejecuta de manera automática en ETABS, eliminando la necesidad de llevar a cabo estos pasos de forma manual.

Figura 27

Elección de la opción "None" en Load Patterns



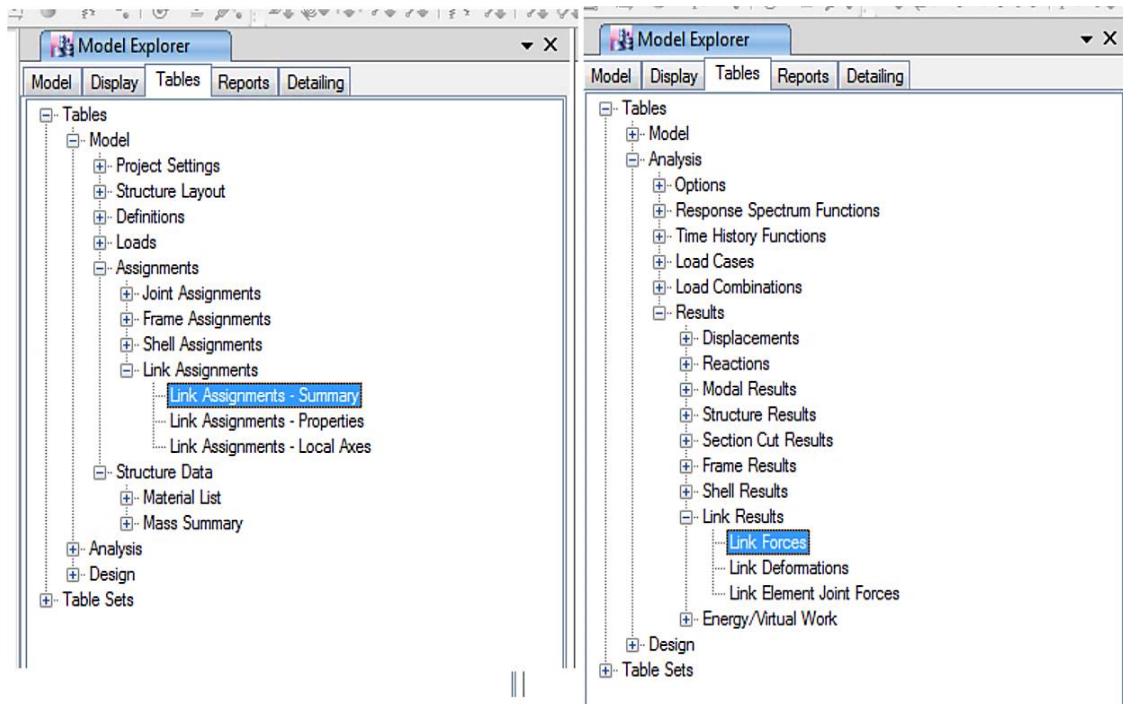
Nota. En la imagen se puede observar la ventana de definición de patrón de cargas. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

Tercer Paso: En la ventana de exploración del modelo, se eligen las tablas "Link Assignments - Summary" y "Link Forces". Luego, se activa la opción "Mostrar Tabla" para ambas tablas haciendo clic derecho en la ventana de exploración. Para enfocarse en la tabla "Link Forces", se selecciona específicamente la opción "J-End" en la columna "Ubicación" mediante un clic derecho. De esta manera, se obtienen tanto la máxima como la mínima fuerza en la envolvente para los enlaces. En la Figura 28, los valores son idénticos y de signo opuesto debido a la regularidad completa del edificio, aunque

en otros casos podrían variar. Una vez que se han filtrado las tablas de interés, se procede a exportar ambas a Excel. Para llevar a cabo esta acción, se realiza un clic derecho en cualquier parte de la tabla y se elige la opción "Exportar a Excel"

Figura 28

Selección de tablas para su exportación a Excel



Nota. En la figura se muestra la tabla de resultados del modelo matemático. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

Cuarto Paso: Una vez que se han exportado las tablas a Excel, se procede a la selección del dispositivo más cercano al valor de F_y desde la tabla de dispositivos simples. La relación "Demanda/Capacidad" (D/C) se establece como el cortante requerido según los resultados de ETABS en esta iteración, considerando el F_y del dispositivo elegido. En el caso de que no se encuentren dispositivos simples con suficiente capacidad, se considera la opción de utilizar dispositivos dobles o triples, o incluso modificar el acero base al grado 50 como alternativa. Por lo general, debido a consideraciones de costos y rigidez, se prefiere la implementación de dispositivos múltiples en lugar de aumentar el grado del acero. Este proceso se encuentra automatizado en el archivo de Excel "DISEÑO DISIPADORES V1", donde se inserta la tabla "Link Forces" en la pestaña "inicio" y la tabla "Link Assignments – Summary" en la pestaña "propiedades ETABS". En la pestaña "Hoja1", de la FIGURA 29 las columnas A, B y C se completan manualmente para indicar el eje, el nivel y el nombre único del enlace.

Figura 29

Relleno manual de las columnas A, B y C correspondiente a la pestaña Hoja 1

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Disipadores SLB											
2				Inicio				ETABS			Iteración		
3				V kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	V kN	D/C	Disipador
4	Eje A	Story 4	K12	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
5			K11	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
6		Story 3	K20	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
7			K19	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
8		Story 2	K28	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
9			K27	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
10		Story 1	K4	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
11			K3	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
12		Story 4	K9	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
13			K10	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
14	Eje D	Story 3	K17	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
15			K18	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
16		Story 2	K25	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
17			K26	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
18		Story 1	K1	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
19			K2	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
20		Story 4	K16	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
21			K15	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
22		Story 3	K24	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
23			K23	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
24	Eje 1	Story 2	K32	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
25			K31	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
26		Story 1	K8	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
27			K7	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
28		Story 4	K13	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
29			K14	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
30		Story 3	K22	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
31			K21	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
32		Story 2	K30	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
33			K29	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
34	Eje 4	Story 1	K6	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A
35			K5	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB2 15_3	126.10	240.45	#N/A	#N/A	#N/A

Nota. En la imagen se muestra las diferentes propiedades del disipador SLB las cuales son rellenas de manera manual para realizar las iteraciones mediante el software ETABS y DISIPA SLB. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

En la imagen se presenta la pestaña "Hoja1" junto con los valores que han sido definidos manualmente. En la columna D se detallan las fuerzas cortantes que afectan a cada uno de los disipadores, mientras que en la columna E se indica qué disipador se requiere para resistir las cargas que actúan sobre ellos. A partir de esta información inicial, se lleva a cabo la primera iteración, asignando las secciones que se encuentran en la columna a cada uno de los enlaces del modelo ETABS. Es importante mencionar que, por razones prácticas y de simetría, se están presentando únicamente los disipadores del Eje A. Sin embargo, es fundamental tener en cuenta que estos cambios deben aplicarse a todos los disipadores.

Quinto Paso: En la Figura 30, llevamos a cabo la evaluación del modelo y procedemos a exportar nuevamente las tablas llamadas "Asignación de Enlaces - Resumen" y "Fuerzas de Enlaces". En este contexto, la tabla que contiene las fuerzas se agrega a la pestaña de "iteración". Al copiar esta tabla en la columna M del archivo de Excel, se visualiza qué disipadores están funcionando correctamente y cuáles

requieren ser sustituidos. Si la relación entre la demanda y la capacidad supera 1.5, se señala la necesidad de realizar una nueva iteración y se especifica qué disipador se debe utilizar en ese caso.

Figura 30

Primera iteración y verificación de la relación demanda-capacidad (D/C)

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M
1		Disipadores SLB											
2				Inicio				ETABS			Iteración		
3				V kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	V kN	D/C	Disipador
4	Eje A	Story 4	K12	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
5			K11	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
6		Story 3	K20	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
7			K19	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
8		Story 2	K28	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
9			K27	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
10		Story 1	K4	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
11			K3	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
12		Story 4	K9	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
13			K10	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
14	Eje D	Story 3	K17	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
15			K18	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
16		Story 2	K25	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
17			K26	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
18		Story 1	K1	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
19			K2	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
20		Story 4	K16	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
21			K15	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
22		Story 3	K24	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
23			K23	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
24	Eje 1	Story 2	K32	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
25			K31	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
26		Story 1	K8	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
27			K7	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
28		Story 4	K13	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
29			K14	155.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	150.0	1.47	Ok!
30		Story 3	K22	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
31			K21	260.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_4	188.30	348.53	287.0	1.52	SLB2 20_4
32		Story 2	K30	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
33			K29	330.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	366.0	1.54	SLB3 25_3
34	Eje 4	Story 1	K6	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5
35			K5	366.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_3	238.20	457.15	436.0	1.83	SLB3 25_5

Nota. En la imagen se muestra las iteraciones entre el software ETABS y DISIPA SLB para la correcta verificación en función a las demandas del análisis. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

Sexto Paso: La siguiente etapa consiste en asignar los disipadores que se encuentran en la columna M al modelo. En el archivo de Excel, los datos que actualmente residen en la pestaña de "iteración" se copian a la pestaña de "inicio".

Después, se procede a ejecutar el análisis y se copia la tabla de "Fuerzas de Enlaces" en la pestaña de "iteración", al mismo tiempo que la tabla de "Asignación de Enlaces - Resumen" se copia en la pestaña de "propiedades ETABS".

Séptimo Paso: El proceso anterior se repite de manera iterativa hasta que todos los disipadores cumplan con su función. En la figura, se observa que el disipador que se muestra en la columna M es el mismo que ya está asignado en el modelo (columna H). En consecuencia, es necesario asignar en el modelo el disipador que le sigue en resistencia al que se encuentra actualmente asignado.

En la Figura 31, por ejemplo, el Eje A, en el nivel 3 se ha asignado el disipador SLB2 20_4, y la iteración también indica el mismo disipador, por lo tanto, se optará por asignar al modelo el disipador SLB2 20_5. De manera análoga, en el nivel 2, se ha asignado el disipador SLB3 25_3, y en la iteración se muestra el mismo disipador, por lo que en el modelo se asignará el disipador SLB3 25_4.

Figura 31
Resultados finales después de *t* iteraciones

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	
1	Disipadores SLB			Inicio			ETABS			Iteración				
3				V kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	Disipador	Fy kN	Fy max kN	V kN	D/C	Disipador	
4	Eje A	Story 4	K12	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!	
5			K11	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!	
6		Story 3	K20	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
7			K19	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
8		Story 2	K28	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
9			K27	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
10		Story 1	K4	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
11			K3	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
12		Eje D	Story 4	K9	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
13				K10	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
14	Story 3		K17	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
15			K18	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
16	Story 2		K25	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
17			K26	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
18	Story 1		K1	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
19			K2	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
20	Eje 1		Story 4	K16	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
21				K15	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
22		Story 3	K24	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
23			K23	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
24		Story 2	K32	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
25			K31	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
26		Story 1	K8	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
27			K7	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
28		Eje 4	Story 4	K13	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
29				K14	151.0	SLB2 15_2	101.80	199.61	SLB2 15_2	101.80	199.61	151.0	1.48	Ok!
30	Story 3		K22	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
31			K21	288.0	SLB2 20_4	188.30	348.53	SLB2 20_5	218.40	395.71	294.0	1.35	Ok!	
32	Story 2		K30	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
33			K29	361.0	SLB3 25_3	238.20	457.15	SLB3 25_4	279.60	526.49	369.0	1.32	Ok!	
34	Story 1		K6	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	
35			K5	456.0	SLB3 25_5	319.00	592.39	SLB3 25_5	319.00	592.39	456.0	1.43	Ok!	

Nota. En la imagen podemos apreciar los resultados después de todas las iteraciones, En este ejemplo fueron necesarias 3 iteraciones para llegar al resultado final. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

2.2.3.4. Procedimientos para el diseño de disipadores SLB – método de diseño iterativo inverso

El método de la "fuerza fija" o el enfoque iterativo "inverso" representa una alternativa al procedimiento de "iteración directa" en el diseño estructural, y su propósito principal es limitar el crecimiento de los espesores de los muros desacoplados y el tamaño de los dispositivos de disipación de energía. Esto es necesario debido a que el enfoque directo tiende a aumentar gradualmente las dimensiones de estos elementos. En general, se considera que espesores de muros desacoplados que superan los 300 mm son excesivos desde el punto de vista de la arquitectura y los costos.

La capacidad de resistencia al corte de un muro estructural, que se calcula teniendo en cuenta valores específicos como la resistencia característica del concreto (f_{ck}), la longitud y el espesor, se mantiene constante. En función de esta capacidad de resistencia constante, se determina el valor máximo de la fuerza que podría ejercerse en los dispositivos de disipación de energía.

A diferencia del enfoque de la iteración directa, donde normalmente se aumenta el tamaño del disipador en cada iteración, junto con su capacidad de corte, el procedimiento iterativo "inverso" tiene como objetivo mantener constante el valor de la fuerza de corte en el disipador. En consecuencia, en este método, la iteración se centra en reducir el tamaño del disipador en el modelo numérico (no en la realidad) para ajustar precisamente esa fuerza de corte deseada.

El proceso de selección de dispositivos SLB se realiza mediante un análisis lineal modal espectral, lo que permite una computación más eficiente en términos de tiempo. Este procedimiento se puede resumir en los siguientes pasos:

1. Se comienza definiendo un tipo de disipador (por ejemplo, SLB3 30_3) y un espesor de muro preliminar (por ejemplo, 150 mm).
2. Se inicia con un enfoque de iteración directa, donde se monitorean los parámetros a controlar, típicamente el desplazamiento entre pisos. A medida que se aumenta el número de dispositivos o el espesor de los muros desacoplados, se reduce el desplazamiento entre pisos hasta que se cumplan los requisitos de diseño locales. En algunos casos, podría ser necesario incrementar la cantidad de muros desacoplados. También es esencial verificar constantemente los límites del índice de capacidad (ρ) en el rango de 1.1-1.4 antes de realizar modificaciones en los dispositivos seleccionados en el análisis.
3. En cada paso, se verifica la fuerza cortante total en el muro desacoplado de acuerdo con la siguiente expresión:

La ecuación 2, permite calcular la resistencia a la fuerza cortante, a partir del esfuerzo de fluencia y el área transversal del alma (referido a la ecuación 2).

$$V_d = 1.5 \times F_y \times n_{SLB} \quad (2)$$

Donde:

F_y : Fuerza de fluencia de cada dispositivo,

1.5: Factor de seguridad adicional a los correspondientes a los ELU

n_{SLB} : Número de dispositivos en el muro.

4. El cortante máximo en el muro debe de cumplir lo establecido en el ACI.

La ecuación 3, permite cerciorarnos que el cortante máximo se desempeña correctamente de acuerdo a la normativa, a partir de su longitud, espesor y resistencia característica del concreto según la expresión (unidades MPa) (referido a la ecuación 3).

$$VdL \times t \leq 0.75 \times 0.83 \times \sqrt{fck} \quad (3)$$

En el caso de diagonales metálicas, la fórmula es parecida, pero está influenciada por la capacidad de carga de pandeo específica de estas diagonales. Esto hace que el sistema se asemeje al enfoque utilizado en los "BRB" o "Buckle Restrained Braces" (Diagonales de Pandeo Restringido), ya que se trata de un sistema análogo que considera la restricción del pandeo en las diagonales metálicas.

5. En caso de que no sea posible incrementar el espesor del muro "t," así como tampoco aumentar la resistencia característica del muro en una etapa posterior, se opta por cambiar al método de la iteración inversa, donde se restringe la fuerza que actúa sobre el muro desacoplado.
6. La capacidad del muro desacoplado se establece de acuerdo a lo previamente definido, y con base en este valor se desarrolla la siguiente expresión para determinar la fuerza máxima que debe soportar cada dispositivo del muro.

La ecuación 4, permite calcular la fuerza máxima de cada muro desacoplado, a partir de las siguientes variables (referido a la ecuación 4).

$$Fmax\ SLB = (0.75 \times 0.83 \times \sqrt{fck}) \times (L \times t)_{wall} 1.5 \times nSLB \quad (4)$$

Esta fuerza máxima "objetivo" representa el valor al que se aspira y que corresponde a un tipo específico de dispositivo. Este valor será el que se utilice en última instancia en el proceso de diseño.

7. En consecuencia, se procede a seleccionar el dispositivo de la tabla de dispositivos SLB de manera que su capacidad de carga (F_y) sea la más cercana, pero inmediatamente inferior, a la fuerza máxima objetivo, $F_{max, SLB}$. Normalmente, se encuentran varias opciones de selección y se aconseja optar por el dispositivo que tenga un mayor espesor de ventana, ya que suele ser más económico. En este punto, es fundamental volver a verificar el desplazamiento entre pisos, ya que existe la posibilidad de que la fuerza sea demasiado baja y no se cumpla con el límite de deformación establecido por la normativa local.

8. Dado que el análisis modal espectral es de naturaleza lineal, la fuerza actuante en cada dispositivo no tiene un límite específico. Por lo tanto, al seleccionar el dispositivo según el paso 7 y repetir el análisis, es probable que la fuerza cortante resultante cambie y, en muchos casos, supere el límite de demanda/capacidad previamente establecido, que se encuentra en el rango de 1.1-1.4. Una solución para abordar este desafío es reducir de manera "ficticia" el tamaño del dispositivo en el modelo numérico RSA y repetir el análisis hasta lograr una fuerza cortante que se encuentre dentro del rango establecido.

En resumen, el procedimiento de iteración inversa consta de dos etapas:

En la primera etapa, se establece una fuerza objetivo en cada dispositivo, y mediante un análisis modal espectral lineal, se realizan iteraciones ajustando dimensiones "ficticias" hasta lograr una relación entre la demanda y la capacidad de cortante que esté dentro del rango de 1.1 a 1.4.

En la segunda etapa, el procedimiento comienza con dispositivos como el SLB3 30_3 o incluso mayores, dependiendo de los parámetros de diseño que se quieran controlar, como el desplazamiento o el drift entre pisos, o a partir de una fuerza de cortante objetivo específica. Una vez que se acepta el nivel de cortante en cada dispositivo, se procede a iterar variando sus propiedades hasta lograr la relación demanda-capacidad dentro del mencionado rango.

Es importante destacar que la fuerza en cada dispositivo debe ser mayor que su límite de fluencia, asegurando así su capacidad para resistir las cargas en un evento sísmico. Por otro lado, el límite superior de 1.4 en la relación demanda-capacidad se establece debido a que el análisis en esta etapa es lineal elástico, lo que significa que la diferencia de cortante entre el obtenido por el análisis modal espectral y el cortante de fluencia que puede transferir el dispositivo equivale a una menor solicitud real en el resto de la planta.

Este resultado no es correcto dado que cada dispositivo transfiere un límite de cortante que no es representado por un análisis modal espectral lineal. El procedimiento es iterativo debido a que el valor de corte de cada disipador está estrechamente relacionado con su rigidez. Por lo tanto, al cambiar el tipo de dispositivo SLB, el valor de corte también cambiará en consecuencia. Este proceso iterativo se repite hasta que se alcance una condición de convergencia, lo cual generalmente se logra en unas pocas iteraciones, normalmente alrededor de 3 o 4.

La segunda etapa de este procedimiento (etapa 2) implica la verificación de los resultados a través de un análisis no lineal de tiempo historia, como se describe en el siguiente ejemplo. Es importante recordar que el análisis modal espectral es un análisis lineal y, por lo tanto, no considera un umbral o una fuerza máxima que el dispositivo pueda transferir a la pared de soporte.

Por lo tanto, si, por ejemplo, en el modelo numérico un dispositivo SL30_3 tiene una fuerza que es el doble o el triple de su fuerza de fluencia (F_y), esta diferencia se disipará en la estructura circundante, lo que puede generar una situación no conservadora. Por estas razones, es esencial verificar que haya un factor de fuerza máxima de 1.4 entre la capacidad real del dispositivo y la fuerza de corte en el modelo al realizar el análisis lineal con el espectro de respuesta.

Para evaluar el comportamiento sísmico real de estructuras equipadas con dispositivos SLB en eventos sísmicos severos y validar el procedimiento de diseño mencionado anteriormente en la etapa (1), se lleva a cabo un análisis no lineal de tiempo historia en la etapa (2) utilizando los dispositivos reales de acuerdo con el cortante objetivo adoptado. Un ejemplo de esto se presenta en el proyecto denominado "Tizate" al final de este documento, donde se ilustra cómo se empleó el método de iteración inversa después de considerar inicialmente el método de iteración directa, lo que requeriría muros desacoplados de más de 500 mm de espesor.

2.2.3.5. Fabricación de disipadores SLB e instalación en edificaciones

La empresa POSTENSA SAC, con sede en Perú, produce los disipadores SLB con un riguroso control de calidad durante todo el proceso de fabricación. La fabricación de estos dispositivos comienza después de llevar a cabo pruebas de tracción en las placas base de acero, teniendo en cuenta las curvas que representan la relación entre la tensión y la deformación real del material. Esto permite ajustar las dimensiones finales de los dispositivos y minimizar problemas relacionados con la resistencia, como se explicó en el estudio realizado por Pantoja y colaboradores en 2020.

Debido a la inherente variabilidad en las propiedades mecánicas del acero ASTM A36 utilizado en la fabricación, es necesario realizar ensayos para caracterizar el comportamiento de este material. Estos ensayos proporcionan información precisa sobre las curvas de esfuerzo-deformación, lo que a su vez permite conocer con exactitud el límite de fluencia (f_y) y la resistencia última (f_u) del acero estructural. Esta

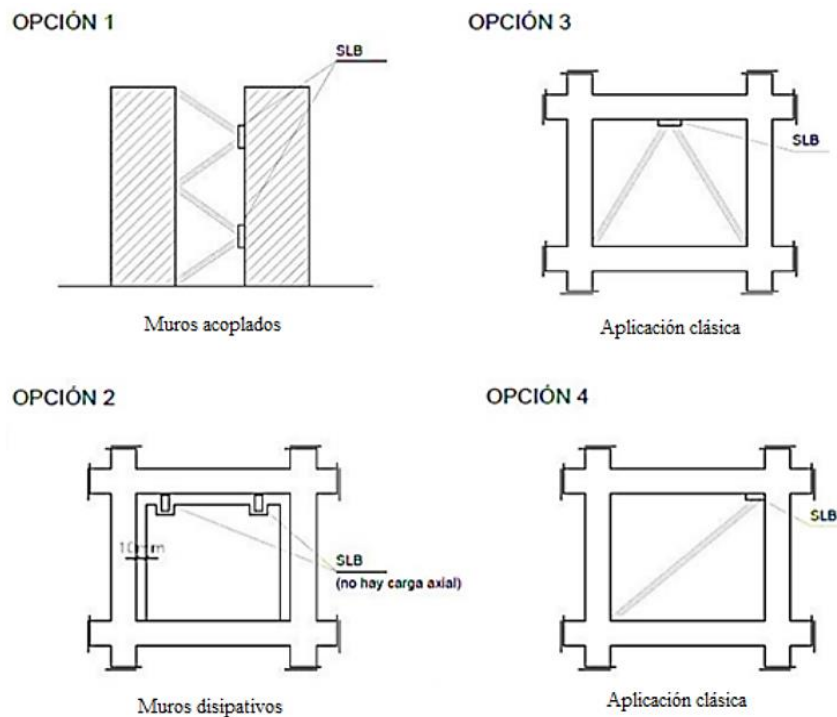
caracterización es esencial para asegurar la calidad y el rendimiento adecuado de los disipadores SLB.

En la Figura 32, se pueden observar diversas configuraciones de ubicación de los disipadores SLB:

1. La primera configuración implica la técnica de muros acoplados mediante brazos rígidos y disipadores sísmicos SLB, con una disposición tipo Chevron orientada.
2. La segunda configuración se refiere a paneles disipativos que liberan fuerza axial en cada dispositivo.
3. La tercera configuración involucra la aplicación de muros disipativos desacoplados, que son de hormigón y tienen un espesor de solo 12 a 30 cm, con conexiones SLB.
4. La cuarta configuración es la aplicación clásica de pórticos rigidizados de manera convencional.

Figura 32

Ubicación de disipadores SLB



Nota. La imagen muestra las diversas ubicaciones que podría tener los disipadores SLB para su instalación. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

En la Figura 33, se puede notar que los dispositivos SLB no necesitan estar alineados verticalmente, ya que su conexión no transmite carga axial. También se sugiere colocar el disipador en ubicaciones que faciliten su inspección y posible

sustitución. Por lo tanto, estas características los convierten en una opción adecuada para conectar sistemas compuestos por pórticos flexibles o muros de mampostería, además de su uso convencional como disipador en pórticos de acero y concreto, ya sean nuevos o existentes (Cahís, LI y Bozzo, 2000).

Hoy en día, se han creado y utilizado numerosas aplicaciones con los sistemas de aislamiento sísmico (SLB) en diversas partes del mundo, especialmente en estructuras de concreto reforzado en países como México, Perú, Ecuador y Guatemala. Estas aplicaciones se han implementado tanto en proyectos de construcción nuevos como en la mejora de la resistencia sísmica de edificios ya existentes.

Figura 33

Instalación de dispositivo SLB para Nueva Construcción de Torre Ixtapa



Nota. En la imagen se puede observar la ubicación de la instalación del disipador SLB para la Torre Ixtapa. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

En la actualidad, se han desarrollado y aplicado ampliamente diversas implementaciones de sistemas de aislamiento sísmico (SLB) en numerosas regiones del mundo, destacándose su uso en estructuras de concreto reforzado. Estos sistemas se han empleado en países como México, Perú, Ecuador y Guatemala, tanto en la construcción de nuevas edificaciones como en la mejora de la capacidad de resistencia sísmica de edificios preexistentes, como se puede observar en la Figura 34.

Figura 34

Instalación de dispositivo SLB para la Rehabilitación Sísmica del Hotel Celbo Dorado tras el Terremoto de Octubre del 2016 - Ecuador



Nota. La imagen muestra la localización de la instalación del disipador SLB para el Hotel Celbo Dorado después de sufrir daños severos frente al terremoto de Ecuador. Fuente: (Ramirez Machado, 2020)

En resumen, los disipadores de energía SLB se destacan como una solución excelente en el diseño resistente a terremotos debido a su capacidad de adaptarse a proyectos estructurales, su potencial para generar ahorros económicos en comparación con sistemas convencionales, la certeza en la fabricación y garantía de los parámetros de diseño, la activación temprana de la protección estructural a pequeños desplazamientos, y la capacidad de soportar deformaciones más extensas antes de alcanzar el punto de rotura (Bozzo, 2017).

Recientemente a principios del año 2023 se registraron utilizaron prototipos de disipadores SLB como reforzamiento para escuelas que fueron concebidas con normativas antecesoras a las vigentes, teniendo resultados óptimos en pocos tiempos de instalación y costos totalmente accesibles.

2.2.3.6. Experiencia de edificaciones con disipadores SLB

La Figura 35 nos muestra la torre Puebla OAK58, que se encuentra en la región de Puebla, México, es un edificio multiusos único compuesto por dos torres de gran altura

conectadas por tres puentes en diferentes niveles. Su estructura incluye un núcleo central rígido de hormigón armado, así como pilares y losas unidireccionales aligeradas postensadas, que reducen significativamente su peso propio y, por lo tanto, tienen un impacto positivo en la huella ecológica, especialmente en edificios altos. Además, para mitigar la sensación de movimiento humano durante ráfagas de viento fuerte, las torres cuentan con 400 unidades SLB ubicadas entre los departamentos que tienen muros de hormigón no conectados.

Figura 35

Torre OAK 58 - México



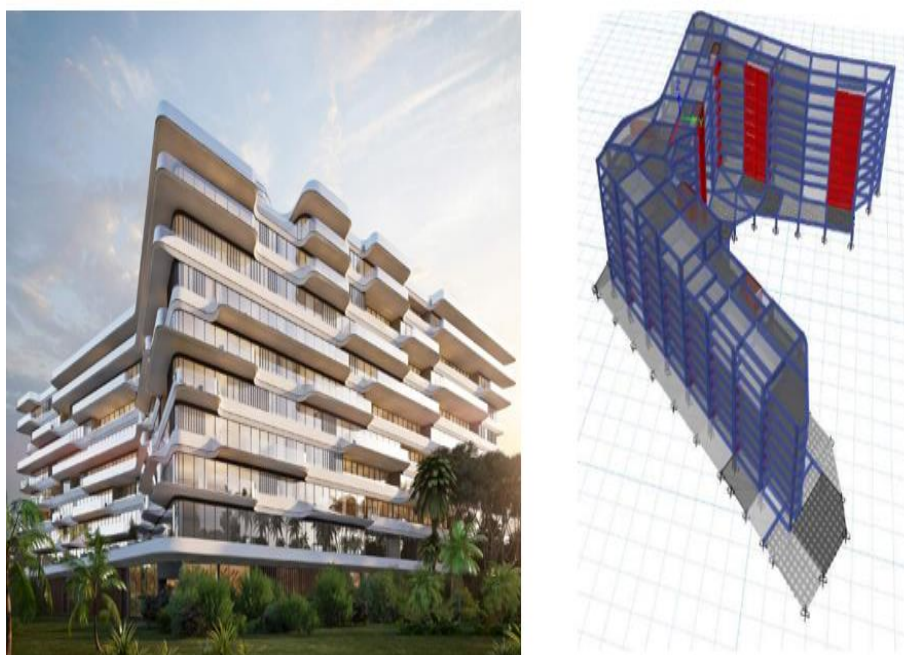
Nota. La imagen muestra una construcción de un edificio multiusos en México de cincuenta y un niveles, que utiliza disipadores SLB para minimizar el impacto de los vientos fuertes. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

La Figura 36 nos muestra la edificación Marina Vallarta, de 27 metros de altura y 8 niveles, se localiza en Puerto Vallarta, México, una zona con alta actividad sísmica. La disposición arquitectónica inicial presentaba dificultades para incorporar muros largos de hormigón, por lo que se optó por diseñar el edificio utilizando marcos espaciales dúctiles. Esto implicó la inclusión de muros desacoplados con disipadores SLB en los niveles superiores y solamente en los tabiques divisorios entre los departamentos.

La conexión "almenada" se utilizó para evitar la transferencia de cargas axiales, lo que permitió la incorporación de "muros de hormigón desacoplados con disipadores SLB" en cualquier nivel, ubicación o longitud necesaria, añadiendo ductilidad y rigidez específicamente donde el proyecto lo requería. En este caso particular, esta estrategia logró reducir la deriva en un 40%, como se puede apreciar en las imágenes, y lo más importante, se pudo adaptar la sección de las columnas de acuerdo con la distribución arquitectónica del edificio.

Figura 36

Marina Vallarta - México



Nota. La imagen muestra la construcción de un edificio en México de ocho niveles, que utiliza disipadores SLB para minimizar su desplazamiento en un 40% ante movimientos sísmicos, ya que se encuentra ubicado en una zona altamente sísmica. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

La Figura 37 nos muestra la Torre Paradox se destaca como una de las torres más altas y geométricamente complejas de América Latina, compuesta por 60 niveles y conformada por tres torres interconectadas, con dos de ellas inclinadas. Nuestra empresa no solo contribuyó al diseño de esta estructura, sino que también fue capaz de prevenir los desplazamientos durante su construcción mediante un minucioso proceso de construcción por etapas.

Esta estructura altamente compleja se compone de tres edificios (A, B y C) que se entrelazan a diferentes alturas, y se distingue por la incorporación de nuestros

innovadores dispositivos de protección sísmica "SLB", que permitieron reducir el peso en los cimientos en más. de 2.000 toneladas. Además, se hizo hincapié en el uso de materiales relacionados directamente con la sostenibilidad y la reducción de la huella ecológica, lo que convierte a la Torre Paradox en un logro de la construcción sostenible, a pesar de su complejidad.

Figura 37

Torre Paradox - México



Nota. La imagen muestra la construcción de un edificio en México, siendo una de las torres más altas y complejas de América Latina, el cual utilizó los disipadores SLB reduciendo en gran parte el peso los cimientos. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

La Figura 38 nos muestra la Torre Urbana Vallarta, que se eleva a 80 metros y abarca 26 niveles, es un proyecto del año 2017 ubicado en el municipio de Zapopan, Jalisco. Este desarrollo consta de tres torres residenciales (T100, T200 y T300) junto con un estacionamiento común. La Torre T100 incluye un estacionamiento en el sótano, dos áreas comerciales, un vestíbulo y 21 niveles residenciales.

El esquema estructural de las torres T100 y T200 es similar, utilizando muros y pórticos 3D. Un aspecto notable de este proyecto es que los muros de hormigón se encuentran solo en un lado de las torres, lo que crea una torsión significativa en la planta. Por otro lado, las divisiones de los departamentos se encuentran frente a estos

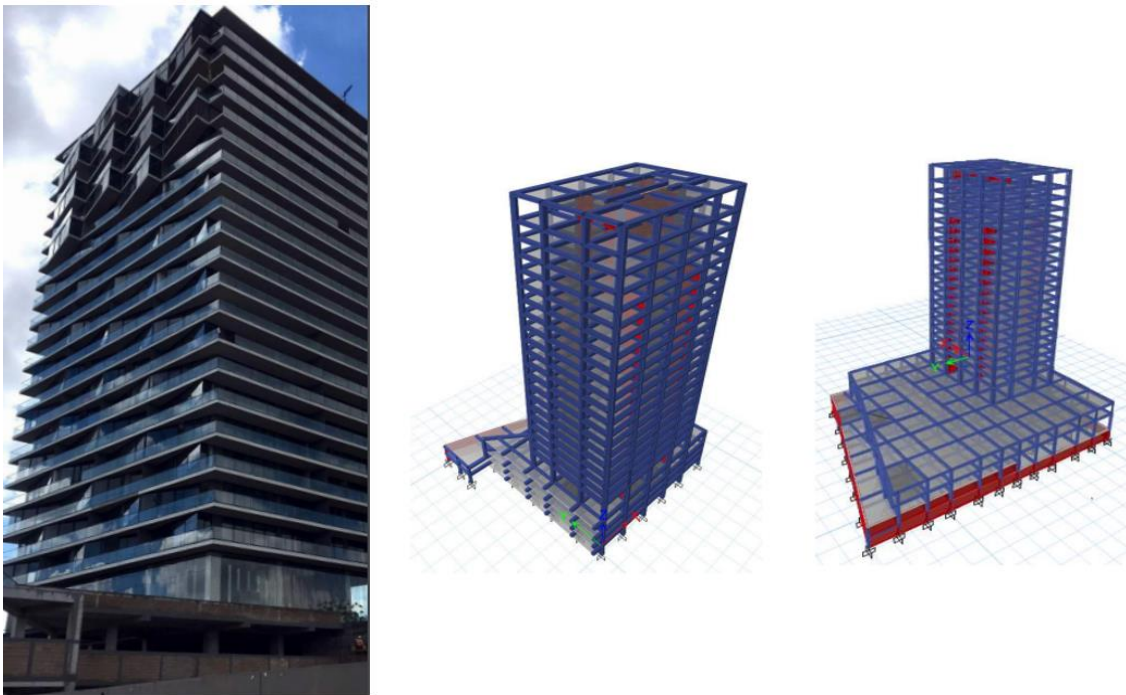
muros, lo que permite la posibilidad de agregar muros adicionales, aunque no pueden extenderse hasta el sótano debido a la circulación de vehículos en las áreas de estacionamiento.

La empresa desarrolló una solución pionera a nivel mundial, consistente en la incorporación de paredes desacopladas SLB en ubicaciones precisas donde son arquitectónicamente adecuadas para controlar los efectos de torsión. Esta solución es tanto flexible como económica, permitiendo la circulación libre en las plantas de estacionamiento. Los excelentes resultados obtenidos en la Torre T100 fueron llevados a su implementación en la Torre T200 y en varios otros proyectos donde existe una fuerte excentricidad de planta debido a razones arquitectónicas.

Este proyecto inicial también condujo al desarrollo de la conexión patentada "almenada", que evita la transferencia de cargas axiales, lo que posibilita la incorporación de "muros de hormigón desacoplados con disipadores SLB" en cualquier nivel, posición o longitud, proporcionando ductilidad y rigidez. específicamente donde el proyecto lo requiera.

Figura 38

Urbania - México



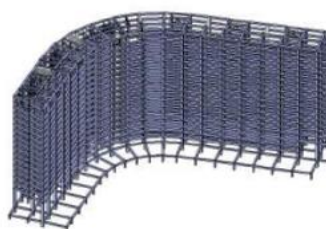
Nota. La imagen muestra la construcción de tres torres residenciales y un aparcamiento común en México, donde se usó disipadores SLB proporcionando mayor ductilidad y rigidez evitando la transferencia de cargas axiales. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

En la Figura 39 se observa el edificio de la península de Ixtapa, que alcanza los 59 metros de altura distribuidos en 18 niveles, se encuentra ubicado en la costa del Pacífico mexicano, una región propensa a terremotos de alta intensidad. En su diseño estructural, se optó por reemplazar los muros de hormigón con diagonales de acero que incorporan disipadores SLB en la parte superior.

El sistema de piso está compuesto por las postensadas aligeradas. La incorporación de disipadores SLB en la estructura aporta ductilidad y rigidez, al mismo tiempo que permite reducir significativamente el peso propio del edificio. Esta estrategia es fundamental para mejorar la capacidad del edificio para resistir las fuerzas sísmicas y garantizar su seguridad en una zona sísmica potencialmente activa como la costa del Pacífico mexicano.

Figura 39

Península Ixtapa - México



Nota. La imagen muestra la construcción de un edificio de 59 niveles en México, localizado en una zona altamente sísmica, por lo que se utilizó disipadores SLB para disminuir considerablemente el peso del edificio, aportando mayor ductilidad y rigidez. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

En la Tabla 6, se muestra los diversos proyectos que utilizaron disipadores SLB como sistema de protección sísmica y se detalla a continuación:

Tabla 6*Proyectos con Disipadores Tipo Shear Link Bozzo SLB*

Ítem	Nombre Del Proyecto	Ubicación	Cantidad SLB	N° De Pisos	Etapa De Proyecto	Año De Construcción
PERÚ			987			
1	Casino Mubarak	San Borja	20	4	Construido	2002
2	Departamento de odontología USMP	Ate	28	4	Construido	2013
3	Planta embotelladora-Lindley	Chilca	256	1	Construido	2014
4	Edificio de oficinas "Monterosa"	Surco	18	12	Construido	2015
5	Edificio multifamiliar "Altos del Olivar"	San Isidro	42	9	Construido	2015
6	Fábrica Textil "Vulcano"	Ate	42	6	Construido	2015
7	Edificio residencial Cedrus	San Isidro	32	8	Construido	2016
8	Edificio Las Flores	Trujillo	28	9	Construido	2016-2017
9	Edificio residencial Pezet	San Isidro	30	15	En Construcción	2018
10	Edificio ECOPALMAR	Trujillo	218	7	En Construcción	2018
11	Facultad de Arquitectura de la U. Trujillo	Trujillo	14	2	En Proyecto	2018
12	Universidad Santa María de Arequipa	Arequipa	88	10	En Proyecto	2018
13	Edificio residencial Brasil-Canamond	Jesus María	19	19	Construido	2018
14	Sede Pacífico Seguros-Edificio Tamayo	San Isidro	24	20	Proyecto	2018
15	Facultad de Sistemas de la U. de Cajamarca	Cajamarca	54	4	En Construcción	2019
16	Centro cultural Pedro de Osma	Barranco	6	3	En Proyecto	2019
17	Nuevo Ministerio de Vivienda-Reforzamiento	San Isidro	60	15	Proyecto	2019
18	Proyecto Basadre		8		Proyecto	2019

(continúa)

Tabla 6 (continuación)

Ítem	Nombre Del Proyecto	Ubicación	Cantidad SLB	N° De Pisos	Etapa De Proyecto	Año De Construcción
MÉXICO			1060			
1	Edificio Acapulco	Acapulco	20	23	Construido	2015
2	Edificio Acapulco	Acapulco	20	23	Construido	2015
3	Edificio Ixtapa	Ixtapa	94	18	Construido	2017
4	Edificio Urbana	Guadalajara	132	26	Construido	2017
5	Edificio Marina	Vallarta	68	10	En Construcción	2018-2019
6	Reparación Cima 500	Guadalajara	180	19	En Construcción	2019
7	Edificio Oak58	Puebla	400	64	En Construcción	2019
8	Proyecto Chapultepec	Guadalajara	26	21	En Construcción	2019
9	Proyecto Cima	Guadalajara	52	14	En Construcción	2019
10	Proyecto Tizate	Vallarta	68	8	En Construcción	2019
ECUADOR			135			
1	Clínica Riobamba	Riobamba	17	6	Construido	2016
2	Hotel Ceibo Dorado	Manta	43	7	Construido	2016
3	Laboratorio Universidad FF AA	Quito	31	4	Construido	2017
4	Silos	Guayaquil	44	4	Construido	2017
TOTAL			2182			

Nota. La tabla representa la relación de proyectos ejecutados con disipadores SLB junto con el tipo de dispositivo y estructura global. Fuente: (Bozzo L. M., 2019)

Actualmente se instalaron 976 unidades en PERÚ, en las diferentes construcciones:

- Departamento de Odontología USMP.
- Facultad de Ingeniería de Sistemas.
- Universidad Nacional de Cajamarca.
- Universidad Católica Santa María.
- Facultad de Arquitectura de la Universidad de Nacional Trujillo.
- Universidad Nacional Hermilio Valdizan.

A nivel internacional se cuenta con el siguiente registro:

México (1690 unidades), Ecuador (135 unidades), Guatemala (102 unidades), Colombia (13 unidades) y Filipinas (49 unidades).

2.2.4. Balance energético

Una edificación expuesta a la acción de un terremoto es un sistema vibratorio que se compone de diversos componentes, los cuales pueden simplificarse de la siguiente manera:

1. Los componentes de inercia están relacionados con la aceleración del sistema y tienen la función de almacenar y liberar energía cinética.
2. Los componentes de rigidez están asociados con las deformaciones o desplazamientos de la estructura y tienen la tarea de acumular y liberar energía potencial.
3. Los componentes de disipación se relacionan con la velocidad y el desplazamiento, representando la pérdida de energía del sistema (Espejel, 2013).

La energía de respuesta de un sistema vibratorio equivale a la suma de las energías individuales de cada uno de estos componentes. Esta suma de energías debe ser igual a la energía externa generada por una excitación, como un terremoto, para mantener el equilibrio.

La cantidad de energía que la estructura debe disipar a través de la plastificación del material puede reducirse mediante la incorporación de sistemas de reducción de respuesta con una alta capacidad de disipación de energía. Esto tiene el efecto de minimizar el daño en los elementos estructurales y focalizarlo en dispositivos que pueden ser reemplazados (Arévalo, 2015).

La ecuación 5, expresa la conservación de la energía de un sistema estructural, a partir de las siguientes variables (referido a la ecuación 5).

$$E = Ek + Es + Eh + Ed \quad (5)$$

Donde:

E: Corresponde a la energía de entrada

Ek: Energía Cinética

Es: Energía de deformación elástica

Eh: Energía irre recuperable, disipada por el sistema estructural a través de la Inelasticidad:

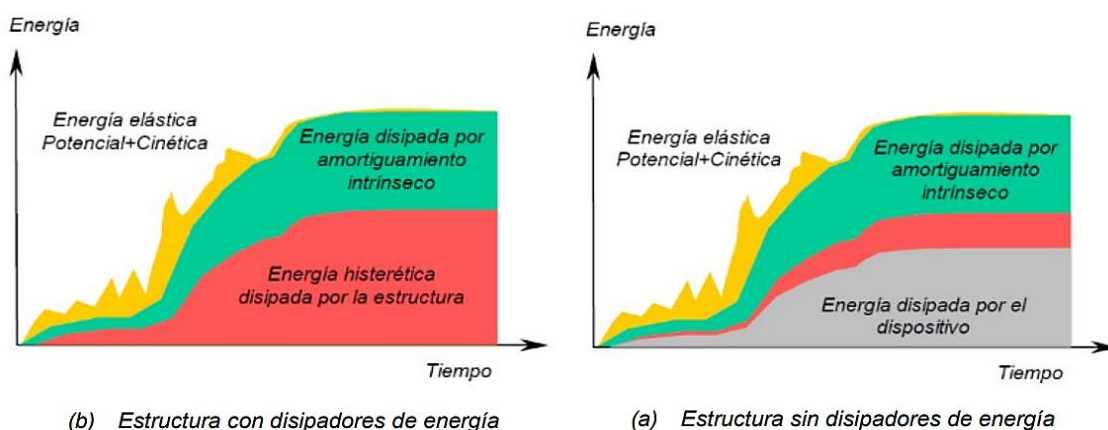
Ed: Energía disipada por los dispositivos de amortiguamientos suplementarios

La ecuación desglosa todos los tipos de energía involucrados en la vibración de un edificio como resultado de un terremoto. La energía de entrada (E) representa el trabajo realizado por la fuerza total de corte en la cimentación debido al movimiento del terreno, incluyendo el efecto de las fuerzas de inercia de la estructura.

Las deformaciones que ocurren modifican esta energía de entrada, disminuyendo tanto la aceleración como las deformaciones en las regiones lejanas a las articulaciones plásticas (Reyes & Rubiano, 2019). La Figura 40 muestra una descomposición de la energía asociada a una edificación durante un sismo, además de comparar una estructura convencional con otra que incorpora dispositivos de disipación de energía.

Figura 40

Balance de Energía



Nota. La imagen muestra una comparativa de respuesta en las edificaciones ante el uso de disipadores SLB con un análisis energía- tiempo. Fuente: (Reyes & Rubiano, 2019)

El objetivo del balance energético es lograr un equilibrio adecuado entre la energía introducida por el terremoto y la energía disipada por los dispositivos de amortiguación, de modo que la estructura pueda resistir el evento sísmico sin sufrir daños significativos.


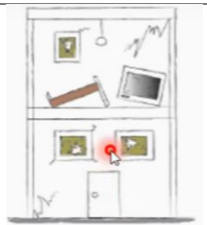
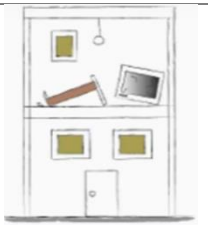
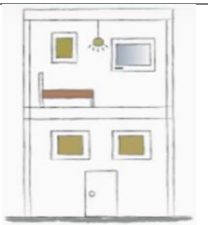
El balance energético en estructuras con disipadores sísmicos es esencial para garantizar la seguridad y la funcionalidad de la estructura durante y después de un terremoto. Los ingenieros estructurales utilizan modelos matemáticos y análisis detallados para diseñar sistemas de disipadores sísmicos que proporcionen una respuesta óptima en términos de absorción de energía y protección contra las fuerzas sísmicas. Esto ayuda a reducir el riesgo de daños estructurales y, en última instancia, a salvar vidas y proteger propiedades en áreas propensas a terremotos.

2.2.5. Diseño por desempeño según ASCE/SEI 41/17

De acuerdo a los lineamientos vigentes de la normativa americana ASCE/SEI 41-17, se calcula el desempeño global de estructura en función del desempeño de cada elemento estructural, La normativa ASCE/SEI 41-17 reconoce 4 niveles de desempeño como se muestra en la Tabla 7.

Tabla 7

La tabla muestra los 4 niveles de desempeño según ASCE/SEI 41-17

Prevención al colapso	Seguridad de vida	Ocupación Inmediata	Operacional
			
La estructura presenta daños considerables.	La estructura presenta daños considerables.	Los daños en la edificación son menores al 10% del costo de reemplazo.	Los daños en la edificación son menores al 2% del costo de reemplazo.
El costo de reparación puede ser igual que el costo de reemplazo	El costo de reparación es alrededor del 50% del costo de reemplazo.	Existen daños en los contenidos del edificio y posiblemente interrupción de servicios básicos.	Mínimos daños a muebles y equipos, 100% de operatividad.
Edificios generalmente demolidos.	Ocupación con restricción o desalojo inmediato.	La estructura no tiene afectaciones de consideración.	Los usuarios pueden hacer uso del establecimiento inmediatamente.
Los usuarios tienen que desalojar la instalación.		Los usuarios pueden hacer uso del establecimiento inmediatamente.	

Nota. La tabla representa los 4 niveles de desempeño encontrados en la normativa americana y sus características luego de un sismo máximo ASCE/SEI 41-17. Fuente: (Elaboración Propia).

2.2.5.1. Definición de rótula plástica para columna

Para el desempeño de las columnas de concreto armado quedan definido acorde a sus características geométricas, confinamiento, resistencia de los materiales, acero colocado, carga axial y cortante de demanda acorde a los análisis no lineales tiempo historia en la tabla de ASCE/SEI 41-17 mostrada en la Figura 41 se muestran los límites de rotación para columnas de concreto armado.

Figura 41

Parámetros de modelado y criterios de aceptación numérica para procedimientos no lineales- Tabla10-8 ASCE/SEI 41-17

Modeling Parameters	Acceptance Criteria		
	Plastic Rotation Angle (radians)		
	Performance Level		
Plastic Rotation Angles, <i>a</i> and <i>b</i> (radians) Residual Strength Ratio, <i>c</i>	IO	LS	CP
Columns not controlled by inadequate development or splicing along the clear height ^a			
$a = \left(0.042 - 0.043 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 0.63 \rho_t - 0.023 \frac{V_{yE}}{V_{ColOE}} \right) \geq 0.0$	0.15 <i>a</i> ≤ 0.005	0.5 <i>b</i> ^b	0.7 <i>b</i> ^b
For $\frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \leq 0.5$ $\left\{ b = \frac{0.5}{5 + \frac{N_{UD}}{0.8 A_g f'_{cE}} - \frac{1}{\rho_t} \frac{f'_{cE}}{f_{yIE}}} - 0.01 \geq a^a \right.$			
$c = 0.24 - 0.4 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} \geq 0.0$			
Columns controlled by inadequate development or splicing along the clear height ^c			
$a = \left(\frac{1}{8} \frac{\rho_t f_{yIE}}{\rho_t f_{yIE}} \right) \geq 0.0$ $\leq 0.025^d$	0.0	0.5 <i>b</i>	0.7 <i>b</i>
$b = \left(0.012 - 0.085 \frac{N_{UD}}{A_g f'_{cE}} + 12 \rho_t^e \right) \geq a$ ≤ 0.06			
$c = 0.15 + 36 \rho_t \leq 0.4$			

Nota. ρ_t no se considerará superior a 0,0175 en ningún caso ni superior a 0,0075 cuando los tirantes no estén adecuadamente anclados en el núcleo.

Las ecuaciones de la tabla no son válidas para columnas con ρ_t menor que 0,0005.

V_{yE}/V_{ColOE} no se considerará inferior a 0,2.

N_{UD} será la carga axial de compresión máxima que tenga en cuenta los efectos de las fuerzas laterales como se describe en la ecuación.

Alternativamente, se permitirá evaluar la N_{UD} basándose en un análisis de estado límite. ^a *b* se reducirá linealmente para $N_{UD}/(A_g f'_{cE}) > 0,5$ desde su valor en $N_{UD}/(A_g f'_{cE}) = 0,5$ a cero en $N_{UD}/(A_g f'_{cE}) = 0,7$, pero no es más pequeño que *a*. *b*

^b $N_{UD}/(A_g f'_{cE})$ no se considerará inferior a 0,1.

^c Se considera que las columnas están controladas por un desarrollo o empalmes inadecuados cuando la tensión del acero calculada en el empalme excede la tensión del acero especificada por la ecuación. (10-1a) o (10-1b). Parámetro de modelado para columnas controladas por

inadecuado. El desarrollo o empalme nunca excederá el de las columnas no controladas por un desarrollo o empalme inadecuado.

^d a para columnas controladas por desarrollo o empalme inadecuado se tomará como cero si la región de empalme no es atravesada por al menos dos grupos de amarre a lo largo de su longitud.

^e pt no se considerará superior a 0,0075.

2.3. Definición de Términos

2.3.1. Disipador de energía

Una de las maneras de reforzar estructuras para que tengan un mejor comportamiento sísmico es con el uso de disipadores de energía. Éstos mejoran el desempeño de la estructura mediante la adición de amortiguamiento y en algunos casos por la rigidez al sistema, que provoca una reducción en las demandas de desplazamiento y en las fuerzas internas de respuesta del edificio (Construcción y Tecnología en Concreto, 2019).

2.3.2. Aislador Sísmico

Es una herramienta de alta tecnología que protege una estructura de los efectos destructivos de un sismo. El aislamiento sísmico separa la base de la edificación del suelo, permitiendo que se comporte de manera flexible ante los movimientos de la tierra. Además, absorbe la energía del sismo, lo que reduce la energía transferida a la estructura, evitando que ésta resulte afectada (Detek, 2021).

2.3.3. Ductilidad

Una estructura es dúctil cuando, al estar sujeta a una combinación máxima de fuerzas durante su vida útil, será capaz de resistirlas y podrá formar articulaciones plásticas en las vigas, garantizando la disipación de la energía proveniente de dicha combinación, y evitando el colapso de la estructura (Ceballos, 2019).

2.3.4. Rigidez

Es la propiedad que tiene un elemento estructural para oponerse a las deformaciones o, dicho de otra manera, la capacidad de soportar cargas sin deformarse o desplazarse

excesivamente. La rigidez de las estructuras está en función del módulo de elasticidad del concreto, el momento de inercia y la longitud del elemento (360 EN CONCRETO, 2023).

2.3.5. Acelerogramas

Es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto. Los acelerogramas se caracterizan por ser altamente irregulares y oscilatorios, con pequeñas amplitudes iniciales que crecen rápidamente hasta alcanzar los valores máximos y decrecer igualmente rápido hasta que se detiene el movimiento. (ESTRUCTURAS, 2012).

2.3.6. Amortiguamiento

El amortiguamiento se define como la capacidad de un cuerpo o sistema para disipar energía. Desde el punto de vista del estudio de vibraciones, el amortiguamiento es el proceso en el cual un cuerpo o sistema en estado de vibración libre, disminuye su amplitud de vibración (Alarcón Campos, 2015).

CAPÍTULO III: MARCO METODOLÓGICO

3.1. Diseño de la Investigación

Al manipular las variables intencionalmente para determinar el sistema de protección conveniente en el hospital Hipólito Unanue de Tacna, la presente correspondería a presentar un diseño no experimental de manera que se busca tener una alternativa que mejore la concepción de elección adecuada de sistema de protección para cumplir con la resiliencia sísmica. De acuerdo a los resultados que se obtendrán para el análisis comparativo por enfoque pertenecería a ser cuantitativa, A su misma vez de nivel exploratorio por ser un tema poco profundizado a nivel nacional.

3.2. Acciones y Actividades

La formulación del tema de investigación es motivada por las desactualizaciones y lineamientos dictatoriales de nuestra normativa vigente para la elección del sistema de protección sísmica, por consiguiente, el problema se analizará comparando cuantitativamente resultados de ambos sistemas de protección sísmica en el hospital Hipólito Unanue de Tacna. Específicamente se realizará un análisis y diseño con disipadores SLB en el hospital Hipólito Unanue, mencionados resultados serán comparados con los documentos oficiales que demandó la formulación e incorporación de aisladores ya instalados en el hospital Hipólito Unanue.

Para la realización del análisis comparativo se medirán las variables en dimensiones de desempeño sísmico para garantizar la ocupación inmediata, costos y tiempo de instalación que demanda cada sistema de protección sísmica. Así como también el tratamiento de acelerogramas correspondiente producto de la demanda sísmica para cada sistema de protección, de esta manera se podrá determinar el sistema de protección conveniente para el Hospital Hipólito Unanue. La recopilación de información sobre el proyecto inconcluso del Hospital Hipólito Unanue como la memoria de cálculo de expediente, planos estructurales y presupuesto será obtenida mediante informes del estado situacionales realizados por la contraloría de la república y acceso a diferentes órganos del gobierno regional de Tacna.

Para el tratamiento de acelerogramas se realizará un filtrado de los diferentes registros de casetas aledañas a la zona en el software Seismosignal, seguidamente se realizará el escalamiento del mismo con el software Seismomatch para el

correspondiente análisis Time History, De esta manera podremos medir la variable del análisis comparativo que requiere cada sistema de protección en dimensión a la demanda sísmica con el indicador de cm/s².

Para el análisis matemático del Hospital Hipólito Unanue de Tacna con sistema de protección sísmica SLB se desarrollará con el software Etabs V20.0.0 adicionalmente se instalará el Plugin DissipaSLB para las diferentes iteraciones de los disipadores con la estructura, de esta manera podremos calcular y comparar con el desempeño sísmico que se formuló para los aisladores sísmicos, la variable podrá ser cuantificada en una dimensión de desempeño sísmico con un indicador porcentual.

Para la cotización del precio e instalación de los disipadores que demande el diseño se contará con apoyo logístico de la empresa Postensa S.A.C, en la Tabla 8 se muestra los materiales e instrumentos utilizados en la investigación, siendo la empresa autorizada para la venta, fabricación, calibración e instalación de los disipadores SLB. Dicha comparación de precio se realizara en Excel. La variable podrá ser cuantificada en una dimensión de tiempo de instalación y costo con un indicador de soles y días calendarios respectivamente. La redacción de los resultados obtenidos, aplicación de los mismos y demás puntos se desarrollará en Microsoft Word.

3.3. Materiales e Instrumentos

Tabla 8

Listado de materiales y equipos que podría ser fuente de variación de las variables a ser analizadas en la investigación

Variable	Uso de			
	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos y Materiales para análisis y diseño con Disipadores SLB.	Uso de Materiales para comparativa con el sistema de Aislador.
Independiente				
Análisis comparativo de sistemas de protección sísmica	Aislador sísmico y disipador SLB	Periodos de vibración (S)	Se utilizará el software Etabs V20.0.0 y Plugin Dissipa SLB.	Se utilizará memoria de cálculo primigenio del Hospital Hipolito Unanue de Tacna
		Rigidez lateral (Tn/m)		
		Desplazamiento Máximo admisible (cm)		

(continúa)

Tabla 8 (continuación)

Variable	Dimensiones	Indicadores	Uso de Instrumentos y Materiales para análisis y diseño con Disipadores SLB.	Uso de Materiales para comparativa con el sistema de Aislador.
Independiente				
	Demanda Sísmica	Tratamiento de acelerogramas (cm/seg ²)	Se utilizará el software SeismoSignal y SeismoMatch.	Se utilizará estudio de peligro sísmico primigenio del Hospital Hipolito Unanue de Tacna
Dependiente				
Aisladores sísmicos y disipadores en el hospital Hipólito Unanue de Tacna		Estado Límite de Daño Estructural (Operacional, Moderado, Severo y Colapso)	Se utilizará el software Etabs V20.0.0 y Plugin Dissipa SLB. Se utilizará Mathcad Prime 8.0.0	Se utilizará memoria de cálculo primigenio del Hospital Hipolito Unanue de Tacna
	Desempeño sísmico de la edificación	Distribución de energía entre la estructura principal y los disipadores, para niveles de desempeño ocupación inmediata (%)	Se utilizará el software Etabs V20.0.0 y Plugin Dissipa SLB. Se utilizará Mathcad Prime 8.0.0	Se utilizará memoria de cálculo primigenio del Hospital Hipolito Unanue de Tacna
		Diferencia de costos de sistemas de protección sísmica (S/.)	Se utilizará Microsoft Excel y estándares de costos proporcionados por Postensa S.A.C.	Se utilizará informes del estado situacional proporcionados por la Contraloría y distintos órganos del gobierno regional de Tacna.
	Costos y tiempo	Plazo de instalación de sistemas de protección sísmica (Días calendario)	Se utilizará Microsoft Excel y estándares de tiempos de instalación proporcionados por Postensa S.A.C.	Se utilizará informes del estado situacional proporcionados por la Contraloría y distintos órganos del gobierno regional de Tacna

Nota. La tabla presenta los equipos y materiales que se utilizarán para la realización de la presente tesis, donde principalmente usaremos softwares. Fuente: Elaboración Propia.

3.4. Población y muestra de estudio

3.4.1. Población

Como población a nivel nacional podemos citar todos los proyectos que cuentan con sistema de protección sísmica, como se muestra en la Tabla 9:

Tabla 9

Edificaciones en el Perú con aislamiento de base

Nombre del Proyecto	Ubicación	Tipo de aislador	N° de edificios	N° de disipadores	N° de pisos	N° de sótanos	Año	Estado	Categ. de Edificación
Universidad UPC- Biblioteca Campus Villa	Lima	HDR	1	41	3	-	2012	Construído	A
Sede corporativa G y M	Lima	LRB	1	32	7	4	2013	Construído	C
Universidad PUCP- Aulario	Lima	HDR	1	28	7	3	2013	Construído	A
Universidad PUCP- Biblioteca	Lima	HDR + LRB	1	45	4	2	2013	Construído	A
Universidad UNI- Biblioteca	Lima	LRB	1	20	8	-	2013	Construído	A
Universidad UPC- Ciencias de Salud	Lima	HDR	1	18	3	-	2013	Construído	A
Universidad UTEC-Lima	Lima	LRB	1	149	11	-	2013	Construído	A
Edificio multifamiliar Atlantik Ocean Tower	Lima	HDR	1	41	15	4	2014	Construído	C

(continúa)

Tabla 9 (continuación)

Nombre del Proyecto	Ubicación	Tipo de aislador	N° de edificios	N° de disipadores	N° de pisos	N° de sótanos	Año	Estado	Categ. de Edificación
Hospital de Yurimaguas-Santa Gema	Loreto	HDR	7	172	4	-	2014	Construído	A
Hospital Regional de Moquegua	Moquegua	LRB	6	216	4	-	2014	Construído	A
Edificio multifamiliar Madre	Lima	LRB	1	54	17	6	2014	Construído	C
Edificio Paseo Colonial	Lima	LRB	1	72	15	2	2015	Construído	C
Gobierno Regional de Moquegua	Moquegua	LRB	1	80	5	-	2015	Construído	A
Hospital de Tocache	San Martín	LRB	1	109	4	-	2015	Construído	A
Hospital Regional Daniel Alcides Carrión	Cerro de Pasco	HRB	9	186	6	-	2015	Construído	A
Clínica de Medicina Deportiva	Callao	FPS	1	23	3	-	2016	Construído	C
Complejo de Ciencias Sociales PUCP	Lima	LRB	1	40	9	3	2016	Construído	C
Hospital de Bella Vista	San Martín	LRB	1	64	4	-	2016	Construído	A
Hospital de Rioja	San Martín	LRB	1	100	3	-	2016	Construído	A
Centro Empresarial Cortijo	Lima	HDR	1	29	13	10	2017	Proyecto	A
Clínica Hamilton Naki	Junín	HDR	1	92	4	-	2017	Proyecto	A
Clínica de Especialidades Médicas	Lima	HDR	1	39	6	-	2017	Proyecto	A

(continúa)

Tabla 9 (continuación)

Nombre del Proyecto	Ubicación	Tipo de aislador	N° de edificios	N° de disipadores	N° de pisos	N° de sótanos	Año	Estado	Categ. de Edificación
Hospital Materno Infantil	Puno	HDR	3	139	3	-	2017	Proyecto	A
Hospital Coracora	Ayacucho	FPT	1	66	5	-	2017	Proyecto	A
Hospital San Francisco	Ayacucho	FPT	1	68	5	-	2017	Proyecto	A
Hospital San Miguel	Ayacucho	FPT	1	29	4	-	2017	Proyecto	A
Hospital Cangallo	Ayacucho	FPT	1	36	4	-	2017	Proyecto	A
Hospital María Auxiliadora	Amazonas	FPT	1	55	3	-	2017	Proyecto	A
Hospital de Cajamarca	Cajamarca	FPT	1	116	8	-	2017	Proyecto	A
Hospital Alto Inclán	Arequipa	FPT	1	91	3	-	2017	Proyecto	A
Hospital Goyeneche	Arequipa	FPT	1	192	6	-	2017	Proyecto	A
Hospital de Talara	Piura	FPT	1	181	6	-	2017	Proyecto	A
Hospital de Lata	Huánuco	HDR	3	95	4	-	2017	Proyecto	A
Hospital de Ilave	Puno	HDR	5	110	3	-	2017	Proyecto	A
Edificio Alameda Las Gaviotas	Lima	HDR	3	171	9	3	2017	Proyecto	C
Universidad Privada de Tacna	Tacna	HDR	3	241	4	-	2017	Proyecto	A
Hospital de la Policía Nacional "Luis N. Saenz"	Lima	HDR	3	213	6	-	2017	Proyecto	A
Nuevo Pabellón INEN	Lima	LRB	1	74	9	3	2017	Proyecto	Otros

Nota. La tabla presenta edificaciones con diferentes tipos de aisladores y otras características, resaltando la categoría a la que pertenecen. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 10*Edificaciones en el Perú con disipadores SLB*

Ítem	Nombre Del Proyecto	Ubicación	Cantidad SLB	N° De Pisos	Etapas De Proyecto	Año De Construc.	Categoría
PERÚ			987				
1	Casino Mubarak	San Borja	20	4	Construido	2002	C
2	Departamento de odontología USMP	Ate	28	4	Construido	2013	C
3	Planta embotelladora-Lindley	Chilca	256	1	Construido	2014	C
4	Edificio de oficinas "Monterosa"	Surco	18	12	Construido	2015	C
5	Edificio multifamiliar "Altos del Olivar"	San Isidro	42	9	Construido	2015	C
6	Fábrica Textil "Vulcano"	Ate	42	6	Construido	2015	B
7	Edificio residencial Cedrus	San Isidro	32	8	Construido	2016	C
8	Edificio Las Flores	Trujillo	28	9	Construido	2016-2017	C
9	Edificio residencial Pezet	San Isidro	30	15	En Construcción	2018	C
10	Edificio ECOPALMAR	Trujillo	218	7	En Construcción	2018	A
11	Facultad de Arquitectura de la U. Trujillo	Trujillo	14	2	En Proyecto	2018	A
12	Universidad Santa María de Arequipa	Arequipa	88	10	En Proyecto	2018	A
13	Edificio residencial Brasil-Canamond	Jesús María	19	19	Construido	2018	A
14	Sede Pacífico Seguros-Edificio Tamayo	San Isidro	24	20	Proyecto	2018	A

(continúa)

Tabla 10 (continuación)

Ítem	Nombre Del Proyecto	Ubicación	Cantidad SLB	N° De Pisos	Etapa De Proyecto	Año De Construc.	Categoría
15	Facultad de Sistemas de la U. de Cajamarca	Cajamarca	54	4	En Construcción	2019	A
16	Centro cultural Pedro de Osma	Barranco	6	3	En Proyecto	2019	A
17	Nuevo Ministerio de Vivienda-Reforzamiento	San Isidro	60	15	Proyecto	2019	A
18	Proyecto Basadre		8		Proyecto	2019	A

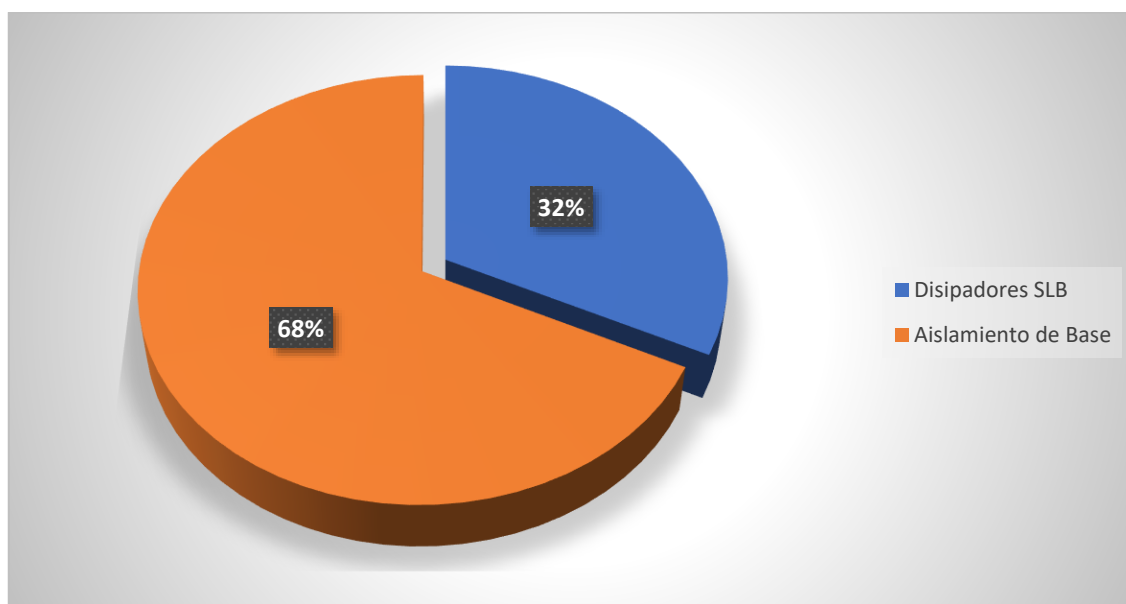
Nota. La tabla presenta edificaciones en el Perú, el cual se ha implementado los disipadores SLB mostrando características como ubicación, cantidad de dispositivos, numero de tipos, etapa del proyecto en la que se encuentra, año de construcción y categoría correspondiente. Fuentes: Elaboración Propia

3.4.2. Muestra

Desarrollaremos un sistema de selección de nuestra muestra por un método probabilístico aleatorio en base a las facilidades de los suscritos para el análisis comparativo, los sistemas para la selección serán utilizando cálculos porcentuales en función a la población especificado líneas arriba detallados en las Figuras 42 y 43.

Figura 42

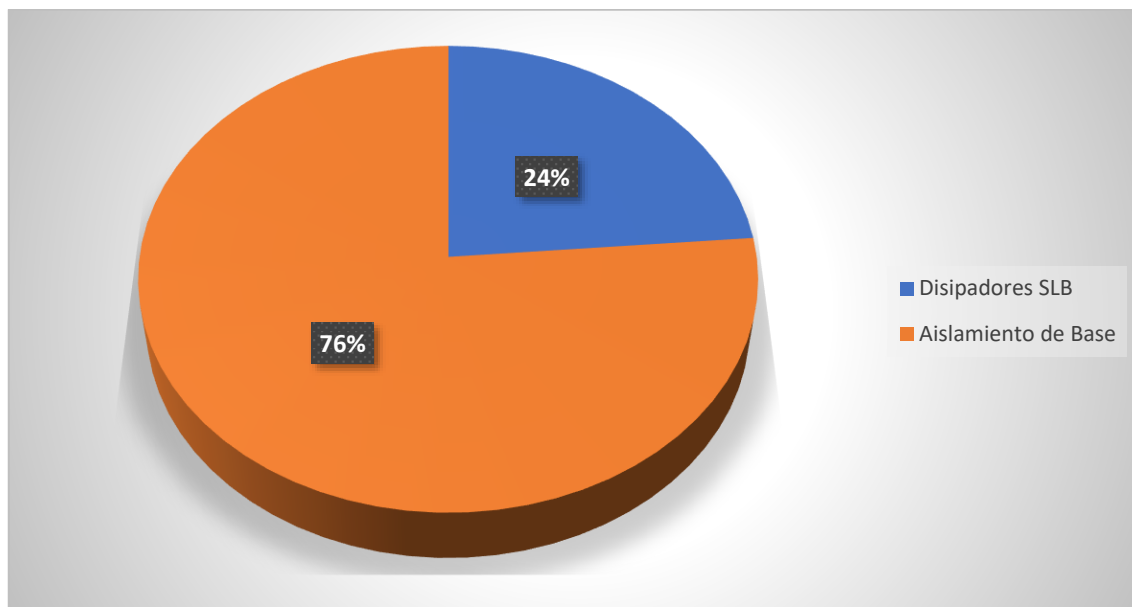
Representación gráfica de sistemas protección sísmica entre aisladores y disipadores en el Perú



Nota. En los gráficos podemos apreciar un cálculo porcentual entre disipadores SLB y aisladores que se implementaron en diferente proyecto a nivel nacional, sin importar la categoría. Fuente: Elaboración Propia

Figura 43

Representación gráfica de sistemas protección en edificaciones de Categoría A entre aisladores y disipadores en el Perú



Nota. En los gráficos podemos apreciar un cálculo porcentual entre disipadores SLB y aisladores que se implementaron solamente a edificaciones de esenciales de categoría A. Fuente: Elaboración Propia

En la presente tesis, de todos los edificios del Perú con sistemas de protección sísmica el 68% presenta aisladores y de categoría A son el 76%. Para el análisis comparativo se seleccionará aleatoriamente el hospital Hipólito Unanue de Tacna como muestra debido a sus problemas de estándares de calidad con el aislador y el alcance y la facilidad asertiva de recopilación de información por la localidad de los suscritos.

3.5. Operacionalización de variables

En la Tabla 11 se muestran las variables que analizaremos en la investigación, como se muestra a continuación:

Tabla 11

Determinación de las variables que se analizarán en la investigación en base a los objetivos, con sus dimensiones e indicadores

Variable	Definición operacional	Dimensiones	Indicadores
Periodos de vibración	Es el tiempo que tarda un sistema vibratorio en completar un ciclo completo de oscilación. Se mide en segundos y se representa con la letra T.		Segundo
Rigidez lateral	Resistencia de una estructura a deformarse lateralmente cuando se le aplica una carga o fuerza perpendicular a su eje principal.	<i>Aislador sísmico y disipador SLB</i>	(Tonnes/m)
Desplazamiento Máximo admisible	Máximo desplazamiento que se permite en una estructura o componente sin comprometer su integridad estructural o funcionalidad		(cm)
Tratamiento de acelerogramas	Proceso de análisis y procesamiento de registros de aceleración sísmica obtenidos durante eventos sísmicos reales o simulados	<i>Demanda Sísmica</i>	(cm/seg ²)
Estado Límite de Daño Estructural	Nivel de deformación o daño que una estructura puede experimentar antes de que su integridad estructural se vea comprometida o su funcionalidad se vea afectada.	<i>Desempeño sísmico de la edificación</i>	(Operacional, Moderado, Severo y Colapso)
Balance energético	Evaluación de las entradas y salidas de energía en un edificio o estructura específica.		(%)
Costo	Disparidad económica o de precio entre los dos sistemas de protección sísmica.	Costos	(S/.)

Nota. Esta tabla da a conocer las variables que se estudiarán en la investigación para definir las con un enfoque estructural que nos servirán en el desarrollo de la tesis, tomando en cuenta sus dimensiones e indicadores a medir. Fuente: Elaboración Propia.

3.6. Técnicas de Procesamiento y Análisis Estadístico

En la presente tesis se recolectó información de artículos e investigaciones sobre proyectos y construcciones con sistemas de protección sísmica (aisladores y disipadores) que se tomaran como referencia; así mismo se recopiló información sobre la aplicación de disipadores SLB en la ejecución de edificaciones de gran altura, mediana y baja altura.

En los siguientes acápites se enmarcarán todas las técnicas de procesamiento de datos que se realizó para efectuar el análisis comparativo entre sistemas de protección sísmica.

Cabe señalar que no se realizara el modelamiento de la edificación con el sistema de aisladores, debido a que este ya es existente y cuenta con una memoria de calcula propia de su concepción matemática, sin embargo, dichos datos de la memoria del expediente primigenio serán extraídos y utilizados para realizar el análisis comparativo.

3.6.1. Recopilación de información

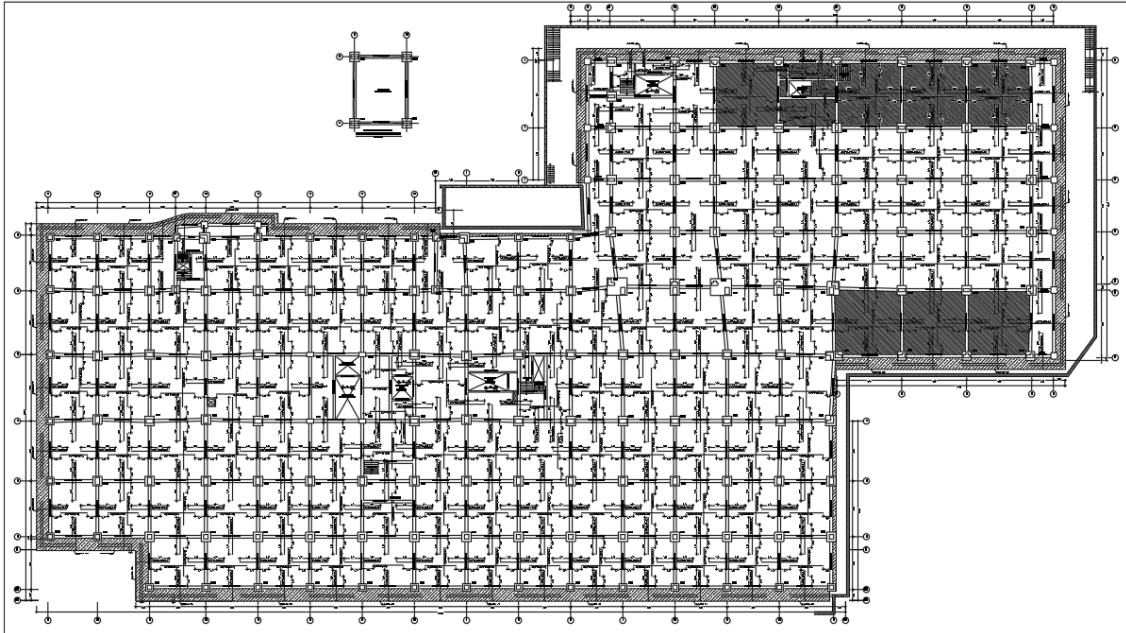
Los suscritos cuentan con acceso a la información correspondiente del establecimiento de salud, para llevar acabo los diferentes criterios de análisis en el presente proyecto de investigación, mencionada información será expuesta en el desarrollo del presente acápite.

3.6.1.1. Recolección de planos aligerados

Para efectuar el modelamiento matemático en ETABS V20.0 los planos aligerados por cada planta se entoran en una información indispensables para llevar acabo su concepción, en las siguientes Figuras 44, 45, 46, 47, 48, 49, 50 y 51, se mostrarán las dimensiones el plano de aligerada en planta por techo o según el piso técnico, es por esto que se recopiló los sietes pisos, dimensiones de vigas, dimensiones de columnas, etc. Esta información resulta muy necesaria e importante para tener claro los diferentes datos necesarios para el análisis propuesto en comparativa con el que tiene el hospital en esencia, y así poder corroborar la mejor opción sísmica.

Figura 44

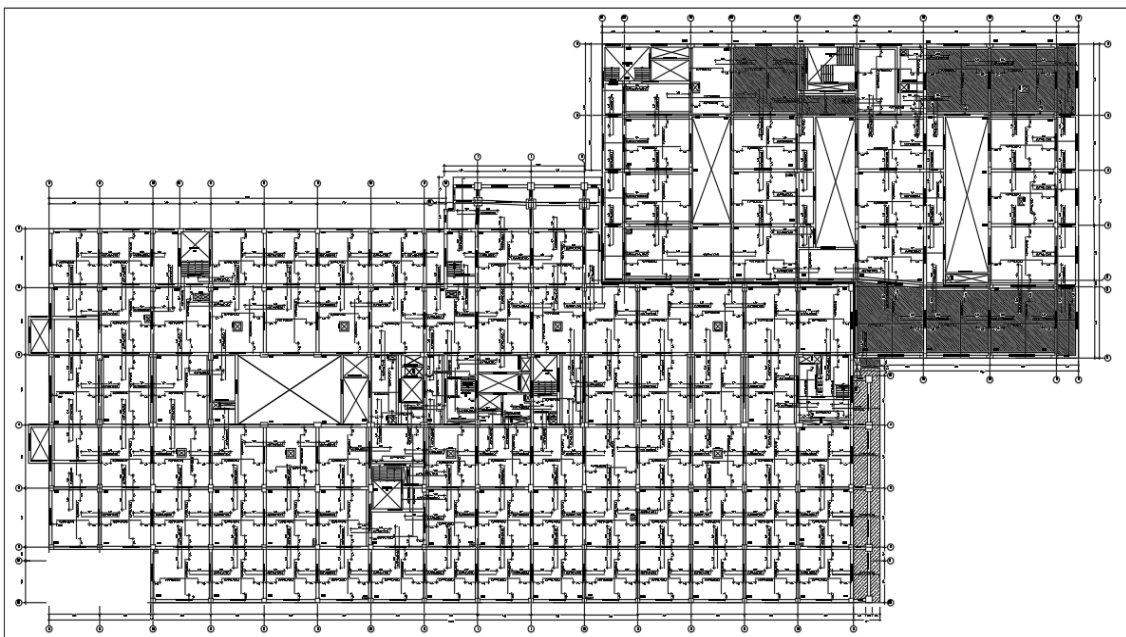
Plano de aligerada planta de piso técnico N.S.L -2.90m



Nota. Podemos apreciar el plano de losa de aislamiento con diferentes dimensiones. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 45

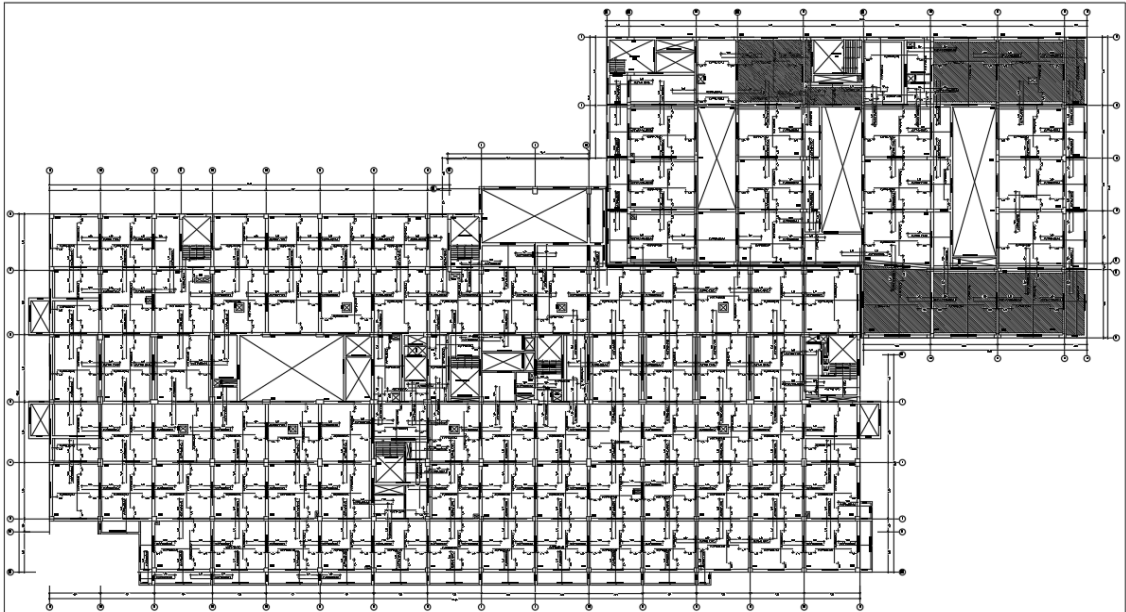
Plano de aligerado primer techo N.S.L +1.60



Nota. Podemos apreciar el plano de losa del primer techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 46

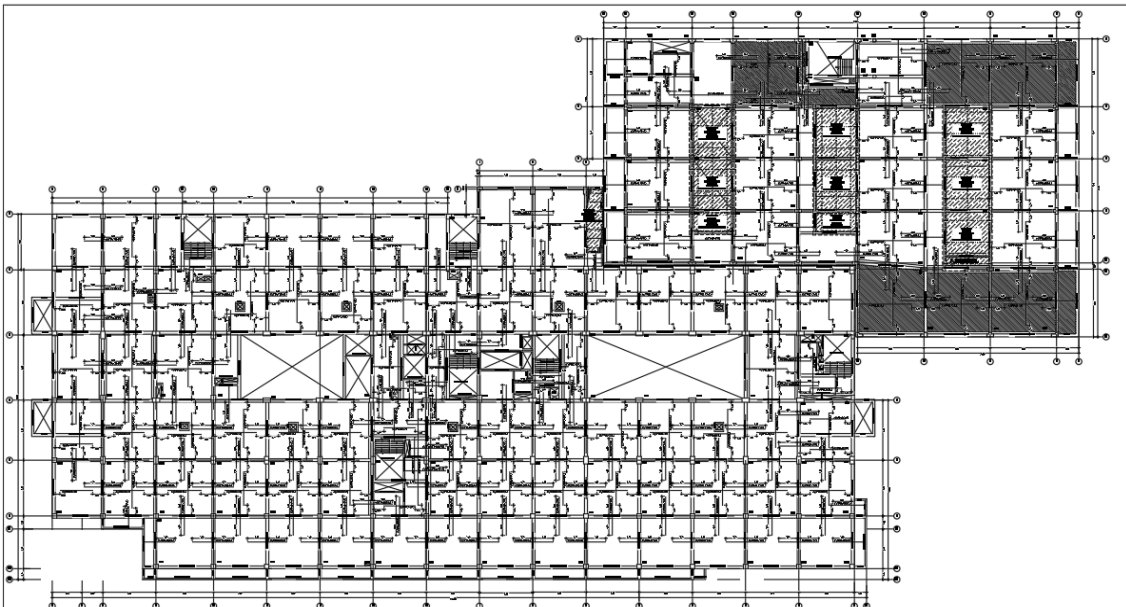
Plano de aligerado segundo techo N.S.L +6.10



Nota. Podemos apreciar el plano de losa del segundo techo, similar al primer techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 47

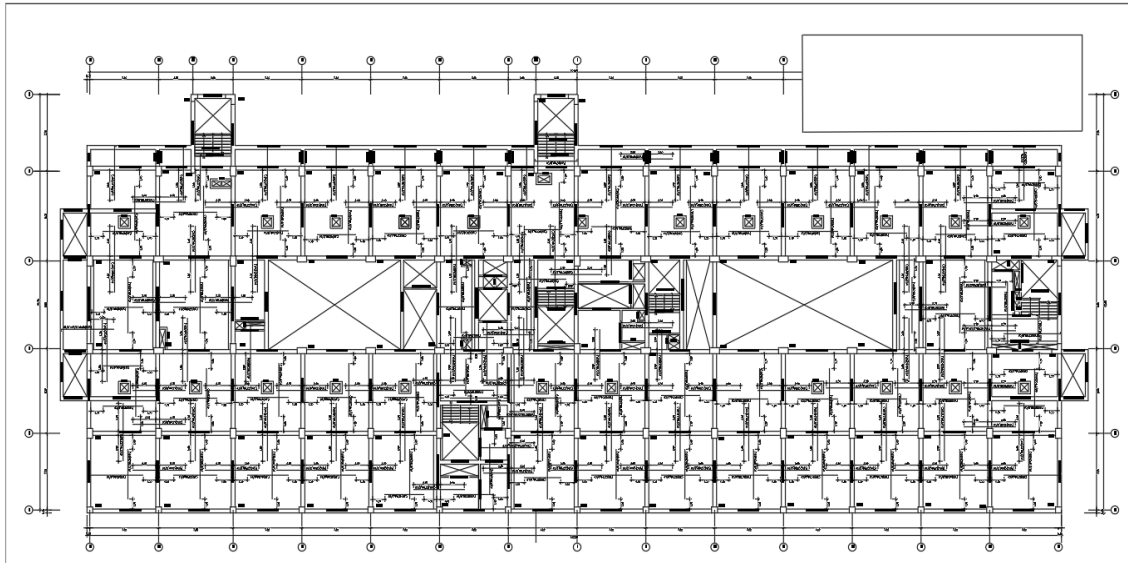
Plano de aligerado tercer techo N.S.L +10.60



Nota. Podemos apreciar el plano de losa del cuarto techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm, así como también observamos una ligera variación en algunas dimensiones de vigas, reducción del diafragma con respecto al techo anterior y volados en la parte inferior. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 48

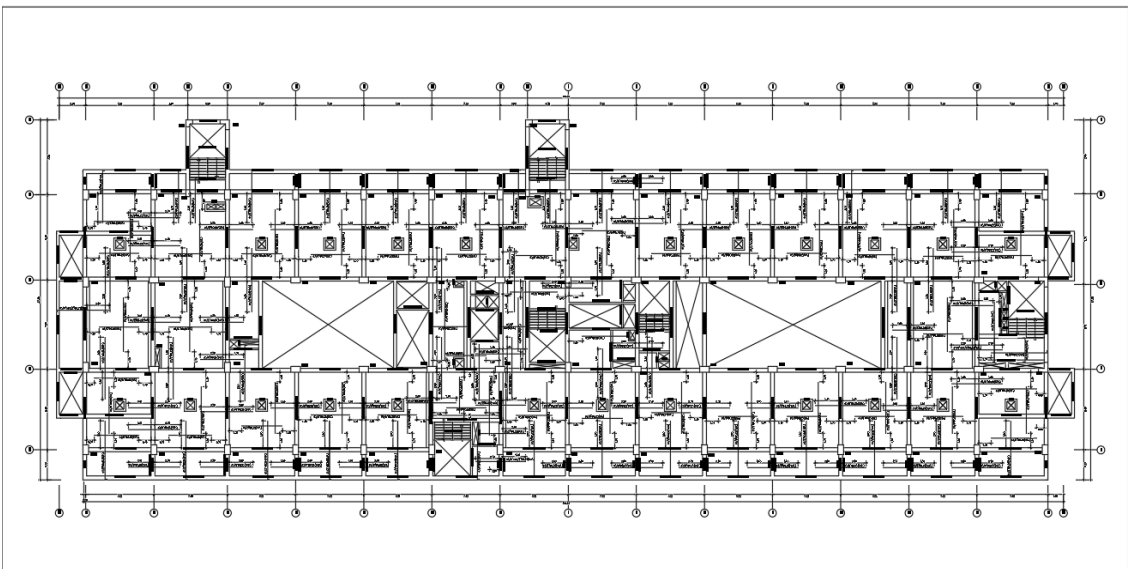
Plano de aligerado cuarto techo N.S.L +15.10



Nota. Podemos apreciar el plano de losa del cuarto techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm, así como también observamos una ligera variación en algunas dimensiones de vigas, reducción del diafragma con respecto al techo anterior. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 49

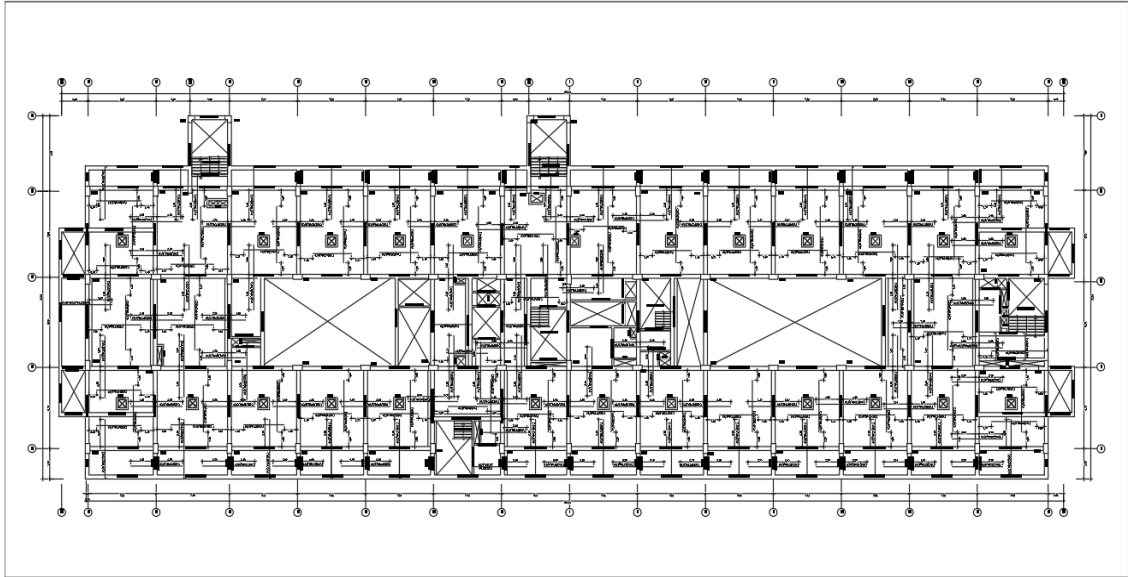
Plano de aligerado quinto techo N.S.L +19.60



Nota. Podemos apreciar el plano de losa de quinto techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm, las dimensiones de vigas y columnas son similares al techo anterior y con respecto a ello no observamos variación del diagrama. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 50

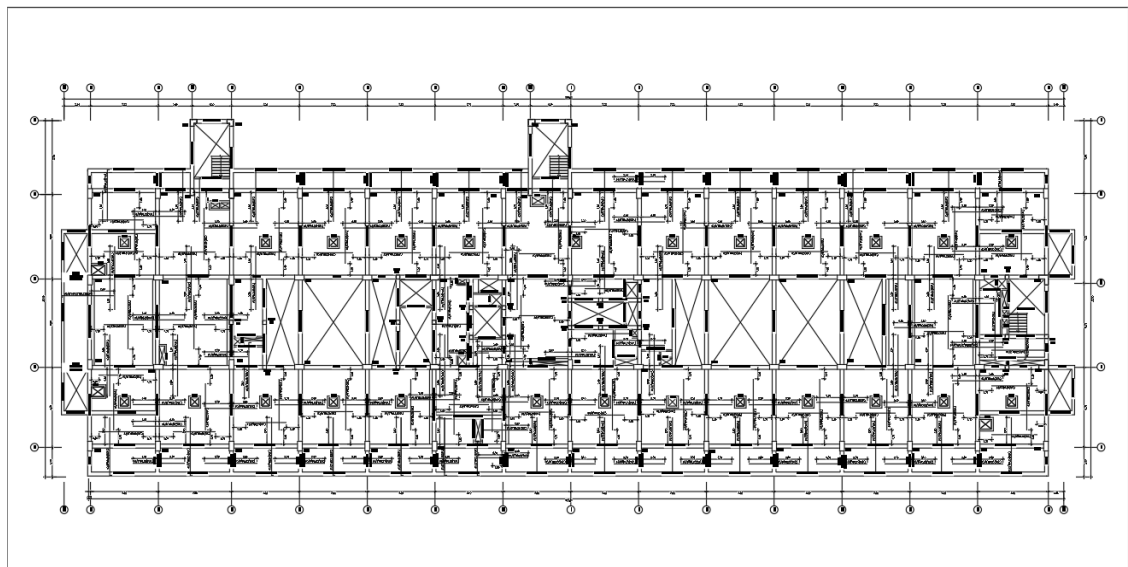
Plano de aligerado sexta planta N.S.L +24.10



Nota. Podemos apreciar el plano de losa de quinto techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm, las dimensiones de vigas y columnas son similares al techo anterior y con respecto a ello no observamos variación del diagrama. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 51

Plano de aligerado séptimo techo N.S.L +28.60



Nota. Podemos apreciar el plano de losa de quinto techo con sus diferentes dimensiones en vigas, columnas y armado de losa maciza bidireccional de 25cm, las dimensiones de vigas y columnas son similares al techo anterior y con respecto a ello observamos variación del diafragma con aparición de tragaluces en este nivel. Fuente: Elaboración Propia.

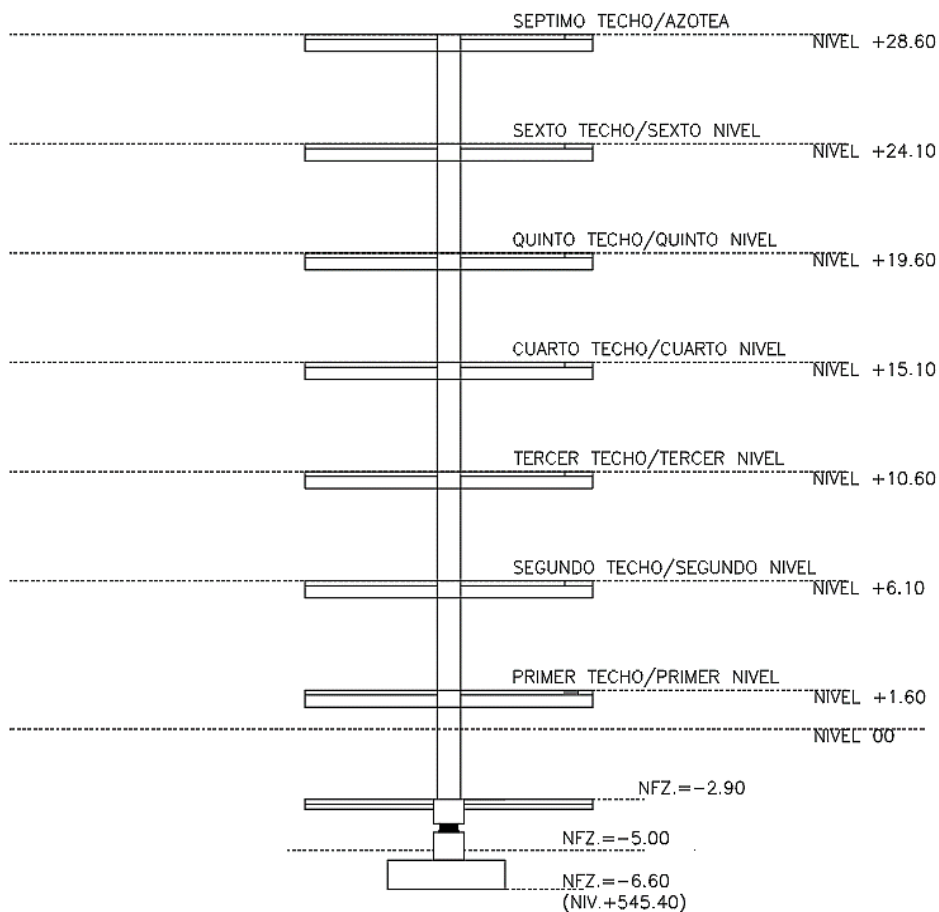
3.6.1.2. Recolección de distribución de arquitectura

Para efectuar el modelamiento matemático, en la etapa de asignación de cargas en función a su uso, se entorna indispensable el conocimiento de la distribución arquitectónica en correspondencia a las funciones de cada ambiente y equipos al tratarse de una edificación hospitalaria, los suscritos recolectaron los diferentes planos de arquitectura que se ilustran en las Figuras 53, 54, 55, 56, 57, 58, 59 Y 60.

De toda la información recolectada de la especialidad de arquitectura de manera puntual se ilustran en la Figura 52 la información asertiva para efectuar el análisis, a su misma vez se comentarán algunos aspectos de arquitectura apreciados por los suscritos.

Figura 52

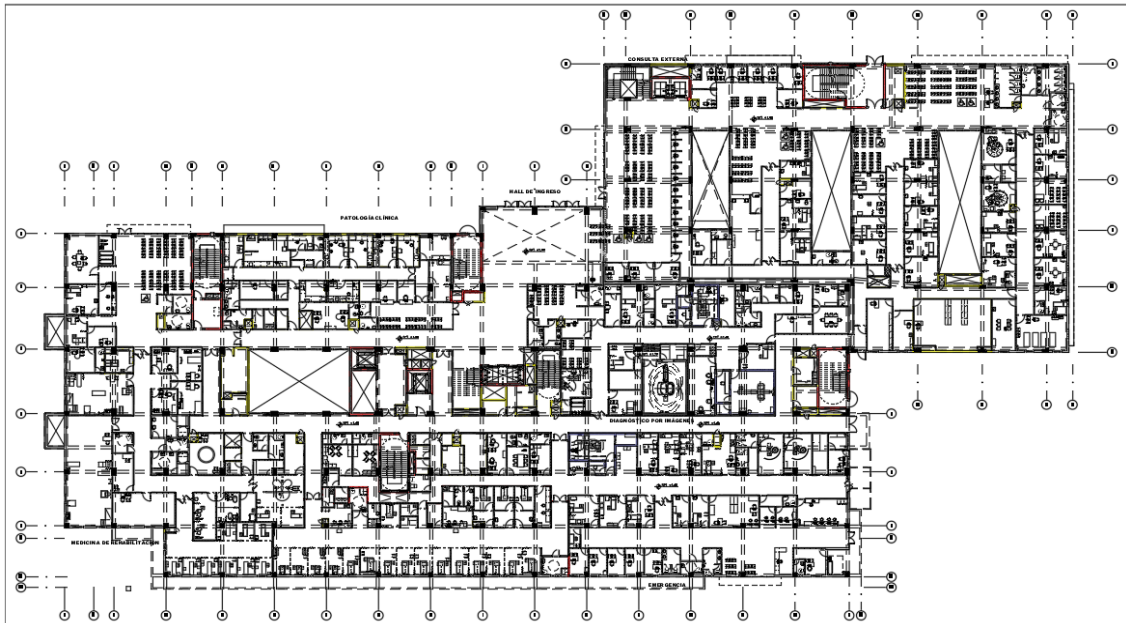
Niveles de del establecimiento



Nota. Para no crear confusión al lector los suscritos realizaron el siguiente bosquejo con el fin de poder ubicar mejor los niveles en relación a los planos de aligerados en la especialidad de estructuras, cabe recalcar que para el modelamiento en los acápite anteriores se eliminara el piso técnico de aislamiento debido a que el sistema de protección propuesto no requiere de ello.
Fuente: Elaboración Propia.

Figura 53

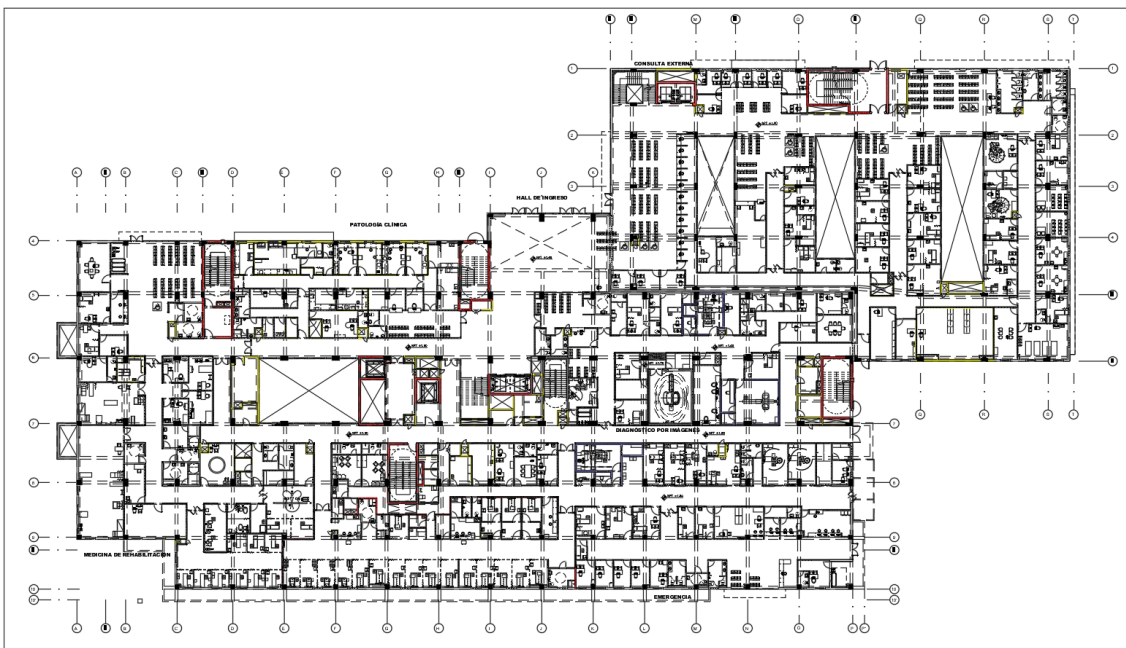
Plano de distribución de sótano Nivel NPT-2.90



Nota. Dichas sobrecargas no se tomarán en cuenta debido a que nuestra propuesta de sistema de protección sísmica no requiere losa de aislamiento ni piso técnico. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 54

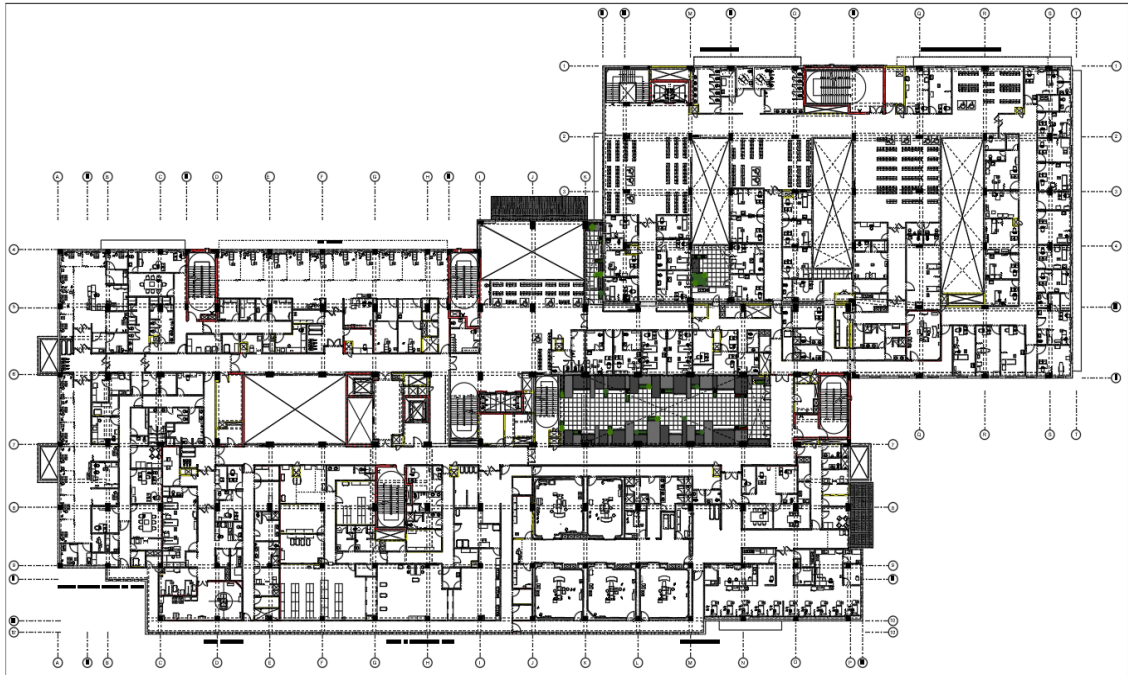
Plano de distribución del Primer Nivel NPT+1.60



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 55

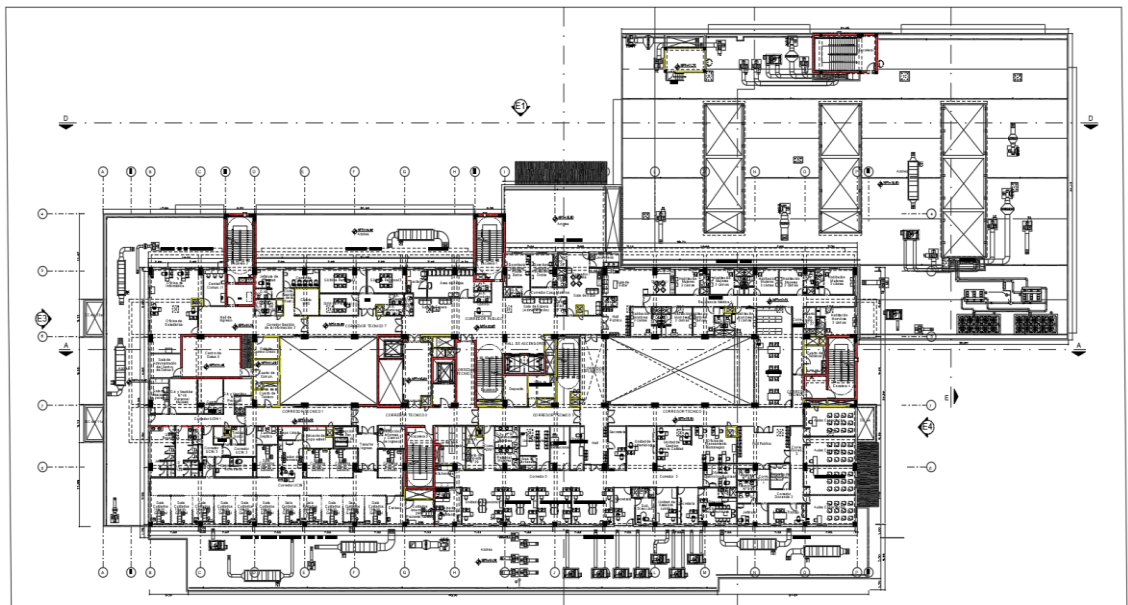
Plano de distribución del segundo Nivel NPT+6.10



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 56

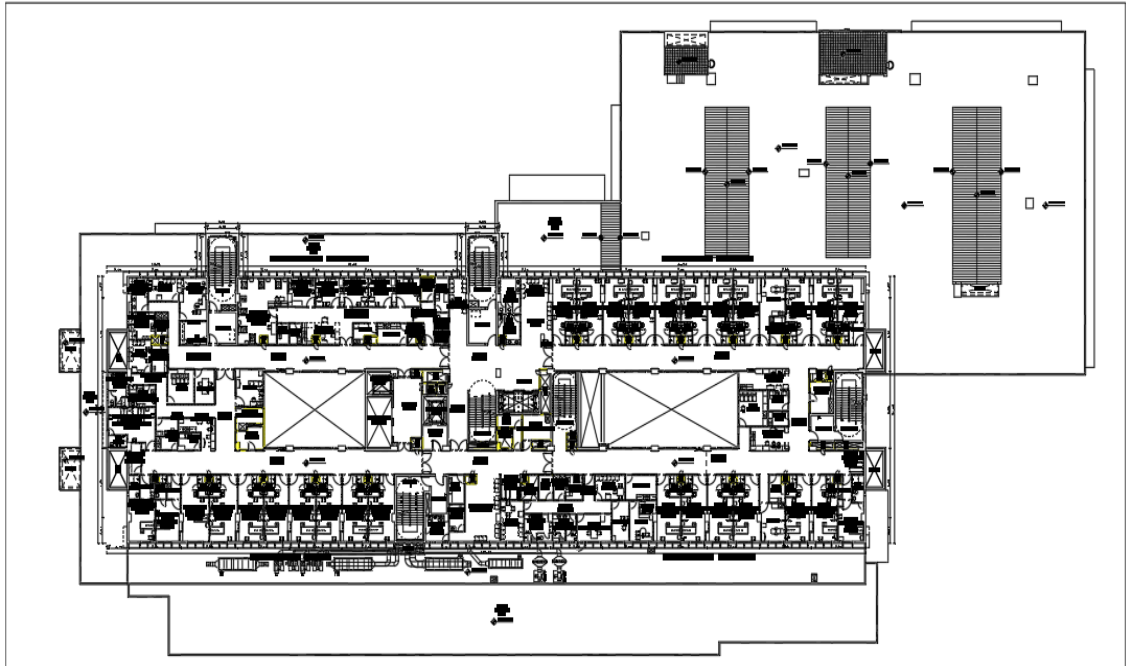
Plano de distribución del Tercer nivel NPT+10.60



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 57

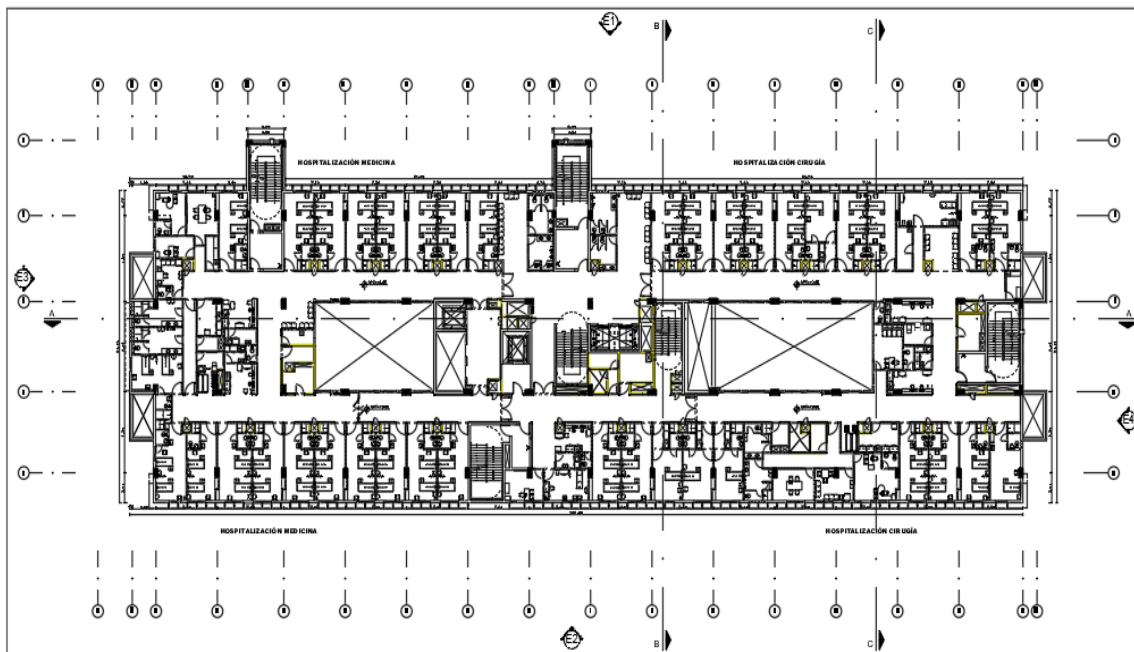
Plano de distribución del cuarto Nivel NPT+15.10



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 58

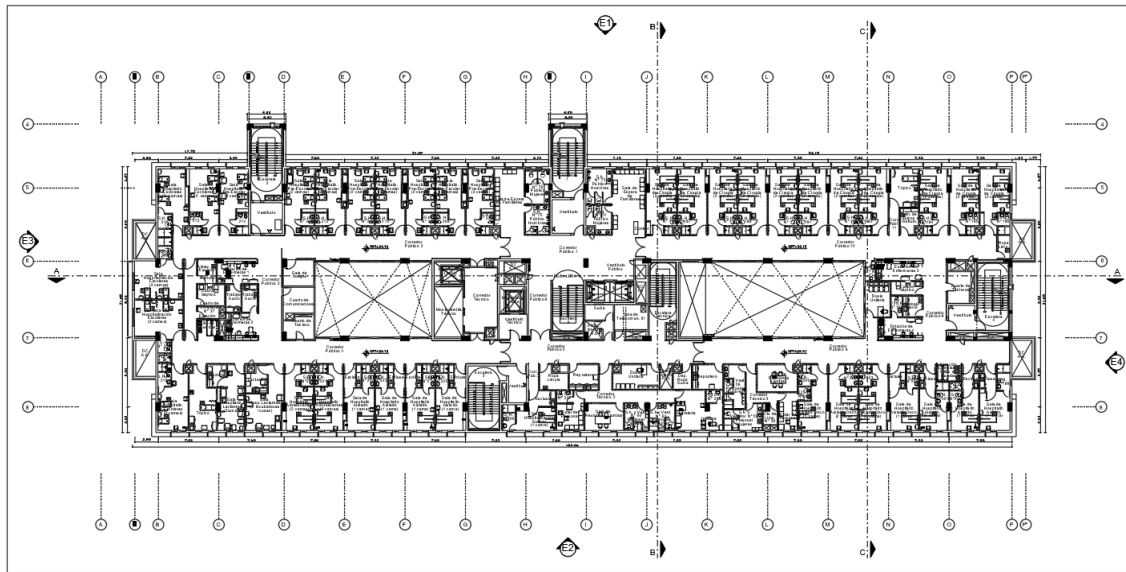
Plano de distribución del quinto Nivel NPT+19.10



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 59

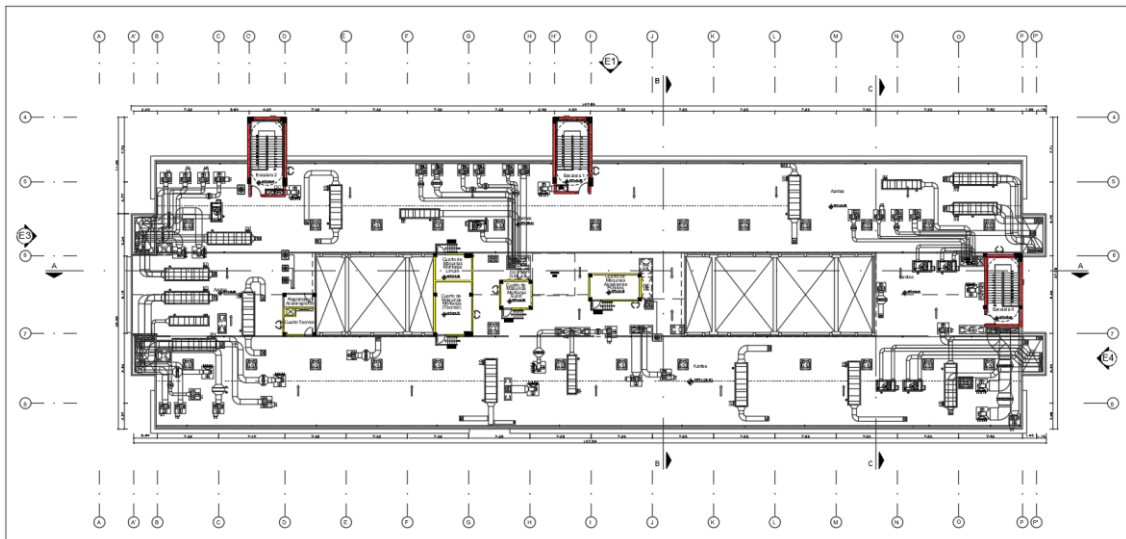
Plano de distribución del sexto Nivel NPT+24.10



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 60

Plano de distribución de la azotea Nivel NPT+28.60



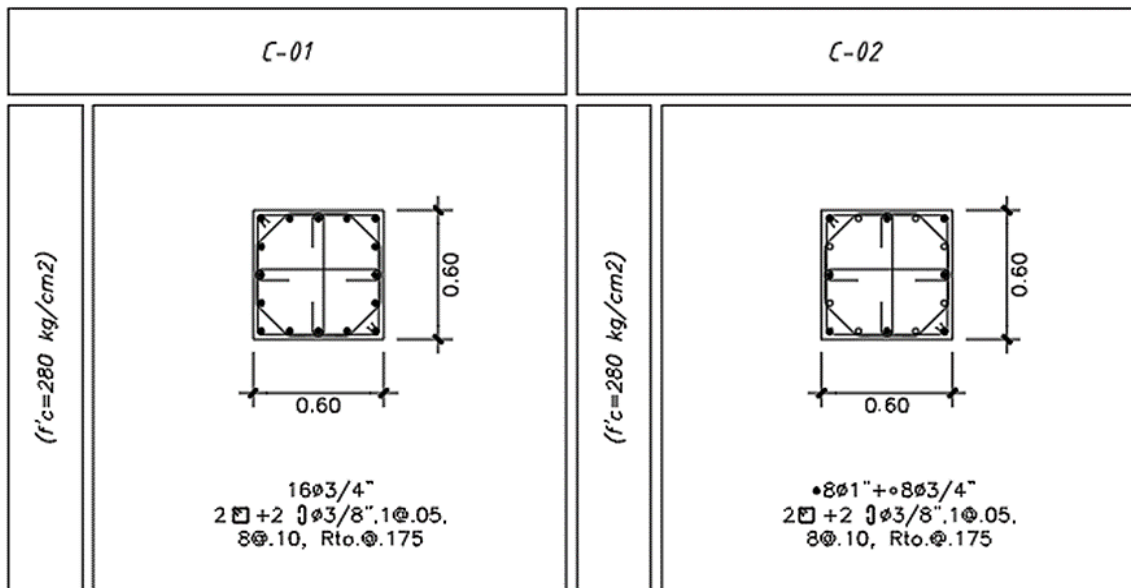
Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos característicos de un centro hospitalario. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.1.3. Recolección de detalle de elementos estructurales

Los suscritos recolectaron información acerca de los elementos verticales resistentes, como se muestra en las Figuras 61, 62, 63, 64, 65, 66; 67 y 68 para calcular las solicitaciones en función a los indicadores de la presente investigación.

Figura 61

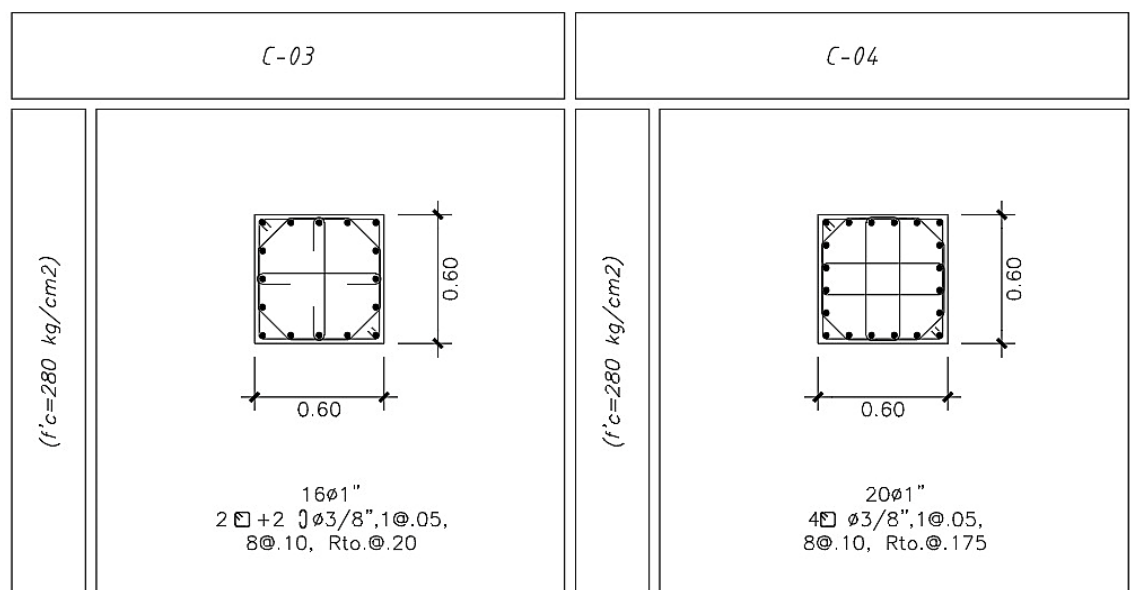
Detalle de armado de columna C-01 y C-02



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-01 y C-02 con grapas a la misma vez para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-01 posee 2 estribos, 2 grapas de tres octavos de pulgada y 16 varillas de tres cuartos de pulgada, mientras la columna C-02 posee 2 estribos, 2 grapas de tres octavos de pulgada. con 8 varillas de una pulgada y 8 varillas de tres cuartos de pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 62

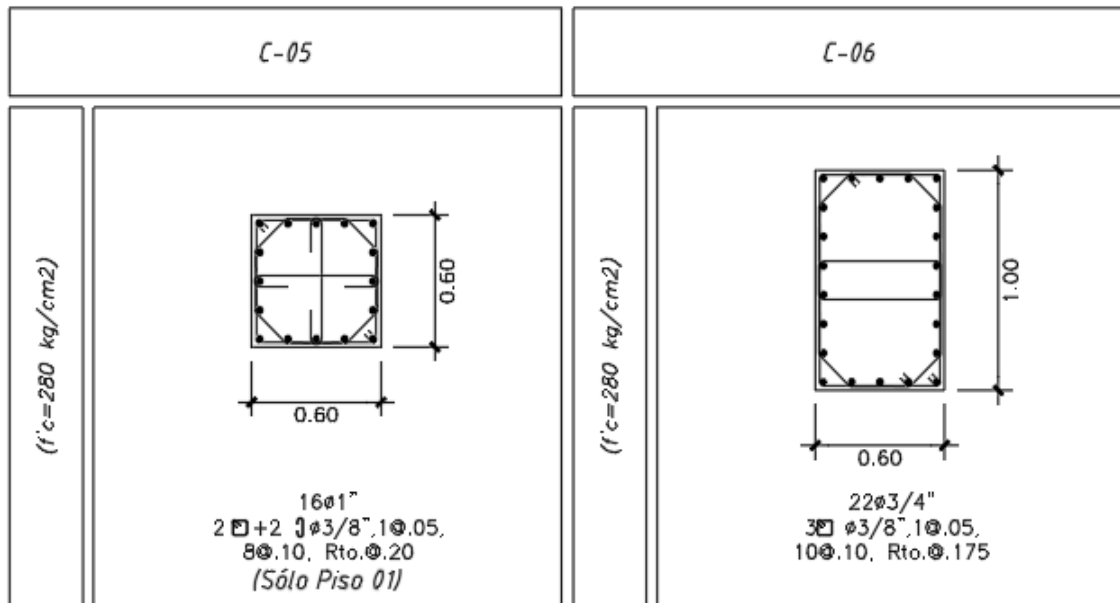
Detalle de armado de columna C-03 y C-04



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-03 y C-04 para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-03 posee 2 estribos, 2 grapas de tres octavos de pulgada y 16 varillas de una pulgada, mientras la columna C-04 posee 4 estribos. con 20 varillas de una pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 63

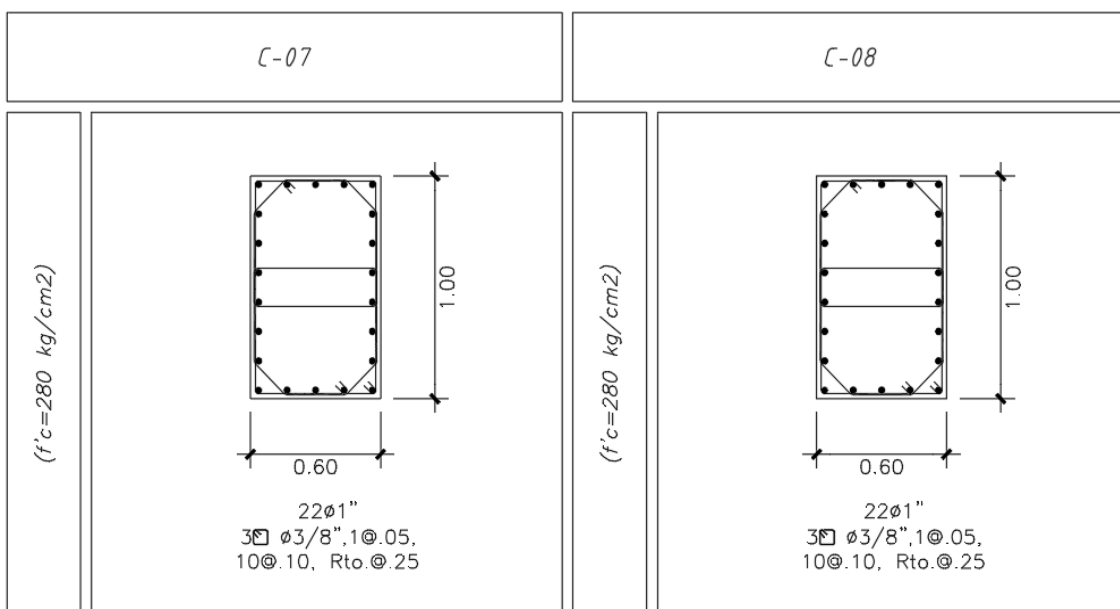
Detalle de armado de columna C-05 y C-06



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-05 y C-06 con grapas a la misma vez para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-05 posee 2 estribos, 2 grapas de tres octavos de pulgada y 16 varillas de una pulgada, mientras la columna C-06 posee 3 estribos con 22 varillas de tres cuartos de pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 64

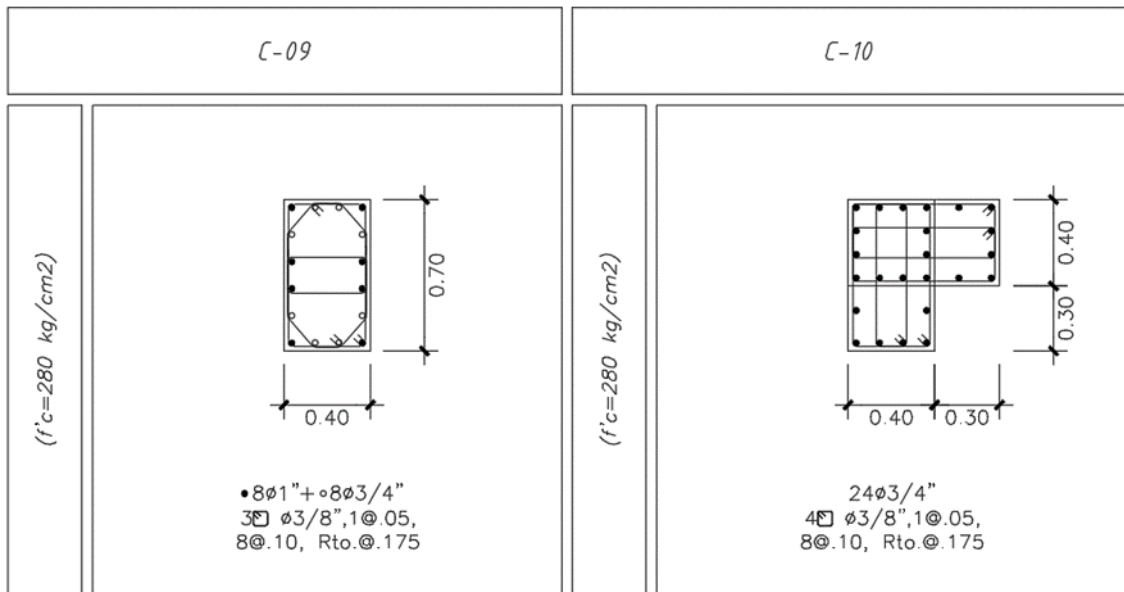
Detalle de armado de columna C-07 y C-08



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-07 y C-08 para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-07 posee 3 estribos, y 22 varillas de una pulgada, mientras la columna C-08 posee 3 estribos con 22 varillas de una pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 65

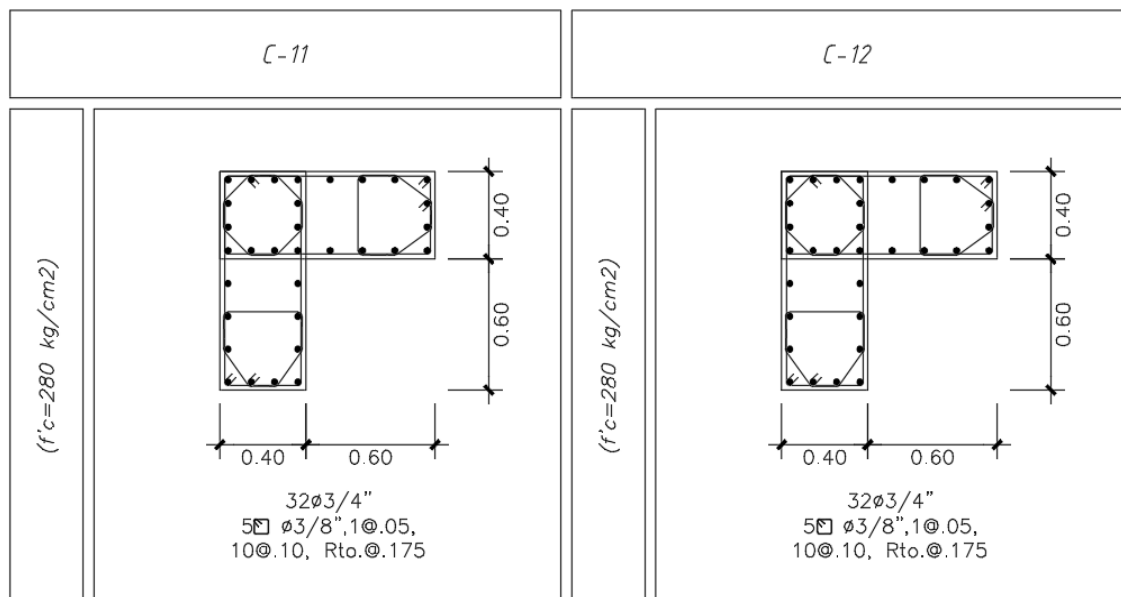
Detalle de armado de columna C-09 y C-10



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-09 y C-10 para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-09 posee 3 estribos con 8 varillas de una pulgada y 8 varillas de tres cuartos de pulgada, mientras la columna C-10 posee 4 estribos con 24 varillas de tres cuartos de pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 66

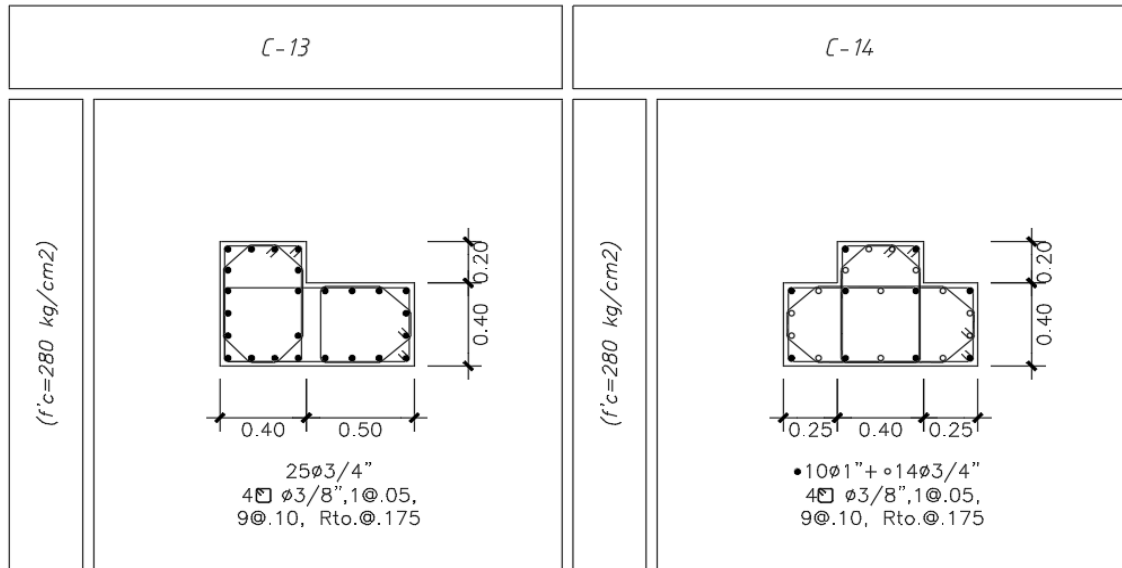
Detalle de armado de columna C-11 y C-12



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-11 y C-12 para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-11 posee 5 estribos con 32 varillas de tres cuartos de pulgada, mientras la columna C-12 posee estribos con 32 varillas de tres cuartos de pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 67

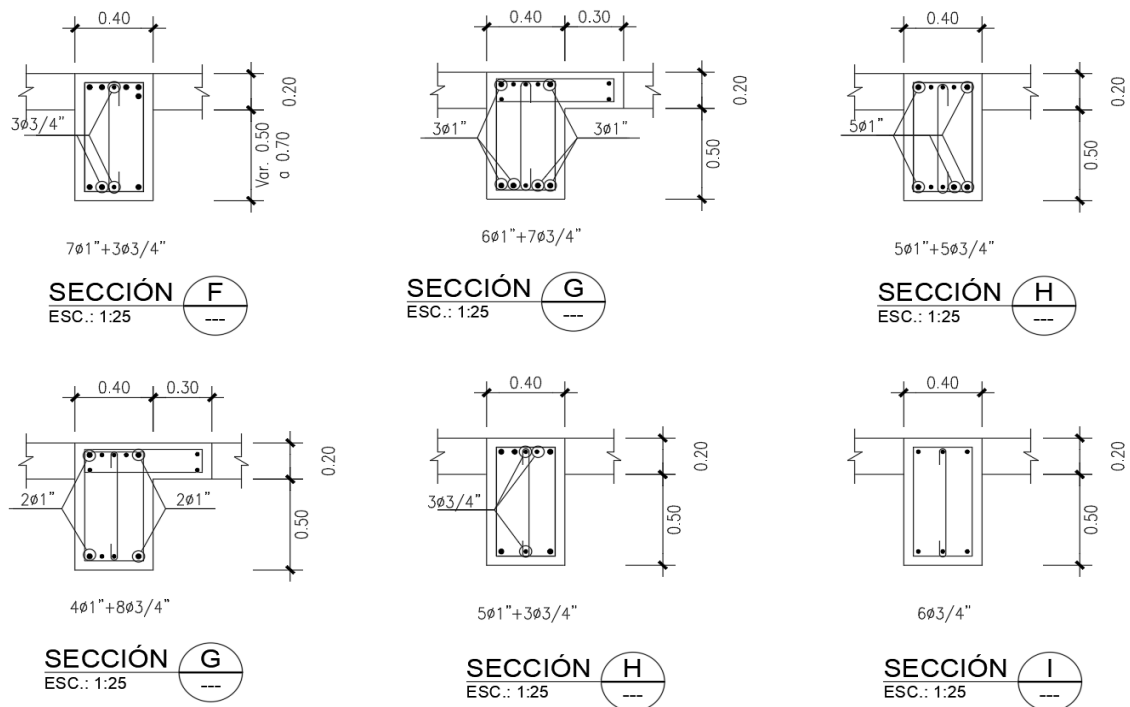
Detalle de armado de columna C-13 y C-14



Nota. Se observa un armado de estribo poligonal en las columnas C-13 y C-14 para satisfacer lo parametrado por la normativa E060, la columna C-13 posee 4 estribos con 25 varillas de tres cuartos de pulgada, mientras la columna C-14 posee 4 estribos con 10 varillas de una pulgada y 14 varillas de tres cuartos de pulgada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 68

Secciones, cortes y detallado de vigas



Nota. Se observan el uso de cada ambiente, así como también corredores y equipos. Fuente: Elaboración Propia.

Así como también del expediente primigenio con el cual se llevó a cabo la concepción matemática y su misma concepción física, los suscritos recolectaron la resistencia a la compresión de las diferentes columnas, como se muestra en la Tabla 12. Sin embargo, cabe señalar que la presente investigación solo realizará el modelamiento de la edificación principal, por consecuente solamente se extrajeron los datos necesarios para dicho fin.

Tabla 12

Dimensiones de columnas y resistencia a la compresión en función a sus niveles

CUADRO DE COLUMNAS BLOQUE 1				
Columna	Forma		Dimensiones	f'c (kg/cm ²)
C-01	Cuadrada	Sótano	0.60 x 0.60	280
		Piso 1	0.60 x 0.60	
		Piso 2	0.60 x 0.60	
		Piso 3	0.60 x 0.60	210
		Piso 4	-	
		Piso 5	-	
		Piso 6	-	
C-02	Cuadrada	Sótano	0.60 X 1.00	280
		Piso 1	0.60 X 1.00	
		Piso 2	0.60 X 1.00	
		Piso 3	0.60 X 1.00	210
		Piso 4	0.60 X 1.00	
		Piso 5	0.50 X 1.00	
		Piso 6	0.50 X 1.00	
C-03	Cuadrada	Sótano	1.00 X 0.60	280
		Piso 1	1.00 X 0.60	
		Piso 2	1.00 X 0.60	
		Piso 3	1.00 X 0.60	210
		Piso 4	1.00 X 0.60	
		Piso 5	1.00 X 0.60	
		Piso 6	1.00 X 0.60	
C-04	En "L"	Sótano	1.00 X 1.00 X 0.40	280
		Piso 1	1.00 X 1.00 X 0.40	
		Piso 2	1.00 X 1.00 X 0.40	
		Piso 3	1.00 X 1.00 X 0.40	210
		Piso 4	1.00 X 1.00 X 0.40	
		Piso 5	1.00 X 1.00 X 0.40	
		Piso 6	1.00 X 1.00 X 0.40	

Nota. En la parte de derecha encontramos la resistencia a la compresion indicada de cada elemento estructural clasificado por cada nivel. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.2. Selección de registros

Se realizará la selección de aceleraciones para el análisis tiempo historia no lineal de acuerdo a los lineamientos vigentes de la normativa técnica peruana E030 art30.1.1, usaremos 3 conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de ellos contiene dos componentes en direcciones ortogonales horizontales como se observa en la Tabla 13. Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consiste en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración son obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Los registros que se mostraran en las Figuras 69 y Figura 70 fueron registrados en el acelerógrafo de la caseta acelerométrica de la Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann, ubicado correspondientemente en la ciudad de Tacna.

Tabla 13

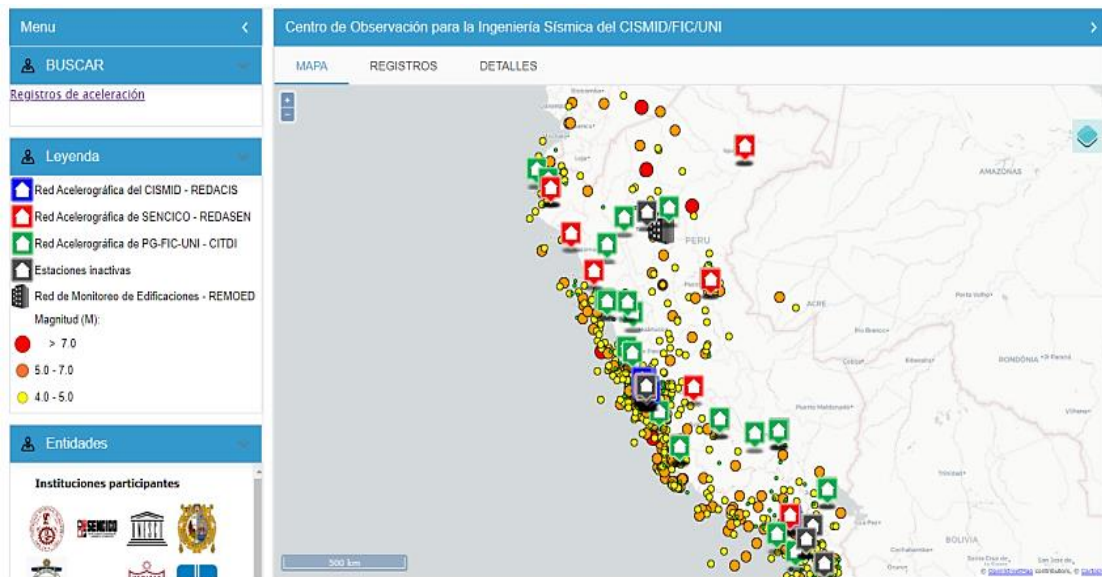
Determinación de las variables que se analizarán en la investigación en base a los objetivos, con sus dimensiones e indicadores

SISMOS REGISTRADOS PARA ANALISIS			
Lugar	TARAPACA	TACNA	IQUIQUE
Fecha	2005/06/13	2010/05/05	2014/04/01
Hora	17:44:33	21:42:00	18:46:45
Latitud	-19.61	-18.34	-19.57
Longitud	-69.97	-71.17	-70.91
Magnitud	7.2 Mw	6.5 ML	8.2 Mw
Profundidad	146 km	36 km	38.90 km
Fuente	IGP	IGP	CSMUCH

Nota. En la tabla se aprecia diferentes características de los tres sismos que se tomaron para el análisis.

Cabe señalar que en la concepción del modelo matemático del hospital Hipólito Unanue, el proyectista considero sismos alejados de la zona, para ser exactos en el sur de Chile, esto se debe a que en el desarrollo del estudio aun la normativa vigente E.031 no existía y la los lineamientos de la normativa E.030 eran aun desfasadas a la vigente 2018. Sin embargo, los suscritos que desarrollan la presente investigación ante tal acotación escogieron sismos muy similares con aceleraciones picos cercanas y bajo los lineamientos de las normativas vigentes actuales.

Figura 69
Casetas de registro de aceleraciones en el Perú



Nota. En la figura mostrada se pueden apreciar las distintas casetas de estaciones acelerométrica en el Perú, por lo cual se usará la caseta ubicada en la Región del Tacna . Fuente: (Centro de Observación para la Ingeniería Sísmica del CISMID/FIC/UNI, 2023)

Figura 70
Archivos de texto de cada sismo

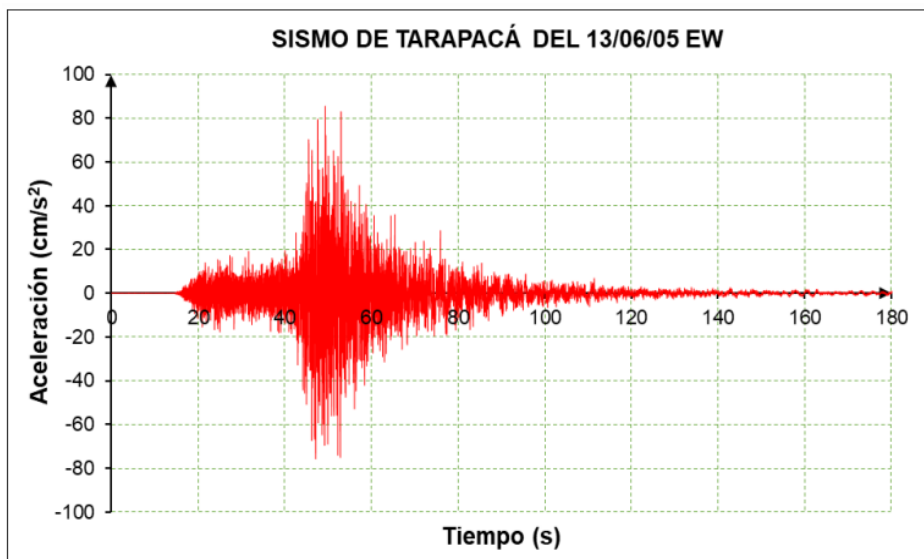
NATIONAL UNIVERSITY OF ENGINEERING FACULTY OF CIVIL ENGINEERING JAPAN-PERU CENTER FOR EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH AND DISASTER MITIGATION (CISMID) TUPAC AMARU AVENUE 1150 - LIMA 25 - PERU Postal Code 31-250 Lima 31 Telephone Numbers (51-1) 402-0777, 402-0780 FAX 401-0170 e-mail: f_jazare@uni.edu.pe http://www.cismid.uni.org					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) 402-0777, 402-0780 FAX 401-0170 e-mail: f_jazare@uni.edu.pe http://www.cismid.uni.org					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) 402-0777, 402-0780 FAX 401-0170 e-mail: f_jazare@uni.edu.pe http://www.cismid.uni.org				
1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University STATION CODE : TAC001 STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna LATITUDE : -18.024 LONGITUDE : -70.249 ALTITUDE (m) : 585 ACCELEROMETER MODEL : CV-37442 Tokyo Sokushin SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200					1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University STATION CODE : TAC001 STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna LATITUDE : -18.024 LONGITUDE : -70.249 ALTITUDE (m) : 585 ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200					1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION STATION NAME : Jorge Basadre Grohmann University STATION CODE : TAC001 STATION LOCATION : Jorge Basadre Grohmann National University, Tacna, Tacna LATITUDE : -18.024 LONGITUDE : -70.249 ALTITUDE (m) : 585 ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200				
2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE DATE : Apr11 01, 2014 ORIGIN TIME (Local) : 18:46:45 LATITUDE : -19.57 LONGITUDE : -70.91 DEPTH (km) : 38.50 MAGNITUDE : 6.2 Mw INFORMATION SOURCE : CSMUCH					2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE DATE : May 05, 2010 ORIGIN TIME (Local) : 21:42:00 LATITUDE : -18.34 LONGITUDE : -71.17 DEPTH (km) : 36.00 MAGNITUDE : 6.5 Mw INFORMATION SOURCE : IGP					2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE DATE : June 13, 2005 ORIGIN TIME (Local) : 17:44:33 LATITUDE : -19.61 LONGITUDE : -69.97 DEPTH (km) : 146.00 MAGNITUDE : 7.2 Mw INFORMATION SOURCE : IGP				
3. INFORMATION ABOUT THE RECORD RECORD TIME (Local) : 18:47:17 NUMBER OF SAMPLES : 30442 MAXIMUM ACCELERATION : 72.49 -69.51 -40.72 DATA UNITS : cm/s2					3. INFORMATION ABOUT THE RECORD RECORD TIME (Local) : 21:42:46 NUMBER OF SAMPLES : 23600 MAXIMUM ACCELERATION : -154.00 -190.00 -188.00 DATA UNITS : cm/s2					3. INFORMATION ABOUT THE RECORD RECORD TIME (Local) : 17:44:54 NUMBER OF SAMPLES : 36400 MAXIMUM ACCELERATION : 85.54 -94.18 -76.20 DATA UNITS : cm/s2				
4. COMMENTS BASELINE CORRECTED					4. COMMENTS BASELINE CORRECTED					4. COMMENTS BASELINE CORRECTED. TRAPEZOIDAL BANDPASS (0.05/0.10-20/50) FILTERED.				
5. ACCELERATION DATA T EW NS UD 0.0000 -0.1523 0.0761 -0.3835 0.0050 -0.1955 0.0863 -0.3817 0.0100 -0.0795 0.0156 -0.2957 0.0150 0.0194 -0.0418 -0.1470 0.0200 0.0272 -0.0928 -0.0792 0.0250 0.0667 -0.1106 -0.0050 0.0300 0.0223 -0.0616 0.0665 0.0350 -0.0114 -0.1119 0.0055 0.0400 -0.0788 -0.1255 -0.1392 0.0450 -0.0073 -0.1595 -0.3502 0.0500 0.0772 0.0203 -0.5238 0.0550 0.1038 0.0290 -0.7586 0.0600 0.0411 -0.0384 -0.9278 0.0650 -0.1144 -0.1121 -0.9952 0.0700 -0.0099 -0.1395 -0.8734					5. ACCELERATION DATA T EW NS UD 0.0000 -0.0051 -0.0395 0.0109 0.0050 0.0069 0.0246 -0.0014 0.0100 0.0578 0.0752 -0.0215 0.0150 -0.0558 0.0246 -0.0842 0.0200 -0.0080 -0.0746 0.0108 0.0250 0.0126 -0.0026 -0.0159 0.0300 0.0755 0.0050 -0.0327 0.0350 0.0457 0.0654 -0.0131 0.0400 -0.0566 0.0541 0.0070 0.0450 -0.1005 -0.0063 0.0328 0.0500 -0.0125 -0.0615 0.0300 0.0550 0.0987 -0.0330 -0.0047 0.0600 0.0624 0.0321 -0.0037 0.0650 -0.0670 0.0340 -0.0065 0.0700 -0.0949 -0.0044 -0.0014 0.0750 0.0047 -0.0458 0.0027					5. ACCELERATION DATA T EW NS UD 0.0000 0.0324 0.0509 -0.0140 0.0050 0.0175 0.0314 -0.0165 0.0100 -0.0113 -0.0160 -0.0087 0.0150 -0.0286 -0.0311 0.0027 0.0200 -0.0183 0.0009 -0.0106 0.0250 0.0864 0.0526 0.0144 0.0300 0.0182 0.0437 0.0168 0.0350 0.0071 -0.0214 0.0161 0.0400 -0.0081 -0.0771 0.0083 0.0450 -0.0028 -0.0540 -0.0051 0.0500 0.0237 0.0283 -0.0159 0.0550 0.0457 0.0935 -0.0175 0.0600 0.0372 0.0873 -0.0112 0.0650 0.0010 0.0224 -0.0018 0.0700 -0.0389 -0.0472 0.0072 0.0750 -0.0209 -0.0768 0.0142				

Nota. En la figura mostrada se pueden apreciar los diferentes archivos de texto extraídos de la pagina del cismid, donde estan los registros de aceleraciones de cada sismos correspondiente, asi como tambien sus caracteristicas como paso en el tiempo, frecuencia, duracion, direccion de mayor intensidad, aceleracion pico, numero de pasos y unidades de aceleracion. Fuente: (Centro de Observación para la Ingeniería Sísmica del CISMID/FIC/UNI, 2023)

En las Figuras 71 y 72 se observa el sismo suscitado en Tarapacá el 13 de junio del 2005, fue percibido por los acelerógrafos de la universidad Jorge Basadre Grohman, siendo la dirección ortogonal Norte Sur, el más crítico y con una frecuencia de 200 hz.

Figura 71

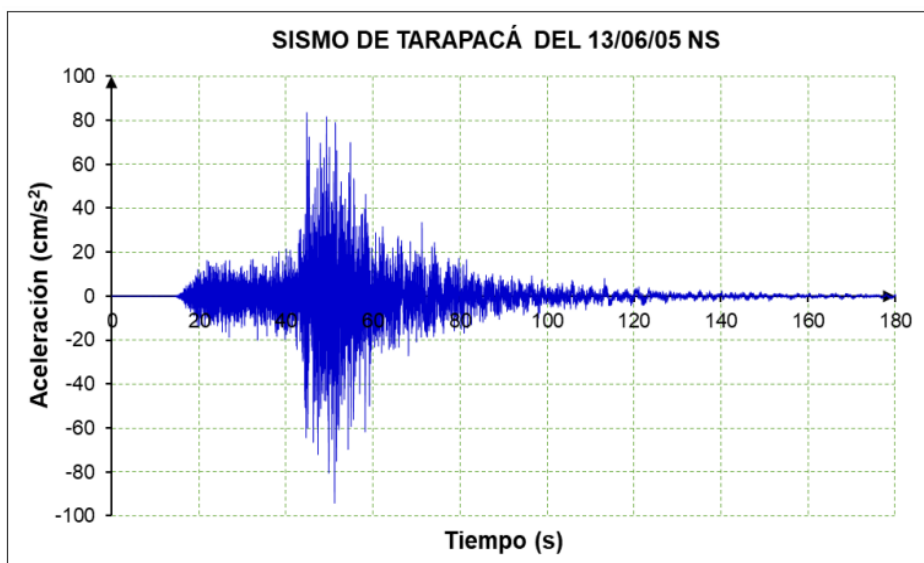
Sismo de Tarapacá dirección Este a Oeste



Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Este a Oeste, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 85 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

Figura 72

Sismo de Tarapacá dirección Norte Sur

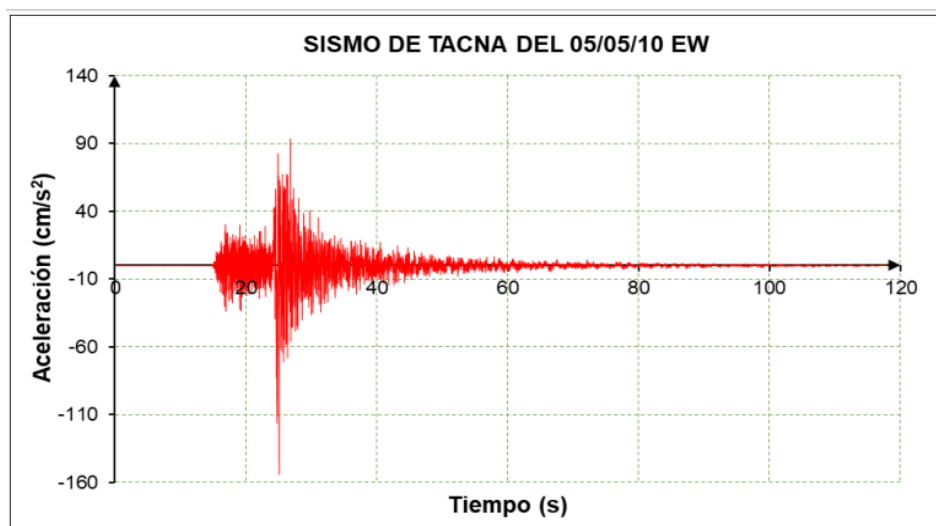


Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Norte a Sur, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 95 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

En las Figuras 73 y 74 se observa el sismo suscitado en Tacna el 05 de mayo del 2010, fue percibido por los acelerógrafos de la universidad Jorge Basadre Grohman, siendo la dirección ortogonal Norte Sur la más crítica, con una frecuencia de 200 hz y una magnitud de 6.5ML.

Figura 73

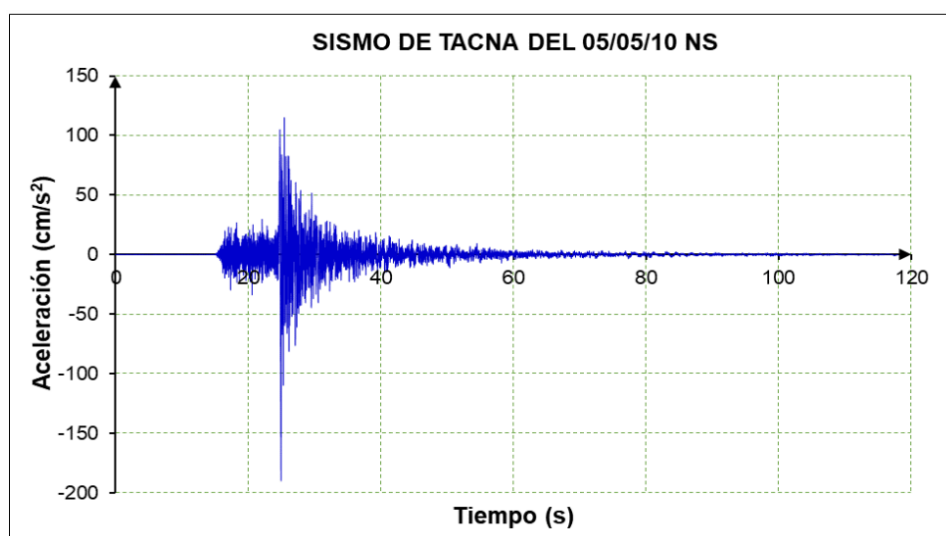
Sismo de Tacna dirección Este a Oeste



Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Este a Oeste, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 155 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

Figura 74

Sismo de Tacna dirección Norte a Sur

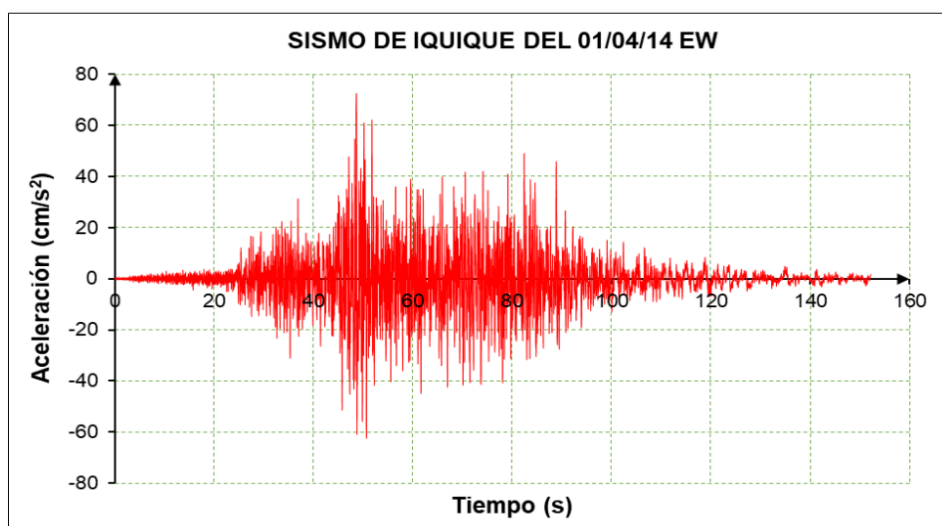


Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Este a Oeste, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 185 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

En las Figuras 75 y 76 se observa que el sismo suscitado en Iquique el 01 de abril del 2014, fue percibido por los acelerógrafos de la universidad Jorge Basadre Grohman, siendo la dirección ortogonal Norte Sur la más crítica, con una frecuencia de 200 hz y una magnitud de 8,2 Mw.

Figura 75

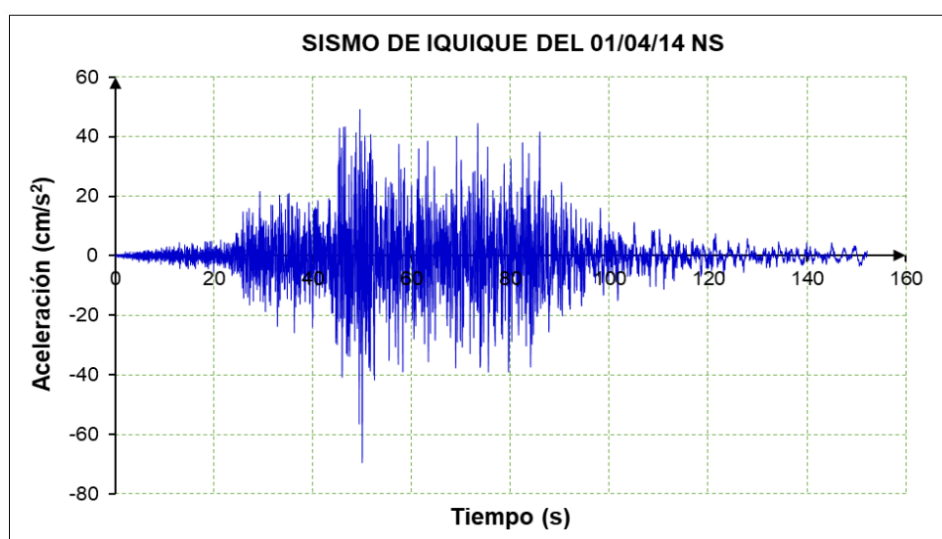
Sismo de Iquique dirección Este a Oeste



Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Este a Oeste, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 75 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

Figura 76

Sismo de Iquique dirección Norte Sur



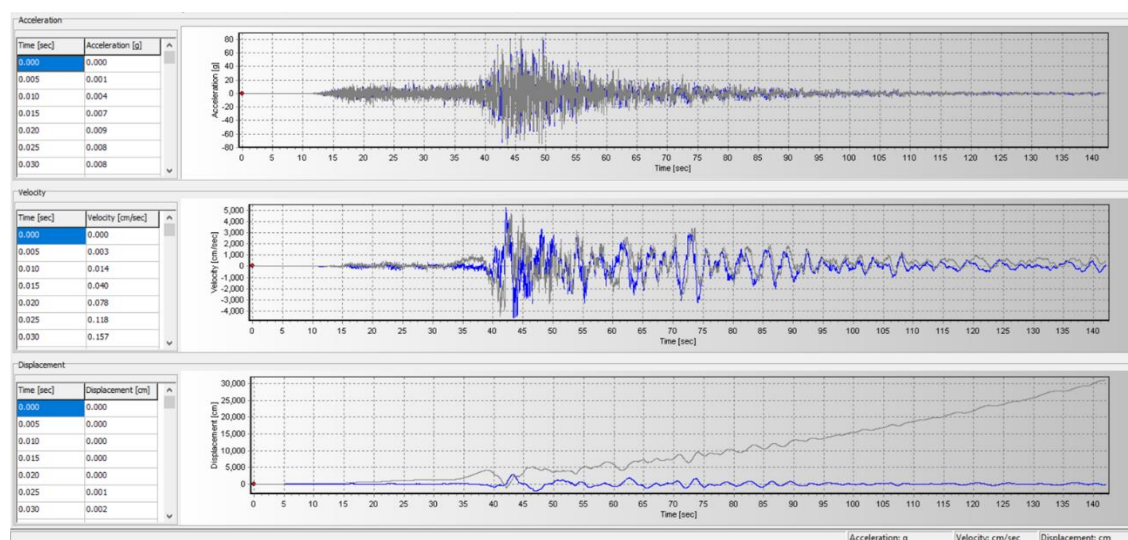
Nota. En la figura mostrada apreciamos el registro de aceleraciones dirección Norte a Sur, siendo un diagrama de aceleración vs tiempo con un pico de aceleración de 65 cm/s².(CISMID). Fuente: Elaboración Propia.

3.6.3. Corrección de línea base

Se realizará la corrección de línea base para entórnanos en cálculos conservadores, para ello utilizaremos el software Seismosignal como se observa en las Figuras 77, 78, 79, 80, 81 y 82. Esto se debe a que el acelerógrafo pudo haber captado diferentes aceleraciones que no fueron provenientes de un sismo.

Figura 77

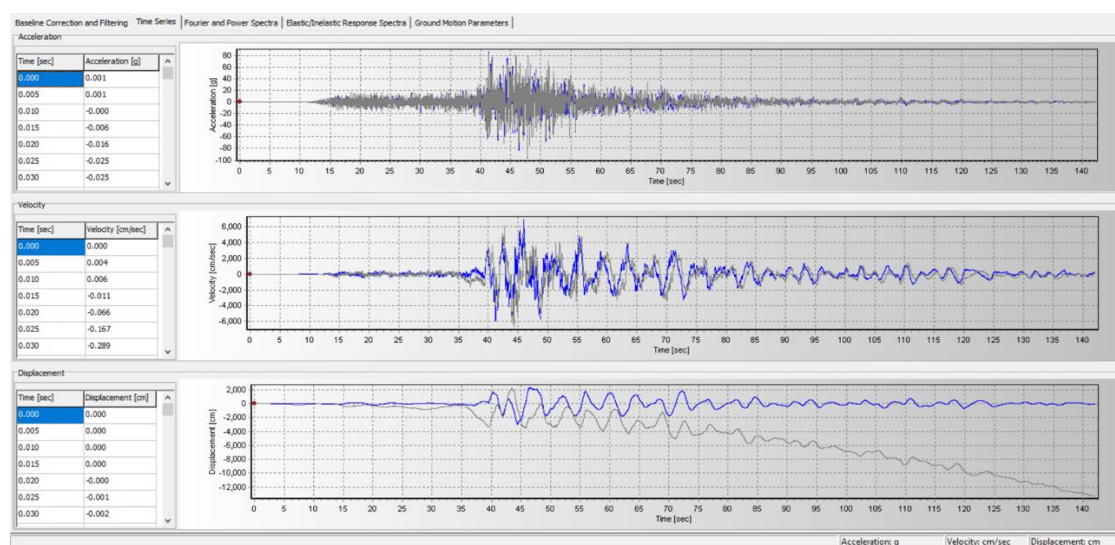
Sismo de Tarapacá del 2005 dirección Este a Oeste



Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 78

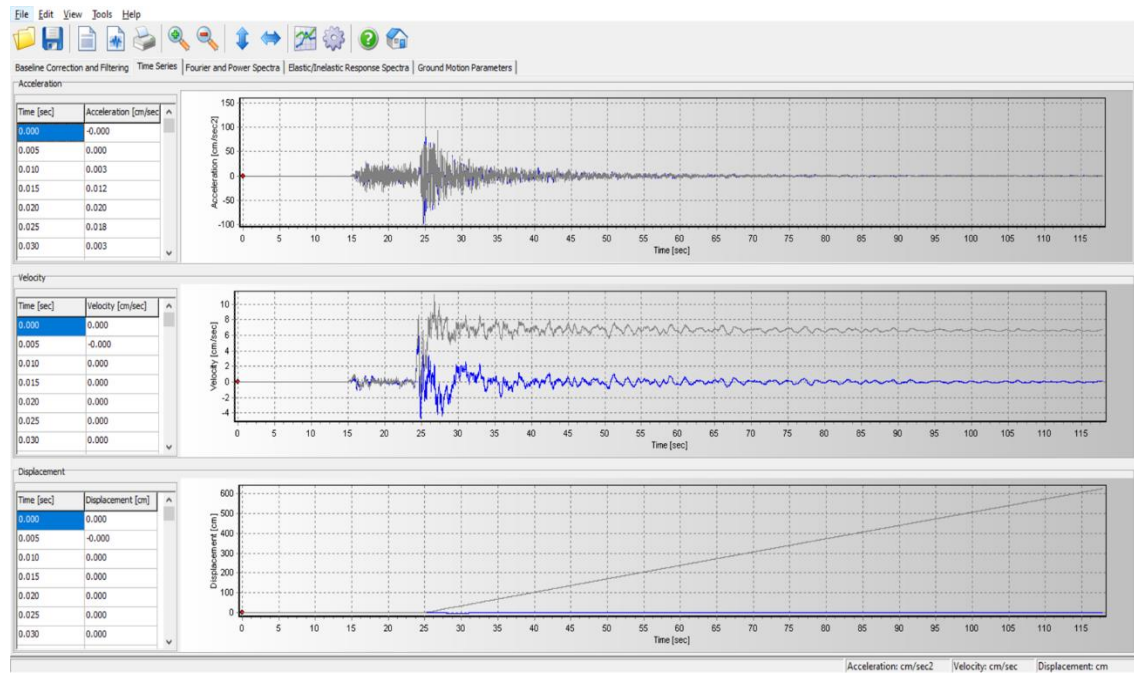
Sismo de Tarapacá del 2005 dirección Norte a Sur



Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 79

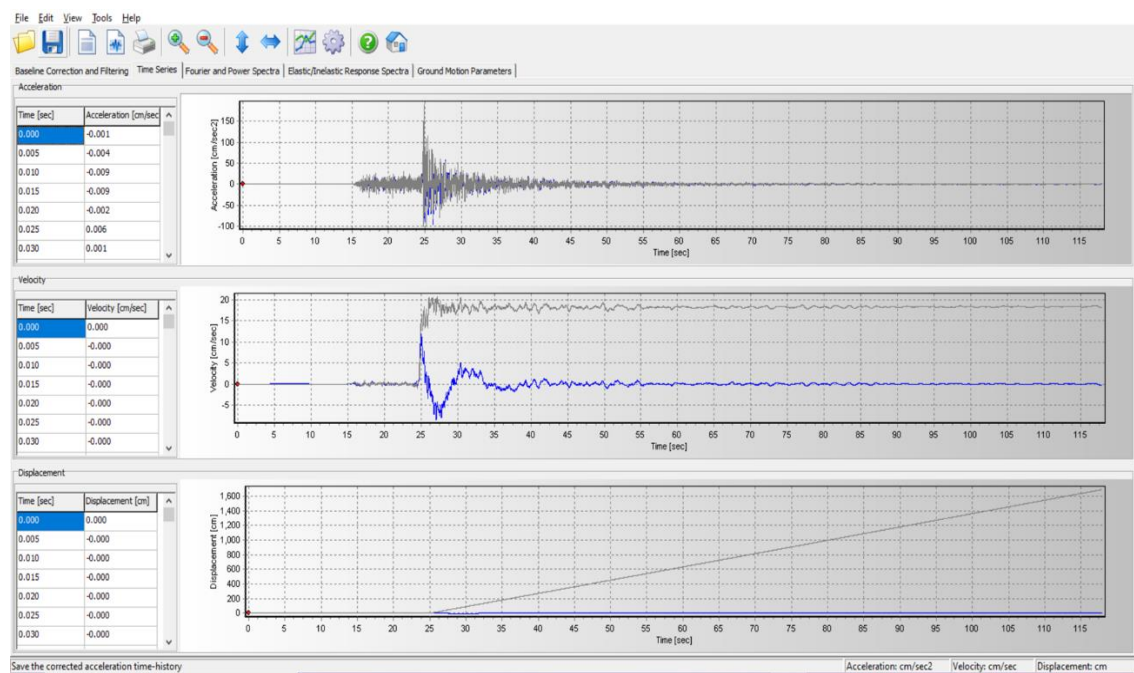
Sismo de Tacna del 2010 dirección Este a Oeste



Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 80

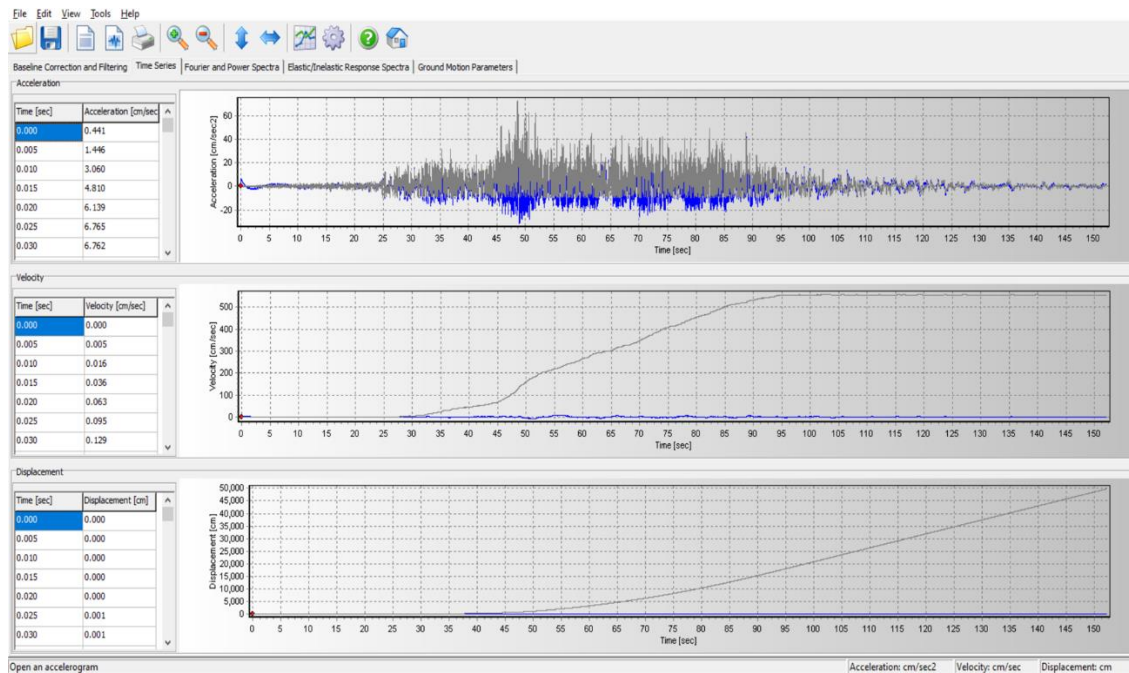
Sismo de Tacna del 2010 dirección Norte a Sur



Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 81

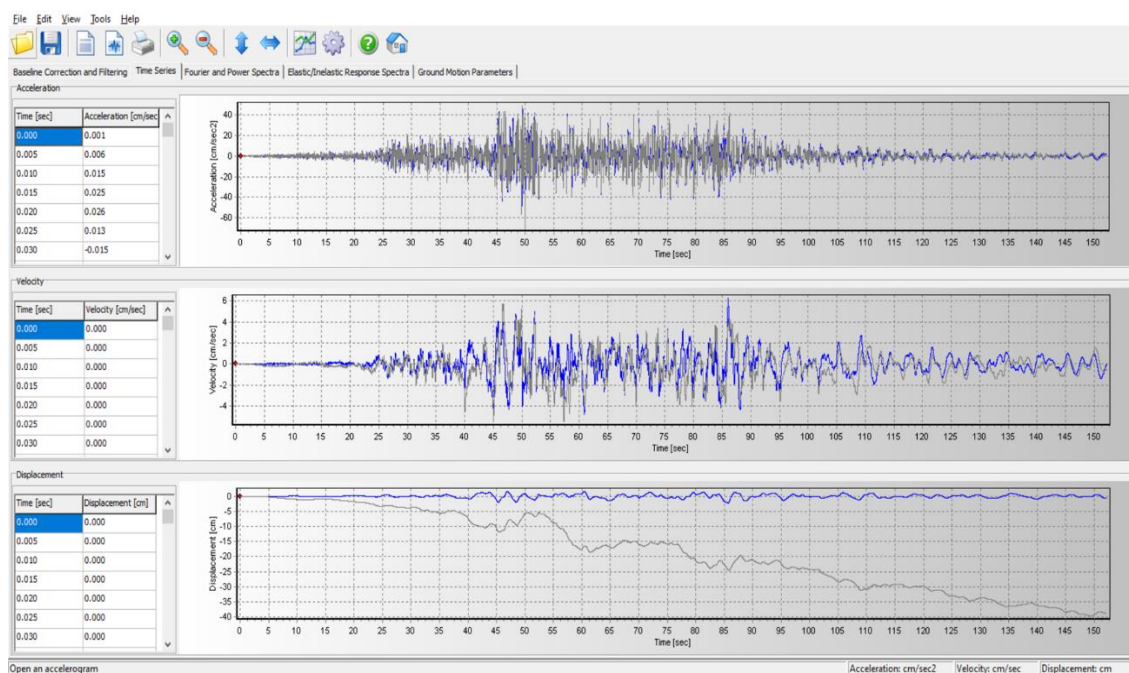
Sismo de Iquique del 2014 dirección Este a Oeste



Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 82

Sismo de Iquique del 2014 dirección Norte a Sur

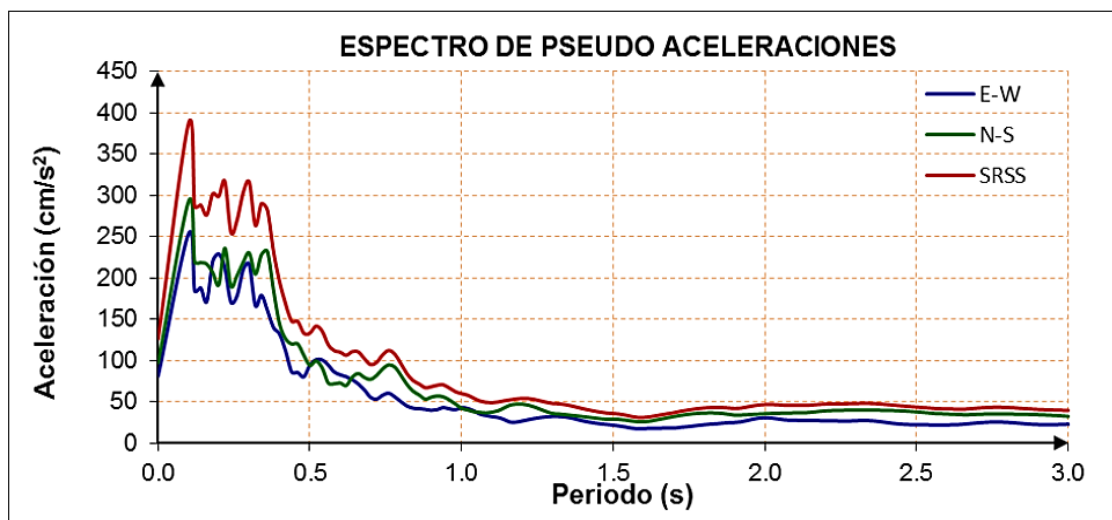


Nota. Siendo la línea de color azul el registro de aceleraciones corregidos y el de color plomo el extraídos de la base de datos del cismid. Fuente: Elaboración Propia.

Siguiendo los lineamientos de la normativa vigente Peruana E.030, tercer párrafo del artículo 30.1, señala que se deberá construir un espectro de pseudo aceleraciones para cada par tomando la suma de la raíz cuadrada de sus componentes, como se muestra en las Figuras 83, 84 y 85.

Figura 83

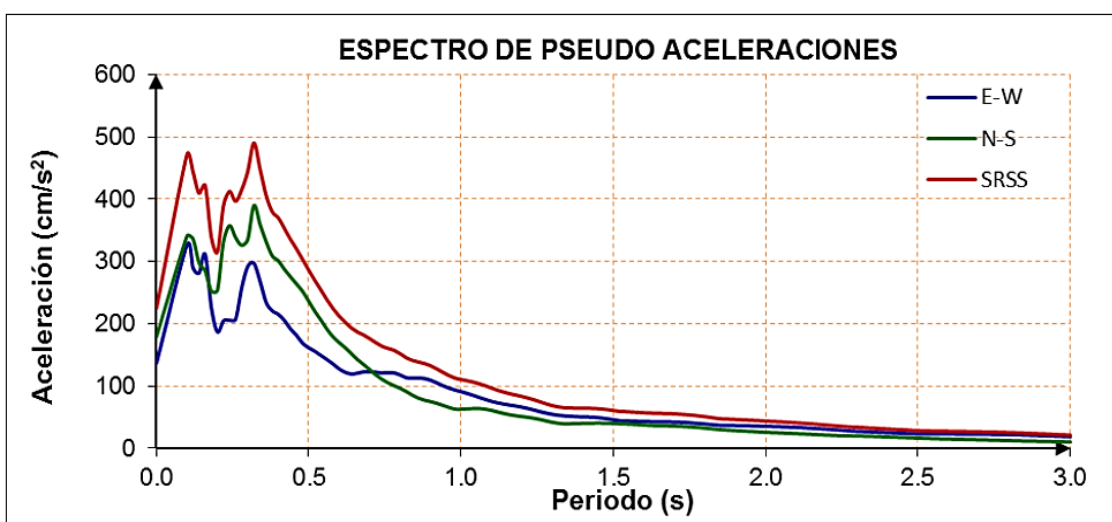
Sismo de Tarapacá del 2005



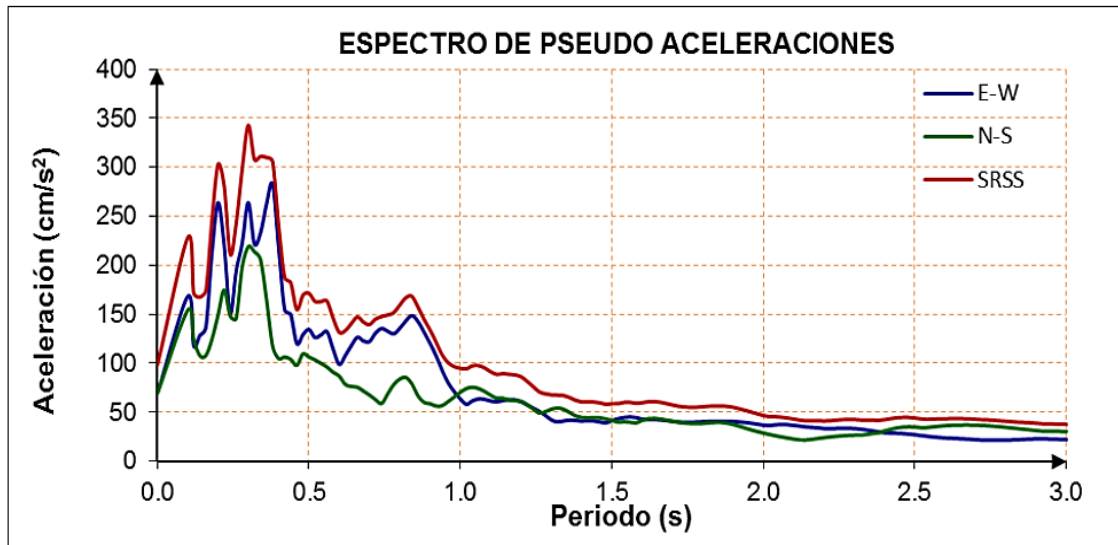
Nota. Siendo la línea de color azul el espectro de pseudo aceleraciones de la dirección Este a Oeste, la línea de color verde la dirección Norte Sur y la línea de color rojo el espectro de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 84

Sismo de Tacna del 2005



Nota. Siendo la línea de color azul el espectro de pseudo aceleraciones de la dirección Este a Oeste, la línea de color verde la dirección Norte Sur y la línea de color rojo el espectro de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 85*Sismo de Iquique del 2014*

Nota. Siendo la línea de color azul el espectro de pseudo aceleraciones de la dirección Este a Oeste, la línea de color verde la dirección Norte Sur y la línea de color rojo el espectro de la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de sus componentes. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.4. Escalamiento de registro

Para el escalamiento que exige la normativa vigente, utilizaremos el software seismomatch, generando los registros a un espectro objetivo con $R=1$, para esto:

Factor Zona: $Z = 0.45$

Factor Uso: $U = 1.5$

Factor Suelo: $S = 1.00$

Periodo de plataforma: $T_p = 0.4s$

Periodo de alargue: $T_L = 2.5s$

Factor de reducción sísmica: $R = 1$

Aceleración de la gravedad: $g = 9.81 \text{ m/s}^2$

La ecuación 6, permite calcular la amplificación para periodos cortos, a partir de las siguientes variables (referido a la ecuación 6).

$$\text{Amplificación para periodos cortos: } T = 0.2 * T_p \rightarrow C = 1 + 7.5 * \left(\frac{T}{T_p}\right) \quad (6)$$

La ecuación 7, permite calcular la amplificación para periodos largos, a partir de las siguientes variables (referido a la ecuación 7).

$$\text{Amplificación para periodos largos: } C = \left\{ \begin{array}{l} T \leq T_p \rightarrow C = 2.5 \\ T_p \leq T \leq T_L \rightarrow C = 2.5 * \left(\frac{T_p}{T}\right) \\ T \geq T_L \rightarrow C \rightarrow 2.5 * \left(\frac{T_p * T_L}{T^2}\right) \end{array} \right\} \quad (7)$$

La ecuación 8, permite calcular el espectro de pseudo aceleraciones, a partir de las siguientes variables (referido a la ecuación 8). La Figura 86 nos muestra el Espectro Normativo y la Figura 87, la amplificación de registros, como se puede observar:

$$\text{Espectro de pseudo aceleraciones: } S_a = \frac{Z*U*C*S}{R} * g \quad (8)$$

Figura 86

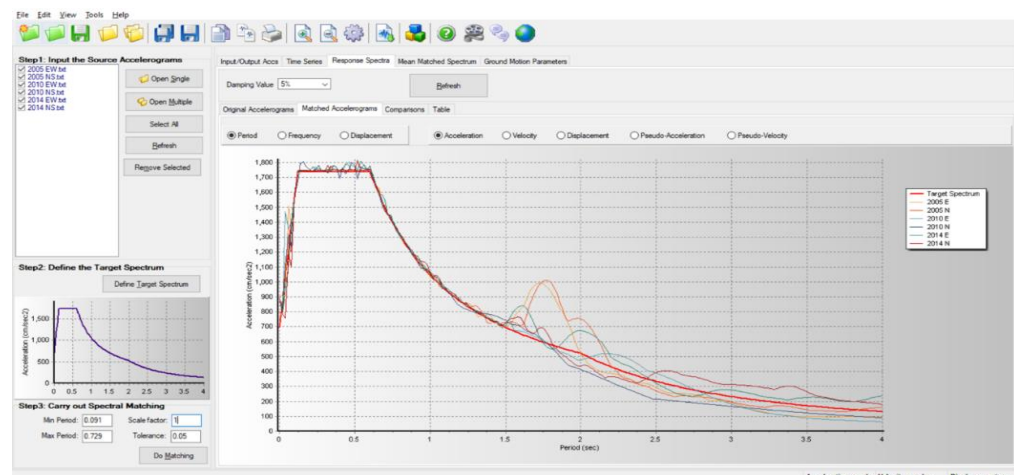
Espectro de Normativo E030 R=1



Nota. Apreciamos el espectro de respuesta normativo esperado para los parámetros sísmicos indicados. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 87

Amplificación de registros

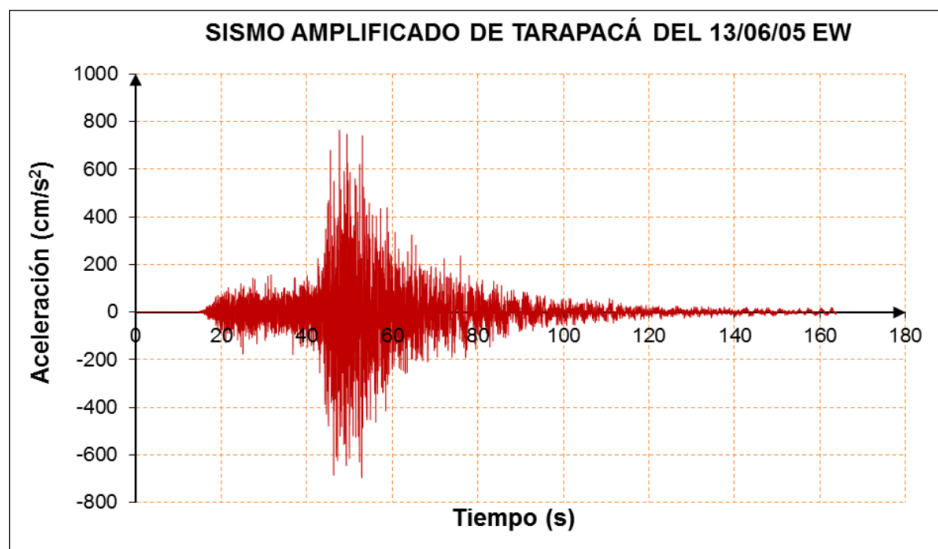


Nota. Siendo la línea de color amarillo la dirección este a oeste para el sismo del 2005 de Tarapacá, la línea de color anaranjado representa la dirección norte sur para el sismo del 2005 de Tarapacá; también, se tiene la línea de color celeste la dirección este a oeste para el sismo del 2010 de Tacna, la línea de color azul representa la dirección norte sur para el sismo del 2010 de Tacna; por último, se tiene la línea de color verde la dirección este a oeste para el sismo del 2014 de Iquique, la línea de color guinda representa la dirección norte sur para el sismo del 2014 de Iquique. Fuente: Elaboración Propia.

El sismo suscitado en Tarapacá el 13 de junio del 2005, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se muestra en las Figuras 88 y 89.

Figura 88

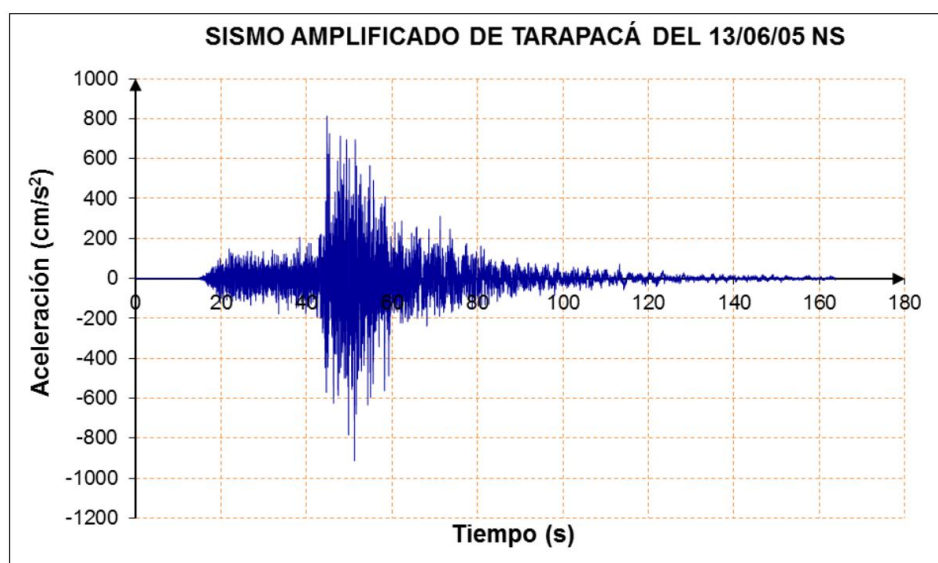
Sismo Amplificado de Tarapacá dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Tarapa del 2005 direccion Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el analisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 89

Sismo Amplificado de Tarapacá dirección Norte a Sur

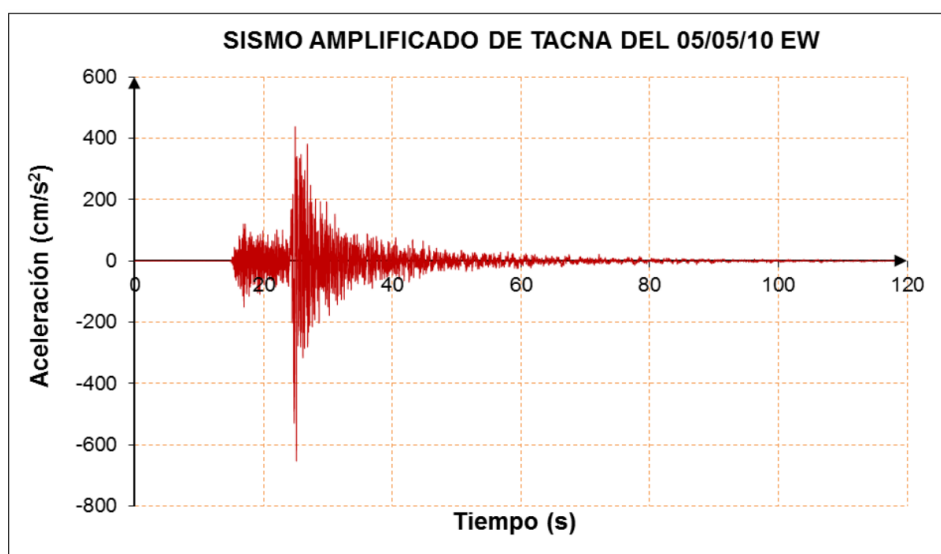


Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Tarapa del 2005 direccion Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el analisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

El sismo suscitado en Tacna el 05 de mayo del 2010, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se muestra en las Figuras 90 y 91.

Figura 90

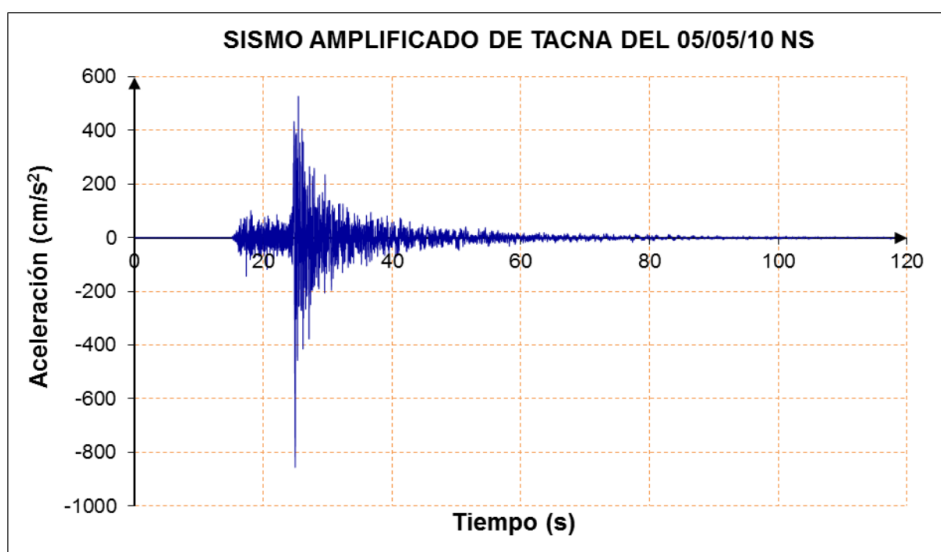
Sismo Amplificado de Tacna dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Tacna del 2010 dirección Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 91

Sismo Amplificado de Tacna dirección Norte a Sur

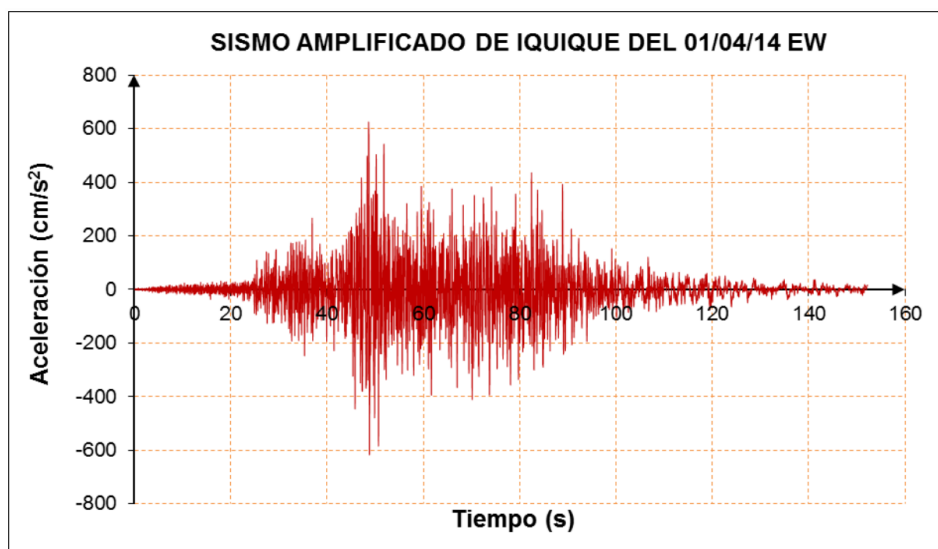


Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Tacna del 2010 dirección Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

El sismo suscitado en Iquique el 01 de abril del 2014, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se muestra en las Figuras 92 y 93.

Figura 92

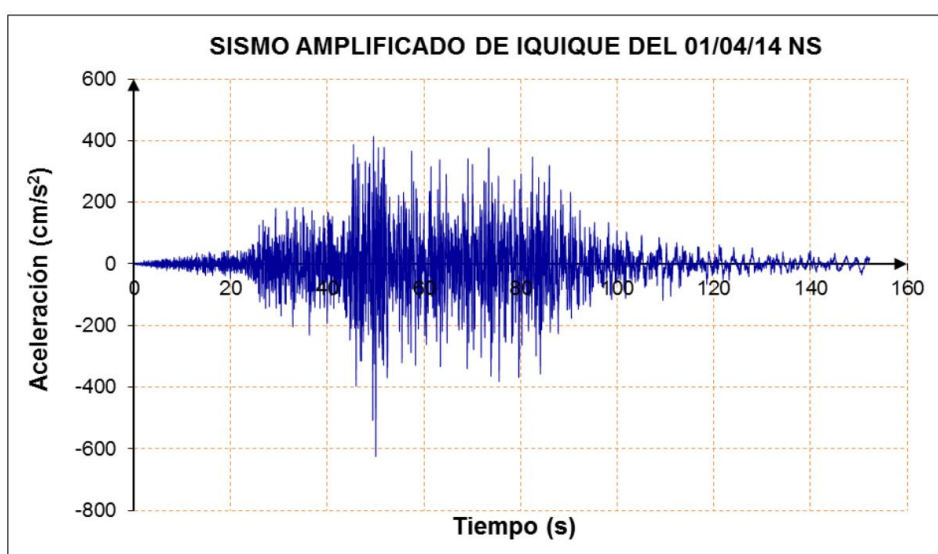
Sismo Amplificado de Iquique dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Iquique del 2014 dirección Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 93

Sismo Amplificado de Iquique dirección Norte a Sur

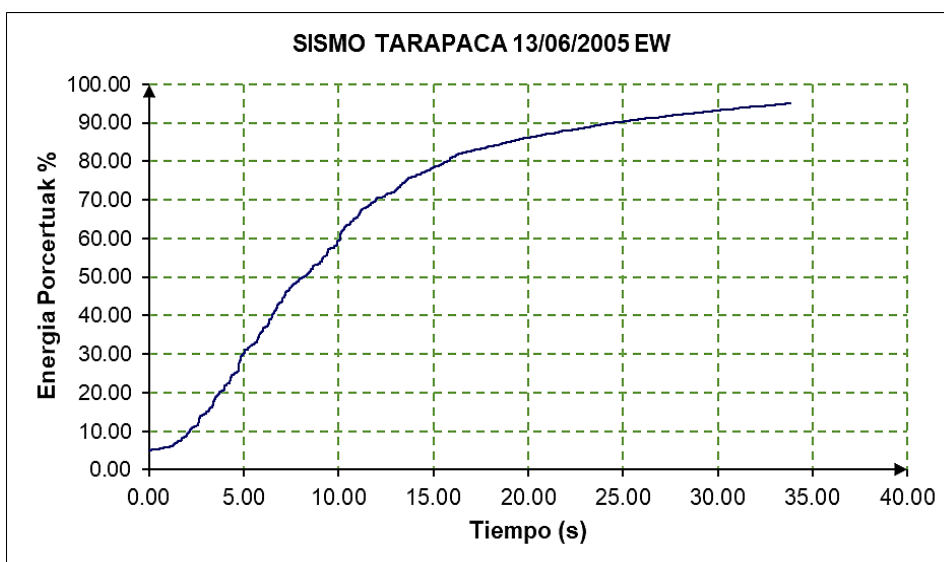


Nota. En la figura podemos apreciar el sismo de Iquique del 2014 dirección Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

La energía externa liberada del sismo suscitado en Tarapacá el 13 de junio del 2005, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se observa en las Figuras 94 y 95.

Figura 94

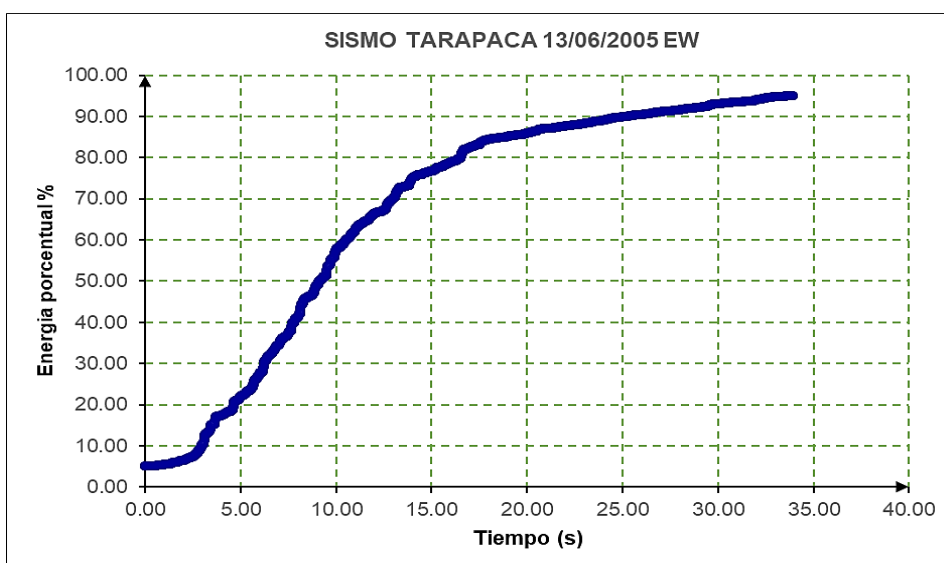
Energía de sismo Amplificado de Tarapacá dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Tarapaca del 2005 direccion Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el analisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 95

Energía de sismo Amplificado de Tarapacá dirección Norte a Sur

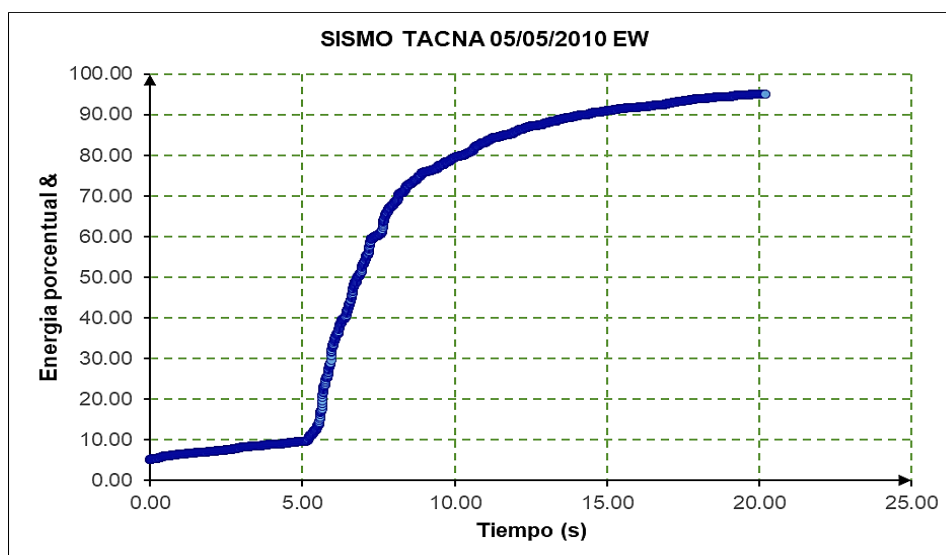


Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Tarapaca del 2005 direccion Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el analisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

La energía externa liberada del sismo suscitado en Tacna el 05 de mayo del 2010, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se observa en las Figuras 96 y 97.

Figura 96

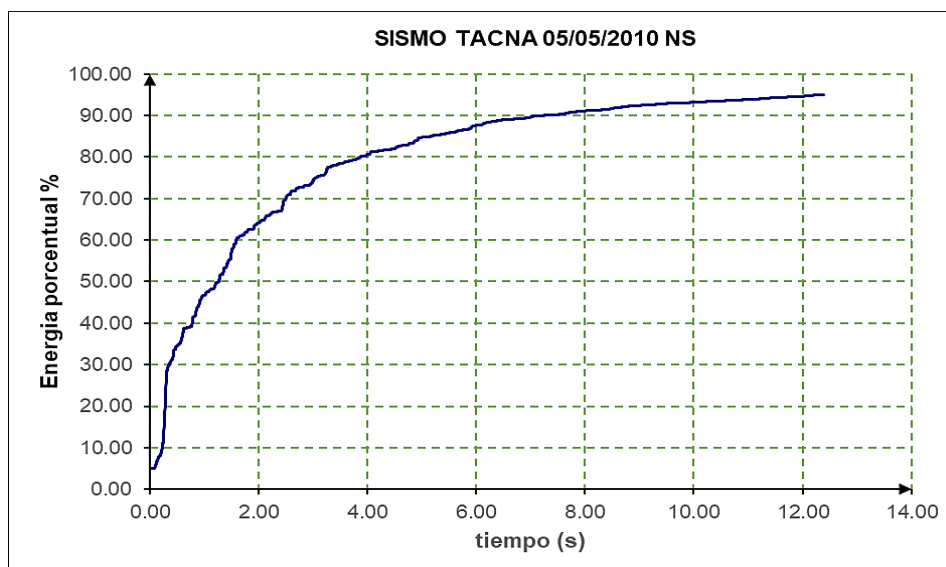
Energía de sismo Amplificado de Tacna dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Tacna del 2010 dirección Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 97

Energía de sismo Amplificado de Tacna dirección Norte a Sur

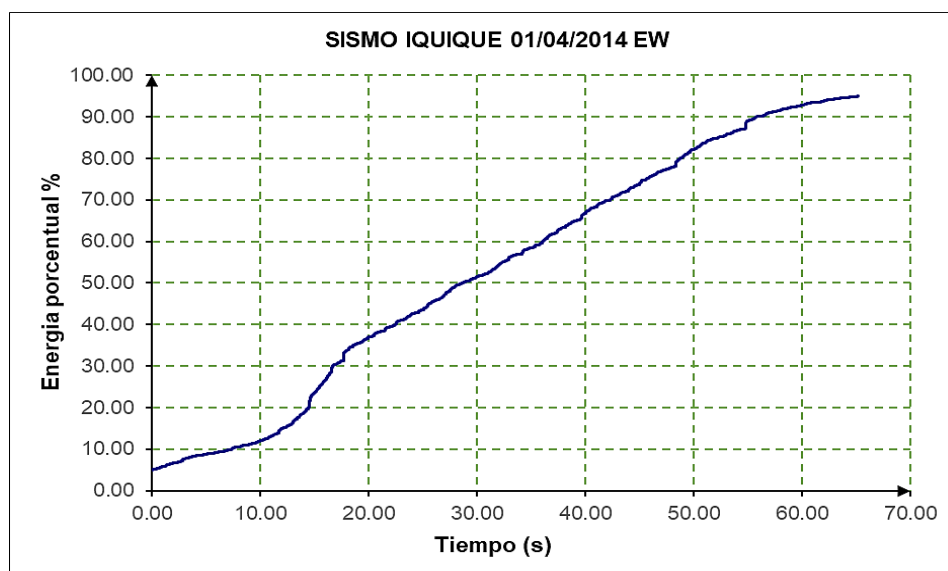


Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Tacna el 05 del 2010 dirección Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

La energía externa liberada del sismo suscitado en Iquique el 01 de abril del 2014, fue debida escalado y tratado bajo los lineamientos y parámetros de nuestra normativa nacional vigente E.030 para propósitos de análisis tiempo historia, como se observa en las Figuras 98 y 99.

Figura 98

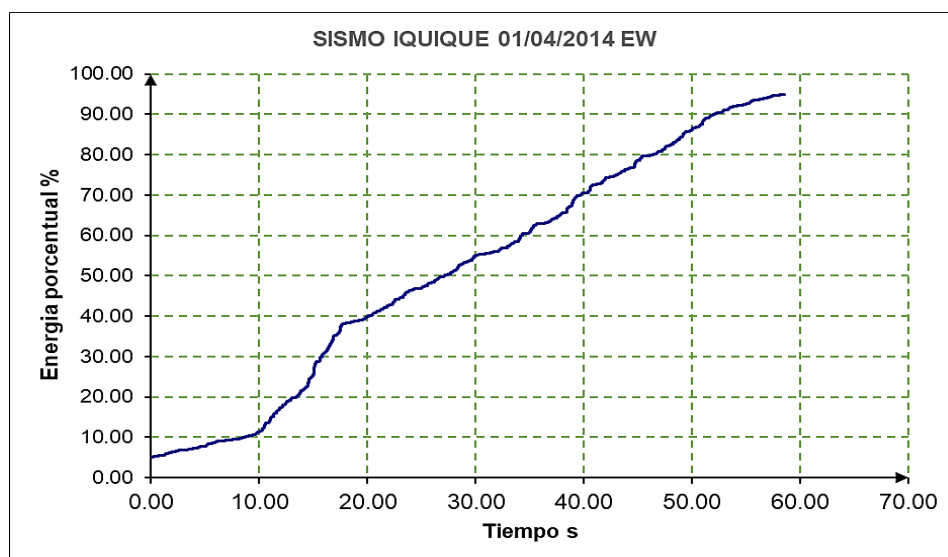
Energía de sismo Amplificado de Iquique dirección Este a Oeste



Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Iquique el 01 de abril del 2014 dirección Este a Oeste, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 99

Energía de sismo Amplificado de Iquique dirección Norte a Sur



Nota. En la figura podemos apreciar la energía liberada por el sismo de Iquique el 01 de abril del 2014 dirección Norte a Sur, amplificado bajo los lineamientos vigentes para el análisis Tiempo historia. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.5. Modelamiento matemático lineal

El análisis sísmico del módulo principal se realizará haciendo uso del programa ETABS V20. Analizando con un modelo tridimensional, suponiendo losas como elementos membrana que no aporten rigidez lateral, solamente cumpliendo transmisión de cargas a los elementos resistentes. En el análisis de la estructura lineal se supuso un comportamiento lineal y elástico. Los elementos de concreto armado se representaron con elementos lineales.

Los muros de concreto armado se modelaron con elementos tipo Shell, con rigideces de membrana y de flexión, aun cuando estas últimas son poco significativas. Los modelos se analizaron considerando sólo los elementos estructurales, sin embargo, los elementos no estructurales han sido ingresados en el modelo como solicitaciones de carga debido a que aquellos no son importantes en la contribución de la rigidez y resistencia de la edificación.

3.6.5.1. Propiedades mecánicas de los materiales

Los valores siguientes han sido adoptados para los elementos estructurales en el contexto de los siguientes análisis que se realizaran a la edificación en el rango lineal.

Concreto

- Concreta superestructura: $f'c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ($E=250998 \text{ kg/cm}^2$)
- Concreta superestructura: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$ ($E=217370 \text{ kg/cm}^2$)
- Deformación Unitaria Máxima $\epsilon_c = 0.003$

Acero de refuerzo

- Esfuerzo de fluencia: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad: $E_s = 2'000,000 \text{ kg/cm}^2$
- Deformación al inicio de la fluencia $\epsilon_s = 0.0021$

3.6.5.2. Cargas de gravedad aplicada a la edificación

Las cargas verticales se evaluaron de acuerdo con la Norma de Estructuras E.020. Cuando se describe una carga gravitatoria, se indican los aspectos de la aceleración debida a la gravedad en una de las dimensiones de un sistema de coordenadas. Un valor negativo indica una dirección contraria a la de esa coordenada. En términos generales, al analizar las cargas, es esencial considerar cómo se distribuyen las fuerzas

entre los diferentes elementos de una estructura, tal como se observa en las Figuras 100, 101, 102, 103, 104, 105 y 106. Por ejemplo, las cargas presentes en un nivel se transmiten a través de la losa del techo hacia las vigas (o muros) que las sustentan. Estas vigas, a su vez, transfieren la carga al apoyarse en las columnas, que a su vez transmiten la carga a través de sus elementos de soporte, que son las zapatas. Finalmente, las cargas se transfieren al suelo de cimentación y actúan sobre él. Los pesos de los elementos no estructurales se estimaron utilizando sus dimensiones reales y su peso específico correspondiente como se puede observar en las Tablas 14 y 15. A continuación, se presentan las cargas típicas consideradas en el análisis, que incluyen cargas muertas y vivas.

Cargas Permanentes (D):

Para el caso de los techos, se tiene el siguiente metrado de cargas, y carga permanente total:

Tabla 14

Carga muerta permanente en la edificación en piso típico

Piso terminado	100	kgf/m ²
Losa maciza e=20cm	480	kgf/m ²
Muros de concreto e=15cm, h=3m	1800	kgf/m
Muros de albañilería e=15cm, h=3m	810	Kgf/m
Muros de albañilería e=25cm, h=3m	1350	Kgf/m
Muros de fibrablock	100	kgf/m ²

Nota. Diferentes calculos para asignacion de peso muerto en piso tipico se realizo en correspondencia a los lineamientos vigentes de la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

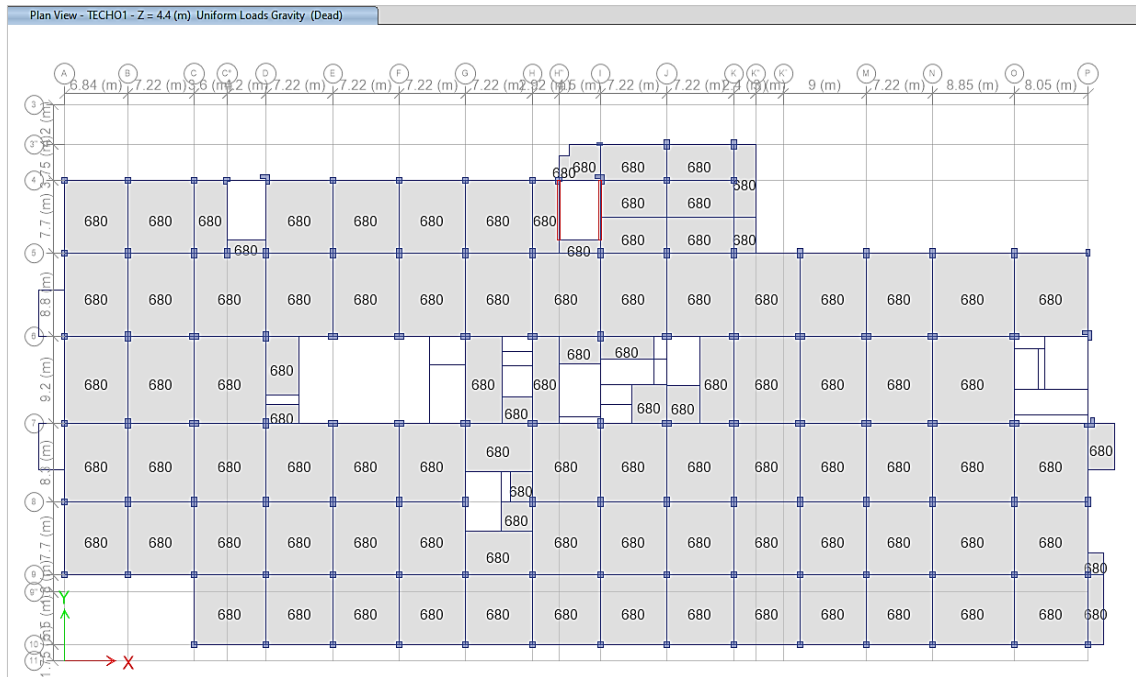
Tabla 15

Carga muerta permanente en la edificación en azotea

Piso terminado	100	kgf/m ²
Losa maciza e=20cm	480	kgf/m ²
Muros de concreto e=15cm, h=1.5m	540	Kgf/m
Muros de albañilería e=15cm, h=2.5m	810	Kgf/m

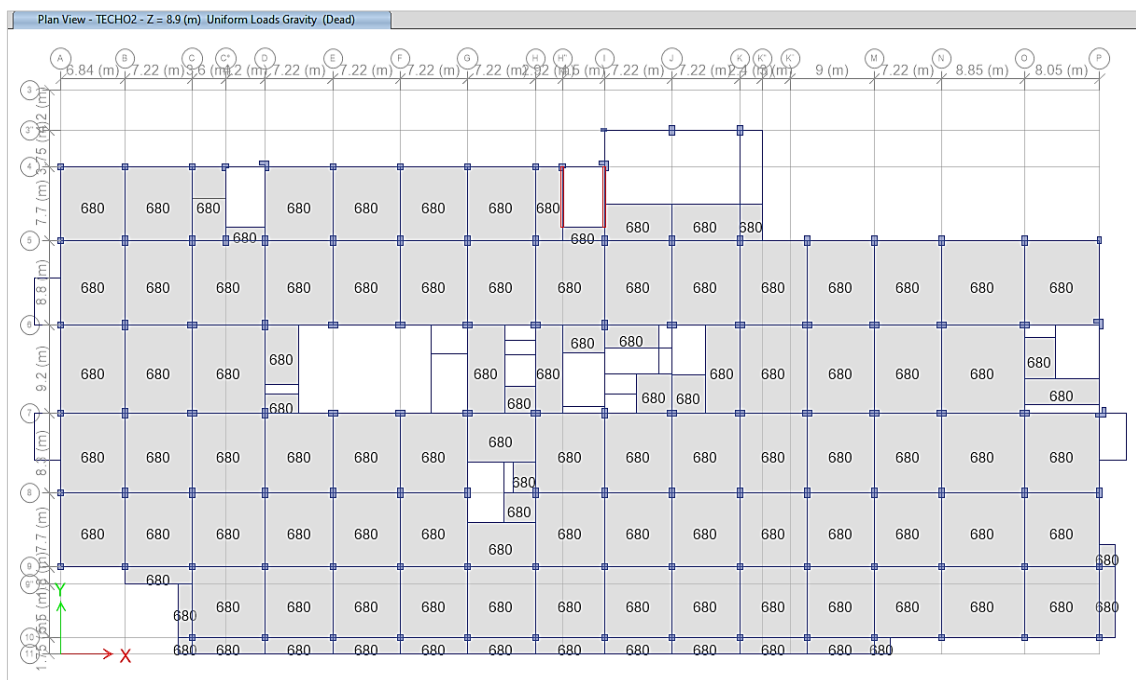
Nota. Diferentes calculos para asignacion de peso muerto en piso de azotea se realizo en correspondencia a los lineamientos vigentes de la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 100
Carga muerta primer techo



Nota. La carga permanente fue asignada al primer techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

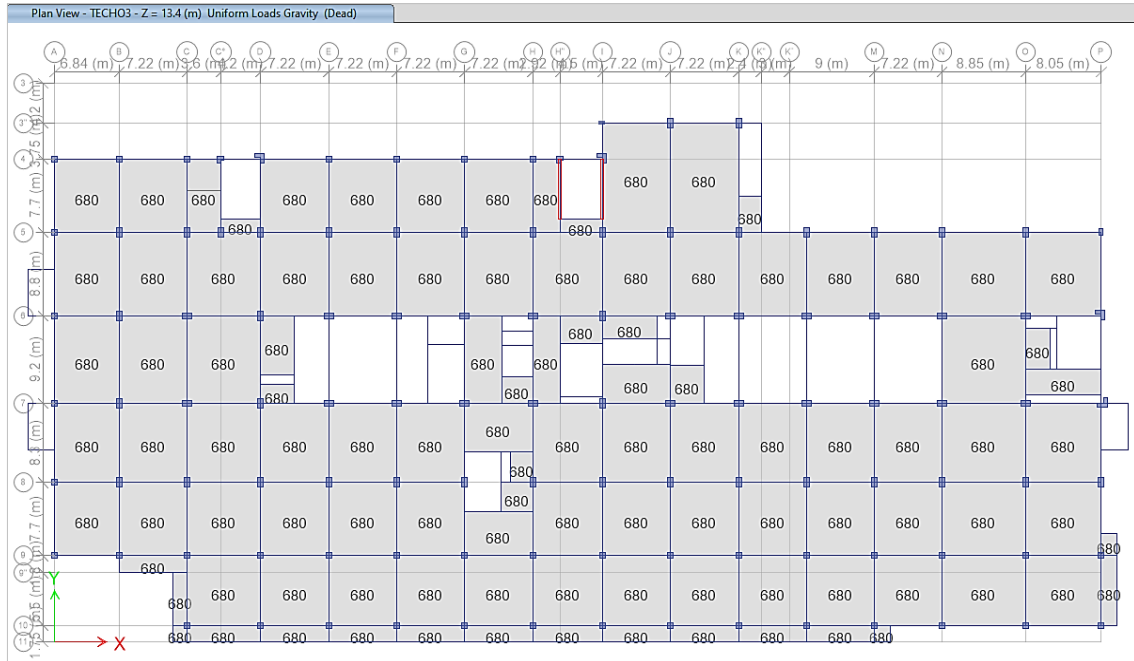
Figura 101
Carga muerta segundo techo



Nota. La carga permanente fue asignada al segundo techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 102

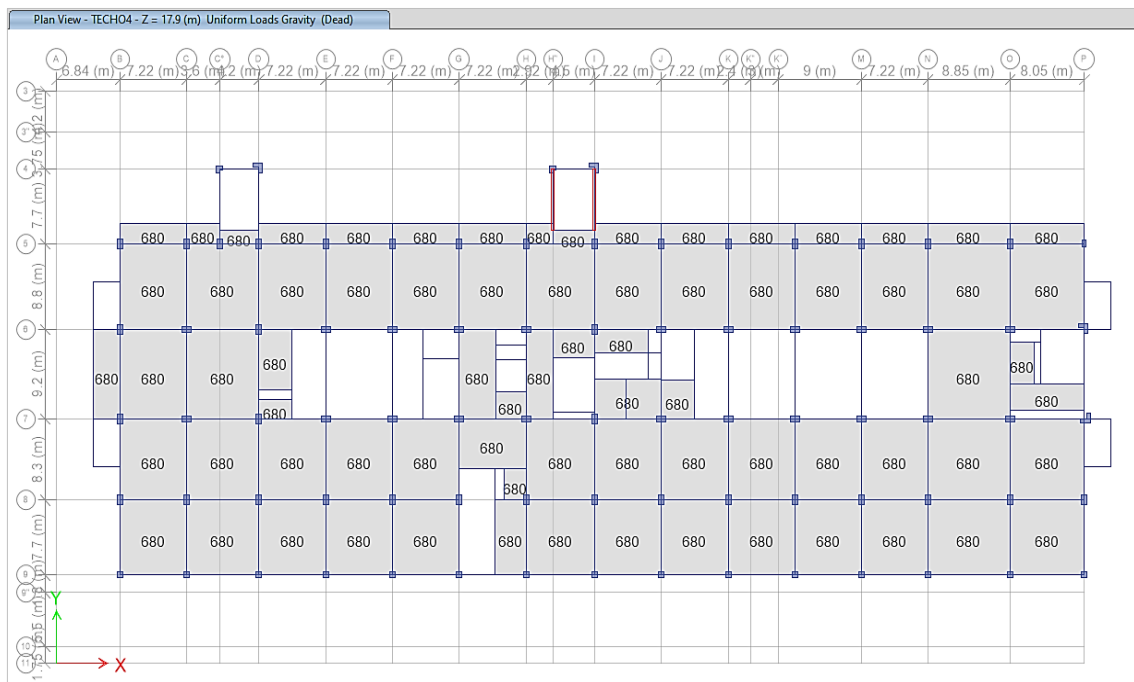
Carga muerta tercer techo



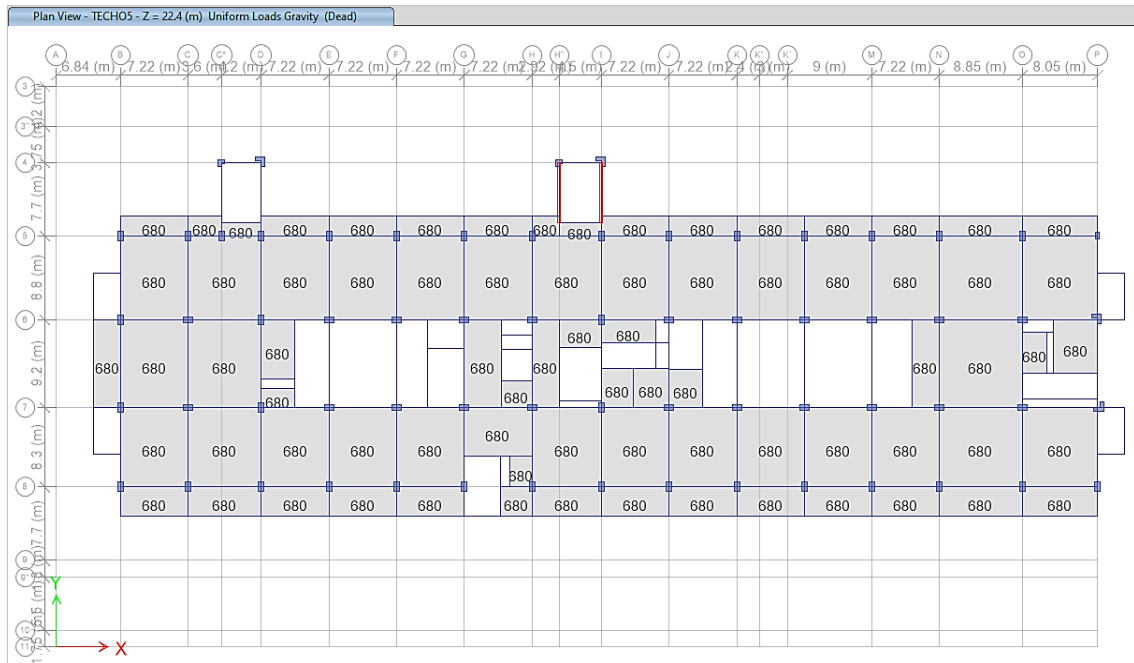
Nota. La carga permanente fue asignada al tercer techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 103

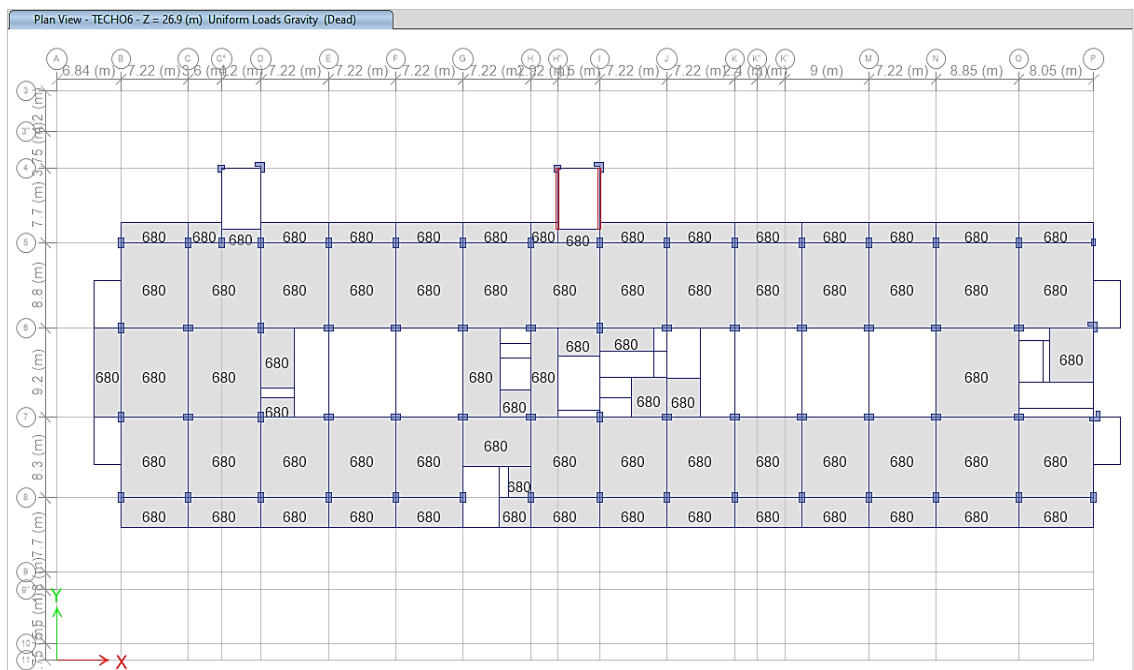
Carga muerta cuarto techo



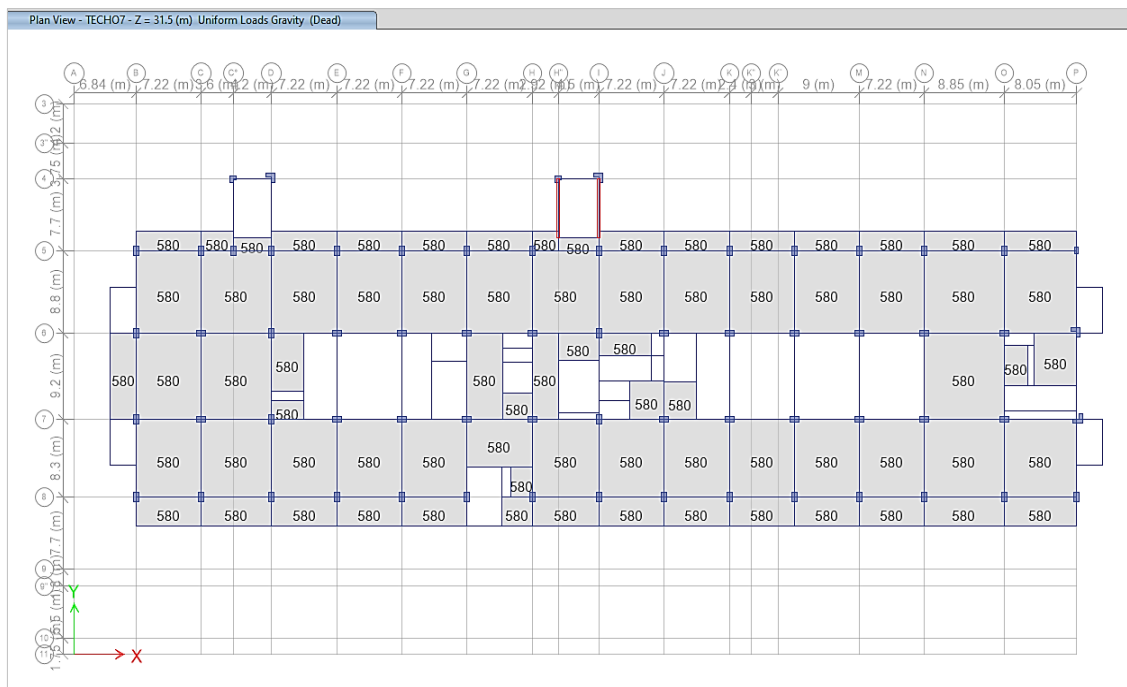
Nota. La carga permanente fue asignada al cuarto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 104**Carga muerta quinto techo**

Nota. La carga permanente fue asignada al quinto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 105**Carga muerta sexto techo**

Nota. La carga permanente fue asignada al sexto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 106**Carga muerta séptimo techo**

Nota. La carga permanente fue asignada al séptimo techo en correspondencia a los planos arquitectónicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Cargas Vivas (L):

Las cargas vivas consideradas para los techos y entrepisos están acordes a lo señalado en la NTE E 020 como se puede observar en la Tabla 16, sin embargo, entendemos que es una zona de alto tránsito por lo cual seremos conservadores en el análisis para los distintos ambientes, tales como corredores, oficinas, tiendas, azoteas, entre otros, como se indica a continuación: Para el caso de los entrepisos, se tiene el siguiente metrado de cargas mostradas en las Figuras 107, 108, 109, 110, 111, 112 y 113:

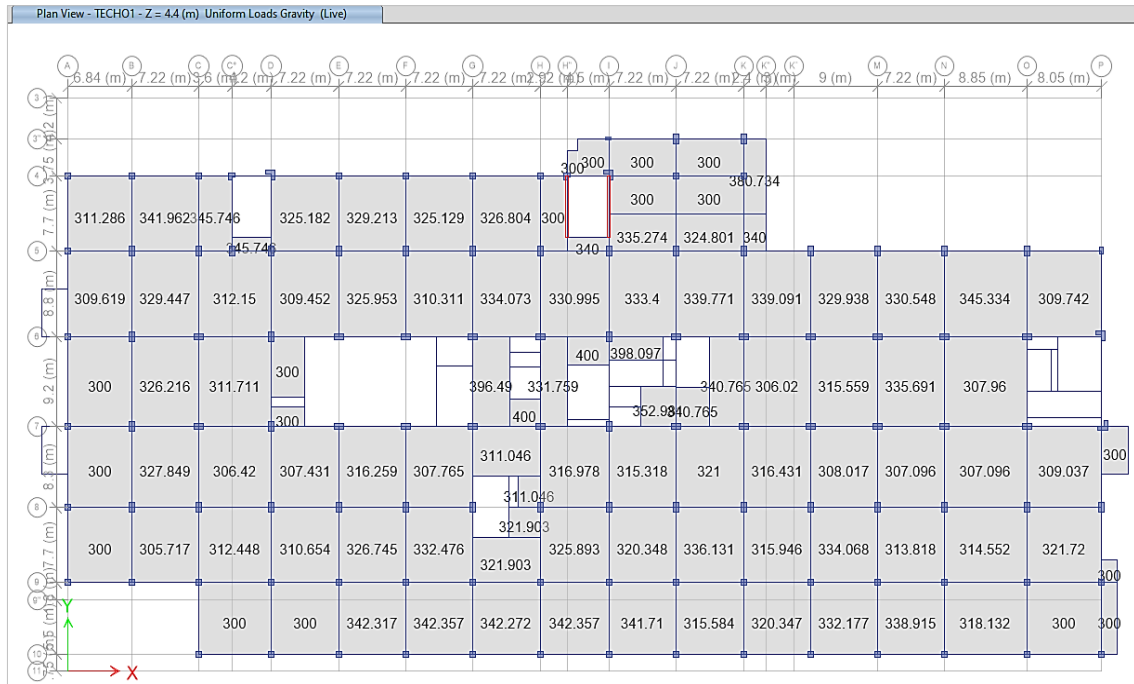
Tabla 16*Carga muerta permanente en la edificación en azotea*

Salas de operación, laboratorios y zonas de servicio	300	kgf/m ²
Cuartos	200	kgf/m ²
Corredores y escaleras	400	kgf/m ²

Nota. Diferentes calculos para asignacion de peso de carga viva se realizo en correspondencia a los lineamientos vigentes de la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 107

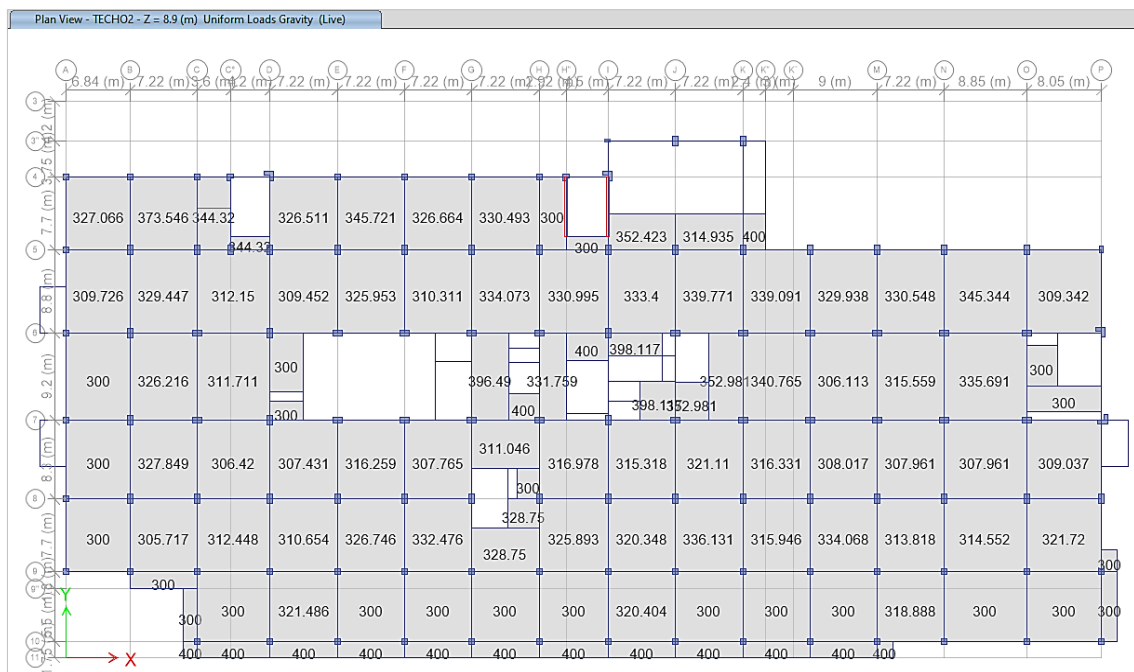
Carga viva primer techo



Nota. Sobrecarga asignada a primer techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 108

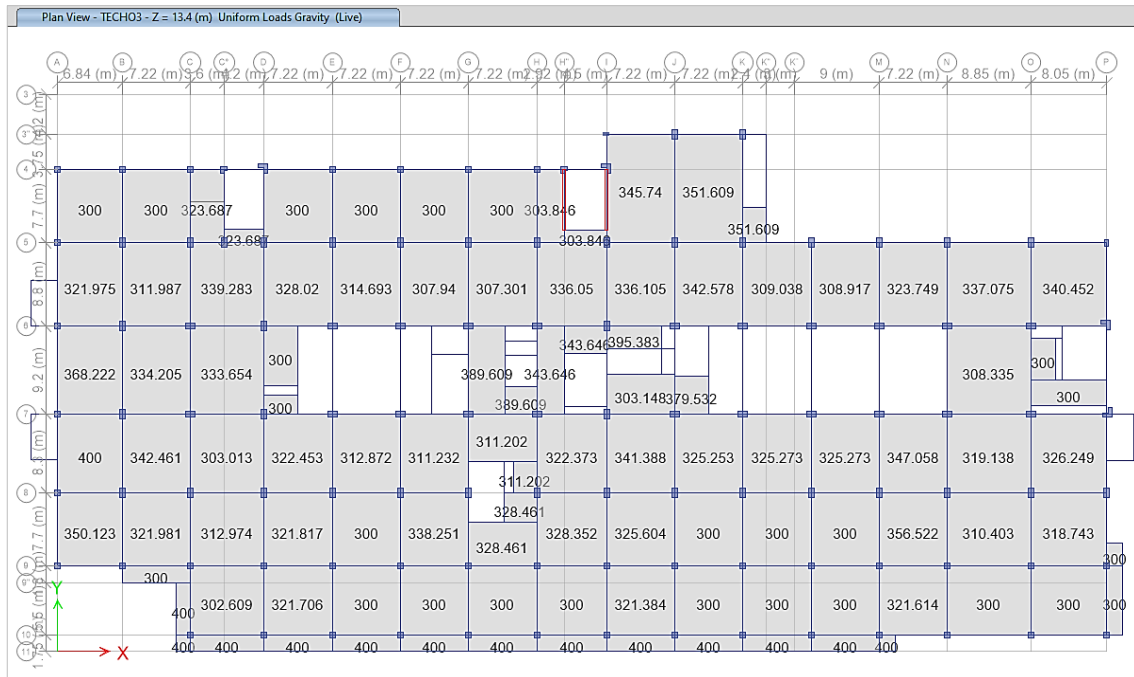
Carga viva segundo techo



Nota. Sobrecarga asignada a segundo techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 109

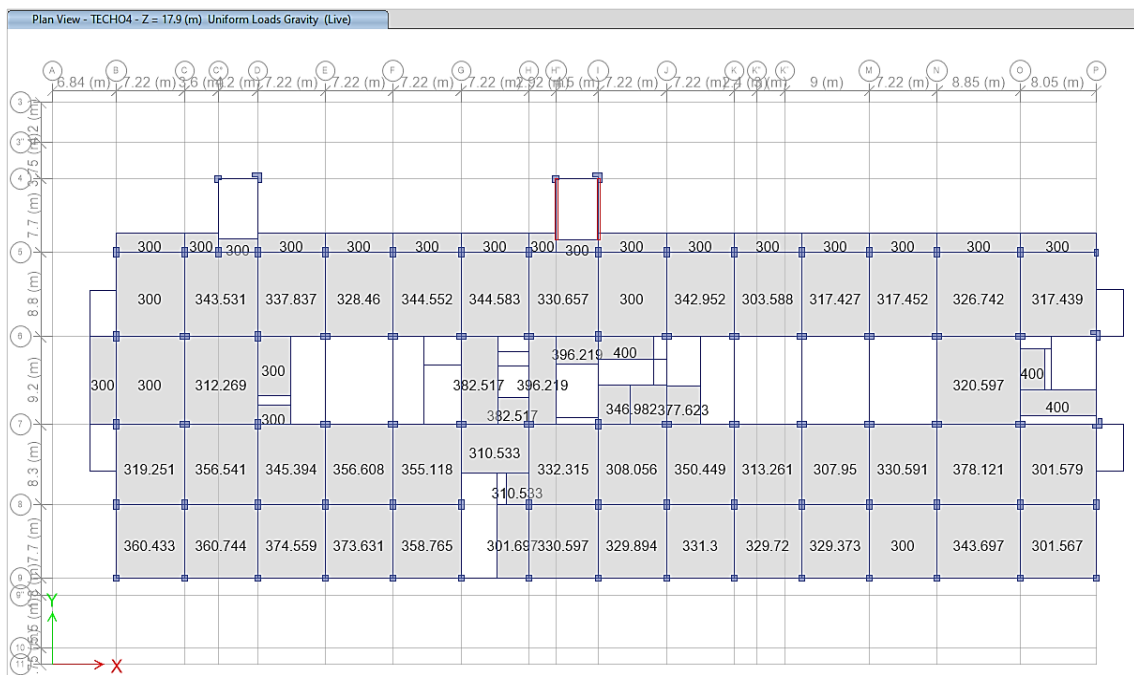
Carga viva tercer techo



Nota. Sobrecarga asignada a tercer techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

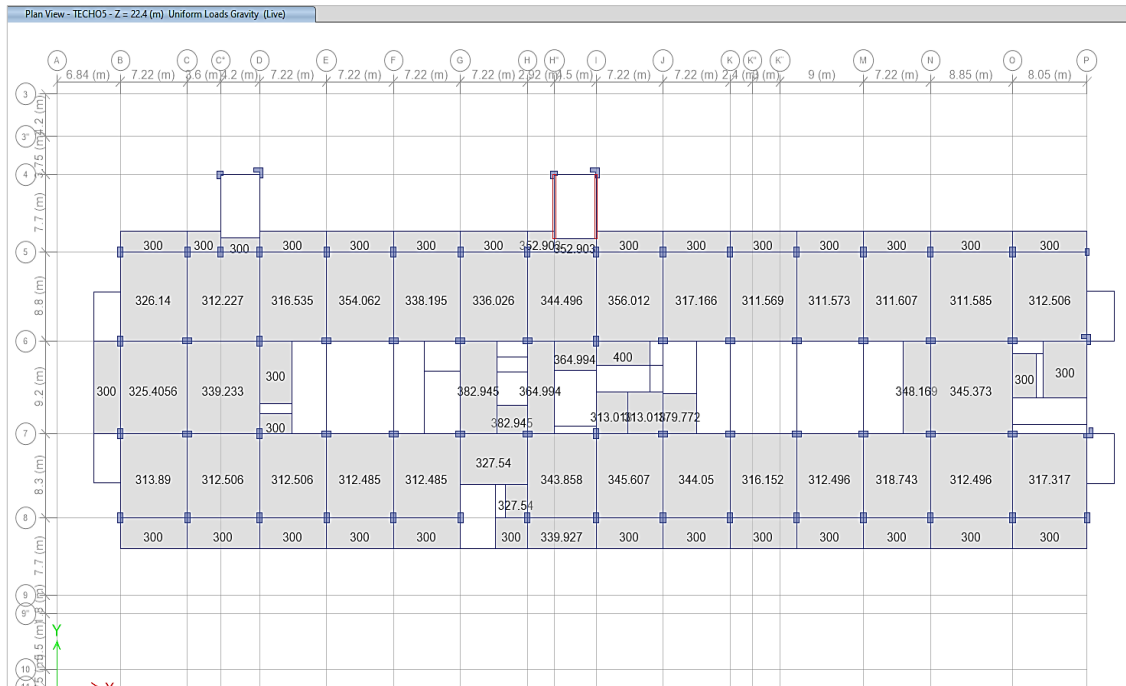
Figura 110

Carga viva cuarto techo



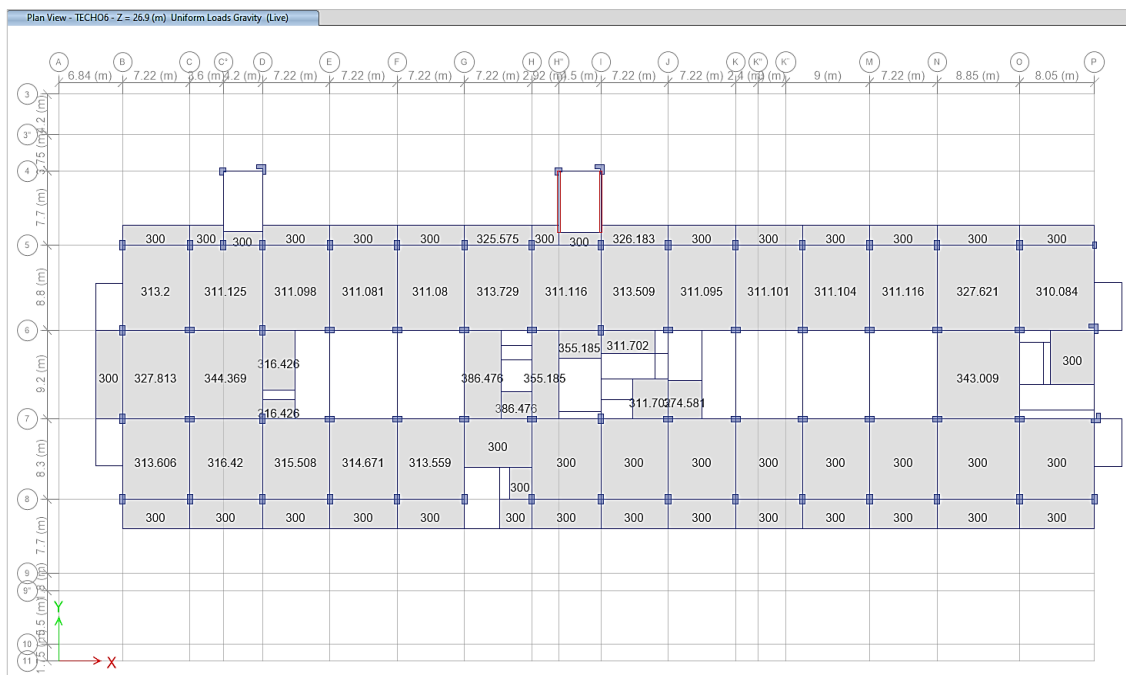
Nota. Sobrecarga asignada a cuarto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 111
Carga viva quinto techo

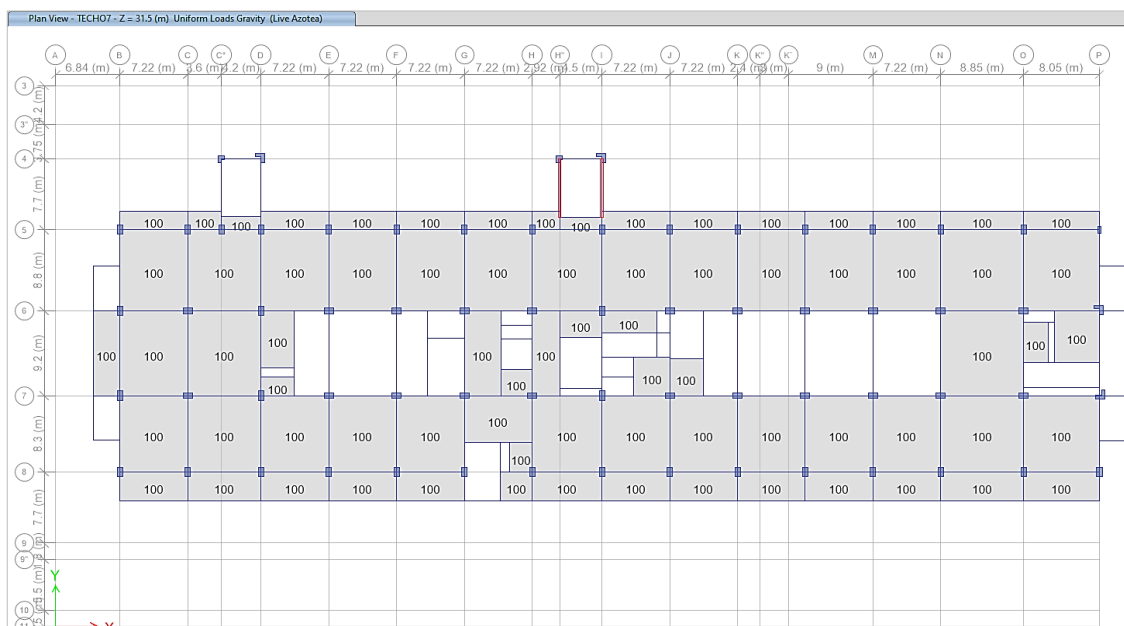


Nota. Sobrecarga asignada a quinto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 112
Carga viva sexto techo



Nota. Sobrecarga asignada a sexto techo en correspondencia a los planos arquitectonicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 113**Carga viva séptimo techo**

Nota. Sobrecarga asignada a séptimo techo en correspondencia a los planos arquitectónicos y a la normativa vigente E020. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.6. Análisis sísmico lineal sin disipadores Shear Link Bozzo

3.6.6.1. Modelamiento sísmico

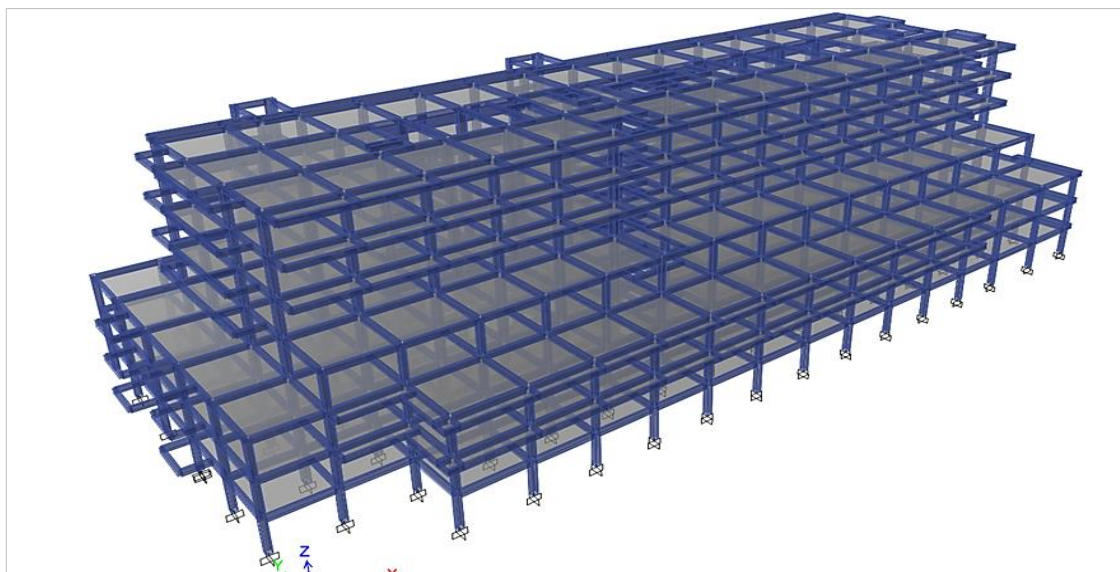
Para el análisis sísmico de la estructura se utilizó el programa ETABS, el cual es un programa de análisis pseudotrídimensional. Se tomó como base las disposiciones dictadas por la Norma E.030 de Diseño Sismorresistente en el modelo estructural de los bloques, tal como se muestra en las Figuras 115, 116, 117, 118, 119, 120 y 121, donde se tuvieron en cuenta las siguientes consideraciones al momento de colocar los datos al programa.

- Los aligerados se modelaron como elementos tipo SHELL membrana, ya que se utilizan para repartir las cargas del techo a las vigas, sin aportar rigidez a la edificación.
- Las cargas muertas y vivas se aplicaron directamente a las losas aligeradas como carga uniformemente distribuida.
- Las vigas principales y columnas se modelaron como elementos FRAME.
- Las placas y muros de albañilería fueron modeladas como elementos tipo SHELL.
- Cuando las vigas se apoyan en extremos con dimensiones insuficientes para una adecuada longitud de anclaje del fierro de viga, se ubicarán rótulas en los extremos de estos (End Releases).

- Para el cálculo del peso sísmico total de la edificación se usó el 100% de la carga muerta más el 50% de la carga viva de entrepiso y el 25% de la carga viva de techo (numeral 4.3 – “Estimación de Peso” de la norma E.030), dicha masa se ubicó en el centroide de masa de cada nivel, para lo cual se definieron por cada nivel un diafragma rígido.
- Se definieron la cantidad de modos de vibración de la estructura, los cuales fueron de 3 por cada nivel (2 de traslación en las direcciones X-X e Y-Y y una de rotación alrededor del eje Z-Z).
- Se le asignó al programa un espectro de aceleraciones para cada dirección, cuyo objetivo es, calcular la aceleración de la gravedad para los diferentes modos de vibración de la estructura, en función del periodo, de este modo al multiplicarlas por la masa anteriormente definidas se obtengan las fuerzas sísmicas.
- Se definieron las cargas de diseño y la combinación de carga últimas para obtener la envolvente de cargas que nos permitirá diseñar los diferentes elementos estructurales del edificio.
- Los elementos se ensamblan formando un modelo tridimensional con diafragmas rígidos que simulan las losas de cada piso. El tipo de apoyo en la base fue de empotrado.
- A continuación, se presenta el modelo tridimensional de los bloques en la Figura 114, a fin de efectuar el análisis sísmico correspondiente.

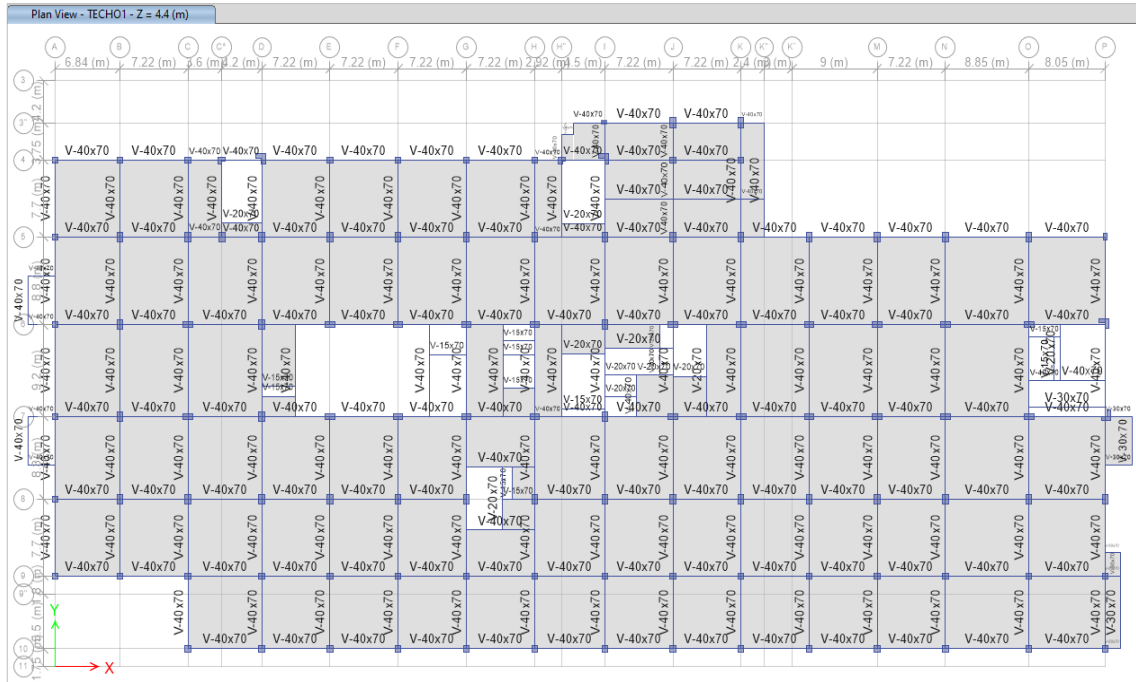
Figura 114

Modelamiento tridimensional de la edificación



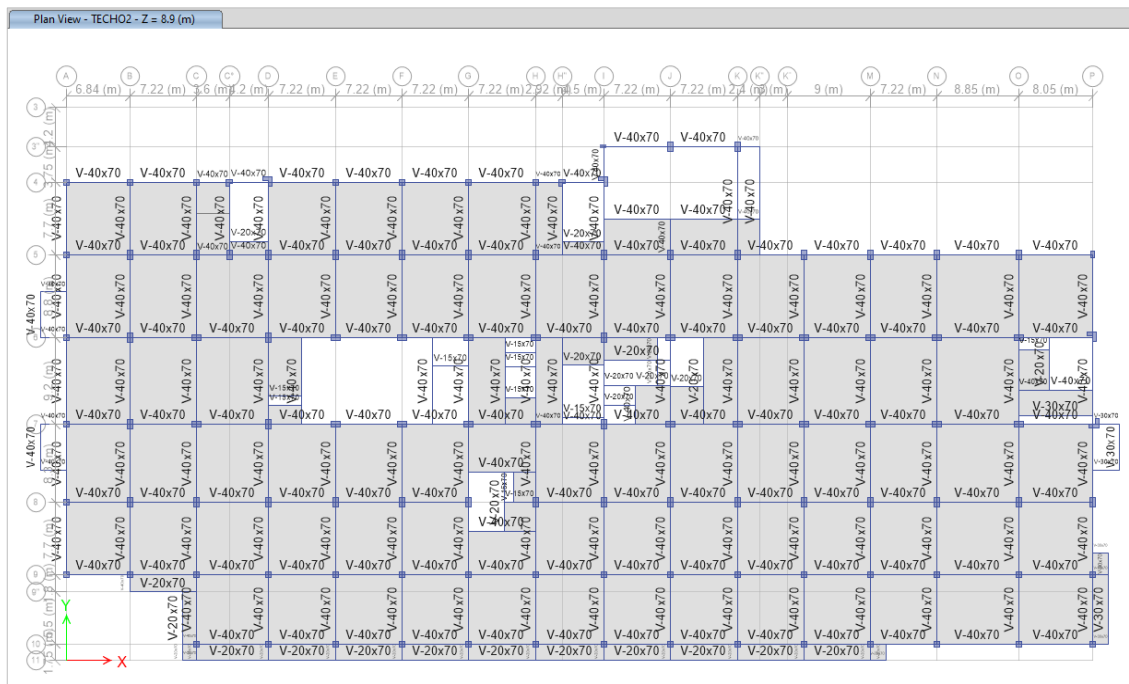
Nota. Modelo matemático tridimensional en Etabs, del modelo primigenio del expediente no se modeló la losa técnica de aislamiento debido a que no es pertinente para la propuesta del sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 115
Dimensiones en planta primer techo



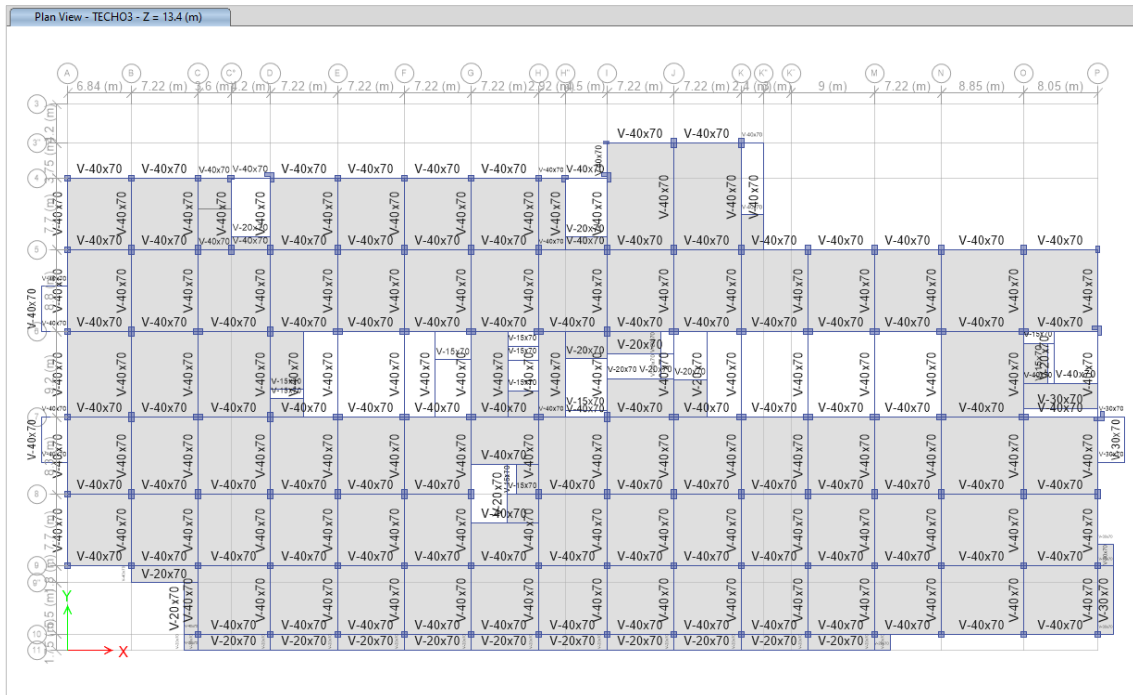
Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el primer techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 116
Dimensiones en planta segundo techo



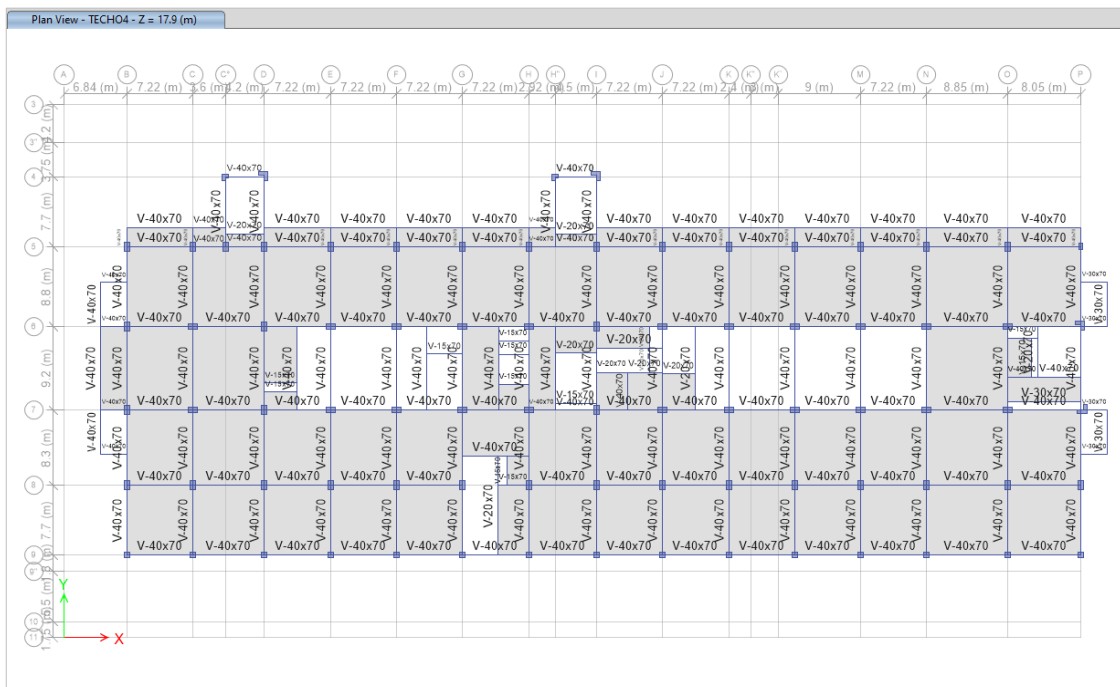
Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el segundo techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 117
 Dimensiones en planta tercer techo



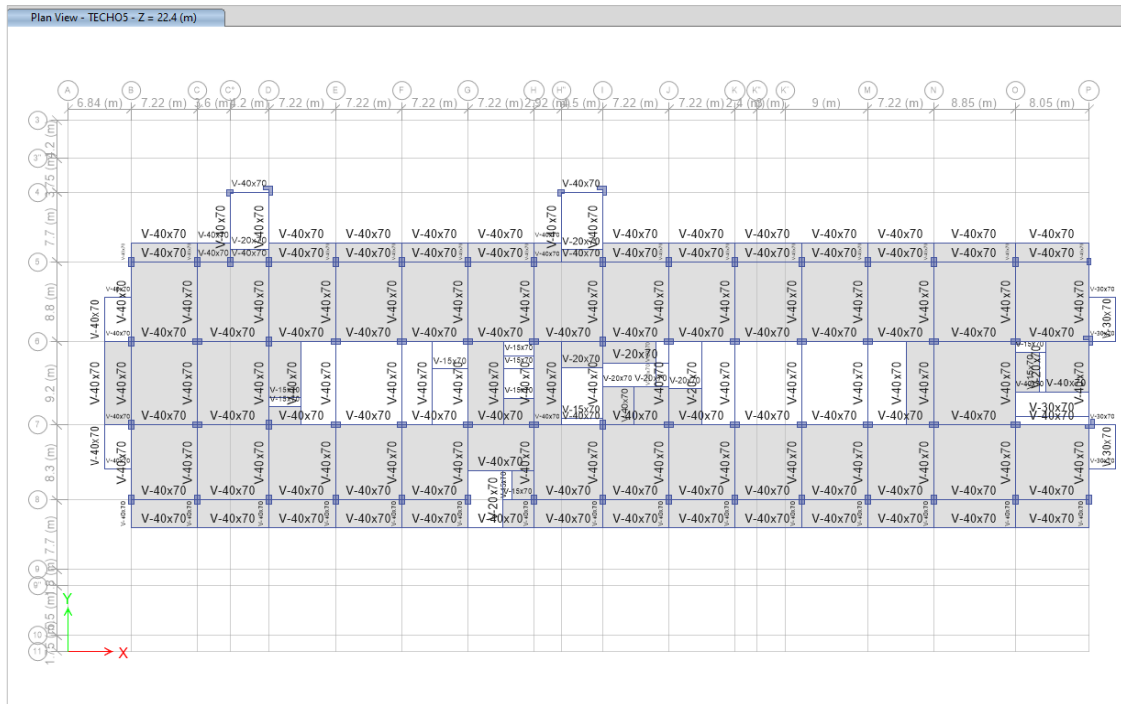
Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el tercer techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 118
 Dimensiones en planta cuarto techo



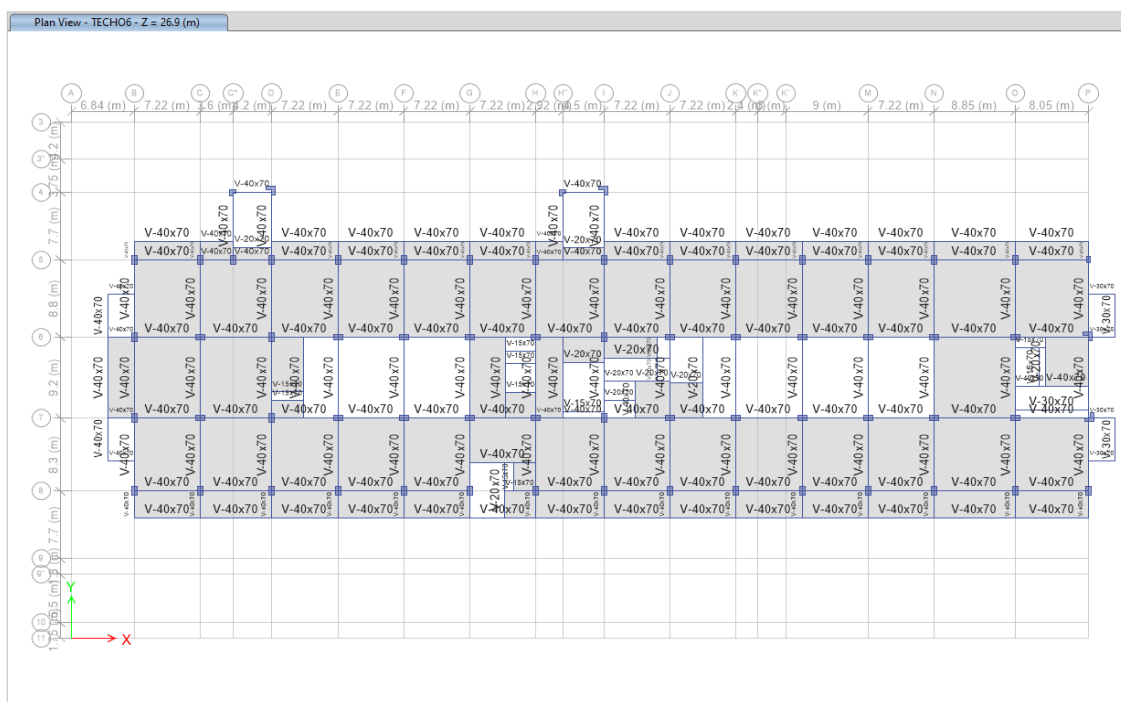
Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el cuarto techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 119
Dimensiones en planta quinto techo

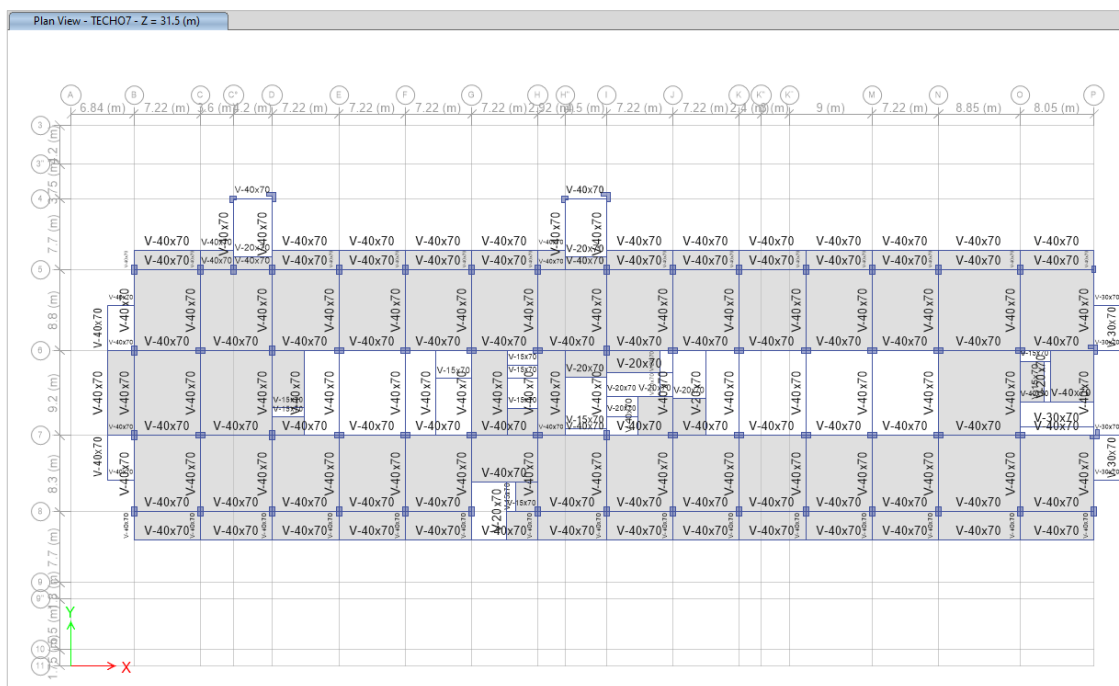


Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el quinto techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 120
Dimensiones en planta sexto techo



Nota. Se aprecian dimensiones de vigas en planta en el sexto techo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 121*Dimensiones en planta séptimo techo*

Nota. Se aprecian dimensiones en planta de vigas en el sexto techo. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.6.2. Parámetros sísmicos

Para poder analizar la edificación debemos definir los parámetros que le corresponden según su ubicación geográfica y características de la zona.

Factor de Zona (Z)

La estructura se ubica en la ciudad de Sullana; por tanto, de acuerdo a la zonificación de la norma E.030, Tabla N° 1 “Factores de zona Z”, la edificación se encuentra en la Zona 4; por tanto, se tiene: $Z=0.45$.

Factor de Condiciones Geotécnicas (S, T_P y T_L)

El suelo es tipo arena limosa mal graduada, de acuerdo al perfil de suelo – “condiciones Geotécnicas” y “Parámetros de Sitio (S, T_P y T_L)”; pertenece al tipo S1, por tanto, se tiene: $S=1,00$, $T_P=1,0$ s y $T_L=1,60$ s

Factor de Amplificación Sísmica (C)

El factor de ampliación sísmica es la variación de la respuesta de la estructura respecto a la aceleración del suelo y depende de las características tanto del suelo como de la estructura y se define según el– “Factor de Amplificación Sísmica”.

La ecuación 9, permite calcular el Factor de Amplificación Sísmica, a partir de las siguientes expresiones (referido a la ecuación 9).

$$\begin{array}{ll}
 T < T_p & C = 2.5 \\
 T_p < T < T_L & C = 2.5(T_p/T) \\
 T > T_L & C = 2.5(T_p \cdot T_L/T^2)
 \end{array} \quad (9)$$

Donde:

T: Periodo fundamental de la edificación

T_p: Periodo que define la plataforma del factor C

T_L: Periodo que define el inicio de la zona del factor con desplazamiento constante.

Factor de uso (U)

Depende del uso e importancia de la estructura; de la Tabla N°5 del RNE E030 – “Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U), califican como Edificaciones Esencial; por lo tanto, se tiene: U=1.5

Categoría y Sistema Estructural

La norma E.030, Tabla 06 – “Categoría y Sistema Estructural de las Edificaciones”, para nuestro caso estamos ante un Edificios del estado clasificado como categoría A.

Coefficiente de reducción sísmica (R)

Este factor depende del sistema estructural empleado, Tabla N°7 numeral 3.4 – “Sistemas Estructurales y Coeficiente Básico de Reducción de las Fuerzas Sísmicas” de la Norma E.030.

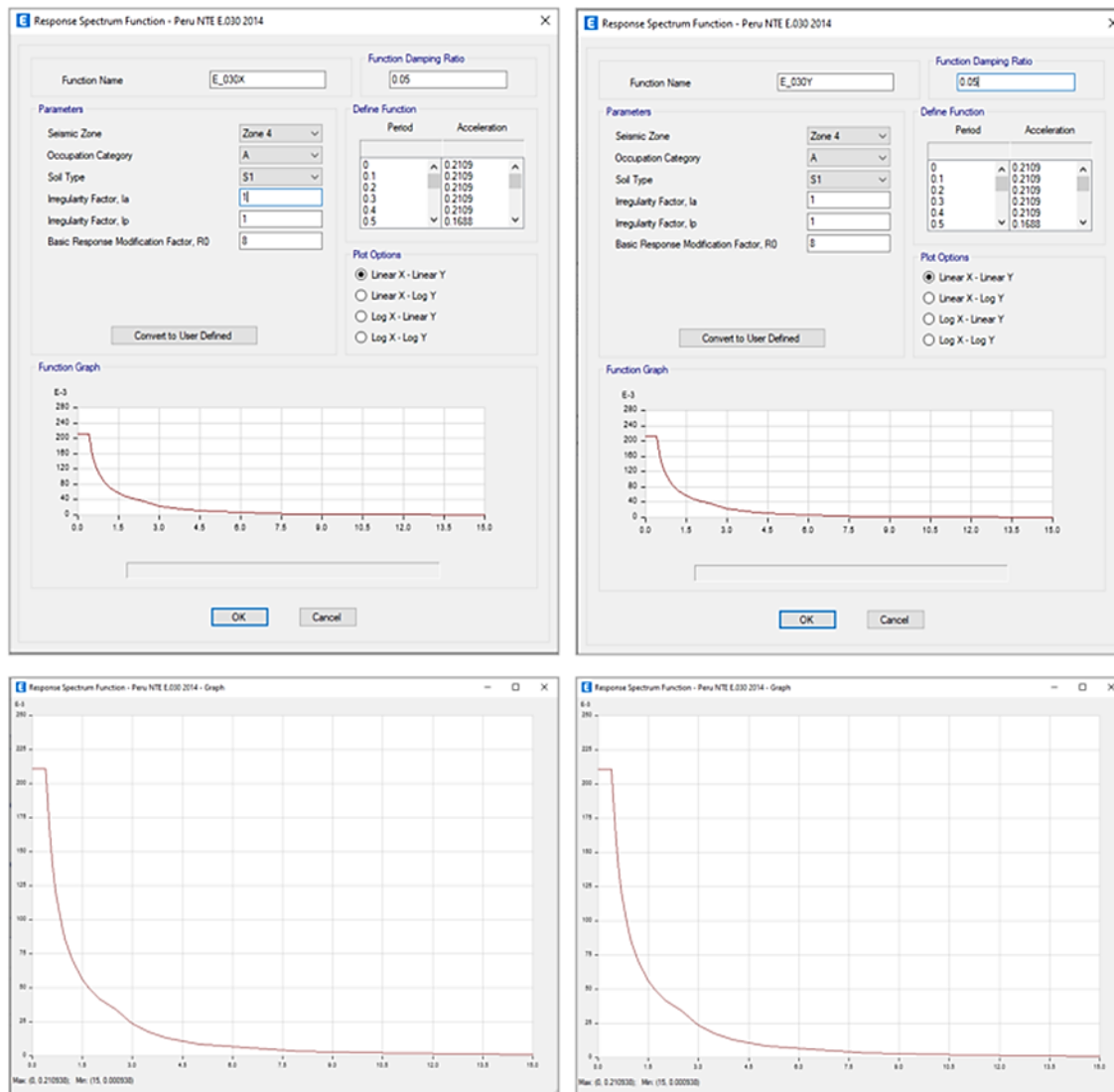
Resumen de parámetros Sísmicos

- Factor de zona $Z = 0.45$ (Zona 4)
- Factor de uso e importancia $U = 1.50$ (Categoría A)
- Factor de suelo $S = 1.00$
- Periodos plataforma $T_p = 0.40$ s
 $T_L = 2.50$ s
- Factor de amplificación sísmica $C = 2.50$

La Figura 122 muestra el espectro de demanda, como se observa a continuación:

Figura 122

Espectro de demanda



Nota. Espectro de Diseño lineal normativo E.030 para ambas direcciones ortogonales. Fuente: Elaboración Propia.

3.6.7. Modelamiento matemático lineal con disipadores Shear Link Bozzo

Para realizar el modelo matemático lineal con disipadores Shear Link Bozzo debemos conocer la respuesta sísmica de la edificación planteada flexible y luego asertivamente proponernos una meta de desempeño, para este caso al tratarse de una edificación esencial de hospital donde tiene que primar la resiliencia sísmica y operatividad continua de la misma, los suscritos establecen utilizar disipadores de 4ta generación, se selecciona dicha generación para aprovechar al máximo la ductilidad que los mismos proporcionarían al sistema.

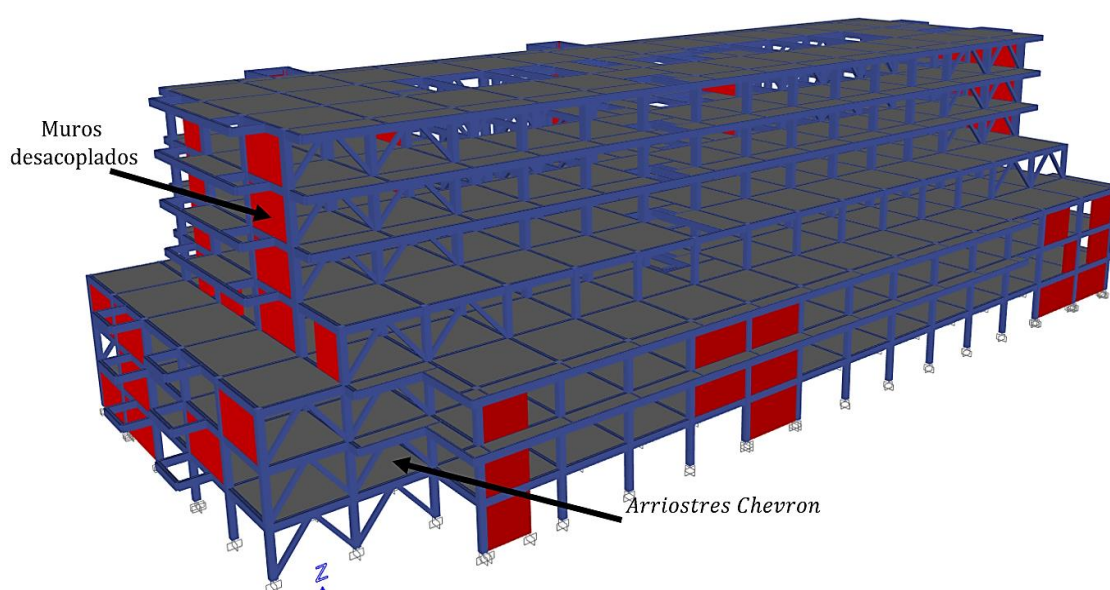
3.6.7.1. Selección de ubicación de disipadores

En una edificación de característica de gran envergadura y regular en planta, como nuestro proyecto, los mayores desplazamientos ocurrirían en los bordes perimetrales, por consiguiente, los suscritos elegirían asertivamente diferentes ubicaciones de los dispositivos donde no quiten estética ni funcionalidad arquitectónica al establecimiento, en algunas excepciones es inevitable alguna modificación arquitectónica, sin embargo no es traumático y de fácil adaptación en las diferentes especialidades que abarcan la concepción del mismo. Los muros desacoplados serán instalados en borde perimetrales en reemplazo de tabiques de albañilería o de concreto, como se muestra en la Figura 123, de esta manera no se afectará la iluminación del establecimiento, en algunas excepciones fue inevitable mover ventanas para dar con lugares estratégicos sin embargo es totalmente manejable para la especialidad de arquitectura.

Los arriostres tipos chevron serán instalados en borde perimetrales en reemplazo de tabiques de albañilería o de concreto, este tipo de soporte tiene la ventaja de ser totalmente maleable con el tema de ventanas e iluminaciones debido a las grandes aberturas de espacio que genera la conexión. Los dispositivos serán colocados con el criterio de no generar problemas torsionales para un movimiento perpendicular como se observa desde la Figura 124 hasta la Figura 135, donde se asignará la misma cantidad en ambos lados, se aprovecharán cajas de escaleras y tragaluces.

Figura 123

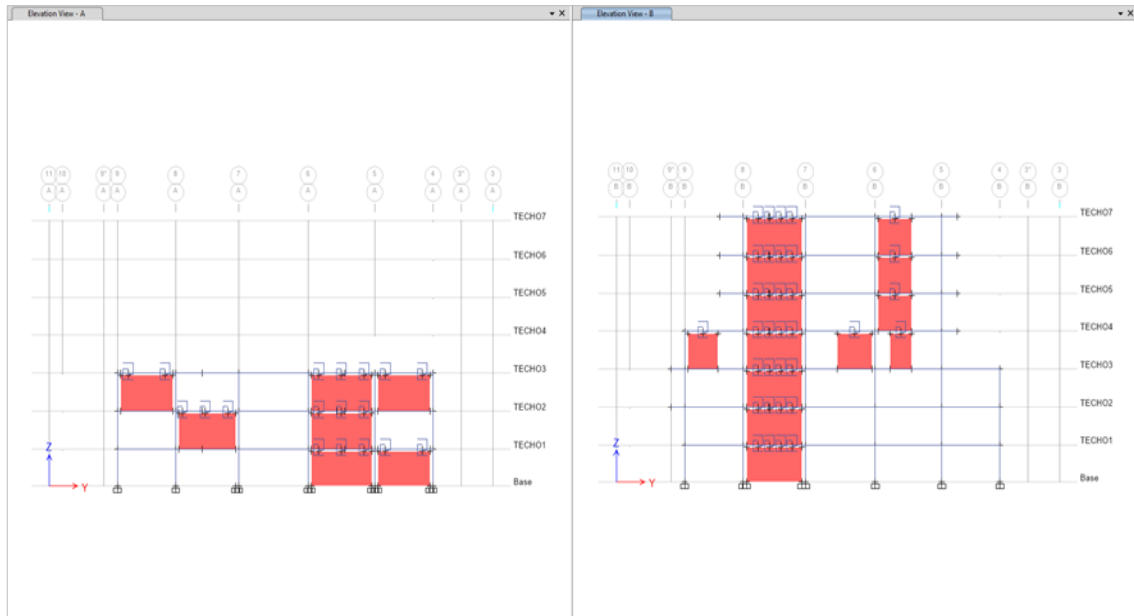
Vista isométrica de modelos matemáticos con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. En la vista isométrica se aprecia las ubicaciones de los disipadores mediante conexiones chevron y muros desacoplados, se modelaron 400 disipadores. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 124

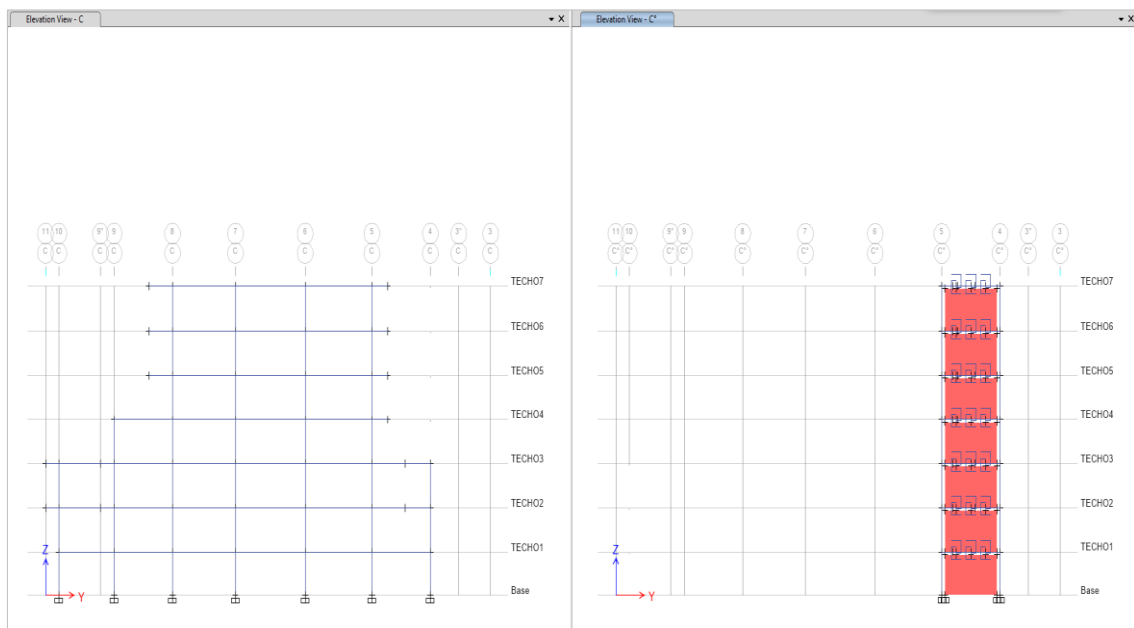
Vista en elevación de pórticos Eje A y Eje B con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje A-A cuenta con la instalación de 7 muros desacoplados en ellos la incorporación de 18 disipadores histéricos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del pórtico B-B cuenta con 13 muros desacoplados en ellos la instalación de 34 disipadores histéricos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 125

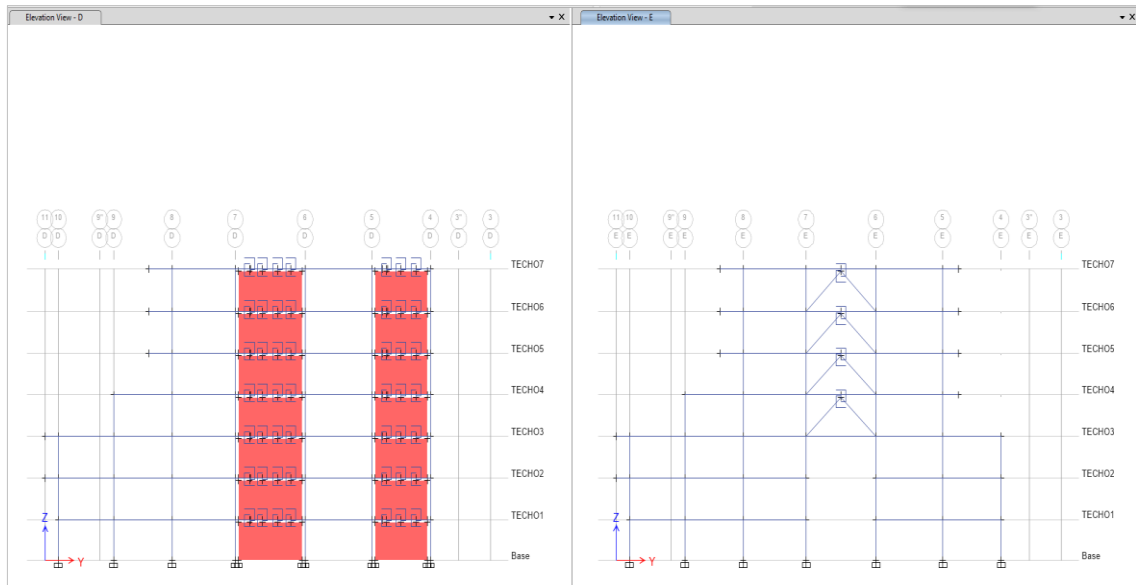
Vista en elevación de pórticos Eje C y Eje C'' con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje C-C cuenta con la instalación de 7 muros desacoplados, en ellos la incorporación de 21 disipadores histéricos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 126

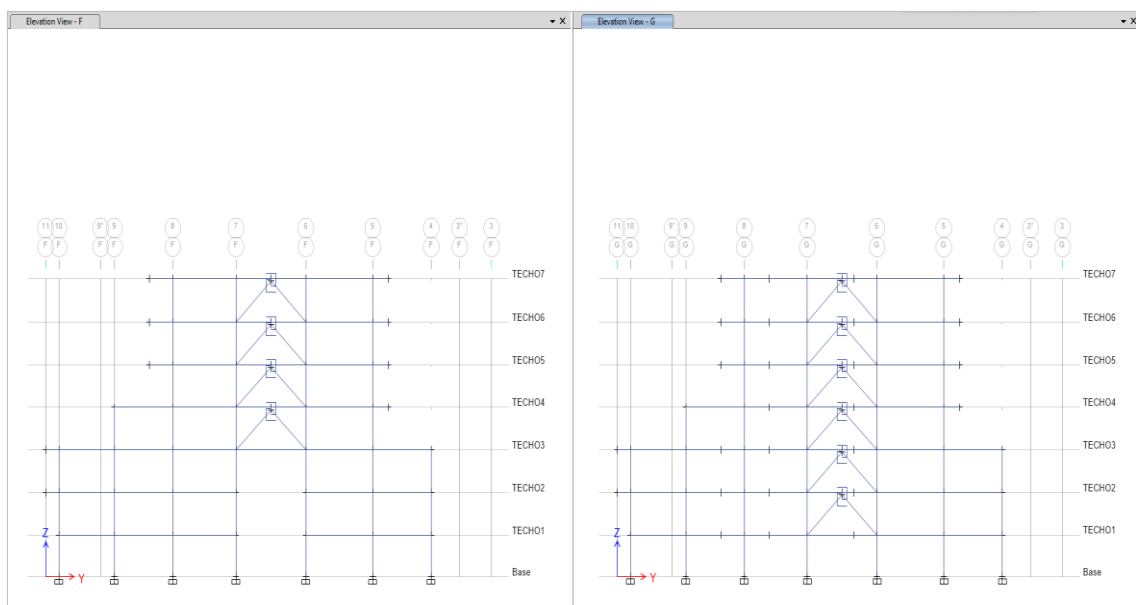
Vista en elevación de pórticos Eje D y Eje E con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje D-D cuenta con la instalación de 14 muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 49 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del portico E-E no cuenta con muros desacoplados, en ellos la instalación de 4 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20.. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 127

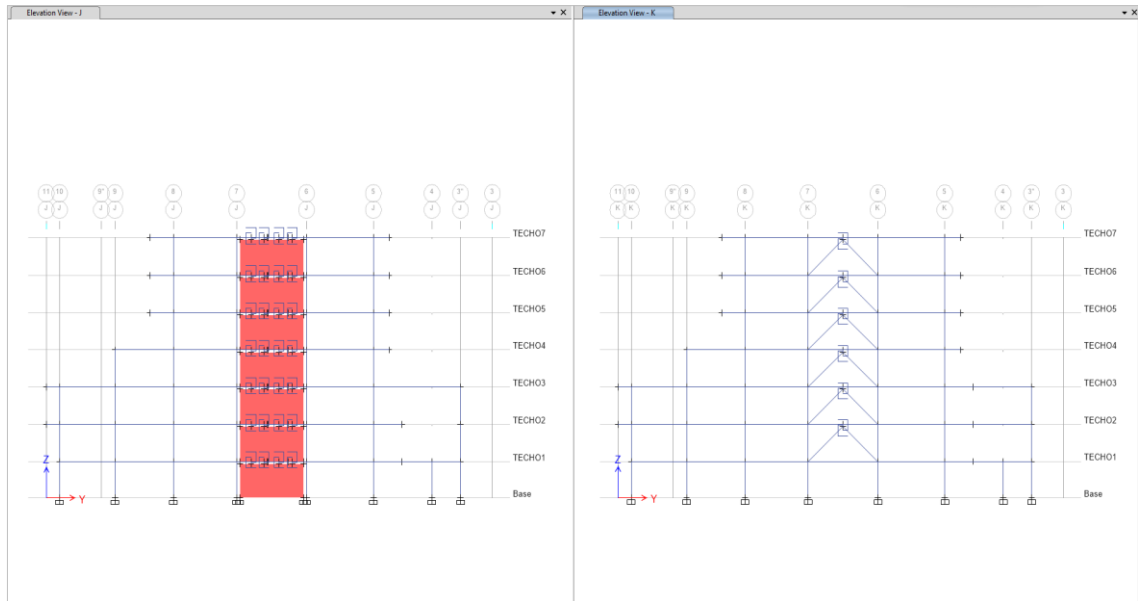
Vista en elevación de pórticos Eje F y Eje G con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje F-F no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 4 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del portico G-G no cuenta con muros desacoplados, en ellos la instalación de 6 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 128

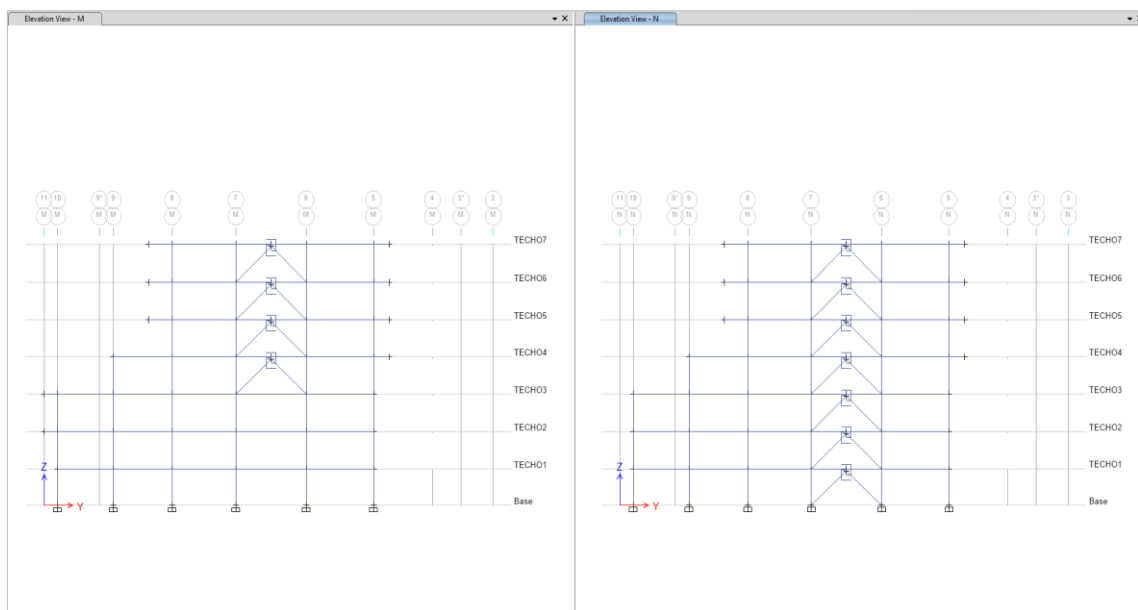
Vista en elevación de pórticos Eje J y Eje K con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje J-J cuenta con la instalación de 7 muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 36 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del portico K-K no cuenta con muros desacoplados, en ellos la instalación de 6 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 129

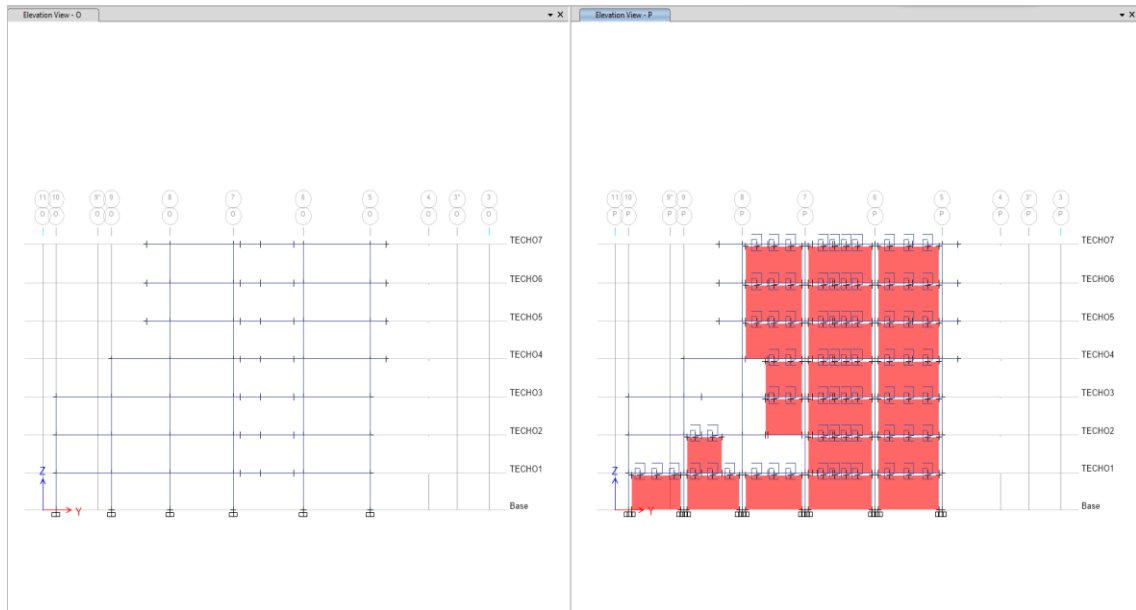
Vista en elevación de pórticos Eje M y Eje N con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. pórtico del eje M-M no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 4 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del portico N-N no cuenta con muros desacoplados, en ellos la instalación de 7 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20.. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 130

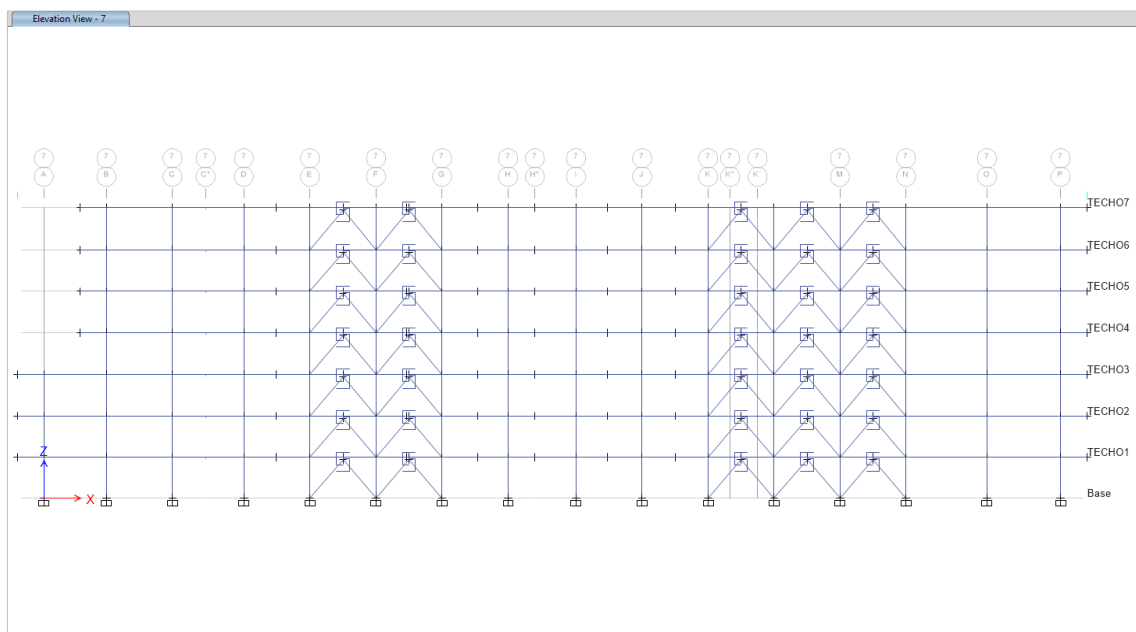
Vista en elevación de pórticos Eje O y Eje P con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje O-O no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 49 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20, mientras el eje del portico P-P cuenta con 73 muros desacoplados, en ellos la instalación de 4 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 131

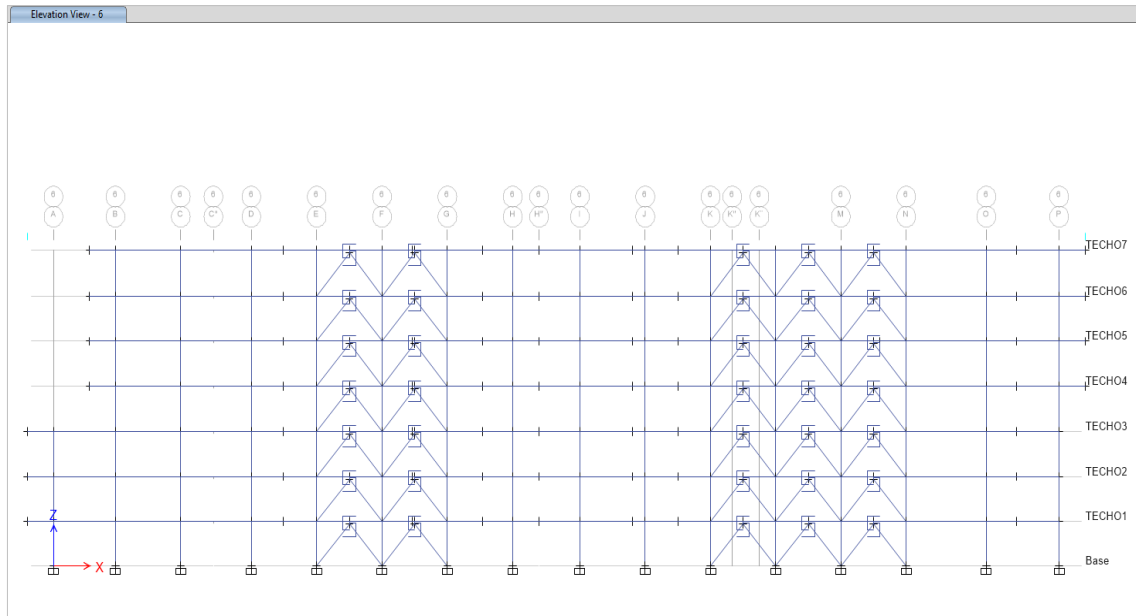
Vista en elevación de pórticos Eje 7 con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje 7-7 no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 35 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 132

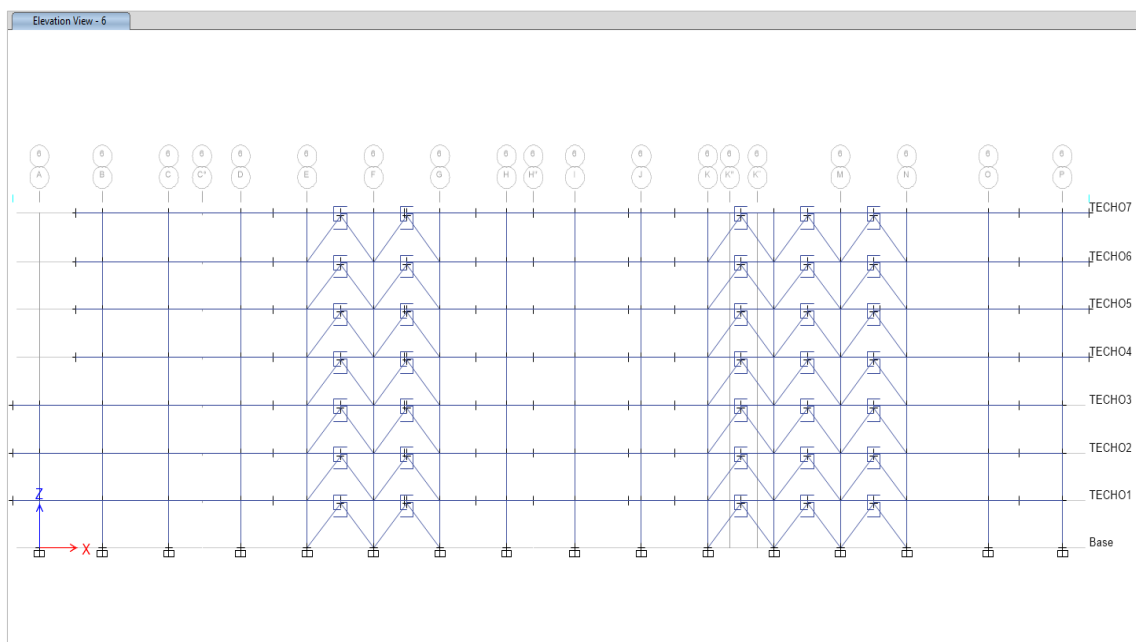
Vista en elevación de pórticos Eje 6 con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje 6-6 no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 35 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 133

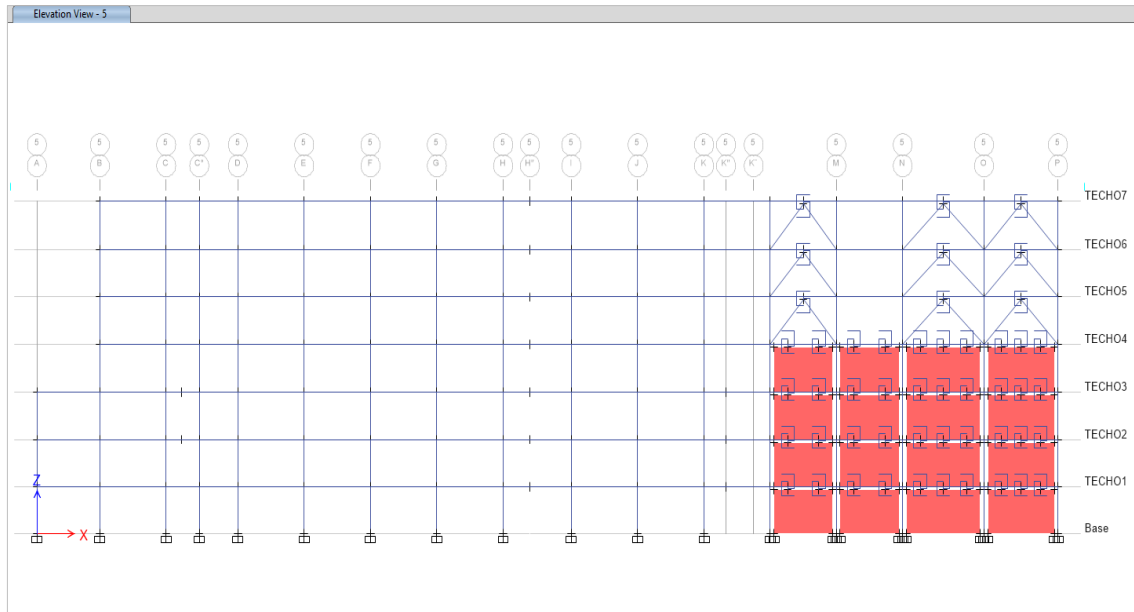
Vista en elevación de pórticos Eje 6 con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. . El pórtico del eje 6-6 no cuenta con la instalación de muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 35 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 134

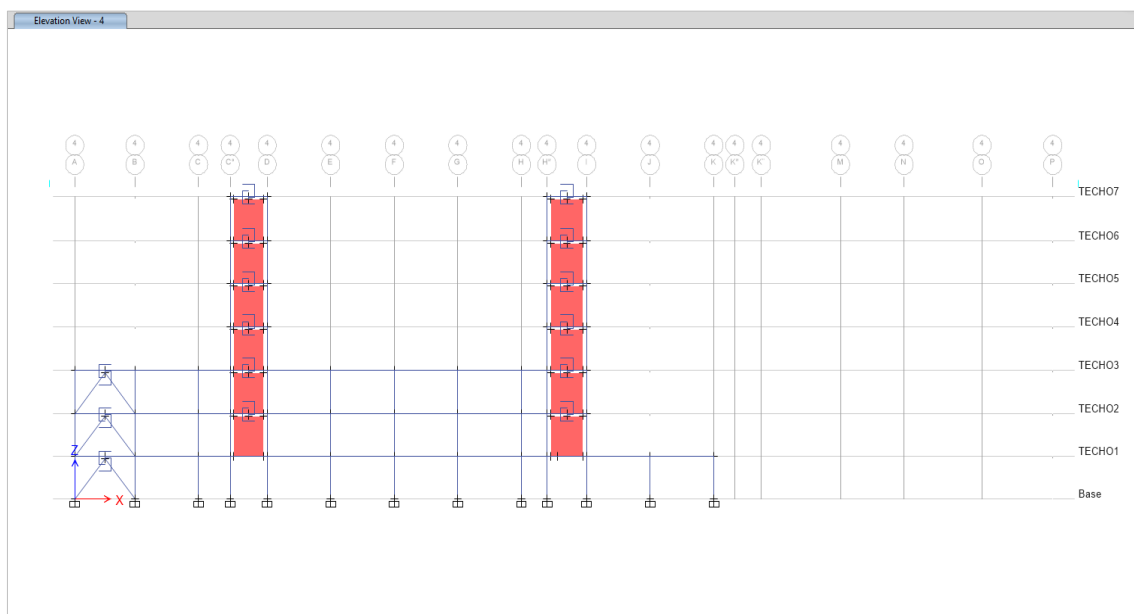
Vista en elevación de pórticos Eje 5 con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje 5-5 cuenta con la instalación de 16 muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 49 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 135

Vista en elevación de pórticos Eje 4 con disipadores Shear Link Bozzo



Nota. El pórtico del eje 4-4 cuenta con la instalación de 12 muros desacoplados; en ellos, la incorporación de 15 disipadores histeréticos de cuarta generación SLB4_65_20. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

4.1. Desplazamientos absolutos, Cortante basal y Desplazamiento relativos inelásticos mediante análisis no lineal tiempo historia

El análisis no lineal tiempo historia se realizó según los lineamientos establecidos en la normativa americana ASCE 41-17 como se muestra en la Figura 136, respaldando la aplicación del análisis no lineal tiempo historia a cualquier tipo de edificación. Los suscritos se apoyaron en mencionada normativa, así como también en los lineamientos de la normativa E.030, con la selección de registros detallados en el acápite 3.6.2 de la presente investigación, siendo los sismos de Tarapacá del 2005, sismo de Tacna del 2010 y sismo de Iquique del 2014.

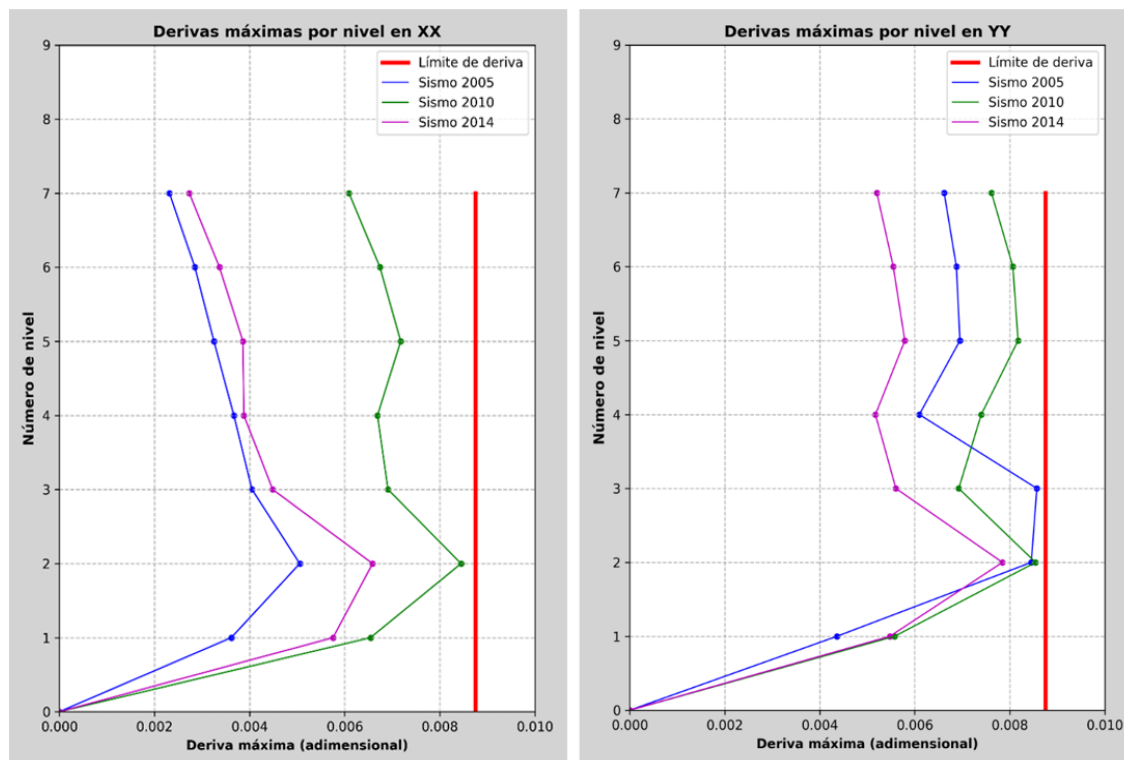
El análisis efectuado se realizó en el modelo matemático con modelos constitutivos no lineales en la definición de materiales en los elementos estructurales resistentes y con la incorporación de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo como sistemas de protección sísmica, los mismos mencionados en los acápites 3.6.7 y 3.6.8 de la presente investigación. Realizado el análisis y la obtención de la respuesta de la estructura en términos de desplazamiento, cortante basal y derivas inelásticas a través del tiempo bajo lo argumentado en la normativa E030 artículo 30.3.1, acorde al mencionado el análisis se realizó con los valores máximos de todos los registros, se obtuvo las diferentes derivas inelásticas mostradas desde la Figuras 136 hasta la Figura 148 redactadas en la Tabla 17, demostrando que la edificación con disipadores Shear Link Bozzo cumple con los requerimientos exigidos en los lineamientos vigentes, siendo todos sus desplazamientos aun admisibles por ser menores al máximo permitido siendo 1.25 veces de 0.007 para nuestra edificación en análisis.

De la figura 137 podemos apreciar que para la dirección ortogonal X-X, es el sismo de Tacna del 2010, el que genera mayores desplazamientos, sin embargo, la estructura dopada con disipadores Histeréticos Shear Link Bozzo aún se encuentra dentro de la deriva permisible.

De la figura 138 podemos apreciar que para la dirección ortogonal Y-Y, es el sismo de Tacna del 2010, el que genera también mayores desplazamientos, sin embargo, observamos que es ligeramente superado para los techos 2 y 3. La estructura con disipadores Shear Link Bozzo, responde de manera efectiva para ambas direcciones ortogonales en correspondencia a las demandas solicitadas.

Figura 136

Derivas Inelásticas por análisis tiempo historia



Nota. En la figura podemos apreciar las derivas inelásticas producidos por el análisis no lineal tiempo historia, siendo el sismo de Tarapaca del 2005 representado por el color azul produciendo menores distorsiones inelásticas de entrepiso, seguidamente el sismo de Iquique representado por el color violeta teniendo menores distorsiones de entrepiso a el sismo de Tacna del 2010 representado por el color verde. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 17

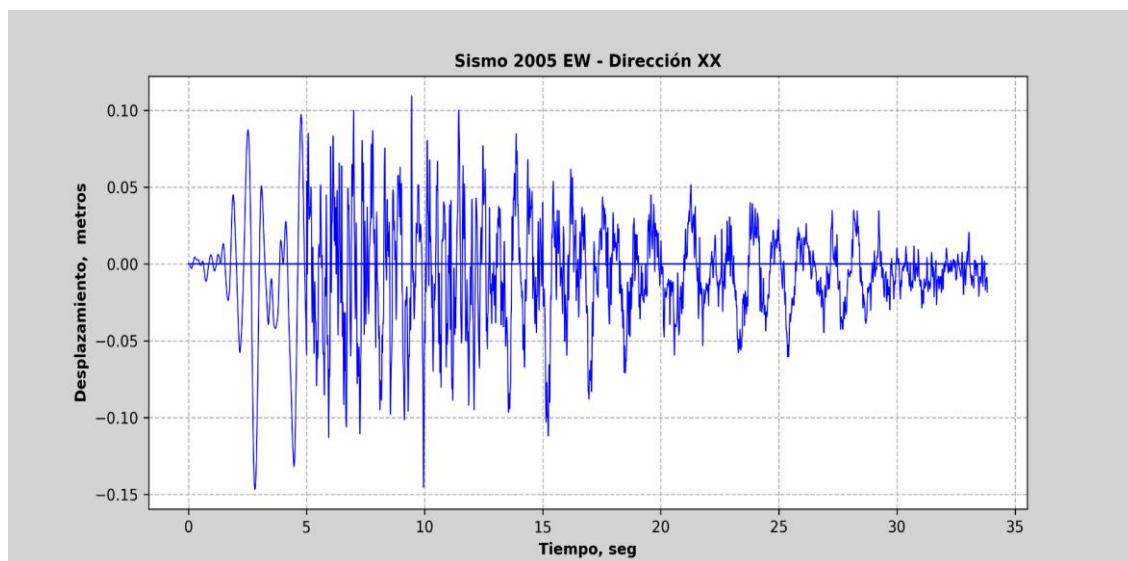
Respuesta de derivas Inelásticas por análisis no lineal tiempo historia

	Sismo Tarapaca 2005 EW	Sismo Tarapaca 2005 NS	Sismo Tacna 2010 EW	Sismo Tacna 2010 NS	Sismo Iquique 2014 EW	Sismo Iquique 2014 NS
Techo 7	0.0023	0.0066	0.0061	0.0076	0.0027	0.0052
Techo 6	0.0028	0.0069	0.0067	0.0081	0.0034	0.0055
Techo 5	0.0033	0.0070	0.0072	0.0082	0.0039	0.0058
Techo 4	0.0037	0.0061	0.0067	0.0074	0.0039	0.0052
Techo 3	0.0041	0.0086	0.0069	0.0069	0.0045	0.0056
Techo 2	0.0051	0.0085	0.0084	0.0085	0.0066	0.0078
Techo 1	0.0036	0.0044	0.0065	0.0056	0.0058	0.0055
Base	0	0	0	0	0	0

Nota. Observamos las derivas inelásticas de entrepiso por cada nivel de techo, producido por cada registro de sismo, satisfacen la deriva inelástica el máxima permisible de 0.00875 mencionado en la normativa nacional vigente E030, artículo 30.3.2. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 137

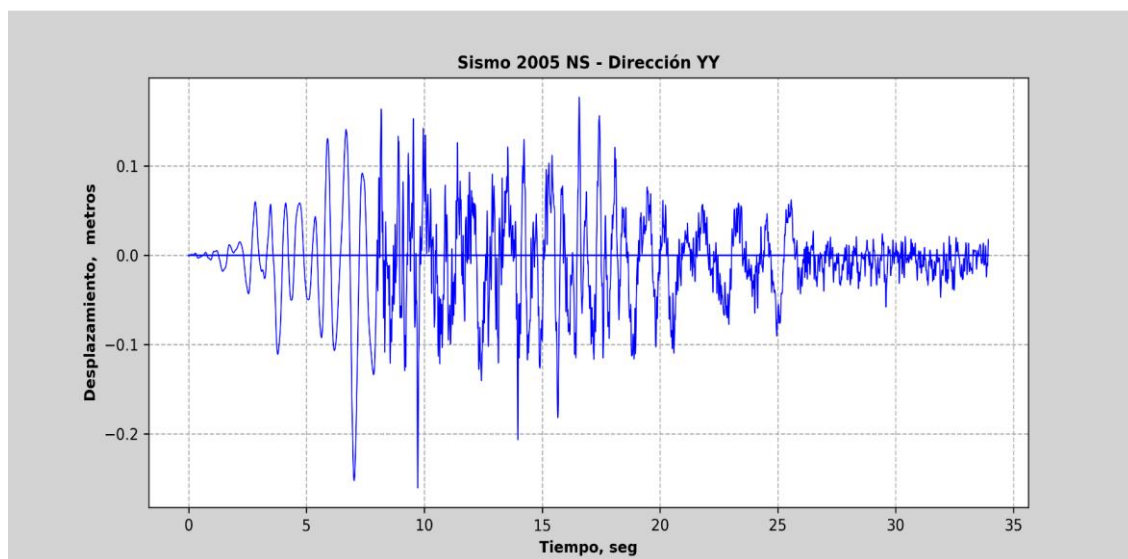
*Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005
dirección X-X*



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tarapaca del 2005, en el eje ortogonal X-X, teniendo como desplazamiento absoluto de 15cm en el septimo techo del modelo matematico incluido el sistema de proteccion sismica de disipadores hystereticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 138

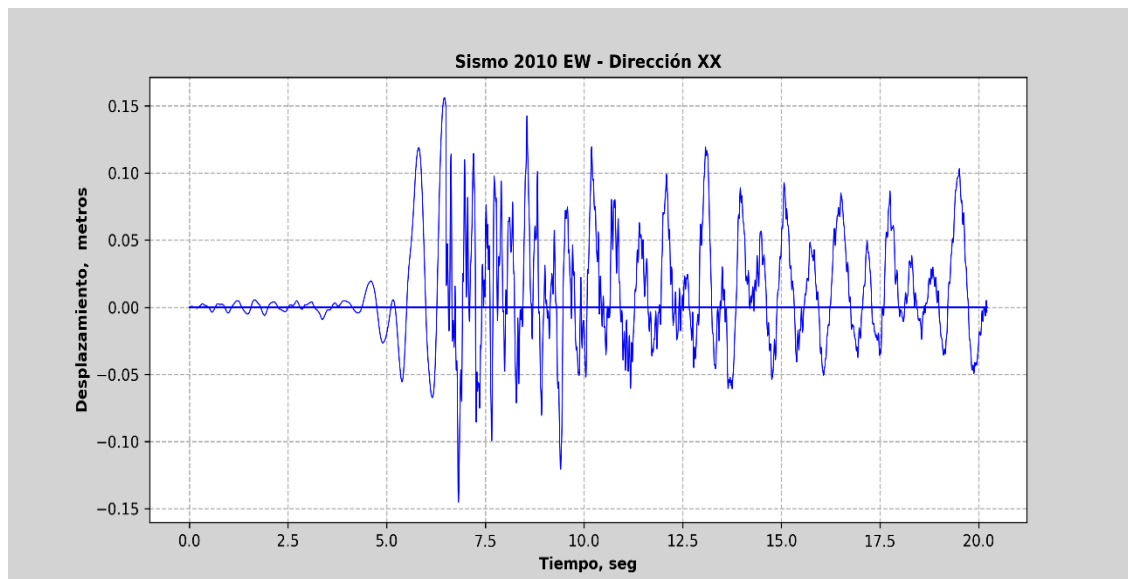
*Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005
dirección Y-Y*



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tarapaca del 2005, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como desplazamiento absoluto de 27.20cm en el septimo techo del modelo matematico incluido el sistema de proteccion sismica de disipadores hystereticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 139

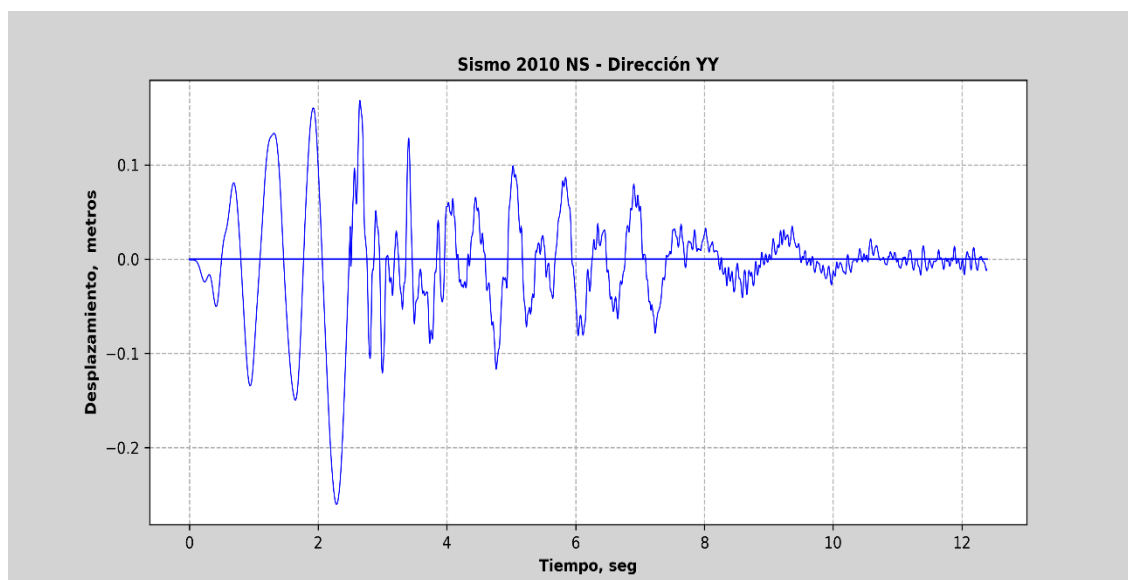
Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tacna del 2010, en el eje ortogonal X-X, teniendo como desplazamiento absoluto de 15.10cm en el séptimo techo del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 140

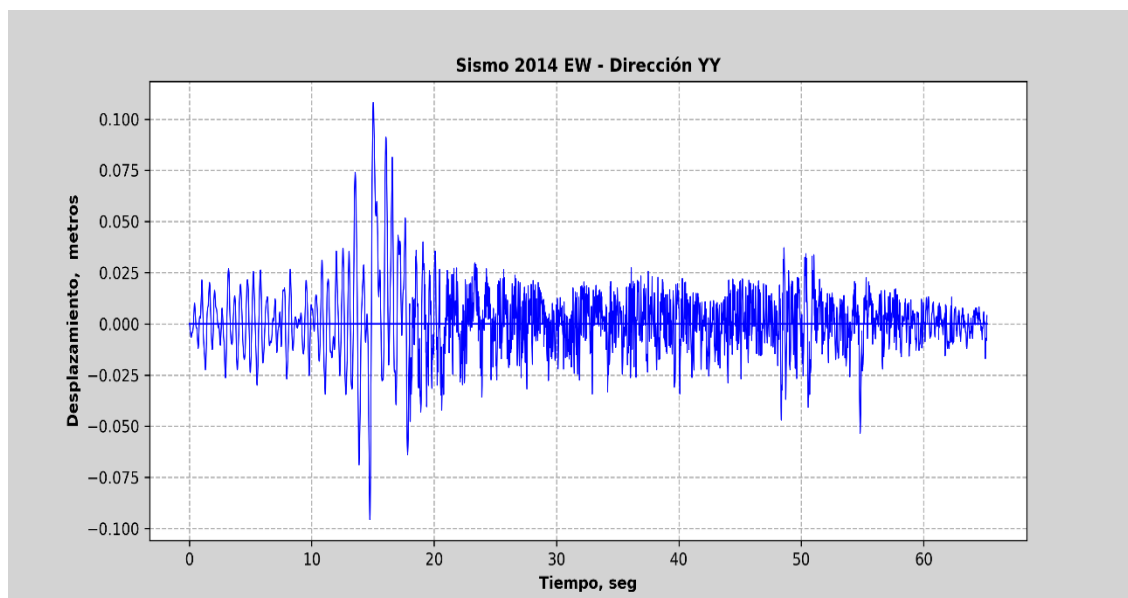
Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección Y-Y



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tacna del 2010, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como desplazamiento absoluto de 28.20cm en el séptimo techo del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 141

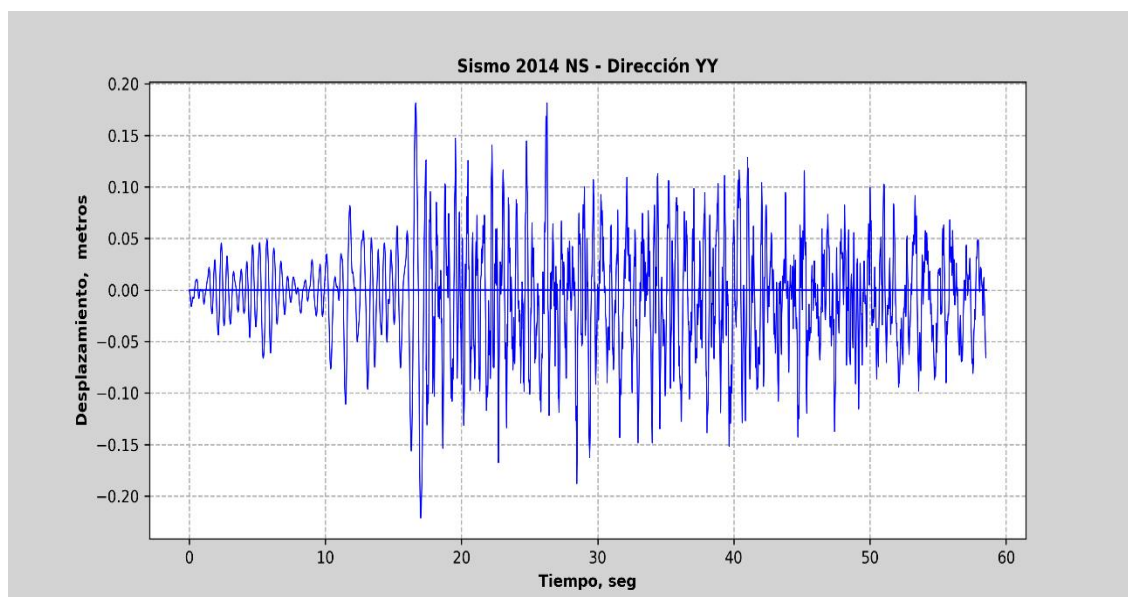
Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Iquique del 2014, en el eje ortogonal X-X, teniendo como desplazamiento absoluto de 11.10cm en el séptimo techo del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 142

Respuesta de desplazamiento en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección Y-Y

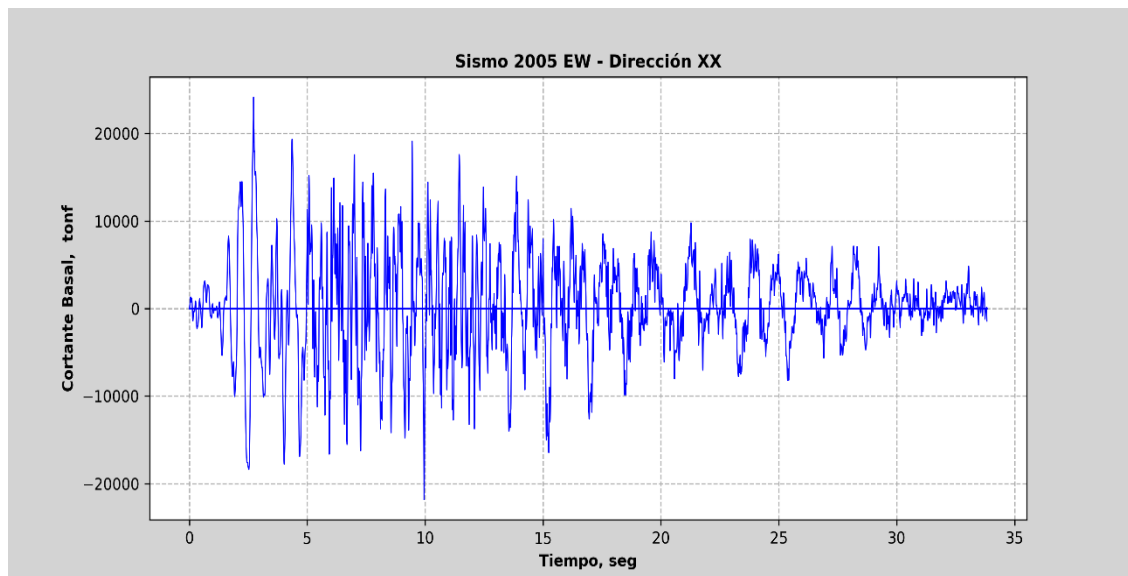


Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Iquique del 2014, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como desplazamiento absoluto de 22.50cm en el séptimo techo del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

4.2. Respuesta de Cortante basal en el tiempo

Figura 143

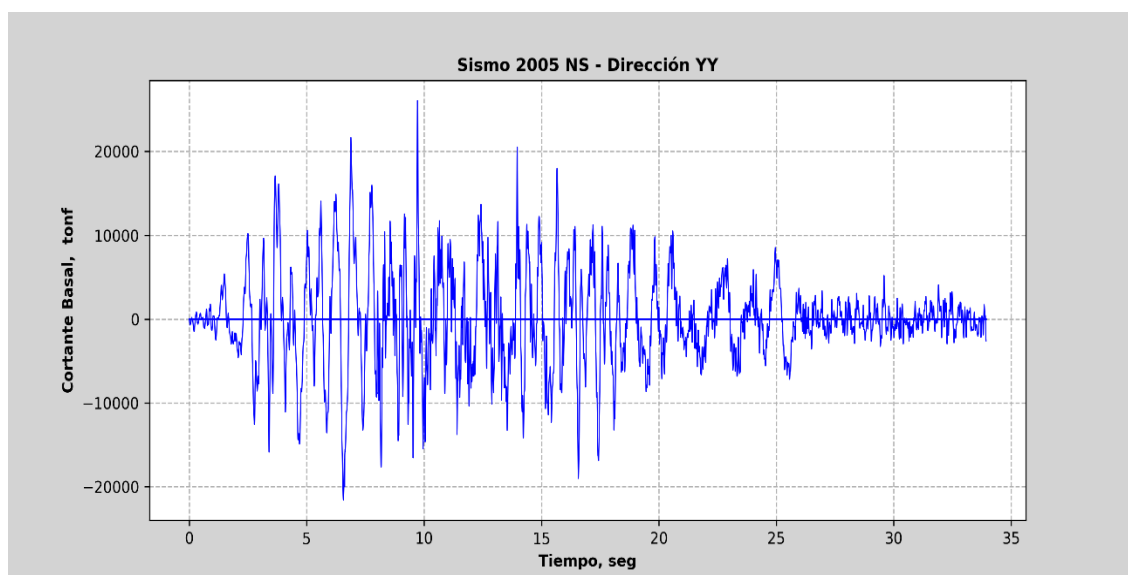
Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tarapaca del 2005, en el eje ortogonal X-X, teniendo como cortante basal maximo de 25000 tonnef en el primer entrepiso del modelo matematico incluido el sistema de proteccion sismica de disipadores histereticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 144

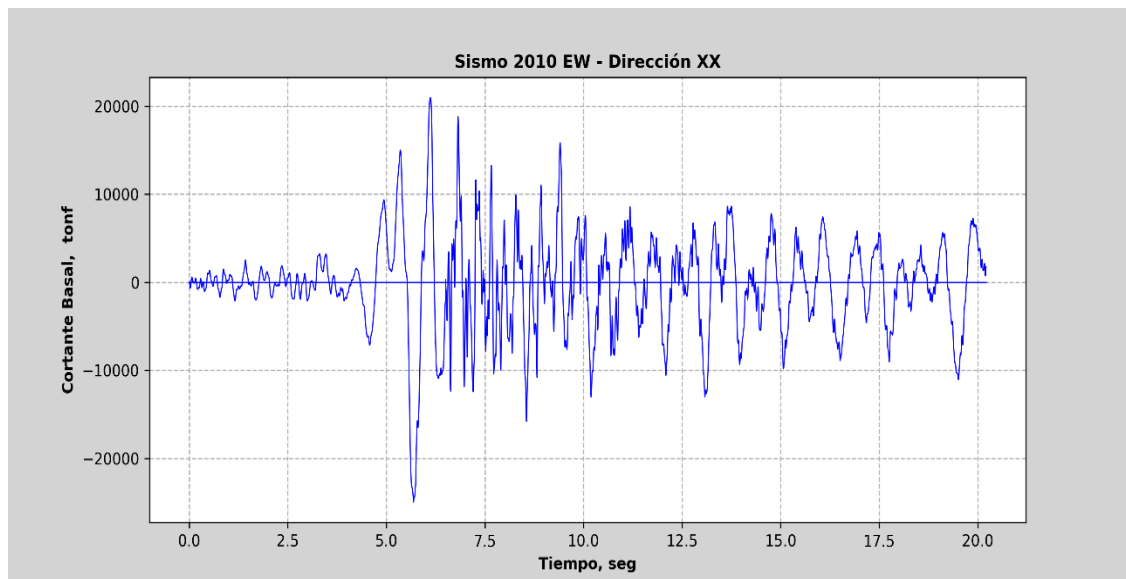
Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tarapacá 2005 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tarapaca del 2005, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como cortante basal maximo de XX.XX tonnef en el primer entrepiso del modelo matematico incluido el sistema de proteccion sismica de disipadores histereticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 145

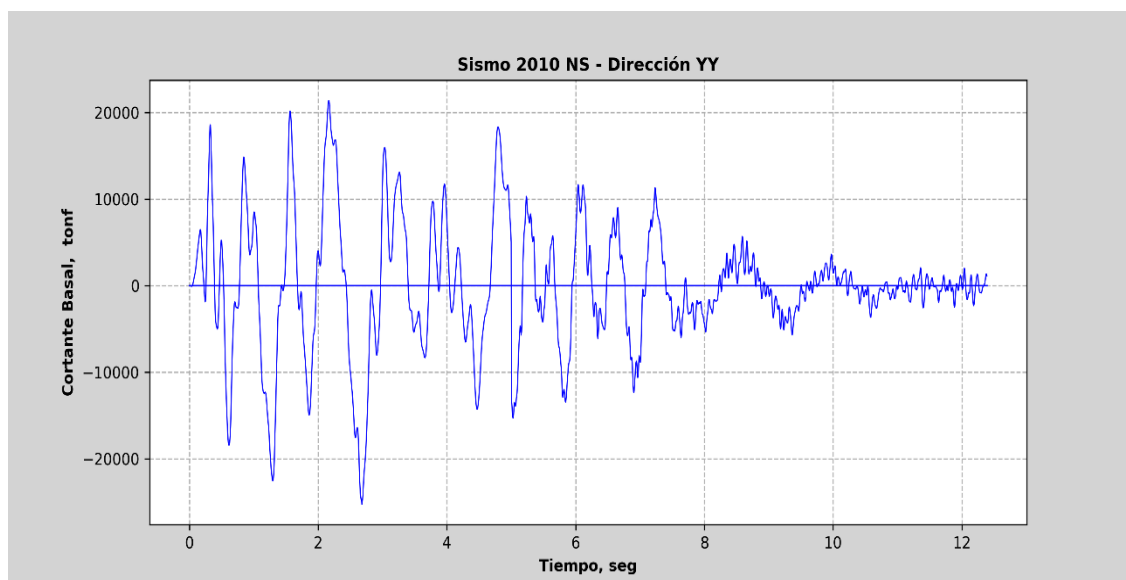
Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tacna del 2010, en el eje ortogonal X-X, teniendo como cortante basal máximo de 21000 tonnef en el primer entrepiso del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 146

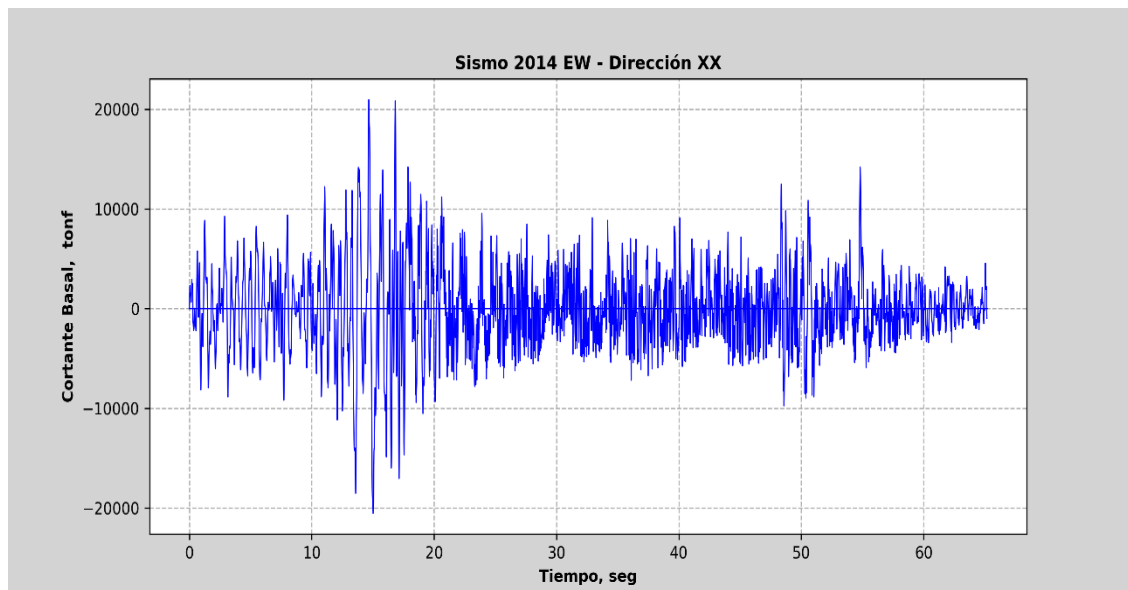
Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Tacna 2010 dirección Y-Y



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Tacna del 2010, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como cortante basal máximo de 23000 tonnef en el primer entrepiso del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 147

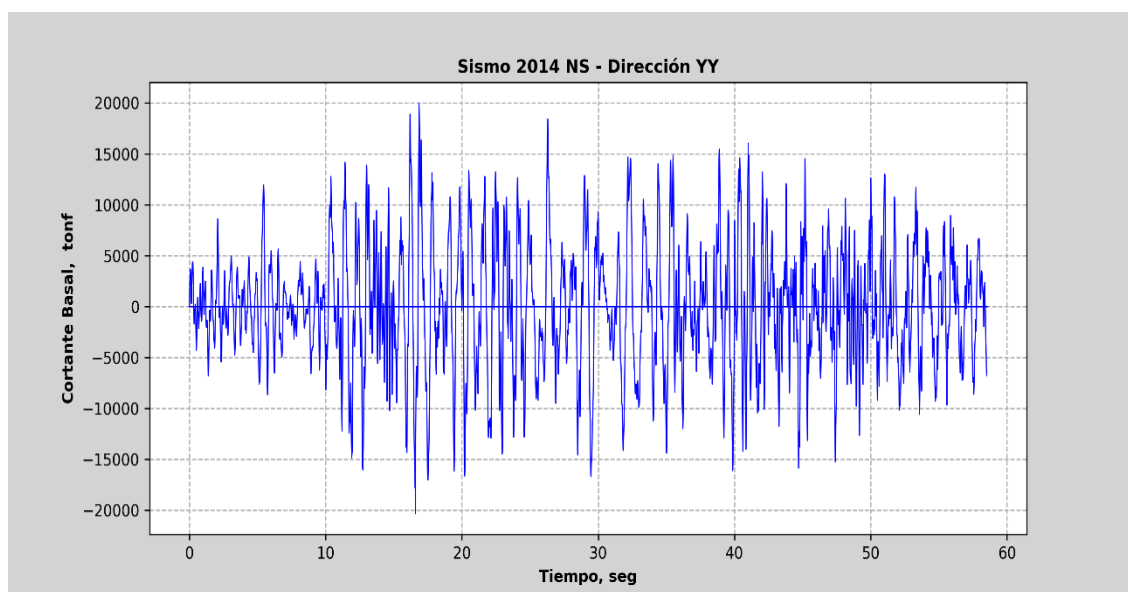
Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección X-X



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Iquique del 2014, en el eje ortogonal X-X, teniendo como cortante basal máximo de 23000 tonnef en el primer entrepiso del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 148

Respuesta de cortante en el tiempo para sismo de Iquique 2014 dirección Y-Y



Nota. Podemos apreciar la respuesta de la estructura ante sismo de Iquique del 2014, en el eje ortogonal Y-Y, teniendo como cortante basal máximo de 20000 tonnef en el primer entrepiso del modelo matemático incluido el sistema de protección sísmica de disipadores histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

4.3. Desempeño sísmico mediante aplicación de coeficientes ASCE/SEI 41-17

Se muestran las rotaciones obtenidas en las columnas confinadas con mayor respuesta como se observa en la Tabla 18 para los diferentes registros, es por esto que, la evaluación del desempeño sísmico se realizó en función a los lineamientos establecidos en la normativa americana ASCE/SEI 41-17, para cada registro sísmico tratado, la selección del elemento crítico con mayor rotación se utilizará de apoyo un artificio desarrollado en Python, de esta manera podremos identificar en Etabs de manera manual el elemento crítico o cuya fibra tenga mayor respuesta y evaluar su desempeño. Realizado el análisis No lineal tiempo historia para los 3 sismos en ambas direcciones ortogonales, la estructura complementada con disipadores Shear Link Bozzo respondió de manera óptima, alcanzando un desempeño de operatividad continua en promedio a los resultados obtenidos, satisfaciendo los requisitos de resiliencia sísmica y efectos post traumáticos característicos para una edificación esencial destinado a hospital principal de gran envergadura. Teniendo como resultado de rotaciones máximas registrada para los registros del sismo de Iquique del 2014 para ambas direcciones ortogonales, sin embargo, la estructura dopada de disipadores Shear Link Bozzo aún se encuentra en resguardo de vida para el caso puntual mencionado.

En las siguientes Figuras 149, 152, 155, 158, 161 y 164 se muestra las respuestas de fibra plástica en las columnas de los diferentes sismos, también se puede observar en las Figuras 150, 153, 156, 159, 162 y 165 las cortantes y momentos , actuantes de las columnas y como complemento se ilustra en las Figuras 151, 154, 157, 160, 163 y 16 donde se explica el paso a paso el resultado de desempeño para los sismos que fueron utilizados, como se observa a continuación:

Tabla 18

Resultado de desempeño con disipadores Shear Link Bozzo

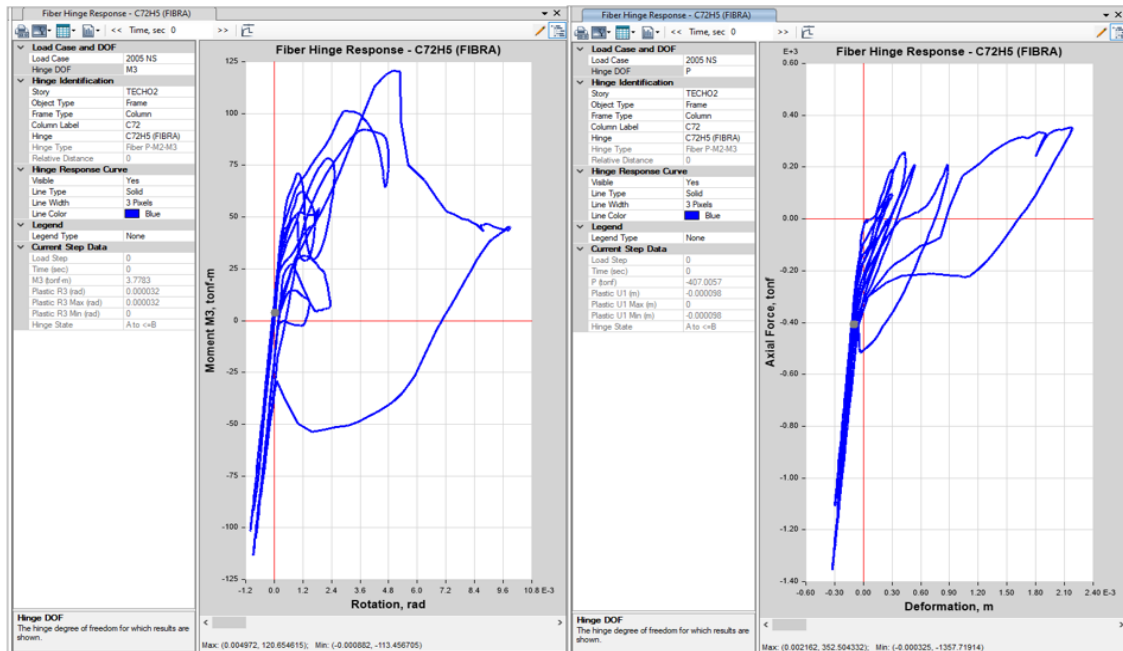
SISMO	Rotación Elemento Crítico	Rotación	Rotación	Rotación	Estado
		IO	LS	CP	
Tarapacá 2005 EW	0.0019	0.0035	0.0117	0.016	IO
Tarapacá 2005 NS	0.0039	0.0043	0.0144	0.02	IO
Tacna 2010 EW	0.0049	0.0056	0.0618	0.087	IO
Tacna 2010 NS	0.0012	0.0036	0.0121	0.017	IO
Iquique 2014 EW	0.0059	0.0028	0.0094	0.013	LS
Iquique 2014 NS	0.0075	0.0028	0.0094	0.013	LS

Nota. Interpretamos a IO como estado de desempeño de ocupacion inmediata, Interpretamos a LS como estado de desempeño de resguardo de vida , interpretamos a CP como cerca al colapso

y el estado al estado de daño que se encuentra el elemento en funcion a la ubicación de rango parametrado para cada caso registro de sismo correspondiente. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 149

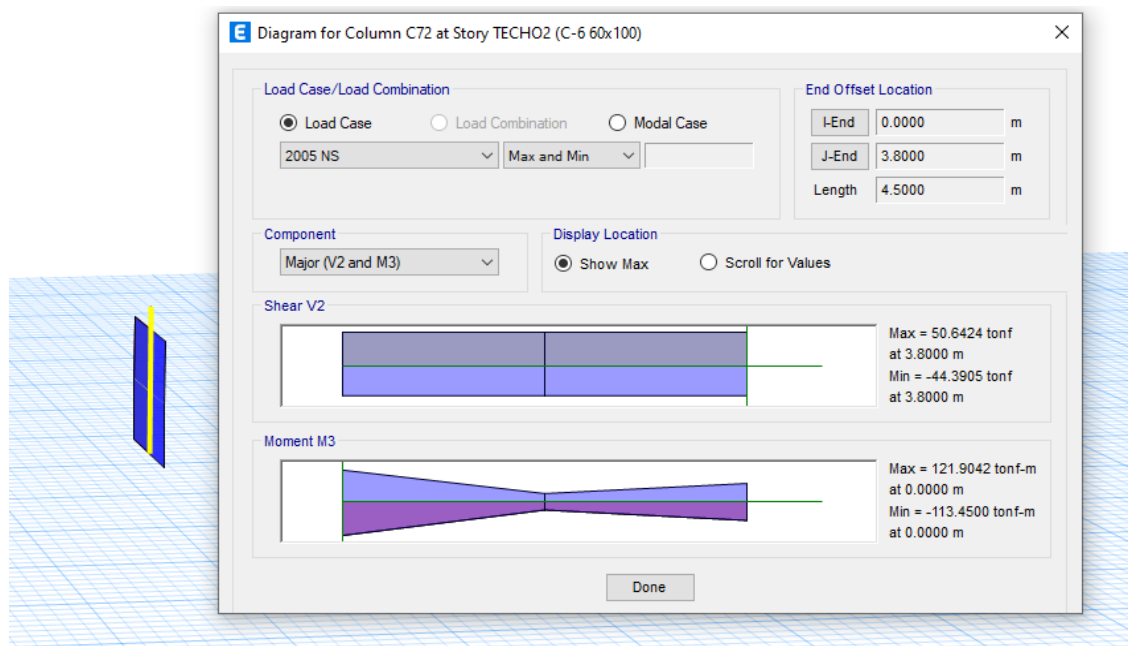
Respuesta de fibra plástica en columna C72 para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo tarapaca 2005 direccion Norte a Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 150

Cortante y Momento actuante en columna C72 para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur

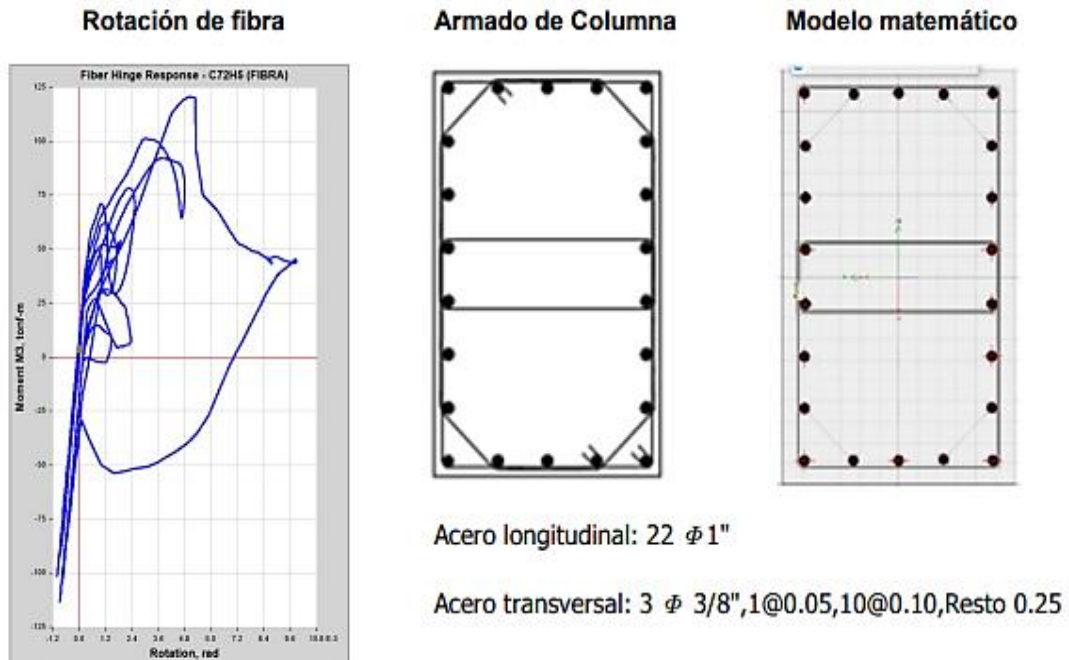


Nota. Se aprecia una cortante de 50.64tonnef y un momento de 121.9042 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 151

Resultado de desempeño para Sismo Tarapacá 2005 Norte a Sur

Desempeño Columna C72 Sismo Tarapacá 2005 Dirección Norte a Sur



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm	Base de la sección
Peralte := 100 cm	Peralte de la sección
Separacion _{estribo} := 10 cm	Separación de estribo
Acero _{horiznotan.trans} := $6 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 4.26 \text{ cm}^2$	Acero horizontal transversal
Acero _{longitudinal} := $22 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 112.2 \text{ cm}^2$	Acero longitudinal vertical
$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la compresión de la sección
$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 50.60 \text{ tonnef}$	Cortante en la fluencia del acero
$N_{ud} := 352 \text{ tonnef}$	Fuerza axial en el elemento
$\varphi_{plastica} := 0.0039$	Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 6000 \text{ cm}^2$$

Área bruta de la sección

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.019$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.94 \text{ m}$$

Peralte efectivo

$$V_{\text{col.E}} = 248.404 \text{ tonnef}$$

Capacidad al corte de la sección

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max \left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{yE}}{V_{\text{col.E}}} \right) \right) = 0.029$$

$$b := \max \left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min \left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5 \right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} \right) - 0.01, a \right) = 0.029$$

$$c := \max \left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} \right) = 0.156$$

Calculo de limites de desempeño

$$\text{IO} := 0.15 \cdot a = 0.0043$$

Rotación limite para un desempeño de operatividad continua

$$\text{LS} := 0.5 \cdot b = 0.0144$$

Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida

$$\text{CP} := 0.7 \cdot b = 0.02$$

Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso

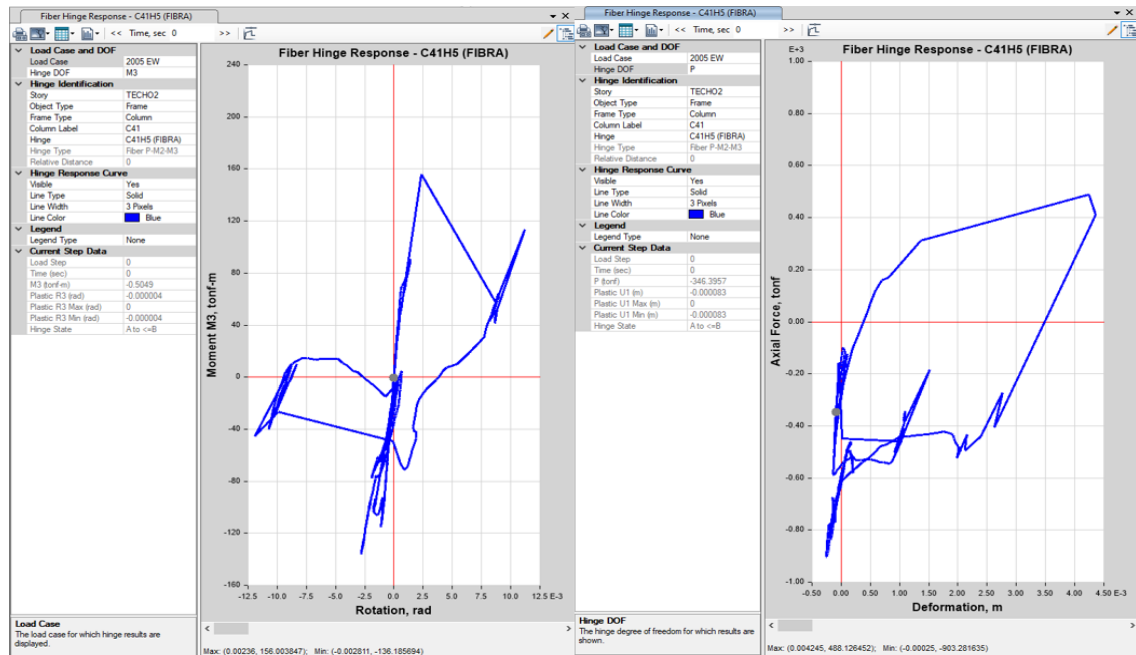
Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \phi_{\text{plastica}} < \text{IO} \\ \quad \left\| \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \right\| \\ \text{if } \text{IO} < \phi_{\text{plastica}} < \text{LS} \\ \quad \left\| \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \right\| \\ \text{if } \text{LS} < \phi_{\text{plastica}} < \text{CP} \\ \quad \left\| \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \right\| \end{array} \right\} = \text{"Operatividad Continua"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de tarapaca 2005 dirección Norte a Sur, fue representado para el elemento más crítico C72, siendo este clasificado en un desempeño de operatividad continua. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 152

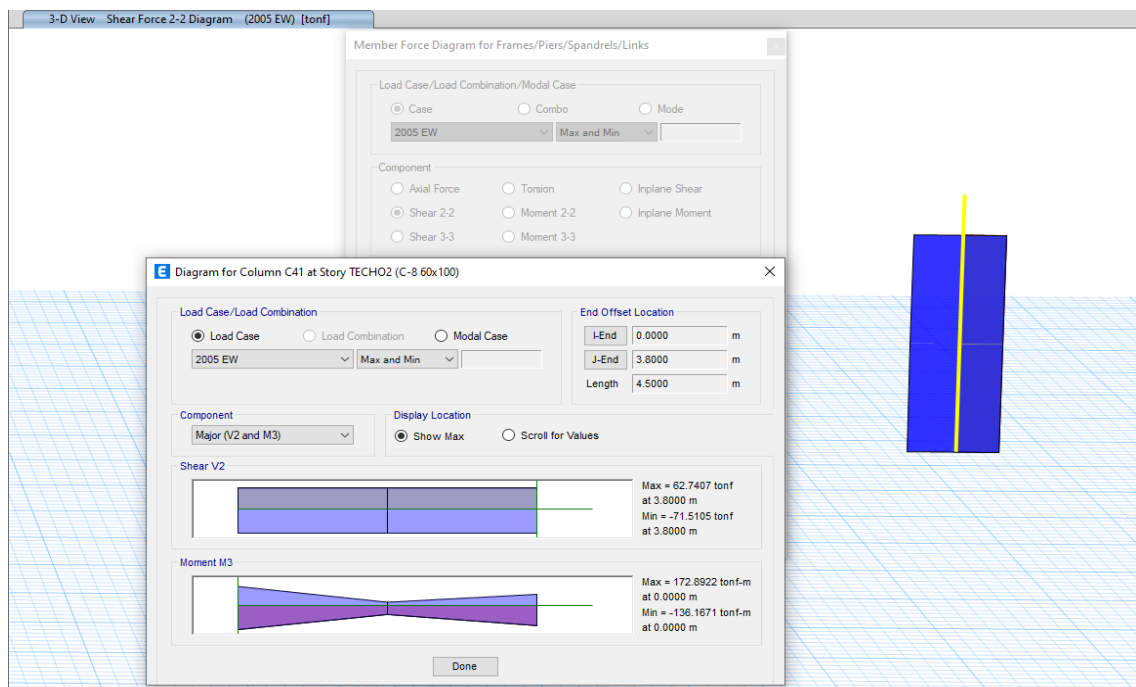
Respuesta de fibra plástica en columna C41 para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo tarapaca 2005 direccion Este a Oeste. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 153

Cortante y Momento actuante en columna C41 para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste

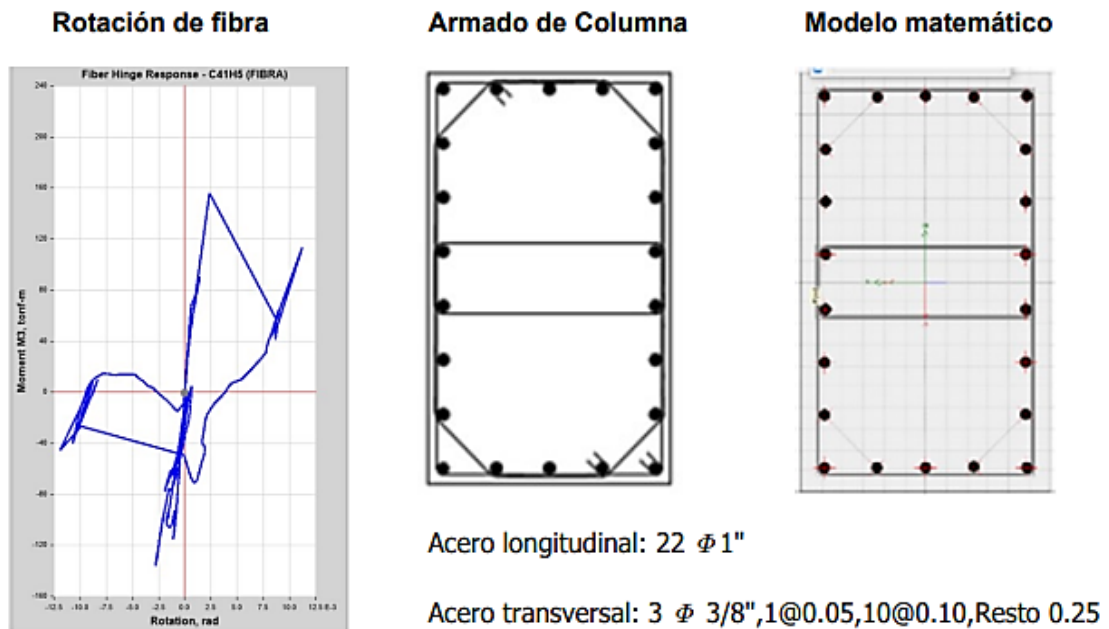


Nota. Se aprecia una cortante de 71.5105tonnef y un momento de 136.1671 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 154

Resultado de desempeño para Sismo Tarapacá 2005 Este a Oeste

Desempeño Columna C41 Sismo Tarapacá 2005 Dirección Este a Oeste



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm

Base de la sección

Peralte := 100 cm

Peralte de la sección

Separación_{estribo} := 10 cm

Separación de estribo

Acero_{horiznotan.trans} := $6 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 4.26 \text{ cm}^2$

Acero horizontal transversal

Acero_{longitudinal} := $22 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 112.2 \text{ cm}^2$

Acero longitudinal vertical

$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Resistencia a la compresión de la sección

$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 71.52 \text{ tonnef}$

Cortante en la fluencia del acero

$N_{ud} := 488 \text{ tonnef}$

Fuerza axial en el elemento

$\varphi_{plastica} := 0.0019$

Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 6000 \text{ cm}^2$$

Área bruta de la sección

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.019$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.94 \text{ m}$$

Peralte efectivo

$$V_{\text{col.E}} = 248.404 \text{ tonnef}$$

Capacidad al corte de la sección

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max \left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{yE}}{V_{\text{col.E}}} \right) \right) = 0.023$$

$$b := \max \left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min \left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5 \right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} - 0.01 \right), a \right) = 0.023$$

$$c := \max \left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} \right) = 0.124$$

Calculo de limites de desempeño

$$\text{IO} := 0.15 \cdot a = 0.0035$$

Rotación limite para un desempeño de operatividad continua

$$\text{LS} := 0.5 \cdot b = 0.0117$$

Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida

$$\text{CP} := 0.7 \cdot b = 0.016$$

Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso

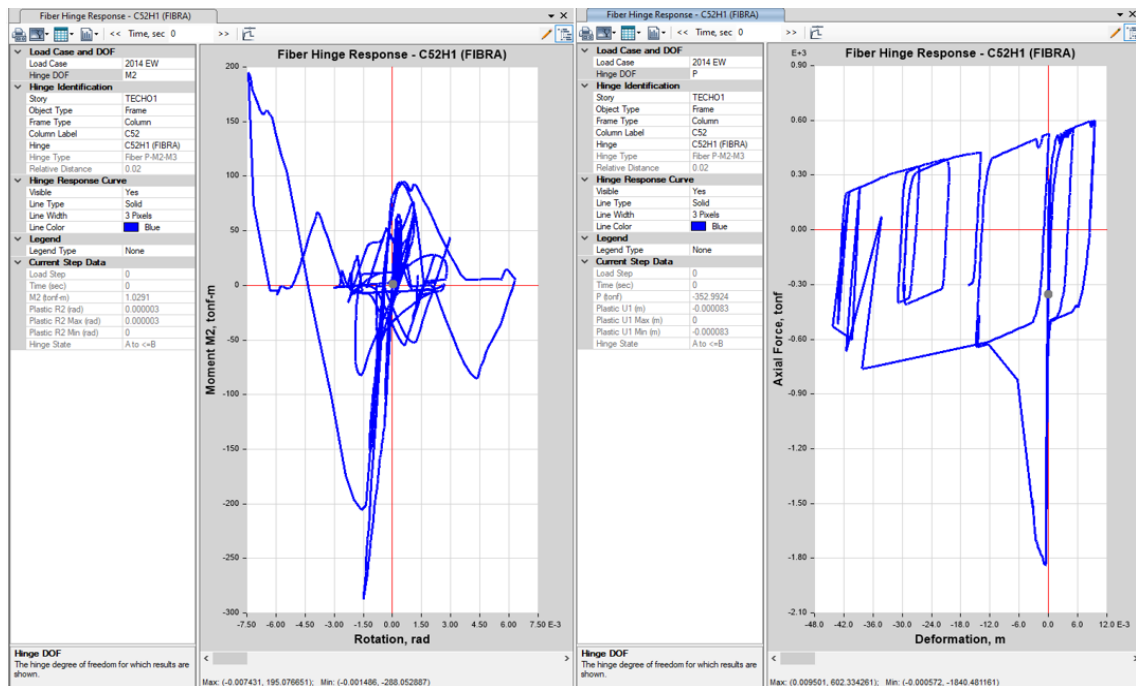
Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \begin{cases} \text{if } \phi_{\text{plastica}} < \text{IO} \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \\ \text{if } \text{IO} < \phi_{\text{plastica}} < \text{LS} \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \\ \text{if } \text{LS} < \phi_{\text{plastica}} < \text{CP} \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \end{cases} = \text{"Operatividad Continua"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de tarapaca 2005 dirección Este a Oeste, fue representado para el elemento más crítico C41, siendo este clasificado en un desempeño de operatividad continua. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 155

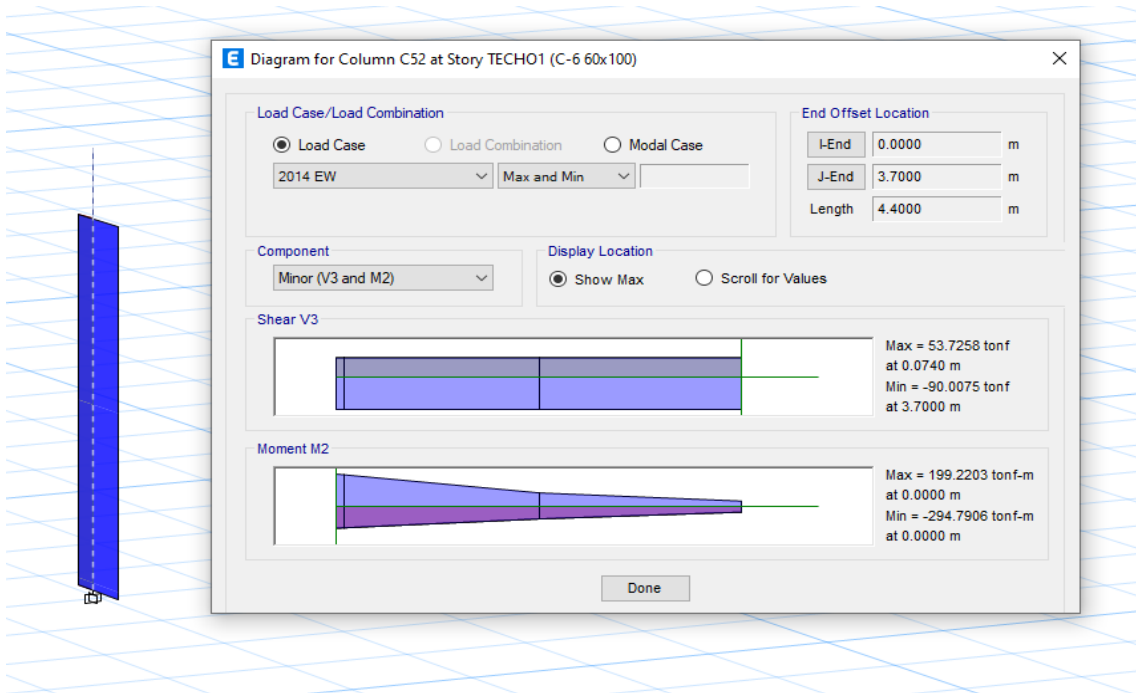
Respuesta de fibra plástica en columna C52 para Sismo Iquique 2014 Este a Oeste



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo Iquique 2014 dirección Este a Oeste. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 156

Cortante y Momento actuante en columna C52 para Sismo Iquique 2005 Este a Oeste

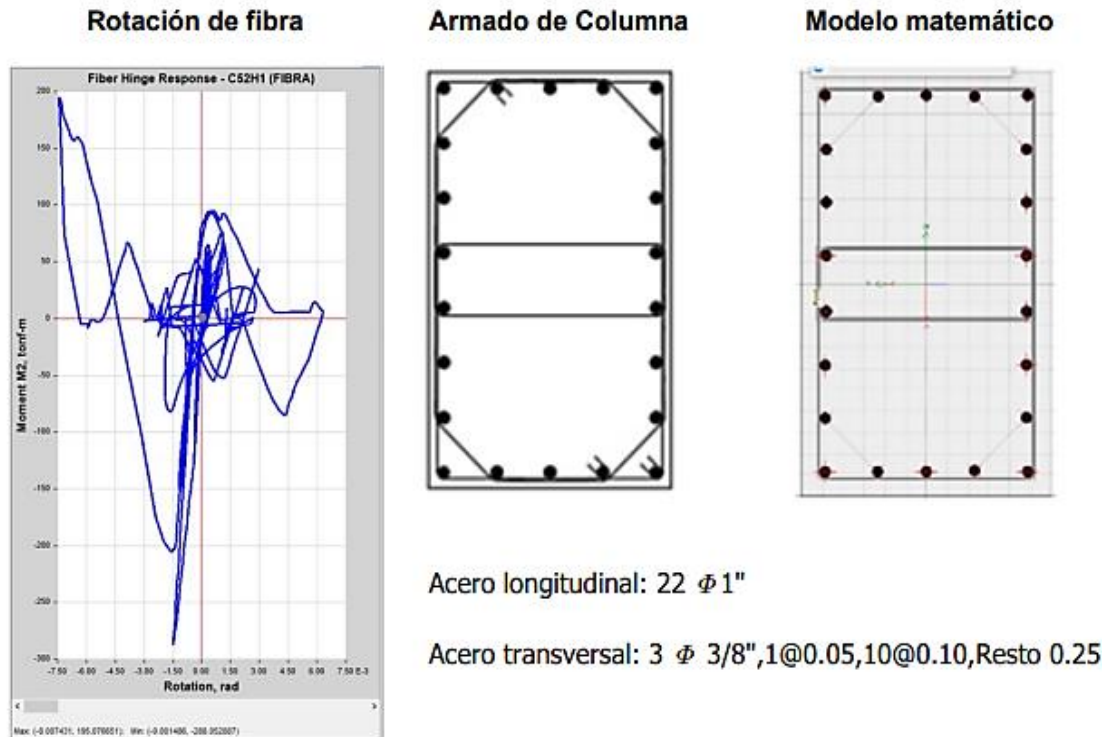


Nota. Se aprecia una cortante de 90.0075 tonnef y un momento de 294.7906 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 157

Resultado de desempeño para Sismo Iquique 2014 Este a Oeste

Desempeño Columna C52 Sismo Iquique 2014 Dirección Este a Oeste



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm

Base de la sección

Peralte := 100 cm

Peralte de la sección

Separacion_{estribo} := 10 cm

Separación de estribo

Acero_{horiznotan.trans} := $6 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 4.26 \text{ cm}^2$

Acero horizontal transversal

Acero_{longitudinal} := $22 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 112.2 \text{ cm}^2$

Acero longitudinal vertical

$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Resistencia a la compresión de la sección

$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 90 \text{ tonnef}$

Cortante en la fluencia del acero

$N_{ud} := 602 \text{ tonnef}$

Fuerza axial en el elemento

$\varphi_{plastica} := 0.0074$

Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 6000 \text{ cm}^2$$

Área bruta de la sección

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.019$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.94 \text{ m}$$

Peralte efectivo

$$V_{\text{col.E}} = 248.404 \text{ tonnef}$$

Capacidad al corte de la sección

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max\left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{yE}}{V_{\text{col.E}}}\right)\right) = 0.019$$

$$b := \max\left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min\left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5\right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} - 0.01\right), a\right) = 0.019$$

$$c := \max\left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}\right) = 0.097$$

Calculo de limites de desempeño

$$IO := 0.15 \cdot a = 0.0028$$

Rotación limite para un desempeño de operatividad continua

$$LS := 0.5 \cdot b = 0.0094$$

Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida

$$CP := 0.7 \cdot b = 0.013$$

Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso

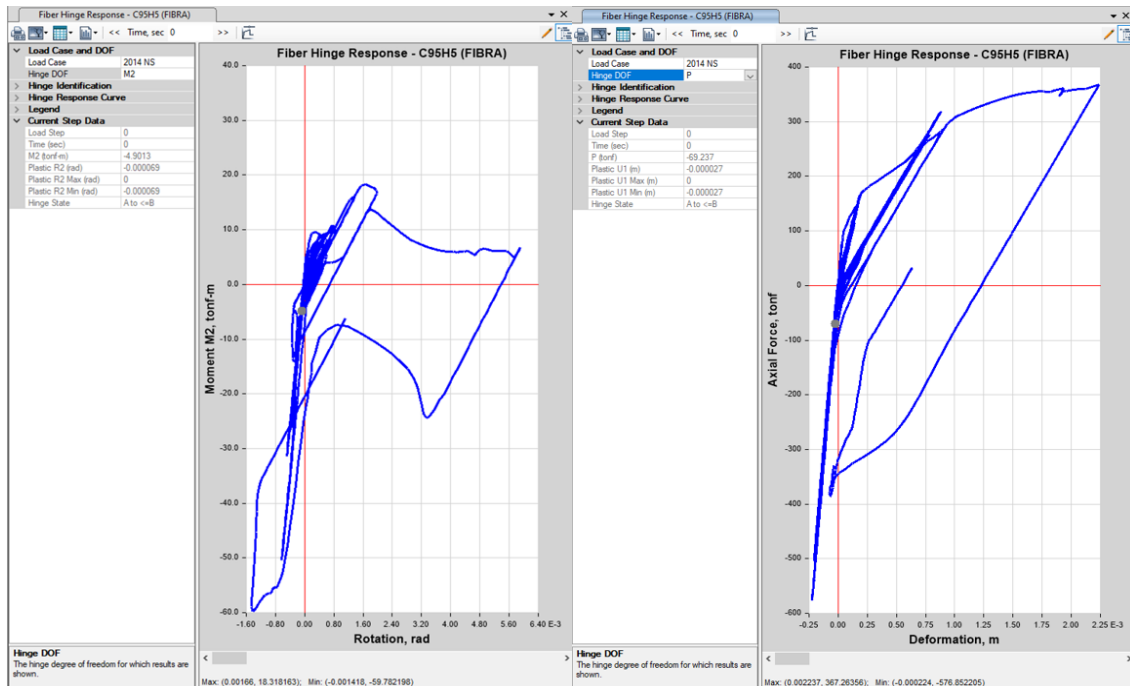
Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \begin{cases} \text{if } \varphi_{\text{plastica}} < IO \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \\ \text{if } IO < \varphi_{\text{plastica}} < LS \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \\ \text{if } LS < \varphi_{\text{plastica}} < CP \\ \quad \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \end{cases} = \text{"Resguardo de vida"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de Iquique 2014 dirección Este a Oeste, fue representado para el elemento más crítico C52, siendo este clasificado en un desempeño de Resguardo de vida. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 158

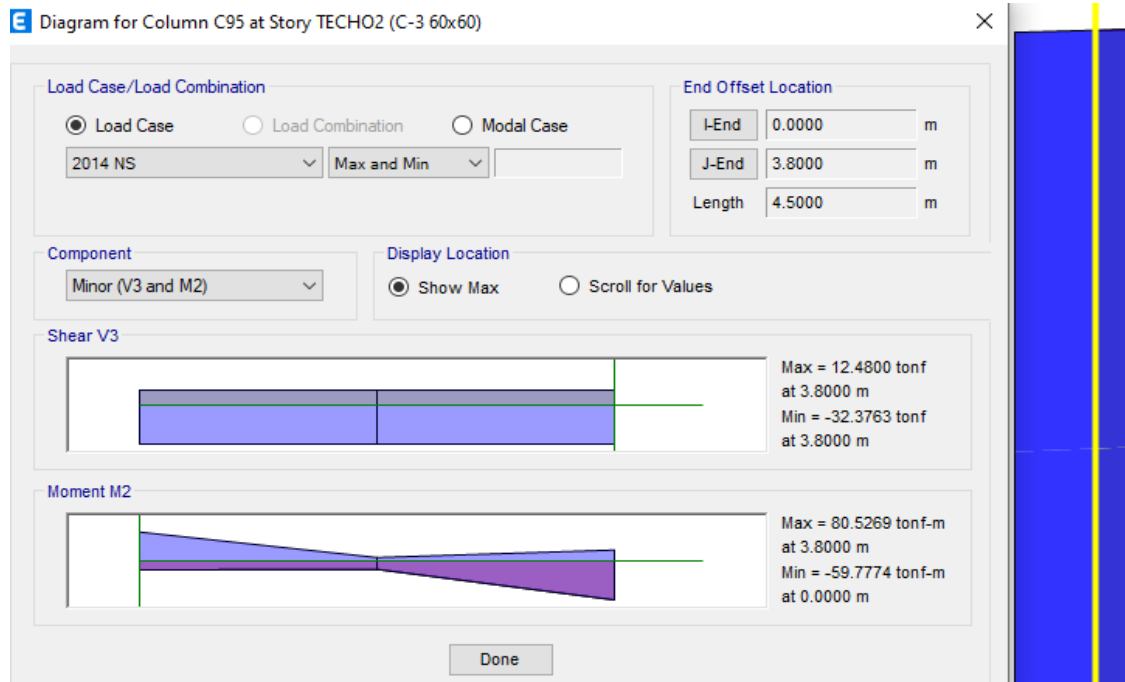
Respuesta de fibra plástica en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo Iquique 2014 direccion Norte a Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 159

Cortante y Momento actuante en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur

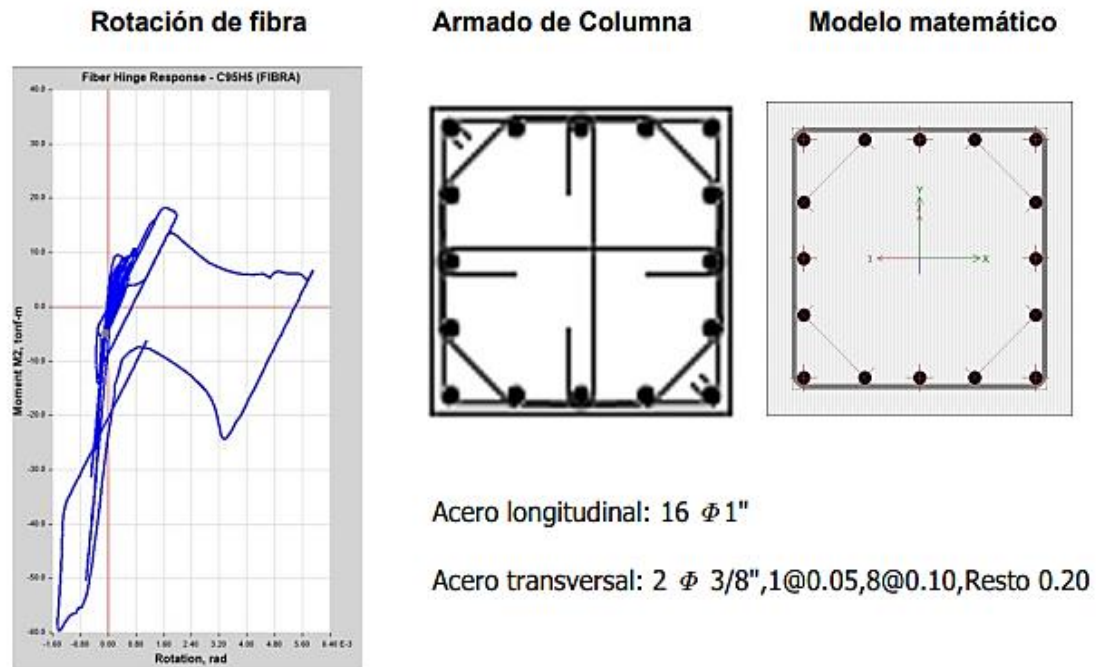


Nota. Se aprecia una cortante de 32.3763 tonnef y un momento de 80.5269 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 160

Resultado de desempeño para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur

Desempeño Columna C95 Sismo Iquique 2014 Dirección Norte a Sur



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm	Base de la sección
Peralte := 60 cm	Peralte de la sección
Separacion _{estribo} := 10 cm	Separación de estribo
Acero _{horiznotan.trans} := $3 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 2.13 \text{ cm}^2$	Acero horizontal transversal
Acero _{longitudinal} := $16 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 81.6 \text{ cm}^2$	Acero longitudinal vertical
$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Resistencia a la compresión de la sección
$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$	Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 32.3763 \text{ tonnef}$	Cortante en la fluencia del acero
$N_{ud} := 367 \text{ tonnef}$	Fuerza axial en el elemento
$\varphi_{plastica} := 0.0059$	Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 3600 \text{ cm}^2 \quad \text{Área bruta de la sección}$$

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001 \quad \text{Cuantía horizontal de la sección}$$

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.023 \quad \text{Cuantía horizontal de la sección}$$

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.54 \text{ m} \quad \text{Peralte efectivo}$$

$$V_{\text{col.E}} = 94.392 \text{ tonnef} \quad \text{Capacidad al corte de la sección}$$

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max \left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{yE}}{V_{\text{col.E}}} \right) \right) = 0.019$$

$$b := \max \left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min \left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5 \right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} - 0.01 \right), a \right) = 0.019$$

$$c := \max \left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} \right) = 0.094$$

Calculo de limites de desempeño

$$IO := 0.15 \cdot a = 0.0028 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de operatividad continua}$$

$$LS := 0.5 \cdot b = 0.0094 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida}$$

$$CP := 0.7 \cdot b = 0.013 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso}$$

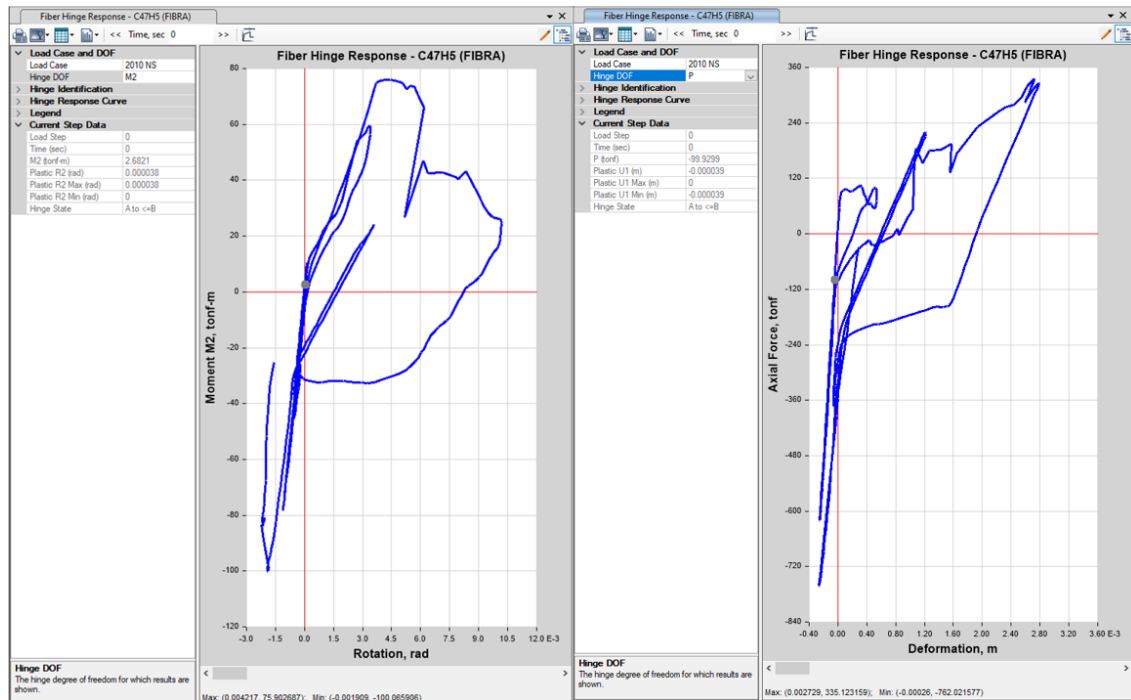
Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \phi_{\text{plastica}} < IO \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \end{array} \right. \\ \text{if } IO < \phi_{\text{plastica}} < LS \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \end{array} \right. \\ \text{if } LS < \phi_{\text{plastica}} < CP \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \end{array} \right. \end{array} \right. = \text{"Resguardo de vida"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de Iquique 2014 dirección Norte a Sur, fue representado para el elemento más crítico C95, siendo este clasificado en un desempeño de Resguardo de vida. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 161

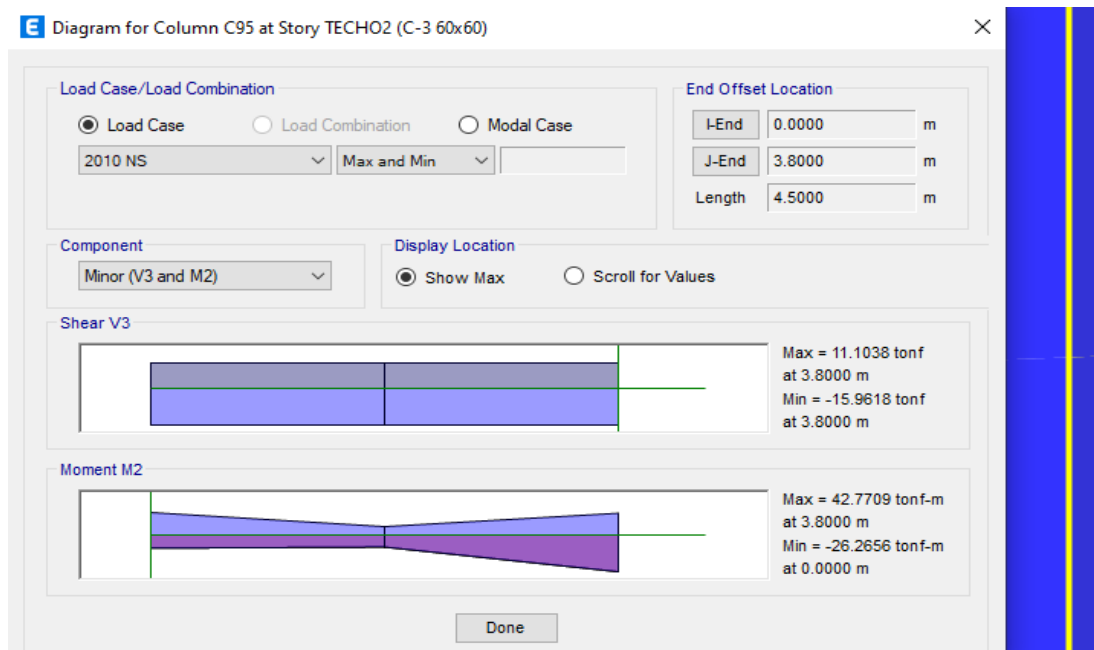
Respuesta de fibra plástica en columna C47 para Sismo Tacna 2010 Norte a Sur



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo Tacna 2010 direccion Norte a Sur. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 162

Cortante y Momento actuante en columna C95 para Sismo Iquique 2014 Norte a Sur

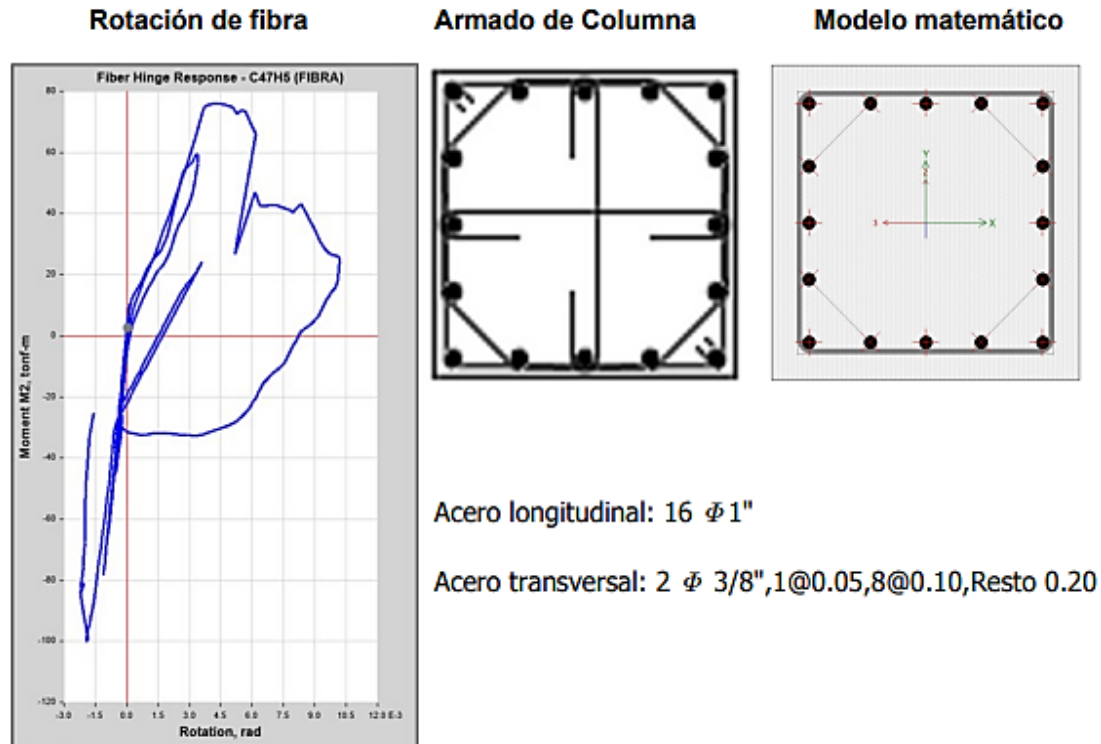


Nota. Se aprecia una cortante de 15.9618tonnef y un momento de 42.7709 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 163

Resultado de desempeño para Sismo Tacna 2010 Norte a Sur

Desempeño Columna C47 Sismo Tacna 2010 Dirección Norte a Sur



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm

Base de la sección

Peralte := 60 cm

Peralte de la sección

Separación_{estribo} := 10 cm

Separación de estribo

Acero_{horizotan.trans} := $3 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 2.13 \text{ cm}^2$

Acero horizontal transversal

Acero_{longitudinal} := $16 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 81.6 \text{ cm}^2$

Acero longitudinal vertical

$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Resistencia a la compresión de la sección

$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 15.9618 \text{ tonnef}$

Cortante en la fluencia del acero

$N_{ud} := 335 \text{ tonnef}$

Fuerza axial en el elemento

$\varphi_{plastica} := 0.0012$

Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 3600 \text{ cm}^2$$

Área bruta de la sección

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.023$$

Cuantía horizontal de la sección

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.54 \text{ m}$$

Peralte efectivo

$$V_{\text{col.E}} = 94.392 \text{ tonnef}$$

Capacidad al corte de la sección

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max \left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{yE}}{V_{\text{col.E}}} \right) \right) = 0.024$$

$$b := \max \left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min \left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5 \right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} \right) - 0.01, a \right) = 0.024$$

$$c := \max \left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} \right) = 0.107$$

Calculo de limites de desempeño

$$\text{IO} := 0.15 \cdot a = 0.0036$$

Rotación limite para un desempeño de operatividad continua

$$\text{LS} := 0.5 \cdot b = 0.0121$$

Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida

$$\text{CP} := 0.7 \cdot b = 0.017$$

Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso

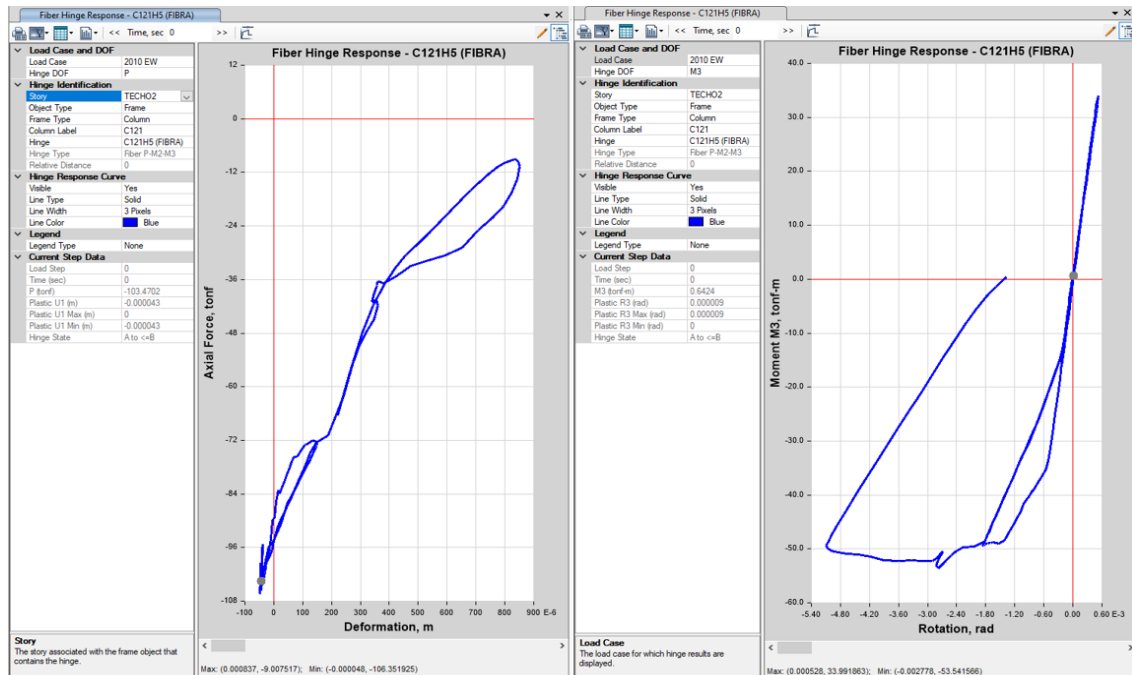
Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \phi_{\text{plastica}} < \text{IO} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \end{array} \right. \\ \text{if } \text{IO} < \phi_{\text{plastica}} < \text{LS} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \end{array} \right. \\ \text{if } \text{LS} < \phi_{\text{plastica}} < \text{CP} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \end{array} \right. \end{array} \right. = \text{"Operatividad Continua"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de Tacna 2010 dirección Norte a Sur, fue representado para el elemento más crítico C47, siendo este clasificado en un desempeño de Operatividad Continua. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 164

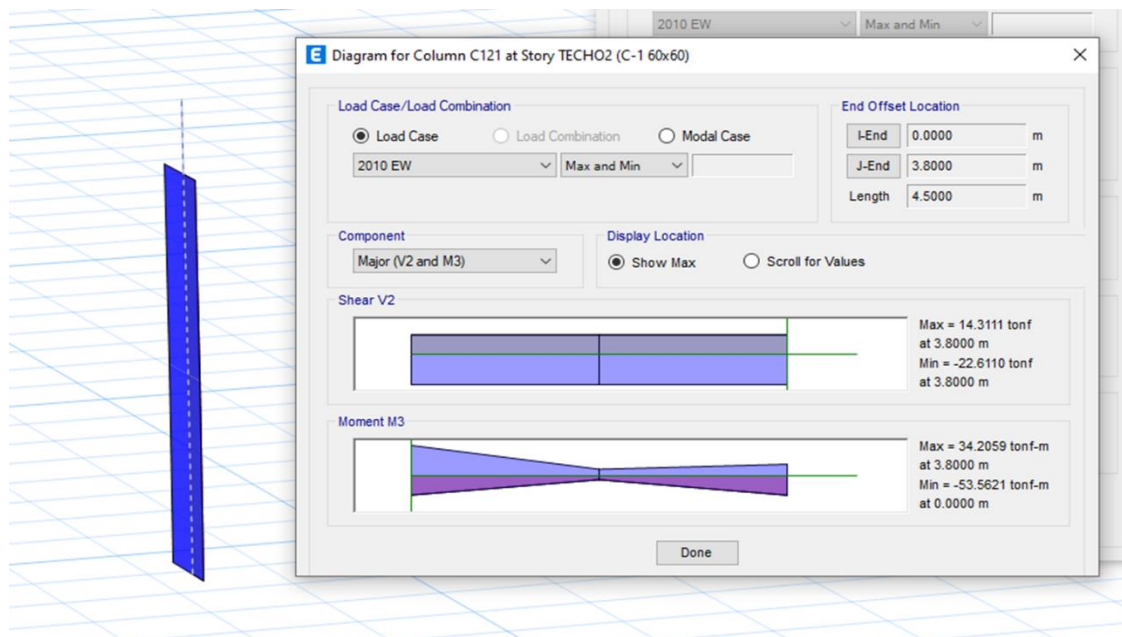
Respuesta de fibra plástica en columna C121 para Sismo Tacna 2010 Este a Oeste



Nota. Se aprecia la respuesta de la fibra no lineal para momento y carga axial, sismo Tacna 2010 dirección Este a Oeste. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 165

Cortante y Momento actuante en columna C121 para Sismo Iquique 2010 Este a Oeste

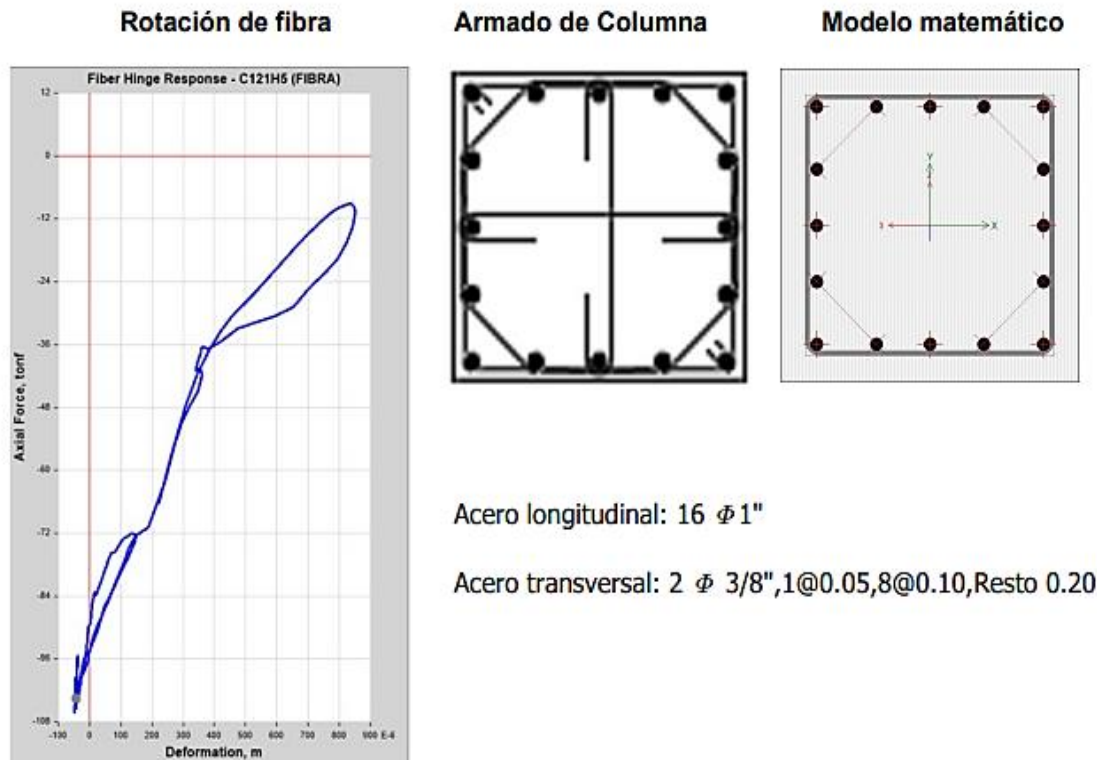


Nota. Se aprecia una cortante de 22.6110 tonnef y un momento de 53.5621 tonnef*m. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 166

Resultado de desempeño para Sismo Tacna 2010 Este a Oeste

Desempeño Columna C121 Sismo Tacna 2010 Dirección Este a Oeste



Propiedades mecánicas de la sección

Base := 60 cm

Base de la sección

Peralte := 60 cm

Peralte de la sección

Separacion_{estribo} := 10 cm

Separación de estribo

Acero_{horiznotan.trans} := $3 \cdot 0.71 \text{ cm}^2 = 2.13 \text{ cm}^2$

Acero horizontal transversal

Acero_{longitudinal} := $16 \cdot 5.1 \text{ cm}^2 = 81.6 \text{ cm}^2$

Acero longitudinal vertical

$f_c := 280 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Resistencia a la compresión de la sección

$f_y := 4200 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$

Esfuerzo de fluencia de la sección

Datos extraídos del análisis no lineal del software

$V_{yE} := 22.6110 \text{ tonnef}$

Cortante en la fluencia del acero

$N_{ud} := -9 \text{ tonnef}$

Fuerza axial en el elemento

$\varphi_{plastica} := 0.00493$

Rotación de la columna (fibra)

Cálculos previos al análisis de desempeño del elemento

$$\text{Area}_{\text{bruta}} := \text{Base} \cdot \text{Peralte} = 3600 \text{ cm}^2 \quad \text{Área bruta de la sección}$$

$$\rho_{\text{horizontal}} := \frac{\text{Acero}_{\text{horiznotan.trans}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.001 \quad \text{Cuantía horizontal de la sección}$$

$$\rho_{\text{vertical}} := \frac{\text{Acero}_{\text{longitudinal}}}{\text{Area}_{\text{bruta}}} = 0.023 \quad \text{Cuantía horizontal de la sección}$$

$$\text{Peralte}_{\text{efectivo}} := \text{Peralte} - 6 \text{ cm} = 0.54 \text{ m} \quad \text{Peralte efectivo}$$

$$V_{\text{col.E}} = 94.392 \text{ tonnef} \quad \text{Capacidad al corte de la sección}$$

Calculo de coeficientes del ASCE/SEI 41-17

$$a := \max \left(0, \left(0.042 - 0.043 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} + 0.63 \cdot \rho_{\text{horizontal}} - 0.023 \cdot \frac{V_{\text{yE}}}{V_{\text{col.E}}} \right) \right) = 0.037$$

$$b := \max \left(\left(\frac{0.5}{5 + \frac{1}{0.8} \cdot \min \left(\frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c}, 0.5 \right)} \cdot \frac{1}{\rho_{\text{horizontal}}} \cdot \frac{f_c}{f_y} - 0.01 \right), a \right) = 0.124$$

$$c := \max \left(0, 0.24 - 0.4 \cdot \frac{N_{\text{ud}}}{\text{Area}_{\text{bruta}} \cdot f_c} \right) = 0.244$$

Calculo de limites de desempeño

$$\text{IO} := 0.15 \cdot a = 0.0056 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de operatividad continua}$$

$$\text{LS} := 0.5 \cdot b = 0.0618 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de resguardo de vida}$$

$$\text{CP} := 0.7 \cdot b = 0.087 \quad \text{Rotación limite para un desempeño de cerca al colapso}$$

Desempeño del elemento estructural

$$\text{Desempeño}_{\text{elemento}} := \left\{ \begin{array}{l} \text{if } \phi_{\text{plastica}} < \text{IO} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Operatividad Continua"} \end{array} \right\} \\ \text{if } \text{IO} < \phi_{\text{plastica}} < \text{LS} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Resguardo de vida"} \end{array} \right\} \\ \text{if } \text{LS} < \phi_{\text{plastica}} < \text{CP} \\ \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{Desempeño}_{\text{elemento}} \leftarrow \text{"Cerca al colapso"} \end{array} \right\} \end{array} \right\} = \text{"Operatividad Continua"}$$

Nota. El formato que se observa fue desarrollado como mathcad de tal manera que se presenta como ilustración o figura, el desempeño de la estructura para el sismo de Tacna 2010 dirección Este a Oeste, fue representado para el elemento más crítico C121, siendo este clasificado en un desempeño de Operatividad Continua. Fuente: Elaboración Propia.

4.4. Balance Energético mediante análisis no lineal tiempo historia

Realizado el análisis No lineal tiempo Historia, podemos obtener como resultado una adecuada distribución de energía entre la edificación y el sistema de protección sísmica, como se muestra en las Figuras 168, 169, 170, 171, 172 y 173, para esto se cumple el principio de conservación de energía, la energía externa en magnitud es igual a la interna como se observa en la Tabla 19, por consiguiente, la energía se repartirá entre la edificación y los disipadores Shear Link Bozzo, observando que los disipadores Shear Link Bozzo absorben un promedio de 74.45% de la energía total introducida, tal como se ilustra en la Figura 167.

Tabla 19

Porcentaje de energía absorbida por disipadores histeréticos

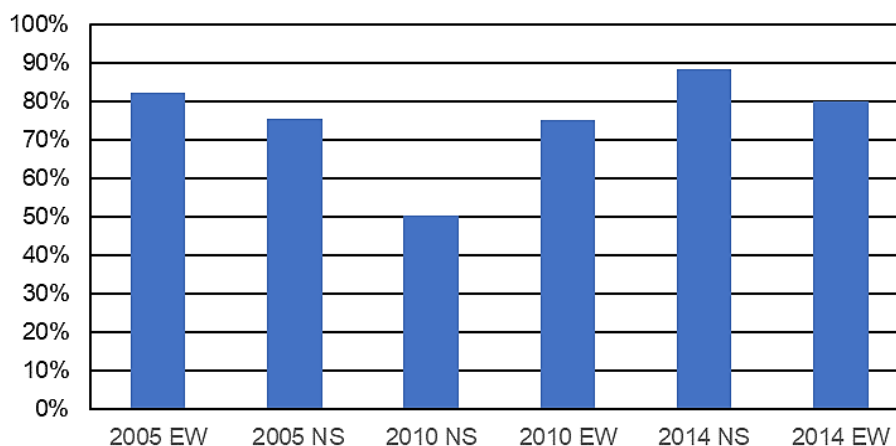
Registro	Energía Potencial (tonnef*m)	Energía Amortiguamiento Global (tonnef*m)	Energía Amortiguamiento Histerético No lineal (tonnef*m)	Máxima energía acumulada (tonnef*m)	% NHD
2005 EW	180.4037	451.3699	2976.2994	3608.0730	82.49
2005 NS	144.3229	735.3253	2728.4248	3608.0730	75.62
2010 NS	46.7068	184.8655	235.4957	467.0680	50.42
2010 EW	150.9728	594.8328	2273.6504	3019.4560	75.30
2014 NS	384.2939	249.2420	4856.3763	5489.9122	88.46
2014 EW	141.9187	454.7436	2422.8837	3019.5460	80.24

Nota. Siendo el sismo de Tarapaca del 2005, Tacna 2010 e Iquique en el 2014, el termino NHD hace referencia al valor porcentual de la energía de amortiguamiento histeretico absorbido por los disipadores Shear Link Bozzo de la energía maxima acumulada. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 167

Porcentaje de energía absorbida por los disipadores Shear Link Bozzo

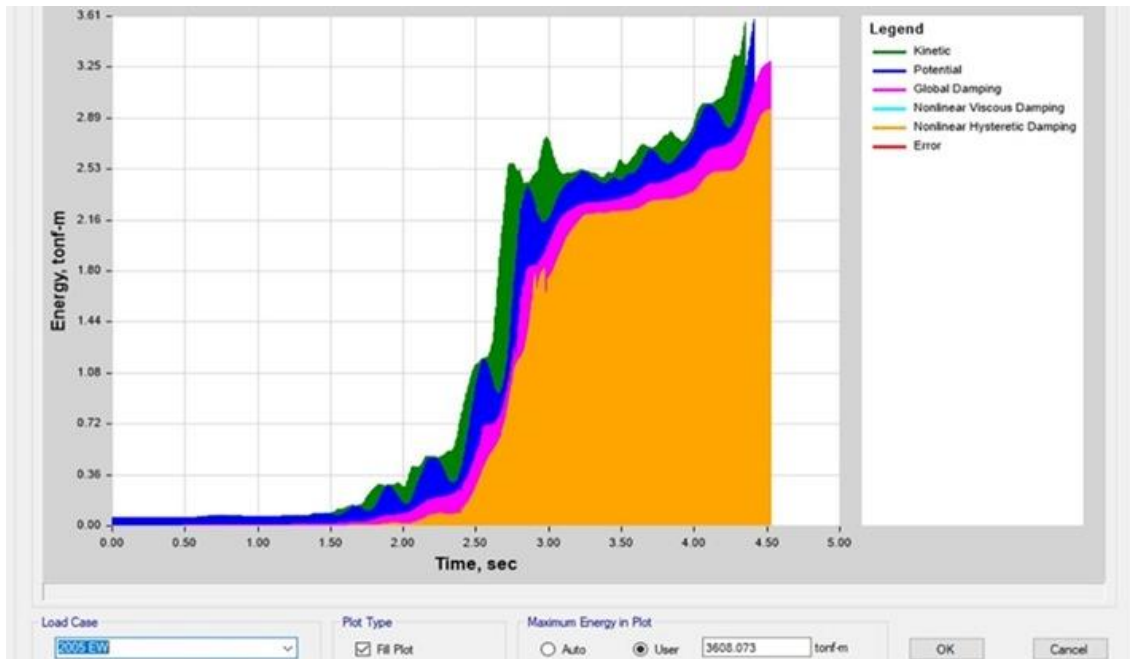
Porcentaje de Energía absorbida por los disipadores Shear Link Bozzo



Nota. los disipadores SLB absorben un promedio de 74.45% de la energía total. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 168

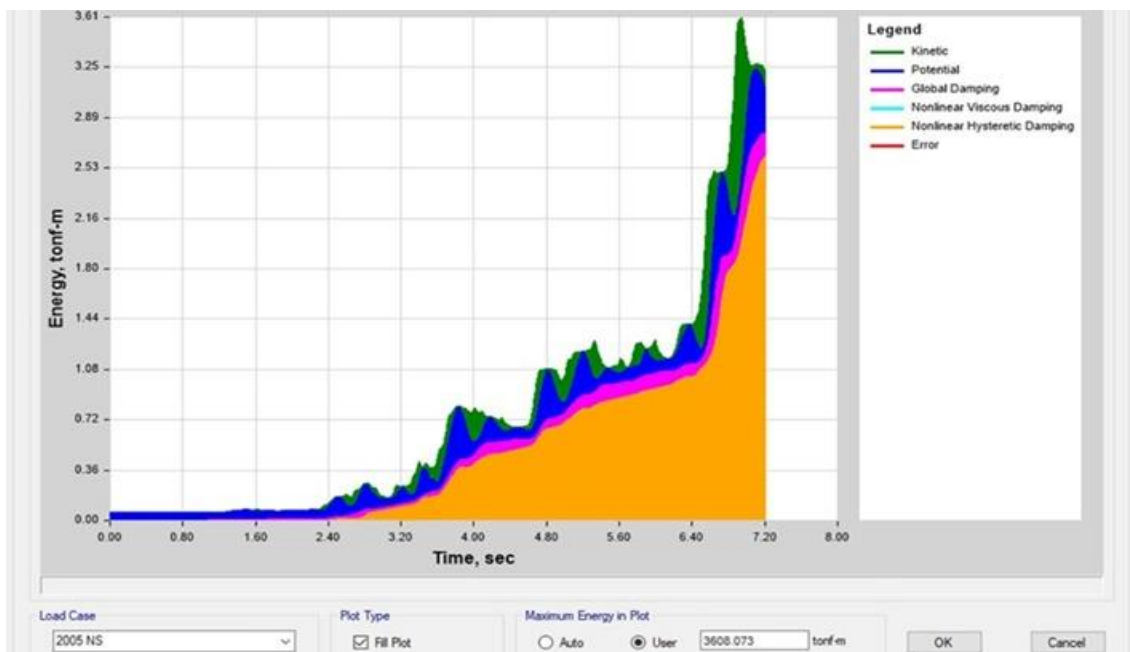
Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tarapacá 2005 EW



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energia que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 169

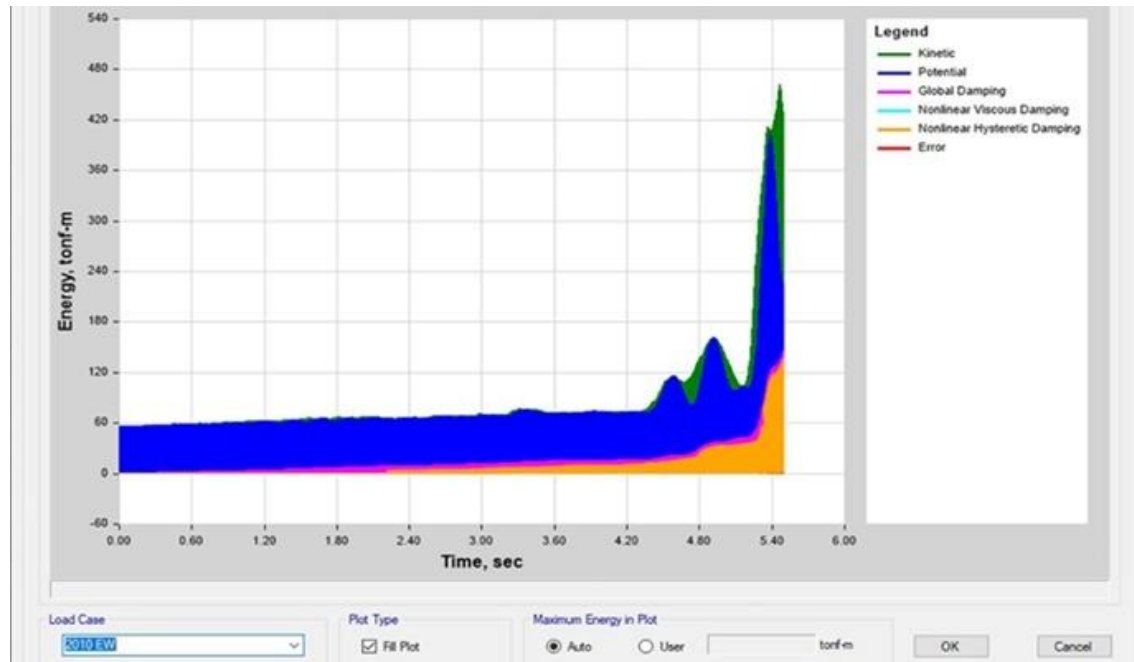
Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tarapacá 2005 NS



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energia que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 170

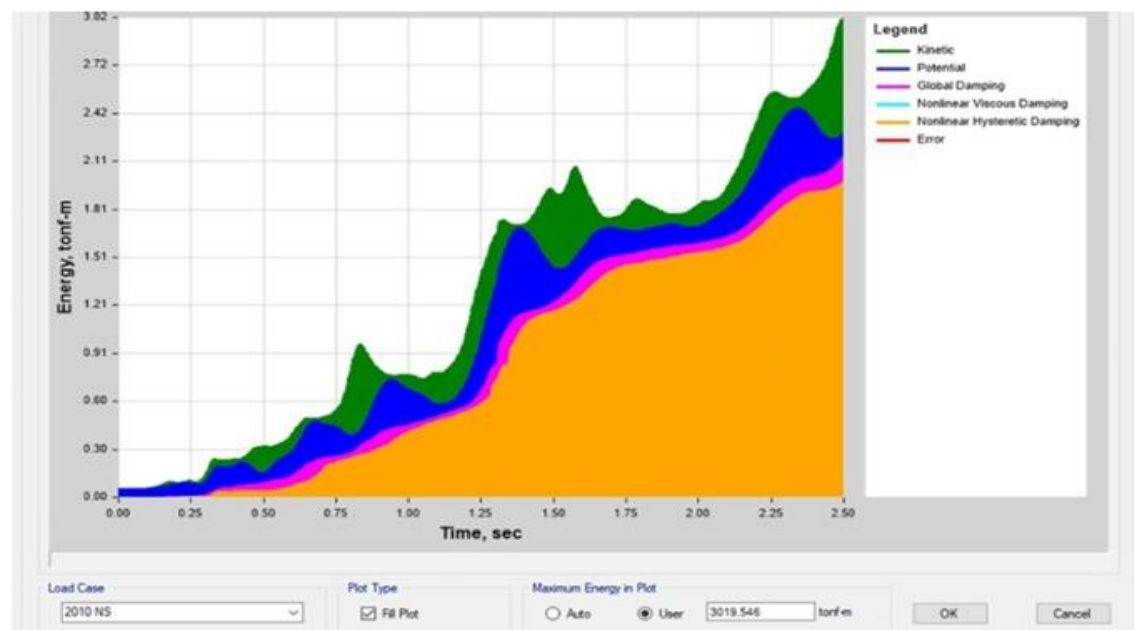
Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tacna 2010 EW



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energía que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 171

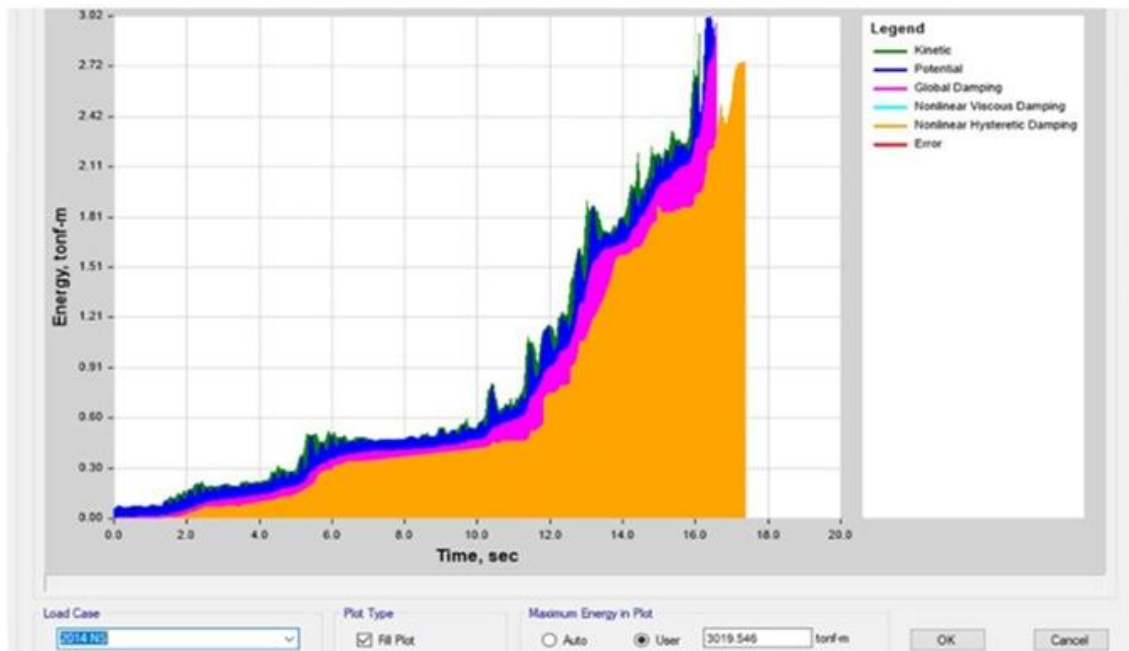
Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Tacna 2010 NS



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energía que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 172

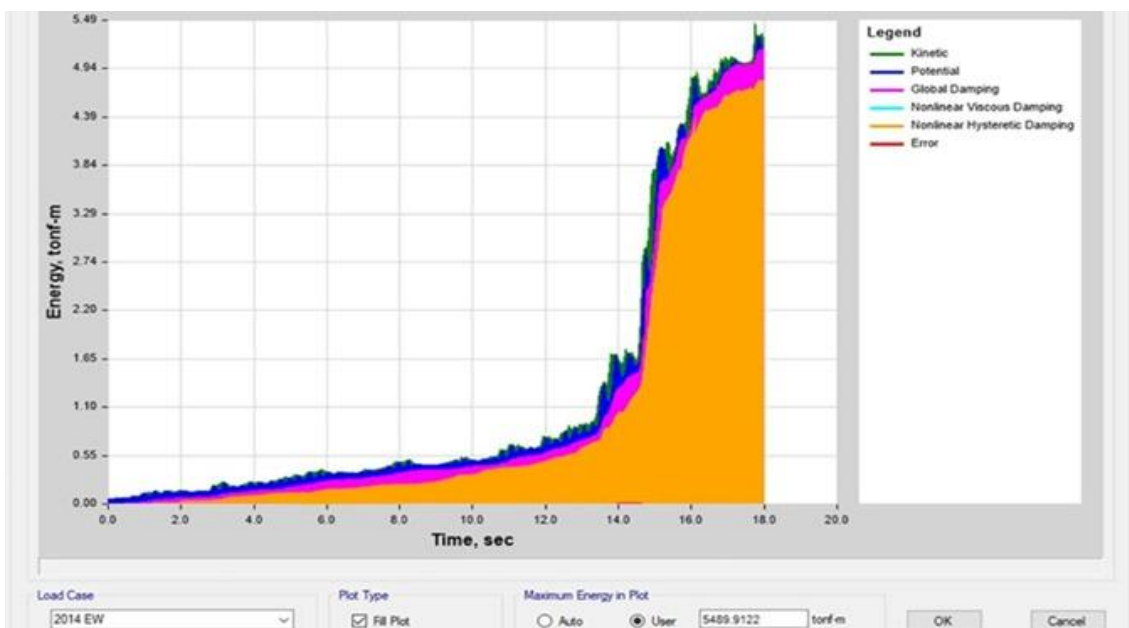
Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Iquique 2014 NS



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energía que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 173

Distribución de energía en la estructura proveniente del sismo de Iquique 2014 EW



Nota. Podemos apreciar un correcto balance energetico, ademas de una clara apreciacion de la cantidad de energía que absorben los disipadores histereticos Shear. Fuente: Elaboración Propia.

4.5. Resultado de costo directo de sistema disipadores Shear Link Bozzo

Para estimar el costo que demandará el sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo, los suscritos se realizó un metrado casi exacto siendo el resultado de la cantidad de materiales y componentes que demandaran la instalación del sistema como muros desacoplados, arriostres Chevron y los mismos dispositivos. En las Tablas 20 y 21, se mostrarán mencionados resultados.

Tabla 20

Resultado de cantidad de arriostres Chevron y muros desacoplados

Descripción	Numero de Arriostre chevron	Numero de Muro desacoplados	Muros desacoplados	
			longitud	Altura
Pórtico A-A	0	7	52.2	3.05
Pórtico B-B	0	13	75.9	3.05
Pórtico C-C	0	0	0	3.05
Pórtico C"-C"	0	7	48.3	3.05
Pórtico D-D	0	14	107.1	3.05
Pórtico E-E	4	0	0	3.05
Pórtico F-F	4	0	0	3.05
Pórtico G-G	6	0	0	3.05
Pórtico H"-H"	0	7	44.45	3.05
Pórtico I-I	0	7	44.45	3.05
Pórtico J-J	0	7	58.8	3.05
Pórtico K-K	6	0	0	3.05
Pórtico M-M	4	0	0	3.05
Pórtico N-N	7	0	0	3.05
Pórtico P-P	0	23	171.8	3.05
Pórtico 3-3	0	0	0	3.05
Pórtico 4-4	3	12	42.6	3.05
Pórtico 5-5	9	16	114.08	3.05
Pórtico 6-6	35	0	0	3.05
Pórtico 7-7	35	0	0	3.05
Pórtico 8-8	12	0	0	3.05
Pórtico 9-9	10	0	0	3.05
Pórtico 10-10	0	14	77.05	3.05

Nota. Siendo el arriostre Chevron de 200mm x 200mm x 5mm, y los muros desacoplados de espesor de 25cm, se muestra la cantidad de componentes por cada eje de cada porticos complementado con disipadores Shear Link Bozzo, la longitud se midió de manera general en todo el portico. Fuente: Elaboración Propia.

Tabla 21

Resultados de materiales para la instalación de sistemas de disipadores Shear Link Bozzo

Descripción	Muros Desacoplados Volumen (m)	Longitud de Arriostre (m)	Numero de disipadores SLB
Pórtico A-A	39.8025	0	18
Pórtico B-B	57.87375	0	34
Pórtico C-C	0	0	0
Pórtico C"-C"	36.82875	0	21
Pórtico D-D	81.66375	0	49
Pórtico E-E	0	50.239	4
Pórtico F-F	0	50.239	4
Pórtico G-G	0	75.2902	6
Pórtico H-H	0	0	0
Pórtico H"-H"	33.893125	0	0
Pórtico I-I	33.893125	0	0
Pórtico J-J	44.835	0	28
Pórtico K-K	0	75.2902	6
Pórtico K""-K""	0	0	0
Pórtico M-M	0	50.239	4
Pórtico N-N	0	87.681	7
Pórtico O-O	0	0	0
Pórtico P-P	130.9975	0	73
Pórtico 3-3	0	0	0
Pórtico 4-4	32.4825	32.576	15
Pórtico 5-5	86.986	105.791	49
Pórtico 6-6	0	390.1658	35
Pórtico 7-7	0	390.1658	35
Pórtico 8-8	0	140.587	12
Pórtico 9-9	0	112.5488	10
Pórtico 10-10	58.750625	0	26
Total	638.006625	1560.8126	436
Numero de Perfiles		260	
Metros cúbicos para muros desacoplados		638.0066 m ³	
Numero de dispositivos SLB		436	

Nota. Se muestra la cantidad de metro cubicos que demaran la instalacion de muros desacoplados siendo un numero excedente debido a que muchos muros desacoplados seran reemplazo de muros tabiques de concreto, sin embargo para traslucidez de los resultados de la investigacion, los suscriptor no disminuir la cantidad estimada. Fuente: Elaboración Propia.

Los suscritos elevaron la consulta a la oficina de SLB device en España y a el despacho de Postensa S.A.C en Peru – Lima, para poder tener un precio unitario del requerimiento de los dispositivos y componentes (precio del dispositivo e instalación), de esta manera se llegó al resultado del costo y presupuesto como se observa en la Tabla 22, que demandaría el sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna siendo un costo de tres millones trescientos cuarenta y un mil soles.

Tabla 22

Resultado de costo total de sistema de protección sísmica

	Cantidad	Precio Unitario	Total
Muros Desacoplados	638.006625	580	S/ 370,043.84
Cantidad de arriostres	260	900	S/ 234,500.00
Disipadores Shear Link B.	436	6800	S/ 2,964,800.00
Costo Total			S/ 3,341,343.84

Nota. Cabe recalcar que el monto mostrado tendería a ser inferior si descontamos el sobreconteo de los muros desacoplados, debido a que los mismos reemplazarán a muros tabiques de concreto armado del mismo espesor y muros de albañilería no confinada. Fuente: Elaboración Propia.

Para calcular el costo que significa la implementación del sistema de protección de aislamiento de base. Los suscritos referenciarán el expediente primigenio del hospital, donde se extrajo los datos necesarios como el costo de sistema de aisladores, mostrado en la Tabla 23 podemos apreciar un costo de seis millones setecientos cuarenta y dos mil soles, precio muy superior a la propuesta con disipadores Histeréticos Shear Link Bozzo.

Tabla 23

Resultado de costo total de sistema de protección con aislamiento de base

	Precio Total
Capiteles	S/ 223,558.26
Pedestales	S/ 514,414.65
Vigas de aislamiento	S/ 700,556.10
Losa de aislamiento	S/ 983,409.48
Aisladores (producto e instalación)	S/ 4,320,391.76
Total	S/ 6,742,330.25

Nota. Señalamos que el monto es a nivel de expediente, puesto que en la ejecución represento una cifra mayor, sin embargo esta peculiaridad no es síntesis de la presente investigación ya que a su vez también es parte de una formulación o propuesta. Fuente: Elaboración Propia.

CAPÍTULO V: DISCUSIÓN

5.1. Discusión del estado límite de daño estructural al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna

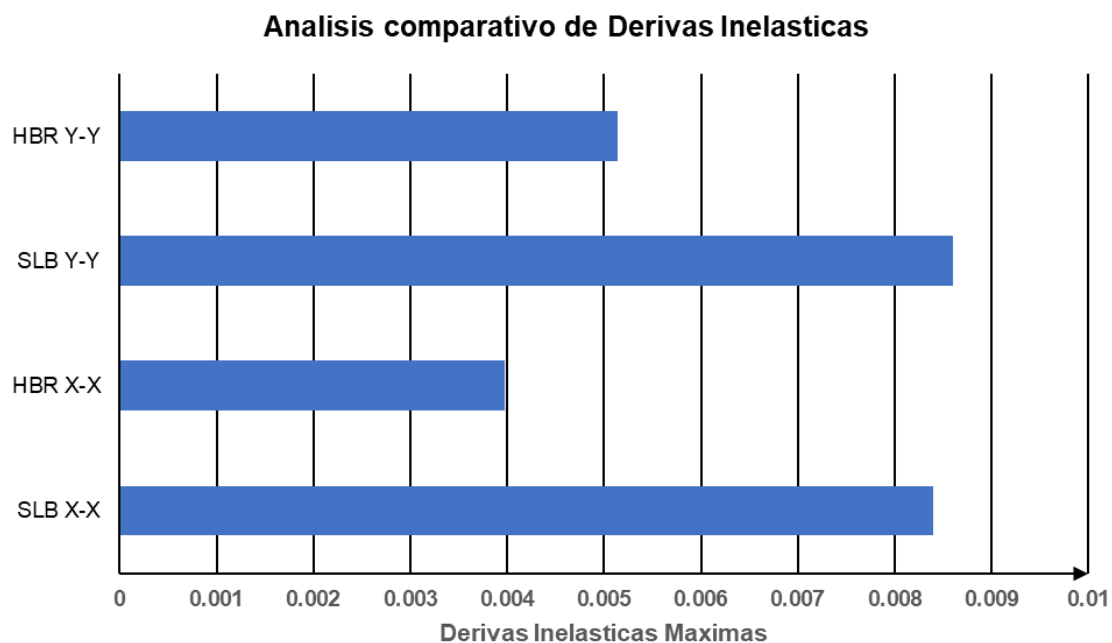
El sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo mediante los cálculos y análisis realizados garantizó un desempeño de operatividad continua, sin embargo, los resultados pudieron ser aún más conservadores y se debió obtener una mejor eficiencia de los disipadores Shear Link Bozzo si la concepción del expediente con las demás especialidades se hubiera formulado simultáneamente, de esta manera, la edificación se hubiese adaptado mejor al sistema y viceversa. Tomando en consideración ello, aun así, el resultado fue óptimo; al igual que, el aislamiento de base, el sistema propuesto de disipadores Shear Link Bozzo también garantiza la resiliencia sísmica para el Hospital Hipólito Unanue de Tacna, Figura 174.

El sistema de aislamiento debido a la ventaja geométrica de la edificación, siendo robusta y relativamente mediana logró menores desplazamientos Figura 175, de plantear el sistema de protección sísmica Shear Link Bozzo desde la etapa de formulación con las demás especialidades la diferencia se hubiese aminorado, Sin embargo, el sistema de disipadores Shear Link Bozzo cumplió con los requisitos normativos por los lineamientos vigentes en E030. Y el objetivo de desempeño planteado por los suscritos haciendo referencia a la normativa internacional americana ASCE 41-17. Además, se encuentran inciertos algunos cálculos en la memoria de cálculo original del expediente técnico primigenio del hospital Hipólito Unanue, debido a que por problemas de estándares de calidad y concepción matemática, demostró resultados totalmente discernientes a los encontrados, este incidente aventaja el cálculo matemático del desempeño de la edificación con disipadores Shear Link Bozzo debido los cuales demuestran resultados de cálculos en efecto más realistas, brindando la acción de estimar adecuadamente los grados de confiabilidad estructural que se deberán plantear al momento de realizar un análisis no lineal.

Para complementar la discusión sobre el resultado de desempeño, los suscritos señalan que se registró un caso similar en Ancash, siendo el mismo defecto de problemas de estándares de calidad y enfoque matemático en el sistema de aislamiento, agrandando la brecha y ventajas del sistema de disipadores Shear Link Bozzo sobre el mencionado.

Figura 174

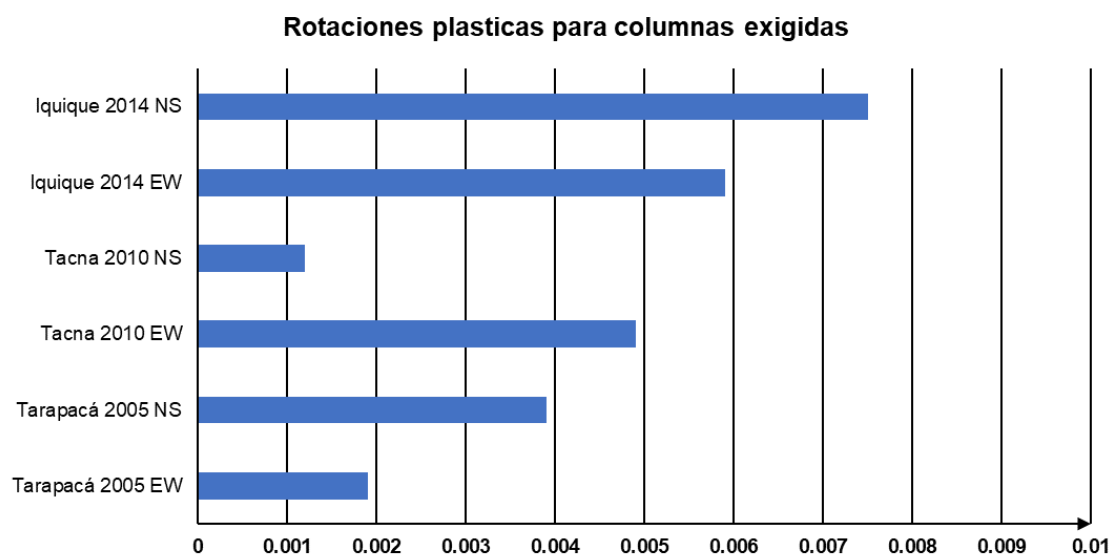
Análisis comparativo de derivas Inelásticas entre el sistema de aislamiento y el sistema de disipadores Shear Link Bozzo



Nota. Siendo HBR el sistema de aislamiento de alto amortiguamiento concebido en el expediente primigenio del hospital Hipólito Unanue de Tacna y SLB, el sistema propuesta de disipadores Histeréticos Shear Link Bozzo. Fuente: Elaboración Propia.

Figura 175

Rotaciones plásticas para columnas críticas exigidas



Nota. Se aprecia las rotaciones de cada columna crítica por cada caso sismo no lineal tiempo historia para la edificación con disipadores Shear Link Bozzo, teniendo en el eje principal los casos de sismo y en el eje secundario el rango de rotaciones alcanzado. Fuente: Elaboración Propia.

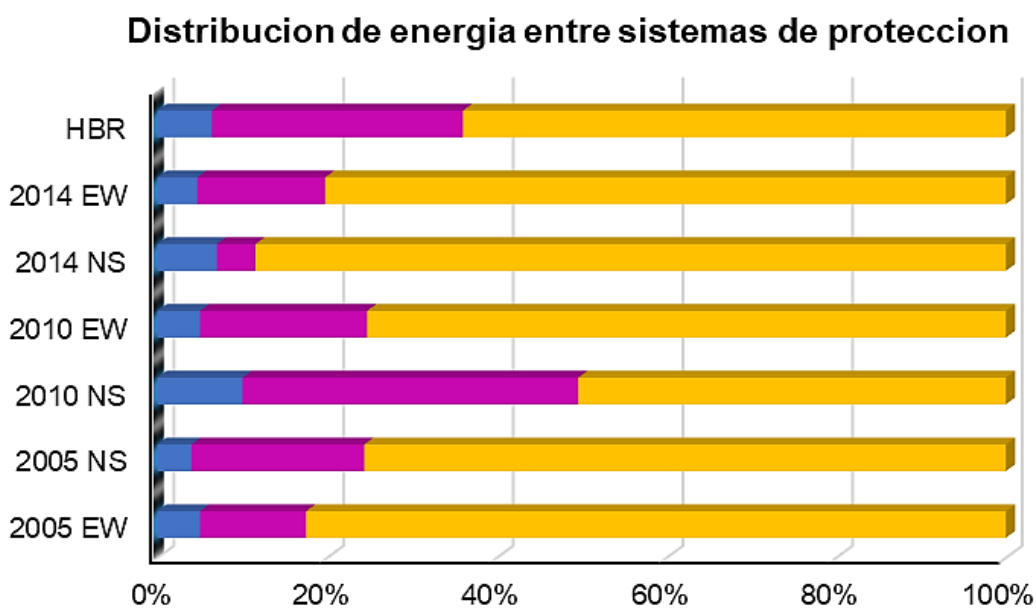
5.2. Discusión del balance energético entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna

En el acápite 4.2 de la presente investigación, apreciamos un resultado promedio de absorción y disipaciones de la energía del 75% por los disipadores Shear Link Bozzo, los suscritos discuten dicho resultado y aseveran de haberse realizado la concepción desde la etapa de formulación en coordinación con las demás especialidades, dichos resultados se hubiesen incrementado sobrepasando el 80%, aun así, el resultado fue óptimo. En comparativa con el sistema de aislamiento, conceptualmente es incierto tener un correcto balance energético con cálculos que se asemejen a la realidad, sin embargo, observamos el expediente primigenio del hospital Hipólito Unanue una distribución del 64%.

Para tener el valor conceptual de balance energético del 64% mostrado en la Tabla 176 de la presente investigación con el sistema de aislamiento, la superestructura deberá tener un movimiento inercial acorde al sistema de aislamiento, observamos que para el Hospital Hipólito Unanue mencionada característica es falsa debido al problema registrado de deformada residual por contracciones de temperatura y fallos en los estándares de calidad. Esto aleja en demasía la ventaja del sistema de disipadores SLB.

Figura 176

Discusión del balance energético con disipadores SLB y HBR



Nota. Siendo HBR, el sistema de aislamiento de alto amortiguamiento insitu, Siendo el color naranja la energía absorbida la histeresis de los dispositivos, color violeta amortiguamiento global y azul siendo la energía potencial. Fuente: Elaboración Propia.

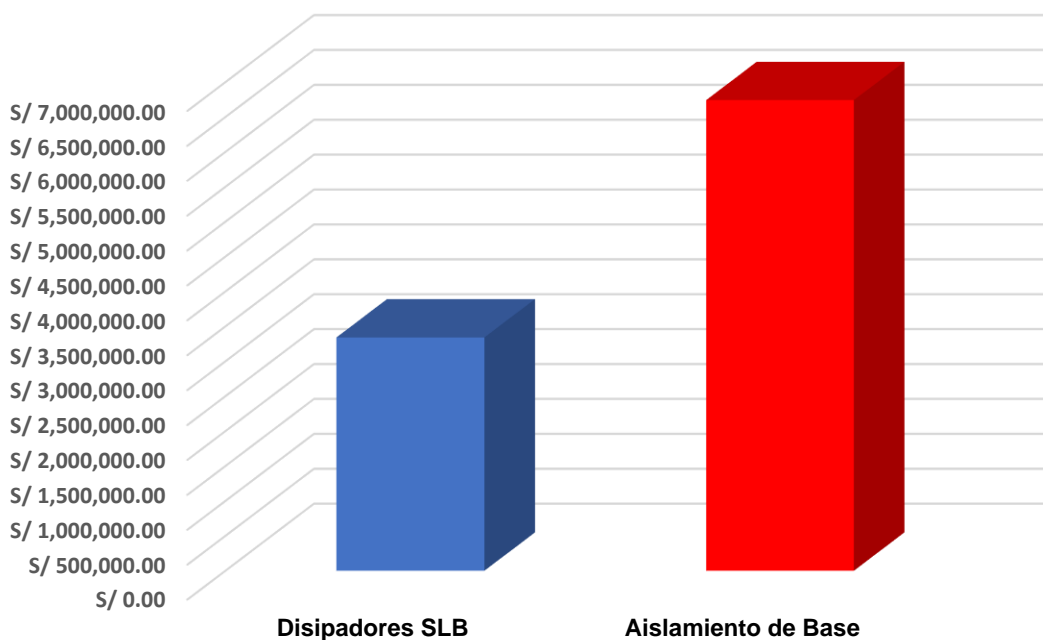
5.3. Discusión de la diferencia de costo de implementación de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el hospital Hipólito Unanue de Tacna

Realizado los cálculos el sistema de disipadores Shear Link Bozzo presento un sistema más económico con una diferencia de tres millones trescientos mil soles, sin embargo los suscritos señalan que esta cifra de diferencia se hubiera alejado aún más, si se hubiese contado con un planeamiento inicial del expediente con el sistema Shear Link Bozzo, además que la mayoría de los muros desacoplados tuvieron consideración en la estimación del precio del sistema, cuando no debió ser así por ser un muro reemplazante a otro elemento tabique ya siendo considerado en el presupuesto original.

Los suscritos señalan que en la practica el sistema de aislamiento demando aún mayores gastos como se observa en la Figura 177 y teniendo en cuenta el exorbitante costo de mantenimiento lo hace un sistema con una viabilidad económica mayor al sistema de disipadores Shear Link Bozzo.

Figura 177

Diferencia de precio entre sistemas de protección sísmica



Nota. Se aprecia en la barra de color azul a el costo estimado de instalacion de disipadores Shear Link Bozzo y siendo la barra de color rojo al aislamiento de base, en el eje principal los rangos de montos en unidades de soles. Fuente: Elaboración Propia.

CONCLUSIONES

Tras llevar a cabo un exhaustivo análisis comparativo respecto a la eficiencia y viabilidad económica, se concluye que los disipadores Shear Link Bozzo son la elección más adecuada como sistema de protección sísmica para el hospital Hipólito Unanue de la ciudad Tacna.

De acuerdo al análisis no lineal tiempo historia realizado y los resultados obtenidos en la presente investigación, en función a los lineamientos vigentes en la normativa nacional E.030 y la normativa internacional americana ASCE/SEI41-17, los disipadores Shear Link Bozzo como sistema de protección sísmica en reemplazo del sistema de aislamiento, satisfacen un nivel de desempeño de operatividad continua, caracterizando resiliencia sísmica en el Hospital Hipólito Unanue, por lo que consideramos como muy eficiente la alternativa propuesta.

La distribución de energía o balance energético de la edificación con el sistema de protección sísmica de disipadores Shear Link Bozzo es adecuado, absorbiendo un 75% en promedio de acuerdo a los resultados obtenidos en el acápite 4.4 de la presente investigación, presentando ventaja en términos energéticos en demasía al sistema de aislamiento de base.

Satisfaciendo la resiliencia sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna, los disipadores Shear Link Bozzo, representan un costo e instalación menor al sistema de aislamiento de base, en esta investigación se ha estimado la diferencia de precio en tres millones trescientos mil soles aproximadamente. Siendo el sistema de disipadores Shear Link Bozzo totalmente viable como alternativa de sistema de protección sísmica.

RECOMENDACIONES

Actualmente en nuestro país existen limitaciones sobre el uso de otras alternabas y/o opciones de sistemas de protección sísmica desde los lineamientos de la normativa, por lo que, recomendamos a los integrantes del departamento normalización actualizar y mejorar el marco normativo.

Dentro de nuestro territorio en la que vivimos, se encuentran pocas opciones o alternativas en el mercado sobre los sistemas de protección fabricados en el Perú, en tal sentido se recomienda al estado peruano promover actividades de investigación y promoción a través de un marco normativo que refleje menores impuesto para investigadores y/o empresas que quieran incursionar en este rubro.

Se recomienda al colegio de ingenieros y universidades programar capacitaciones permanentes sobre el uso de sistemas de protección sísmica que permita a los profesionales nacionales o locales aplicar adecuadamente los conceptos y criterios de análisis estructural.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 360 en concreto. (2023). *Rigidez de las estructuras y resistencia del concreto*. Obtenido de <https://360enconcreto.com/blog/detalle/rigidez-de-las-estructuras-y-resistencia-del-concreto/#:~:text=La%20rigidez%20de%20las%20estructuras%2C%20es%20la%20propiedad%20que%20tiene,sin%20deformarse%20o%20desplazarse%20excesivamente.>
- Alarcón Campos, S. C. (Sertiembre de 2015). *Determinación de la razón de amortiguamiento en vigas de madera para uso en paneles clt*. Obtenido de http://repobib.ubiobio.cl/jspui/bitstream/123456789/1274/1/Alarcon_Campos_Sergio_Carlos.pdf
- Boza Farfan, Z. E., & Galán Tirapo, D. (Abril de 2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron*. Obtenido de https://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/bitstream/handle/20.500.12404/4518/BOZA_ZUEN_Y_GALAN_DANNY_DISIPADORES_ENERGIYA_CHEVRON.pdf?sequence=1
- Bozzo, G. (15 de octubre de 2018). *Universitat politecnica de Catalunya Barcelonatech*. Obtenido de Universitat politecnica de Catalunya Barcelonatech: https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/131255/TFG_GBozzo.pdf?sequence=2&isAllowed=y
- Bozzo, L. M. (10 de Diciembre de 2019). *Análisis y diseño utilizando disipadores sísmicos tipo slb*. Obtenido de file:///E:/19.%20TESIS%20WESAYO/info/Manual_SLB_Devices_Dic19_LBJR_vOffice19.pdf
- Bozzo, L. M. (2019). *Ingeniería Estructural Innovadora*. Obtenido de <https://slbdevices.com/wp-content/uploads/2023/01/Dossier-Luis-Bozzo-y-SLB-Devices.pdf>
- Bustos, P., Pumarejo, F., & Cotte, S. (2017). *Residuos de construcción y demolición (RCD), una perspectiva de aprovechamiento para la ciudad de barranquilla desde su modelo de gestión*. Obtenido de http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S0122-34612017000200533&lng=en&nrm=iso&tlng=es

- Ceballos, A. (16 de Junio de 2019). *Ductilidad en estructuras*. Obtenido de <https://andresceballos2019.wixsite.com/inicio/post/ductilidad-en-estructuras>
- Centro de Observación para la Ingeniería Sísmica del CISMID/FIC/UNI. (2023). *Registros de Aceleración*. Obtenido de <http://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red>
- Che Alva, E. L. (2022). *Análisis comparativo de pérdidas entre una edificación esencial de concreto armado convencional y una con disipadores sísmicos SLB*. Obtenido de file:///D:/19.%20TESIS%20WESAYO/info/TESIS_EDWIN-CHE-ALVA_FINAL.pdf
- Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción. (2016). *Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Obtenido de <https://docplayer.es/19216692-Proteccion-sismica-de-estructuras.html>
- EFE PRIMA CE. (28 de Marzo de 2017). *Tabla uso dispositivos de control pasivo*. Obtenido de Fuente: (Corporación de desarrollo tecnológico - Cámara chilena de la construcción, 2016)
- Enriquez Quispe, E. (2023). *Situación de los aisladores del hospital hipólito unanue*. Tacna.
- Enriquez, E. M. (12 de Noviembre de 2020). *La Contraloría - Gerencia Regional de Tacna*. Obtenido de La Contraloría - Gerencia Regional de Tacna: <file:///C:/Users/usuario/Downloads/SITUACION%20DE%20AISLADORES%20DEL%20HOSPITAL%20HIPOLITO%20UNANUE.pdf>
- ESTRUCTURAS. (03 de Noviembre de 2012). *Acelerogramas. Definición y características*. Obtenido de <https://seismic06g.wordpress.com/2012/11/03/acelerogramas1/>
- Fujitani , H., & Saito , T. (2006). *Taylor Y Francis*. Obtenido de <https://www.taylorfrancis.com/books/edit/10.4324/9780203018866/response-control-seismic-isolation-buildings-masahiko-higashino-shin-okamoto>
- Gatica, V. (2012). *Archivo digital politecnica de madrid*. Obtenido de <https://oa.upm.es/13787/>
- Heinz Paul, J. P. (2019). *Repositorio UNI*. Obtenido de Repositorio UNI: <file:///D:/19.%20TESIS%20WESAYO/TESIS%20PARA%20GUIAR/TESIS-FINAL-VF-1.pdf>
- Leland, A., Dornsife, R., & Richard, Z. (2015). SR522 Seismic Isolation Bearings. *Washington State Department of Transportation, 27*.

- Lopez, F., & Bozzo, L. (1999). Aplicación del Control de Estructuras al Diseño . IV COMNI Sevilla, 1-17.
- Machado, B. J. (20 de 10 de 2020). "Estudio comparativo para edificación de 5 plantas empleando solución prefabricada y disipadores slb y solución convencional en zona de sismicidad alta de Perú. Obtenido de <https://slbdevices.com/id/>
- Muñoz Horna, E. (2021). *Diseño de estructuras con disipadores histeréticos Shear Link Bozzo (SLB)*. Lima.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. d. (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones. *Revista EIA*, 17.
- Oviedo, J. A., & Duque, M. d. (Julio de 2009). *Researchgate*. Obtenido de Researchgate: https://www.researchgate.net/publication/262783192_METALLIC_HYSTERETIC_DAMPERS_AS_A_SEISMIC_RESPONSE_CONTROL_TECHNIQUE_IN_COLOMBIAN_BUILDINGS
- Ramirez Machado, B. J. (Octubre de 2020). *Estudio comparativo para edificación de 5 plantas empleando solución prefabricada y disipadores slb y solución convencional en zona de sismicidad alta de Perú*. Obtenido de file:///C:/Users/usuario/Desktop/info/TFM_RamirezMachado_JuniorUPC.pdf
- Reyes, J. C., & Rubiano, N. (2019). Modelación inelástica de edificios de concreto con disipadores de energía histeréticos. *Revista de Ingeniería*, 10.
- Vidal, E., Huaco, G., & Aguirre, S. (19 de Julio de 2021). *19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology*. Obtenido de 19th LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology: <file:///D:/19.%20TESIS%20WESAYO/TESIS%20PARA%20GUIAR/SLB-vs-Aislamiento-en-Hospitales-1.pdf>
- Zayas. (2017). Estándar de Aislamiento Sísmico . *COINESED 2017, I Congreso Internacional de Estructuras de Edificación, Lima-Perú, 1 y 2 Abril 2017*, (pág. 36). Lima Peru.

ANEXOS

Anexo 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Problema	Objetivo	Hipótesis	Variables	Indicador	Metodología
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General	Independiente	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Periodos de vibración (S) ▪ Rigidez lateral (Tn/m) <ul style="list-style-type: none"> ▪ Desplazamiento Máximo admisible (cm) ▪ Tratamiento de acelerogramas (cm/seg²) 	Tipo de Investigación Básica o Pura Nivel de Investigación Exploratorio y Correlacional Diseño de Investigación No experimental
¿Cuál es el sistema de protección sísmica conveniente entre Aisladores sísmicos y disipadores SLB en el hospital Hipólito Unanue de Tacna?	Determinar el sistema de protección sísmica conveniente entre Aisladores sísmicos y disipadores SLB en el hospital Hipólito Unanue de Tacna	El sistema de protección sísmica de disipadores SLB, es el más conveniente para el hospital Hipólito Unanue de Tacna	Análisis comparativo de sistemas de protección sísmica		
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas	Dependiente		
¿Cuál es el estado límite de daño estructural que se determinara al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna?	Calcular el estado límite de daño estructural al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el Hospital Hipólito Unanue de Tacna	Al reemplazar el sistema de aislamiento de base por disipadores SLB como sistema de protección sísmica, el Hospital Hipólito Unanue de Tacna aún se encontraría en el mismo estado límite de daño estructural.	 Aisladores sísmicos y disipadores en el hospital Hipólito Unanue de Tacna		
¿En qué medida favorece la distribución de energía al implementar disipadores SLB como sustituto del aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna?	Obtener la distribución de energía entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna	Se obtendrá una correcta distribución de energía entre la estructura principal y los disipadores SLB en comparativa con el aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.			
¿Qué diferencias existirán en el costo al implementar los sistemas de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica para el hospital Hipólito Unanue de Tacna?	Cuantificar la diferencia de costo de implementación de aisladores y disipadores SLB como sistema de protección sísmica en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.	Los Disipadores SLB son un sistema de protección sísmica de menor costo a diferencia del aislamiento de base en el hospital Hipólito Unanue de Tacna.			