



UNIVERSIDAD JOSÉ CARLOS MARIÁTEGUI

VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

T E S I S

**ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL
DE UN EDIFICIO APORTICADO DE 8 PISOS CON Y SIN
AMORTIGUADORES DE FLUIDO VISCOSO**

PRESENTADA POR

BACHILLER LUIS EDWIN CCAMA CAHUANA

ASESOR:

MGR. ALBERTO CRISTOBAL FLORES QUISPE

PARA OPTAR TÍTULO PROFESIONAL DE

INGENIERO CIVIL

MOQUEGUA – PERÚ

2021

CONTENIDO

	Pág.
PÁGINA DE JURADO	I
CONTENIDO	II
CONTENIDO DE TABLAS	VI
CONTENIDO DE FIGURAS	VIII
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
INTRODUCCIÓN	XVIII

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 DESCRIPCIÓN DE LA REALIDAD DEL PROBLEMA	20
1.2 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	21
1.2.1 Problema general	21
1.2.2 Problemas específicos.....	21
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	21
1.3.1 Objetivo general	21
1.3.2 Objetivos específicos.....	22
1.4 JUSTIFICACIÓN.....	22
1.5 ALCANCES Y LIMITACIONES	23
1.6 VARIABLES.....	23
1.6.1 Identificación de variables.....	23
1.6.2 Operacionalización de variables.....	24
1.7 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	24
1.7.1 Hipótesis general	24
1.7.2 Hipótesis derivadas.....	25

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1	TEORÍA DE SISMOLOGÍA.....	26
2.1.1	Origen de los movimientos sísmicos	26
2.1.2	Ondas sísmicas	27
2.1.3	Instrumentos de medición.....	28
2.2	NORMATIVIDAD SÍSMICA DEL PERÚ.....	29
2.2.1	Normatividad E030 Diseño sismorresistente	29
2.3	SISTEMAS MODERNOS DE PROTECCIÓN SÍSMICA.....	35
2.3.1	Sistemas de control pasivo	35
2.3.2	Sistemas de control activos.....	36
2.3.3	Sistemas de control híbridos.....	36
2.3.4	Sistemas de control semi-activos.....	36
2.4	SISTEMA PASIVO DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA.....	36
2.4.1	Disipadores dependientes del desplazamiento	37
2.4.2	Disipadores dependientes de la velocidad.....	39
2.4.3	Disipadores dependientes del desplazamiento y velocidad.....	40
2.5	SISTEMA PASIVO DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA DEPENDIENTE DE LA VELOCIDAD... 41	
2.5.1	Generalidades	41
2.5.2	Configuración de los amortiguadores de fluido viscoso	42
2.5.3	Efecto del amortiguamiento añadido a una estructura.....	45
2.5.4	Comportamiento fuerza-velocidad del amortiguador lineal y no lineal....	46
2.6	DINÁMICA DE ESTRUCTURAS	47
2.6.1	Vibración de un sistema de un grado de libertad.....	48
2.6.2	Amortiguamiento de las estructuras	71
2.6.3	Espectro de respuesta de desplazamiento, pseudo-velocidad y pseudo-aceleraciones.....	72
2.7	DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE EN EDIFICACIONES.....	75
2.7.1	Definición del diseño por desempeño	75
2.7.2	Nivel de amenaza sísmica.....	75
2.7.3	Estados de desempeño	76
2.7.4	Importancia de las edificaciones.....	76
2.7.5	Matriz de desempeño.....	77
2.7.6	Daño estructural asociado a la deriva del edificio.....	77

2.8	DESCRIPCIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO.....	78
2.8.1	Descripción de la estructura en planta y altura.....	78
2.8.2	Predimensionamiento de elementos estructurales	80
2.9	CONSIDERACIONES PARA EL ANÁLISIS SÍSMICO	81
2.9.1	Cargas de diseño.....	81
2.9.2	Parámetros sísmicos según normativa.....	81
2.9.3	Consideraciones para el análisis dinámico modal espectral	82
2.9.4	Consideraciones generales para el análisis tiempo historia.....	84
2.9.5	Consideraciones generales para el análisis por desempeño.....	86
2.9.6	Calculo del amortiguamiento efectivo y parámetros para los amortiguadores	87
2.10	ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO DE LA ESTRUCTURA SIN AMORTIGUADORES.....	90
2.10.1	Análisis estático de la estructura	90
2.10.2	Análisis dinámico del edificio	91
2.11	ANALISIS TIEMPO HISTORIA DE LA ESTRUCTURA CON Y SIN AMORTIGUADORES.....	94
2.11.1	Análisis tiempo historia sin amortiguadores	94
2.11.2	Análisis tiempo historia con amortiguadores	95
2.12	ANALISIS SISMICO DE LA ESTRUCTURA CON ESPECTRO REDUCIDO.....	99
2.12.1	Modelo estructural.....	99
2.12.2	Reducción del espectro.....	99
2.12.3	Definición de parámetros sísmicos reducidos	101
2.13	ELABORACION DE METODOLOGIA PARA EL ANALISIS SISMICO	103
2.13.1	Esquema general de trabajo.....	103
2.13.2	Esquema para cálculo de propiedades del amortiguador.....	106
2.13.3	Esquema para análisis sísmico de la estructura	108

CAPITULO III

DISEÑO METODOLOGICO

3.1	TIPO DE INVESTIGACIÓN	111
3.2	DISEÑO DE INVESTIGACIÓN.....	111

3.3	POBLACIÓN Y MUESTRA.....	112
3.4	TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN DE DATOS	112

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1	PRESENTACIÓN DE RESULTADOS	113
4.1.1	Resultados del análisis sísmico sin amortiguadores	113
4.1.2	Resultados del análisis sísmico con amortiguadores	120
4.1.3	Análisis comparativo de la respuesta sísmica con y sin amortiguadores .	127
4.1.4	Análisis comparativo sobre el periodo natural de vibración	141
4.1.5	Análisis comparativo sobre el diseño en concreto armado.....	142
4.1.6	Fuerzas en los amortiguadores de fluido viscoso	143
4.2	CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS.....	144
4.3	DISCUSIÓN DE RESULTADOS	154

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1	CONCLUSIONES.....	156
5.2	RECOMENDACIONES	157

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	158
---	------------

MATRIZ DE CONSISTENCIA.....	160
------------------------------------	------------

FICHA TECNICA DE AMORTIGUADORES.....	161
---	------------

INSTRUMENTOS DE REGISTRO DE DATOS.....	162
---	------------

PLANOS DE DETALLES GENERALES, ARQUITECTURA Y ESTRUCTURA	
--	--

CONTENIDO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	24
Tabla 2 Factores de zona (Z)	30
Tabla 3 Parámetros de sitio (S).....	30
Tabla 4 Parámetros de sitio (TP y TL)	31
Tabla 5 Categoría de las edificaciones (U).....	31
Tabla 6 Coeficiente básico de reducción (Ro).....	32
Tabla 7 Coeficiente de reducción de irregularidad en altura (Ia)	32
Tabla 8 Coeficiente de reducción de irregularidad en altura (Ip).....	33
Tabla 9 Estimación de peso del modelo matemático.....	33
Tabla 10 Restricción de los métodos para el análisis numérico (E030 2018)	34
Tabla 11 Determinación de desplazamientos laterales (E030 2018).....	34
Tabla 12 Limite para la distorsión del entrepiso (E.030 2018)	35
Tabla 13 Relación de frecuencia natural y periodo natural	57
Tabla 14 Tipos de movimiento según su razón de amortiguamiento	59
Tabla 15 Condición de fase de la respuesta con la carga aplicada	63
Tabla 16 Condiciones de fase de la carga excitadora y su significado.....	65
Tabla 17 Calculo de amortiguamiento natural (Dir. X-X)	113
Tabla 18 Calculo de amortiguamiento natural (Dir. Y-Y)	113
Tabla 19 Derivas (Dirección X-X) sin amortiguadores.....	117
Tabla 20 Derivas (Dirección Y-Y) sin amortiguadores.....	117
Tabla 21 Disipación de la energía sísmica de la estructura sin amortiguadores	118
Tabla 22 Calculo de amortiguamiento añadido (Dir. X-X).....	120

Tabla 23 Calculo de amortiguamiento añadido (Dir. Y-Y).....	121
Tabla 24 Derivas (Dirección X-X) con amortiguadores.....	124
Tabla 25 Derivas (Dirección Y-Y) con amortiguadores.....	124
Tabla 26 Disipación de la energía sísmica de la estructura con amortiguadores	125
Tabla 27 Fuerza cortante de la estructura con y sin amortiguadores Dir. X-X	128
Tabla 28 Fuerza cortante de la estructura con y sin amortiguadores Dir. Y-Y	129
Tabla 29 Reducción de las derivas en la dirección X-X.....	130
Tabla 30 Reducción de las derivas en la dirección Y-Y.....	131
Tabla 31 Porcentaje de disipación de energía del amortiguador	132
Tabla 32 Diseño comparativo de zapata aislada.....	142
Tabla 33 Diseño comparativo de zapata combinada	143
Tabla 34 Deriva máxima de la estructura con y sin amortiguadores.....	145
Tabla 35 Fuerzas axiales máximas en columnas con y sin amortiguadores.....	148
Tabla 36 Momentos máximas en la base con y sin amortiguadores.....	151
Tabla 37 Derivas vs. Amortiguamiento añadidos.....	153

CONTENIDO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Esquema de límites de las placas	26
Figura 2. Tipos de ondas sísmicas	28
Figura 3. Sistemas estructurales de concreto armado según norma E. 030.....	29
Figura 4. Clasificación de sistemas de disipación de energía.....	35
Figura 5. Clasificación de sistemas pasivo de disipación de energía	37
Figura 6. Dispositivo de amortiguación por fluencia metálica ADAS.....	38
Figura 7 Dispositivo de amortiguación por fricción.....	39
Figura 8. Disipadores de fluido viscoso	39
Figura 9. Disipadores visco-elásticos	40
Figura 10. Desfase de la velocidad con respecto al desplazamiento.	41
Figura 11. Configuración Chevron Brace.....	42
Figura 12. Configuración Chevron Brace Invertida	43
Figura 13. Configuración Diagonal	44
Figura 14. Configuración Scissor Jack.	44
Figura 15. Efecto del amortiguamiento añadido a una estructura	45
Figura 16. Relación fuerza – velocidad	46
Figura 17. Estructura simple.....	47
Figura 18. Idealización de la torre de agua.....	48
Figura 19. Sistema de un grado de libertad	48
Figura 20. Amortiguamiento viscoso y relación con la velocidad	49
Figura 21. Diagrama de cuerpo libre (Principio segunda ley de Movimiento de Newton)	50

Figura 22. Diagrama de cuerpo libre (Equilibrio dinámico)	51
Figura 23. Esquema de sistemas de 1gdl estudiados	53
Figura 24. Respuesta de sistema de 1GDL en vibración libre no amortiguada.....	54
Figura 25. Respuesta de una estructura en vibración libre no amortiguada	55
Figura 26. Dependencia de la rigidez sobre el periodo natural de vibración	56
Figura 27. Vibración del sistema subamortiguado, críticamente amortiguado y sobre amortiguado.....	58
Figura 28. Respuesta de una estructura en vibración libre amortiguada (Subamortiguado).....	60
Figura 29. Influencia del amortiguamiento en la respuesta.....	60
Figura 30. Reducción de amplitudes de la respuesta.....	61
Figura 31. Reducción de la amplitud de la respuesta	62
Figura 32. Grafica de relación de frecuencias	63
Figura 33. Factor R_d y Angulo de fase.....	64
Figura 34. Marco sometido a movimiento del terreno	66
Figura 35. Vibración libre de un sistema de dos grados de libertad.....	67
Figura 36. Primer modo natural de vibración.....	67
Figura 37. Segundo modo natural de vibración.....	68
Figura 38. Respuesta de desplazamiento de un sistema de 1GDL	73
Figura 39. Espectros de respuesta de un sistema de 1GDL.....	74
Figura 40 Definición de diseño por desempeño	75
Figura 41. Nivel de amenaza sísmica	75
Figura 42. Estado de desempeño	76
Figura 43. Importancia de las edificaciones	76

Figura 44. Matriz de desempeño	77
Figura 45. Daño estructural asociado a la deriva.....	77
Figura 46. Primer nivel del edificio estudiado	78
Figura 47. Segundo y Tercer nivel del edificio estudiado.....	79
Figura 48. Cuarto, Quinto, Sexto, Séptimo y Octavo nivel del edificio estudiado	79
Figura 49. Elevación frontal del edificio estudiado.....	80
Figura 50. Espectro de diseño E030 (Dir. X-X)	83
Figura 51. Espectro de diseño E030 (Dir. Y-Y)	84
Figura 52. Datos del registro sísmico Moquegua 2001	85
Figura 53. Datos del registro sísmico Moquegua 2003	85
Figura 54. Datos del registro sísmico Moquegua 2005	86
Figura 55. Calculo del amortiguamiento objetivo	87
Figura 56. Formas modales	88
Figura 57. Masas por nivel	88
Figura 58. Calculo de coeficiente de amortiguamiento C para la dirección x-x	89
Figura 59. Calculo de coeficiente de amortiguamiento C para la dirección y-y	89
Figura 60. Análisis estático en la dirección X-X.....	90
Figura 61. Análisis estático en la dirección Y-Y.....	91
Figura 62. Análisis dinámico en la dirección X-X	91
Figura 63. Análisis dinámico en la dirección Y-Y	92
Figura 64. Factor de amplificación por cortante mínima	92
Figura 65. Amplificación por cortante mínima dirección X-X	93
Figura 66. Amplificación por cortante mínima dirección Y-Y	93
Figura 67. Análisis tiempo historia del edificio sin amortiguadores de fluido viscoso..	94

Figura 68. Escalamiento de registros sísmicos	95
Figura 69. Análisis tiempo historia del edificio con amortiguadores de fluido viscoso	95
Figura 70. Parámetros del amortiguador de fluido viscoso	96
Figura 71. Definición de carga pulso.....	97
Figura 72. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje 5-5.....	97
Figura 73. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje 1-1.....	98
Figura 74. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje A-A.....	98
Figura 75. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje G-G.....	99
Figura 76. Espectro reducido a un 77% del espectro original dirección x-x.....	100
Figura 77. Espectro reducido a un 77% del espectro original dirección y-y.....	100
Figura 78. Análisis estático con espectro reducido en la dirección X-X.....	101
Figura 79. Análisis estático con espectro reducido en la dirección Y-Y.....	101
Figura 80. Análisis dinámico con espectro reducido en la dirección X-X.....	102
Figura 81. Análisis dinámico con espectro reducido en la dirección Y-Y	102
Figura 82. Factor de amplificación por cortante mínima	103
Figura 83. Diagrama de flujo de procedimiento general de trabajo	104
Figura 84. Diagrama de flujo cálculo de propiedades del amortiguador.....	106
Figura 85. Diagrama de flujo de procedimiento para análisis sísmico.....	108
Figura 86. Amortiguamiento de la estructura sin amortiguadores (Dir. X-X)	114
Figura 87. Amortiguamiento de la estructura sin amortiguadores (Dir. Y-Y)	114
Figura 88. Fuerza cortante de la estructura sin amortiguadores (Dir. X-X).....	115
Figura 89. Fuerza cortante de la estructura sin amortiguadores (Dir. Y-Y).....	116
Figura 90. Fuerza cortante basal de la estructura sin amortiguadores.....	116
Figura 91. Reacciones en la base para carga muerta	118

Figura 92. Reacciones en la base para carga viva	119
Figura 93. Reacciones en la base para carga de sismo x-x.....	119
Figura 94. Reacciones en la base para carga de sismo y-y.....	120
Figura 95. Amortiguamiento de la estructura con amortiguadores (Dir. X-X)	121
Figura 96. Amortiguamiento de la estructura con amortiguadores (Dir. Y-Y)	121
Figura 97. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores (Dir. X-X).....	122
Figura 98. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores (Dir. Y-Y).....	123
Figura 99. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores.....	123
Figura 100. Reacciones en la base para carga muerta	125
Figura 101. Reacciones en la base para carga viva	126
Figura 102. Reacciones en la base para carga de sismo x-x.....	126
Figura 103. Reacciones en la base para carga de sismo y-y.....	127
Figura 104. Análisis comparativo del amortiguamiento (%).....	128
Figura 105. Análisis de la fuerza cortante (tonf) con y sin amortiguadores Dir. X-X .	129
Figura 106. Análisis de la fuerza cortante (tonf) con y sin amortiguadores Dir. Y-Y .	130
Figura 107. Análisis de la deriva (%) con y sin amortiguadores dirección X-X.....	131
Figura 108. Análisis de la deriva (%) con y sin amortiguadores dirección Y-Y	132
Figura 109. Base de estructura con etiqueta join label	133
Figura 110. Fuerza máx. Fz (tonf) caso de carga DEAD	133
Figura 111. Fuerza Fz (tonf) caso de carga LIVE	134
Figura 112. Fuerza Fz (tonf) caso de carga DINXX	134
Figura 113. Fuerza Fz (tonf) caso de carga DINYY	134
Figura 114. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DEAD	135
Figura 115. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga LIVE	135

Figura 116. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DINXX	135
Figura 117. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DINYY	136
Figura 118. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DEAD	136
Figura 119. Fuerza My (tonf-m) caso de carga LIVE	136
Figura 120. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DINXX	137
Figura 121. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DINYY	137
Figura 122. Planta con etiqueta de vigas	138
Figura 123. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DEAD	138
Figura 124. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga LIVE	139
Figura 125. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DINXX	139
Figura 126. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DINYY	139
Figura 127. Momentos V2 (tonf) caso de carga DEAD	140
Figura 128. Momentos V2 (tonf) caso de carga LIVE	140
Figura 129. Momentos V2 (tonf) caso de carga DINXX	141
Figura 130. Momentos V2 (tonf) caso de carga DINYY	141
Figura 131. Comparativa de periodos naturales de vibración	141
Figura 132. Resumen de fuerza en amortiguador por nivel	144
Figura 133. Prueba de normalidad para análisis de derivas	145
Figura 134. Estadística descriptiva para análisis de derivas	146
Figura 135. Prueba estadística para análisis de derivas	146
Figura 136. Prueba de normalidad para análisis de fuerzas axiales	149
Figura 137. Estadística descriptiva para análisis de fuerzas axiales	149
Figura 138. Prueba estadística para análisis de fuerzas axiales	150
Figura 139. Prueba de normalidad para análisis de momentos flectores	152

Figura 140. Estadística descriptiva para análisis de momentos flectores.....	152
Figura 141. Prueba estadística para análisis de momentos flectores.....	153
Figura 142. Prueba estadística para análisis de deriva vs. amortiguamiento	154
Figura 143. Ficha técnica del amortiguador de fluido viscoso.....	161
Figura 144. Instrumento de recolección de datos para las derivas máximas.....	162
Figura 145. Instrumento de recolección de datos para el amortiguamiento inherente y añadido.....	163
Figura 146. Instrumento de recolección de datos para la disipación de energía de la estructura	163
Figura 147. Instrumento de recolección de datos para fuerzas internas en columnas..	164
Figura 148. Plano de estructura aporticada EG-01	173
Figura 149. Plano de estructura aporticada EG-02.....	174
Figura 150. Plano de estructura aporticada EG-03.....	175
Figura 151. Plano de estructura aporticada A-01	176
Figura 152. Plano de estructura aporticada A-02	177
Figura 153. Plano de estructura aporticada A-03	178
Figura 154. Plano de estructura aporticada A-04	179
Figura 155. Plano de estructura aporticada A-01	180
Figura 156. Plano de estructura aporticada A-06	181
Figura 157. Plano de estructura aporticada A-07	182
Figura 158. Plano de estructura aporticada A-08	183
Figura 159. Plano de estructura aporticada E-01	184
Figura 160. Plano de estructura aporticada E-02.....	185
Figura 161. Plano de estructura aporticada E-03.....	186

Figura 162. Plano de estructura aporticada E-04.....	187
Figura 163. Plano de estructura aporticada EA-01	188
Figura 164. Plano de estructura aporticada EA-02.....	189
Figura 165. Plano de estructura aporticada EA-03.....	190
Figura 166. Plano de estructura aporticada EA-04.....	191

RESUMEN

La presente investigación se enfoca en determinar el comportamiento estructural de una edificación aporticada con y sin amortiguadores de fluido viscoso, usando la metodología según normas nacionales e internacionales. Con el propósito de realizar el análisis comparativo del comportamiento estructural se estudia una estructura aporticada de 8 pisos con un área de 600 m² por nivel con parámetros sísmicos para la ciudad de Moquegua. Se realiza el análisis sísmico de la estructura sin amortiguadores obteniendo derivas del orden del 10%. Es así que con el propósito de mostrar el análisis comparativo comportamiento estructural de un edificio aporticado con y sin amortiguadores se realiza el análisis sísmico a la misma estructura incorporando amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, para el análisis por desempeño clasificado como común, nivel de desempeño de Resguardo de vida para un sismo raro con un periodo de retorno de 475 años, estado de Daño Moderado y una deriva objetivo de 5.8%. Los resultados luego del análisis de la edificación con amortiguadores y realizando el comparativo con la estructura sin amortiguadores son la reducción máxima de la deriva en un 49.85% para la dirección x-x y 43.56% para la dirección y-y, reducción en la cortante basal en un 30%, llegando a amortiguamiento de 19.83% en la dirección x-x y 18.50% en la dirección y-y, además de una disipación de la energía sísmica por amortiguamiento del 70% concluyendo que el comportamiento estructural de la estructura con amortiguadores es mejor respecto a la estructura sin amortiguadores.

Palabras clave: Amortiguamiento, Desempeño, Estructura.

ABSTRACT

This research focuses on determining the structural behavior of a built-in building with and without viscous fluid dampers, using the methodology according to national and international standards. In order to carry out the comparative analysis of the structural behavior, an 8-story porch structure with an area of 600 m² per level is studied with seismic parameters for the city of Moquegua. The seismic analysis of the structure is carried out without shock absorbers, obtaining drifts of the order of 10 %. Thus, in order to show the comparative analysis of the structural behavior of a built-in building with and without shock absorbers, the seismic analysis is carried out on the same structure incorporating viscous fluid shock absorbers in a diagonal arrangement, for the analysis by performance classified as common, level of Lifeguard performance for a rare earthquake with a return period of 475 years, Moderate Damage status and a target drift of 5.8 %. The results after analyzing the building with shock absorbers and making the comparison with the structure without shock absorbers are the maximum reduction in drift of 49.85% for the xx direction and 43.56% for the yy direction, reduction in basal shear by 30 %, reaching a damping of 19.83% in the xx direction and 18.50% in the yy direction, in addition to a 70% dissipation of seismic energy by damping, concluding that the structural behavior of the structure with dampers is better compared to the structure without dampers.

Keywords: Damping, Performance, Structure.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad el uso mecanismos de disipación de energía a nivel internacional ha revolucionado el mundo de la ingeniería estructural, mecanismos que mejoran el comportamiento se ven con más frecuencia en estructuras importantes. Es así que países desarrollados exportaron dichas tecnologías a nivel mundial para su aplicación.

El Perú es un país de alta actividad sísmica ya que se encuentra en la interacción de la placa de Nazca y la placa Sudamericana la llamada zona de cinturón de fuego del Pacífico donde la placa de Nazca subyace debajo de la placa Sudamericana.

Así la ciudad de Moquegua por encontrarse cerca a la interacción de dichas placas está considerada como una zona de alta sismicidad razón por la cual las edificaciones deberán tener un buen comportamiento durante eventos sísmicos. Actualmente estructuras como la nueva sede del Gobierno Regional de Moquegua y el Hospital Regional de la misma ciudad cuentan con mecanismos de disipación de energía.

Estando ubicados en una zona altamente sísmica es que se debe contar con estructuras que puedan tener un buen desempeño ante un sismo. Siendo las estructuras del tipo aparcado un tipo de sistema estructural flexible razón por la cual el presente estudio se centra en mejorar esta problemática de este sistema estructural sumado a estar ubicado en una zona de alta actividad sísmica, como es la ciudad de Moquegua.

El objetivo de esta investigación es determinar el comportamiento estructural de un edificio aparcado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso teniendo en cuenta parámetros sísmicos de la ciudad de Moquegua, este comportamiento está asociado a los desplazamientos, fuerzas internas y porcentaje de disipación de energía

para luego realizar un comparativo de la estructura con amortiguadores versus la estructura sin amortiguadores.

Para el desarrollo de esta investigación se realiza el análisis sísmico de la estructura sin amortiguadores siguiendo lo establecido en la norma de diseño sismorresistente E.030. Luego se determina los parámetros de diseño de los amortiguadores y se realiza el análisis sísmico tiempo historia no lineal para ambas estructuras (con y sin amortiguadores).

La presente investigación está estructurada de la siguiente manera:

En el capítulo I, se presenta el problema de la investigación, objetivos, justificación, alcances, variables, hipótesis y operacionalización de las variables de la investigación.

En el capítulo II, se expone las características de los sistemas modernos de protección sísmica, tipos de dispositivos y una breve explicación de su funcionamiento.

En el capítulo III, Se presenta el diseño metodológico exponiendo el tipo, ámbito y diseño de la investigación. Además, las técnicas e instrumentos de recolección de datos, así como la población y muestra.

En el capítulo IV, se presenta el análisis e interpretación de resultados obtenidos de forma gráfica y/o tabulada.

En el capítulo V, se presenta las conclusiones y recomendaciones del trabajo de investigación y en los anexos se muestra los planos estructurales, arquitectónicos, estudio de mecánica de suelos tomado como referencia y especificaciones técnicas del amortiguador.

CAPITULO I

PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 Descripción de la realidad del problema

Particularmente el Perú es un país altamente sísmico razón por la cual las estructuras han sido objeto de estudio. Donde la ciudad de Moquegua se encuentra en una zona clasificada como altamente sísmica.

Cuando una estructura sufre daños puede ocasionar pérdidas humanas y materiales más aún cuando tenemos edificaciones como hospitales que tienen dentro de su equipamiento objetos con un elevado costo.

En un estudio realizado por Borda y Pastor (2007) concluyeron que la norma peruana conduciría a edificios aporricados muy rígidos (Pág. 59). Es decir para llegar al cumplimiento de los requerimientos exigidos por la norma peruana se tendrían secciones de columnas más robustas.

Por otro lado, al incrementar la rigidez de la estructura incrementamos el espectro de pseudoaceleraciones y por lo tanto aumentamos la resistencia demandada. No siendo factible el aumentar o contar con secciones muy robustas en este tipo de sistemas estructurales al considerarse relativamente flexibles.

Cuando la energía total ingresada por un sismo ingresa a la estructura y esta no cuenta con algún sistema de disipación de energía, esta es disipada en gran porcentaje mediante la energía de deformación elástica e inelástica.

En tal sentido los edificios que no tienen mecanismos de disipación tendrán que disipar la energía por sí misma. Siendo esto un problema especialmente para los edificios con un sistema estructural del tipo aporticado, donde su resistencia está basada principalmente en pórticos de concreto armado.

1.2 Definición del problema

1.2.1 Problema general

¿Cuál es el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso?

1.2.2 Problemas específicos

- ¿Cuáles son las fuerzas internas de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso?
- ¿Cuáles son las derivas de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso?
- ¿Cómo es la disipación de energía sísmica de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido?

1.3 Objetivos de la investigación

1.3.1 Objetivo general

Determinar el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso

1.3.2 Objetivos específicos

- Determinar las fuerzas internas de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso
- Determinar las derivas de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso
- Determinar la disipación de energía sísmica de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso

1.4 Justificación

En la última década se tiene en el mercado muchas alternativas para mejorar la respuesta de una estructura frente a solicitaciones sísmicas, cuya función principal en general es reducir los niveles de daño en la estructura.

Esta investigación se justifica por lo siguiente:

Desde el punto de vista estructural se podrá comparar el comportamiento estructural de este tipo de estructuras con y sin amortiguadores de fluido viscoso.

Desde el punto de vista social, se fomenta la utilización de nuevas tecnologías que podría mejorar el comportamiento de las edificaciones. La sociedad moderna deberá adaptarse a la utilización de estas tecnologías y romper el paradigma social que existe.

1.5 Alcances y limitaciones

- Alcances

Dar a conocer la influencia en el comportamiento estructural de un edificio aporticado cuando a la misma estructura se le incorpora los amortiguadores de fluido viscoso.

- Limitaciones

La actual norma de Diseño Sismorresistente carece de procedimientos para un diseño con sistemas de disipación de energía, para el presente trabajo se utilizará normas internacionales y utilizará la metodología de acuerdo a dichas normas.

1.6 Variables

1.6.1 Identificación de variables

En esta investigación se trabajará con una variable independiente y una variable dependiente.

Variable Independiente

Amortiguadores de fluido viscoso

Variable Dependiente

Comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos.

1.6.2 Operacionalización de variables

Tabla 1
Operacionalización de variables

Variable	Definición Conceptual	Definición Operacional	Dimensiones	Indicador
Amortiguador de Fluido Viscoso (VI)	Dispositivo que libera energía a través del amortiguamiento añadido. (Boza y Galan,2013, pág. 09)	Podemos definir operacionalment e la variable a través del amortiguamiento que este dispositivo añade a la estructura.	Amortiguamiento añadido	Fuerza del amortiguador
Comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos (VD)	Desempeño de una estructura de acuerdo a su importancia ante los diferentes niveles de peligro sísmico. (Boza y Galan,2013, pág. 09)	Podemos definir operacionalment e la variable comportamiento estructural a través de medidas establecidas en la norma de diseño sismorresistente	Fuerzas internas Derivas Disipación de energía	Fuerzas axiales Momentos flectores Fuerza cortante Deriva elástica Deriva inelástica Porcentaje de disipación

Fuente: Elaboración propia

1.7 Hipótesis de la investigación

1.7.1 Hipótesis general

El comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos con amortiguadores de fluido viscoso es mejor respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso

1.7.2 Hipótesis derivadas

- Las fuerzas internas de un edificio aporticado de 8 pisos con amortiguadores de fluido viscoso son menores respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso
- Las derivas de un edificio aporticado de 8 pisos con amortiguadores de fluido viscoso son menores respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso
- La disipación de energía sísmica en un edificio aporticado de 8 pisos con amortiguadores de fluido viscoso es menor respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1 Teoría de sismología

2.1.1 Origen de los movimientos sísmicos

El origen de los sismos es generalmente sustentado según la teoría de tectónica de placas donde la corteza terrestre está dividida en catorce placas sub continentales y seis placas continentales (África, América, Antártida, Australia, Europa y la Placa del Pacifico). Donde los márgenes son inestables que pueden ser de tres tipos: Divergentes, convergentes y deslizamiento horizontal.



Figura 1. Esquema de límites de las placas

Fuente: Adaptado de Conceptos básicos de sismología para ingenieros, (Pág., 07), por Herráiz Miguel, 1997, Lima.

De acuerdo con la teoría conocida como modelo del rebote elástico, Miguel Herraiz menciona que “los sismos son el resultado de un proceso de deformación elástica y acumulación de esfuerzos en una zona de la corteza que se mantiene hasta que se supera la resistencia del material” (Pág. 2)

Es en este momento que superada la resistencia del material y los esfuerzos acumulados se liberan de manera brusca. Donde un porcentaje de la energía que se libera se disipa en la zona de fractura a través de fenómenos no elásticos y la otra parte en forma de ondas sísmicas. Entonces la generación de un sismo consta de 2 etapas, la primera de acumulación de energía y otra de liberación de la misma.

Existen tres formas que las placas pueden moverse respecto a la Antenosfera subyacente y también una respecto a otra. En primer lugar, una placa se desliza pasando frente a la otra a lo largo de su margen, en segundo lugar, dos placas se mueven alejándose mutuamente y por ultimo dos placas se mueven de tal forma que una se desliza por debajo de la otra.

2.1.2 Ondas sísmicas

Las ondas sísmicas se producen tras la liberación brusca de energía en el foco del sismo, Según Goytia y Villanueva (2001) las ondas sísmicas se clasifican según su naturaleza en ondas de cuerpo y ondas de superficie.

Entre las ondas internas o de cuerpo se tienen las ondas primarias u ondas P y las ondas secundarias u ondas S.

Entre las ondas superficiales originadas por las ondas S tenemos las ondas Rayleigh y ondas Love.

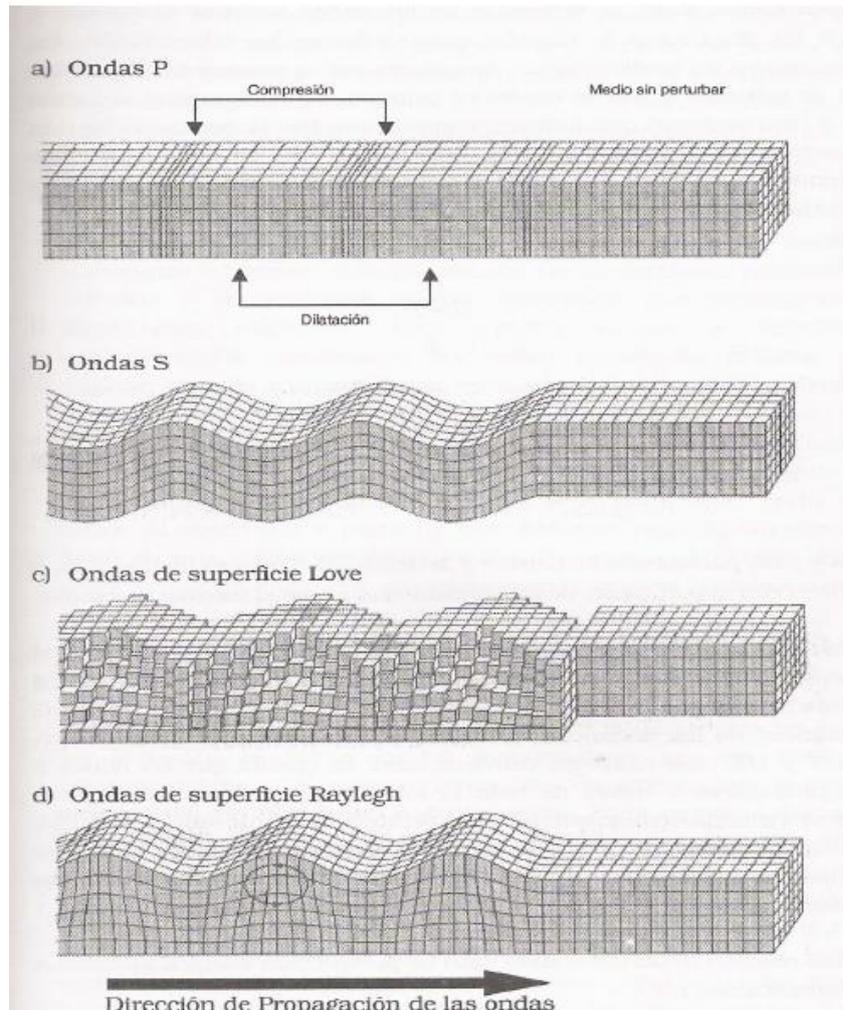


Figura 2. Tipos de ondas sísmicas

Fuente: Adaptado de Conceptos básicos de sismología para ingenieros, (Pág., 13), por Herráiz Miguel, 1997, Lima.

2.1.3 Instrumentos de medición

Se podrá tener registro de la medida de desplazamiento, velocidad y aceleración del suelo con la utilización de los siguientes instrumentos:

- Sismómetro: Registra las amplitudes de onda.

- Acelerómetro: Conocido como sismógrafo este produce acelerograma.

2.2 Normatividad sísmica del Perú

2.2.1 Normatividad E030 Diseño sismorresistente

Con R.M. N° 355-2018-VIVIENDA, se realiza la modificación a la norma E 030.

El valor de **ZUCS/R (P)** es la resistencia que se dará a las estructuras para que tenga un desempeño aceptable durante un evento sísmico. Según Norma Técnica E.030 (2018), considera los siguientes tipos de sistemas estructurales de Concreto Armado.

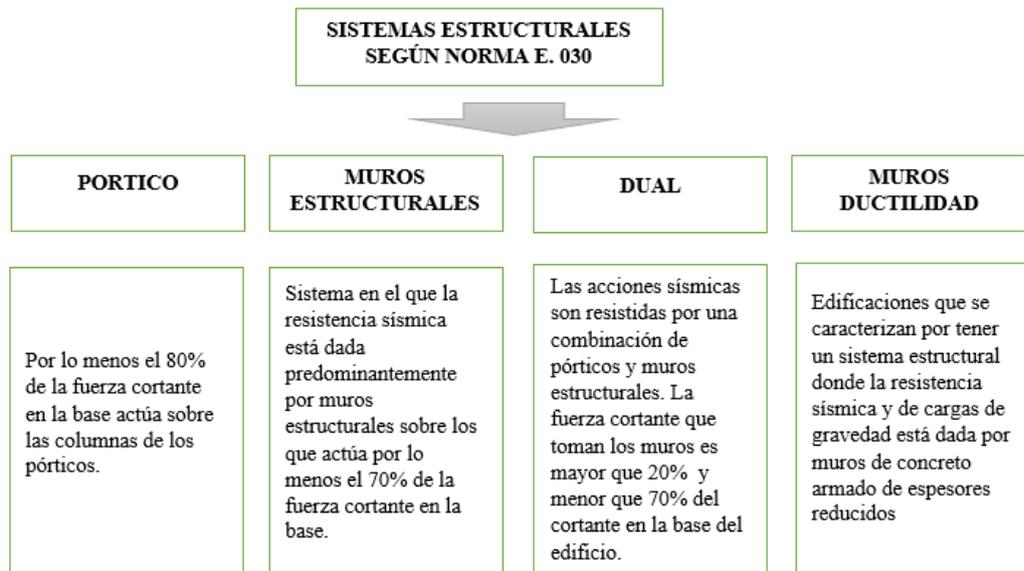


Figura 3. Sistemas estructurales de concreto armado según norma E. 030

Fuente: Adaptado de Diseño Sismorresistente E.030, (Pág., 14), por Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2018, Lima.

2.2.1.1 Factores de Zona (Z)

El factor de Zona representa la aceleración que tendría el suelo en el punto de ruptura de la placa tectónica en un determinado periodo de retorno. Esta es una fracción de la aceleración de la gravedad.

Tabla 2
Factores de zona (Z)

Zona	Z
Z ₁	0.1
Z ₂	0.25
Z ₃	0.35
Z ₄	0.45

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 8

2.2.1.2 Parámetros de sitio (S, TP Y TL)

Factor de suelo “S”

Representa el nivel de amplificación de la aceleración respecto a un suelo bueno (S1), esta amplificación dependerá del tipo del suelo y la zona.

Tabla 3
Parámetros de sitio (S)

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

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 12

Periodos TP y TL

El parámetro **TP** define la plataforma del espectro, es así que un suelo blando (S3) tendrá una mayor plataforma en el espectro y mayores los tipos de edificios afectados.

El parámetro **TL** define el inicio de la zona espectral con desplazamiento constante.

Tabla 4
Parámetros de sitio (TP y TL)

	S₀	S₁	S₂	S₃
T _P	0.30	0.40	0.60	1.00
T _L	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 12

2.2.1.3 Factor de amplificación sísmica (C)

El factor de amplificación sísmica representa cuanto amplifica la estructura las aceleraciones que recibe en su base.

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

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

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

Donde T es el periodo fundamental de vibración, en cada dirección se estima con la siguiente expresión:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad \text{[Ecuación 1]}$$

2.2.1.4 Categoría de las edificaciones (U)

Factor de incremento de resistencia respecto a una edificación común.

Tabla 5
Categoría de las edificaciones (U)

Categoría	Factor U
A Edificaciones Esenciales	1.5
B Edificaciones Importantes	1.3
C Edificaciones Comunes	1.0
D Edificaciones Temporales	Ver Nota

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 13

2.2.1.5 Coeficiente de Reducción Sísmica (R)

A continuación, se muestra los coeficientes básicos de Reducción según su sistema estructural.

Tabla 6
Coeficiente básico de reducción (Ro)

Sistema Estructural	Coeficiente Ro
Concreto Armado: Pórticos	8.00
Concreto Armado: Dual	7.00
Concreto Armado: Muros Estructurales	6.00
Concreto Armado: Muros de ductilidad limitada	4.00

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 16

A continuación, se muestra los coeficientes de irregularidad en altura.

Tabla 7
Coeficiente de reducción de irregularidad en altura (Ia)

Irregularidades Estructurales en Altura	Factor Ia
01 Regular	1.00
02 Irregularidad de Rigidez – Piso Blando	0.75
03 Irregularidades de Resistencia – Piso Débil	0.75
04 Irregularidad Extrema de Rigidez	0.50
05 Irregularidad Extrema de Resistencia	0.50
06 Irregularidad de Masa o Peso	0.90
07 Irregularidad Geométrica Vertical	0.90
08 Discontinuidad en los Sistemas Resistentes	0.80
09 Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes	0.60

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 17

A continuación, se muestra los coeficientes de irregularidad en planta.

Tabla 8
Coefficiente de reducción de irregularidad en altura (I_p)

Irregularidades Estructurales en Planta	Factor I_p
01 Regular	1.00
02 Irregularidad Torsional	0.75
03 Irregularidad Torsional Extrema	0.60
04 Esquinas Entrantes	0.90
05 Discontinuidad del Diafragma	0.85
06 Sistemas no Paralelos	0.90

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 18

Coefficiente de Reducción de fuerzas sísmicas

El coeficiente de reducción final se obtendrá con la siguiente expresión.

$$R = R_o I_a I_p \quad \text{[Ecuación 2]}$$

2.2.1.6 Estimación Peso

El peso sísmico se obtiene dependiendo de la categoría, según como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 9
Estimación de peso para el modelo matemático

Categoría	Porcentaje de carga viva adicional
Categoría A y B	+ 50 % Carga viva
Categoría C	+25 % Carga viva
Deposito	+ 80 % Peso total que es posible almacenar
Azotea y Techos	+25 % Carga viva
Tanques, Silos y Similares	+ 100 % de la carga que puede contener

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 20

2.2.1.7 Métodos de análisis sísmico

La norma de Diseño Sismorresistente presenta los siguientes métodos de análisis.

Tabla 10

Restricción de los métodos para el análisis numérico E.030 Diseño Sismorresistente

Métodos de análisis	Permitido para estructuras
Análisis estático o de fuerzas equivalentes	Para estructuras regulares e irregulares de la zona 1 Estructuras regulares de las zonas 2, 3 y 4 de nomas de 30 m y estructuras de muros portantes de C.A. y albañilería de no más de 15 m aun siendo irregulares.
Análisis dinámico modal espectral	Cualquier estructura puede ser diseñada
Análisis dinámico tiempo - historia	Procedimiento complementario a los dos mencionados

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 21

2.2.1.8 Determinación de desplazamientos laterales

El cálculo de los desplazamientos laterales se realiza teniendo en consideración la regularidad de la estructura. Según la tabla mostrada a continuación

Tabla 11

Determinación de desplazamientos laterales (E030 2018)

Estructura	Desplazamiento
Regular	0.75R
Irregulares	0.85R

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 21

La verificación de los límites de distorsión de entrepiso se realizará teniendo en consideración la siguiente tabla.

Tabla 12
Límite para la distorsión del entrepiso (E.030 2018)

Material predominante	Límite para la distorsión
Concreto armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de C.A. con MDL	0.005

Fuente: Adaptación E030, 2018, pág. 21

2.3 Sistemas modernos de protección sísmica

Actualmente existen variedad de sistemas de protección sísmica, Boza y Galán (2013) muestran una clasificación de los sistemas de protección sísmica de la siguiente manera:

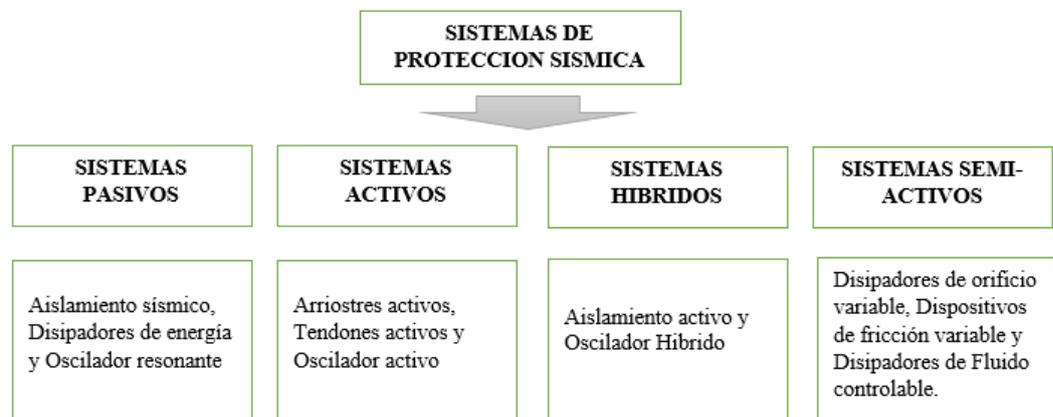


Figura 4. Clasificación de sistemas de disipación de energía

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron, (Pág., 4), por Boza y Galán, 2013, Lima.

2.3.1 Sistemas de control pasivo

Se basan en dispositivos mecánicamente simples que **responden al sismo de manera inercial** además de no requerir fuente de energía externa para funcionar.

El aislamiento sísmico separa a la edificación del suelo disminuyendo la energía de entrada, los disipadores de energía absorben la energía ingresada al sistema evitando que esta sea absorbida por los elementos estructurales y los osciladores resonante aumentaran un grado de libertad al sistema mediante una masa adicional la cual deberá estar en la misma frecuencia fundamental de la estructura.

2.3.2 Sistemas de control activos

Este tipo de sistema de disipación de energía contrarresta el efecto de un movimiento sísmico a través de **fuerzas aplicadas mediante actuadores integrados** a un grupo de controladores, sensores y procesadores de información.

2.3.3 Sistemas de control híbridos

Este tipo de sistema es una combinación entre sistemas activos y sistemas pasivos con el propósito de aumentar la eficiencia.

2.3.4 Sistemas de control semi-activos

Este tipo de sistema funciona de forma similar a los sistemas activos con la diferencia que no aplican fuerzas al sistema estructural, pero poseen propiedades que son controladas a tiempo real.

2.4 Sistema pasivo de disipación de energía

Respecto a la clasificación de los dispositivos pasivos de amortiguación de energía, Guevara y Torres (2012) clasifican en tres grandes categorías: Dependientes del Desplazamiento, Dependientes de la Velocidad y dependientes del Desplazamiento y de la Velocidad (Pág. 5).



Figura 5. Clasificación de sistemas pasivo de disipación de energía

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporricado con disipadores de fluido-viscoso en disposición diagonal, (Pág., 5), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

2.4.1 Disipadores dependientes del desplazamiento

Llamados también histeréticos, el funcionamiento de este tipo de dispositivos está basado en los desplazamientos relativos de entrepiso, y agregan cierto porcentaje de rigidez a la estructura.

Guevara y Torres (2012) indican que “son aquellos dispositivos que inician la disipación de energía con el movimiento relativo de entrepiso. Esto se refleja como un incremento en la rigidez de la estructura modificando de esta manera el periodo de la misma” (pág. 5).

A continuación, presentaremos diversos tipos de disipadores dependientes del desplazamiento.

a) Disipadores de fluencia metálica.

Disipan energía plastificando el componente de acero que hay en su interior mediante esfuerzos de flexión o cortante. Entre los más usados tenemos el llamado dispositivo ADAS. (Guevara y Torres, 2012, pág. 6)



Figura 6. Dispositivo de amortiguación por fluencia metálica ADAS.

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, (Pág., 6), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

b) Disipadores por fricción

Estos dispositivos disipan la energía ingresada mediante la fricción entre sus superficies que están en contacto y sometidas a presión. Una de las desventajas es la incertidumbre del coeficiente de fricción ya que depende de la presión normal, velocidad, etc.

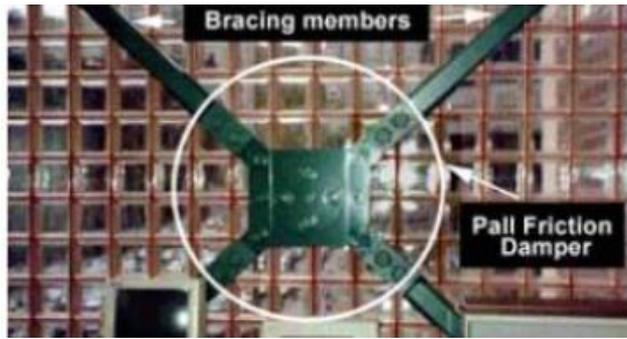


Figura 7 Dispositivo de amortiguación por fricción.

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, (Pág., 6), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

2.4.2 Disipadores dependientes de la velocidad

Los amortiguadores de fluido viscoso son cilindros huecos que se encuentran generalmente divididos en tres cámaras. El fluido fluye a velocidades elevadas desarrollando así fricción y de este modo calor que es liberado al ambiente de manera inofensiva, es así que se disipa la energía ingresada por el sismo.

Estos amortiguadores disipan energía debido a la fricción entre el fluido y los orificios de los pistones que tienen en su interior.



Figura 8. Disipadores de fluido viscoso

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, (Pág., 7), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

Respecto a la linealidad y no linealidad de amortiguador de fluido viscoso, Toledo (2015) indica que:

Se denomina Disipador Viscoso Lineal cuando la constante α (Constante de la velocidad) toma el valor de 1, en ese caso la Fuerza del amortiguador aumenta linealmente con la velocidad y como Disipador Viscoso No Lineal cuando la constante α (Constante de la velocidad) toma valores distintos a 1, y la relación fuerza desplazamiento del amortiguador varia no linealmente (Pág. 15).

2.4.3 Disipadores dependientes del desplazamiento y velocidad

a) Disipadores visco-elásticos

Este tipo de dispositivo comienza con la disipación de energía al menor desplazamiento y/o velocidad. Una de las desventajas es que los materiales visco-elásticos son afectados con la variación de temperatura y frecuencia.



Figura 9. Disipadores visco-elásticos

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aperticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, (Pág., 7), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

2.5 Sistema pasivo de disipación de energía dependiente de la velocidad

2.5.1 Generalidades

Los disipadores de fluido viscoso son básicamente cilindro de acero inoxidable de alta resistencia el cual contiene un fluido que se traslada en diferentes cámaras del dispositivo.

Dentro del cilindro el dispositivo contiene un pistón con orificios, cuando existe movimiento del pistón el líquido se traslada de un cámara a otra y esta genera fuerza de amortiguamiento.

Existe un desfase entre la velocidad con respecto al desplazamiento que se observa de mejor manera en la siguiente gráfica.

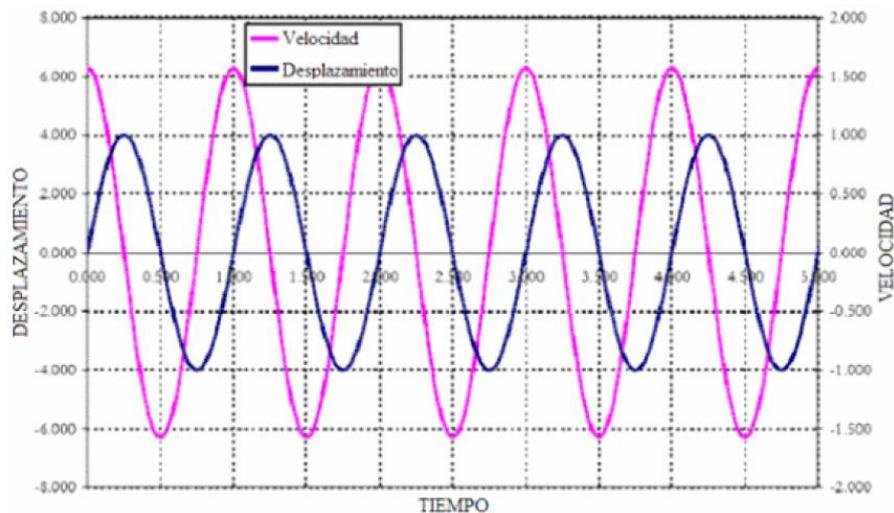


Figura 10. Desfase de la velocidad con respecto al desplazamiento.

Fuente: Adaptado de Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal, (Pág., 57), por Pardo Verdugo, 2007, Chile.

2.5.2 Configuración de los amortiguadores de fluido viscoso

2.5.2.1 Configuración Chevron Brace

Morales y Contreras (2012) indica:

Este tipo de configuración gracias a la ubicación del amortiguador, puede lograr una eficiencia de 1 es decir toda la capacidad de amortiguador estará en funcionamiento al estar sometido a acciones sísmicas. Debido a esta participación del amortiguador los arriostres metálicos deberán tener una alta resistencia lateral.

Por otro lado, Chacon y Ramirez (2014) afirma “A través de esta se puede lograr una eficiencia de 100%, es decir que se emplea toda la capacidad del disipador para restringir los desplazamientos de entrepiso.”

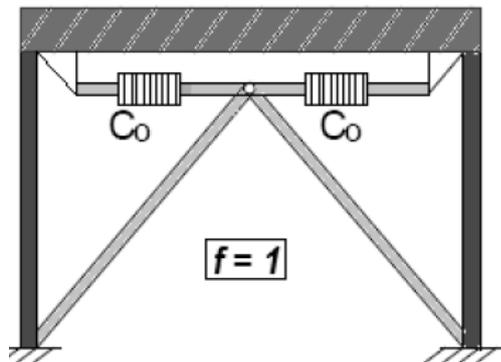


Figura 11. Configuración Chevron Brace

Fuente: Adaptado de Protección de una edificación existente con disipadores de energía, (Pág., 17), por Morales y Contreras, 2012, Lima.

Otra configuración derivada de la descrita anteriormente es la llamada Configuración Chevron Brace invertida, la cual facilita las labores de instalación y mantenimiento del sistema.



Figura 12. Configuración Chevron Brace Invertida

Fuente: Adaptado de Protección de una edificación existente con disipadores de energía, (Pág., 17), por Morales y Contreras, 2012, Lima.

2.5.2.2 Configuración Diagonal

En la imagen se tiene el dispositivo y sus arriostres metálicos en forma diagonal y dentro de un pórtico. Se observa una configuración simple dentro del pórtico.

Según Chacón y Ramírez (2012)

Este arreglo tiene la menor eficiencia ya que solamente la componente horizontal desarrollada por el amortiguador participa en la disipación de energía. Esta configuración es económica respecto a las otras, debido a que solo requiere un arriostre metálico y su instalación será relativamente simple.

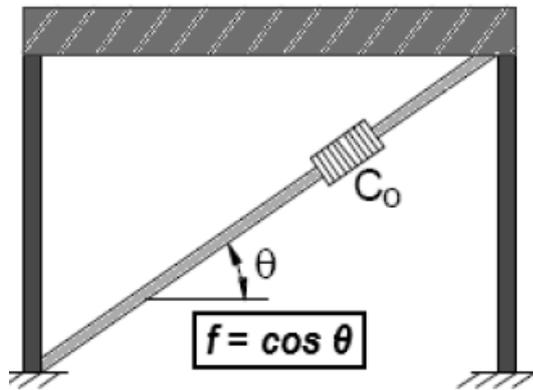


Figura 13. Configuración Diagonal

Fuente: Adaptado de Protección de una edificación existente con disipadores de energía, (Pág., 18), por Morales y Contreras, 2012, Lima.

2.5.2.3 Configuración Scissor Jack

Esta configuración tiene una eficiencia mayor a la unidad debido a que aumenta el desplazamiento del pistón del amortiguador para una deriva de entrepiso, además de ocupar menor espacio respecto a otras configuraciones

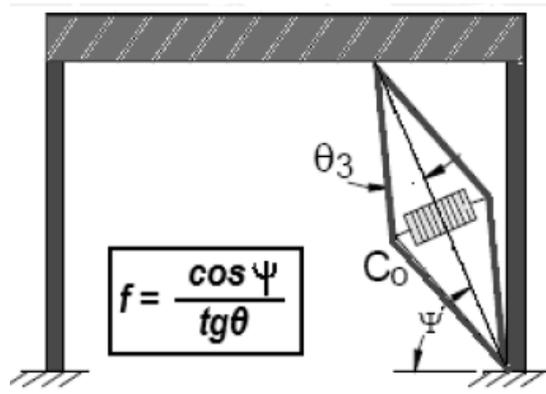


Figura 14. Configuración Scissor Jack.

Fuente: Adaptado de Protección de una edificación existente con disipadores de energía, (Pág., 18), por Morales y Contreras, 2012, Lima.

2.5.3 Efecto del amortiguamiento añadido a una estructura

Se observa que sucede si el amortiguamiento en una estructura se incrementa de un 5% a un 30%, el punto verde se desplaza sobre el mismo eje de periodo natural además de reducirse los desplazamientos y la fuerza cortante.

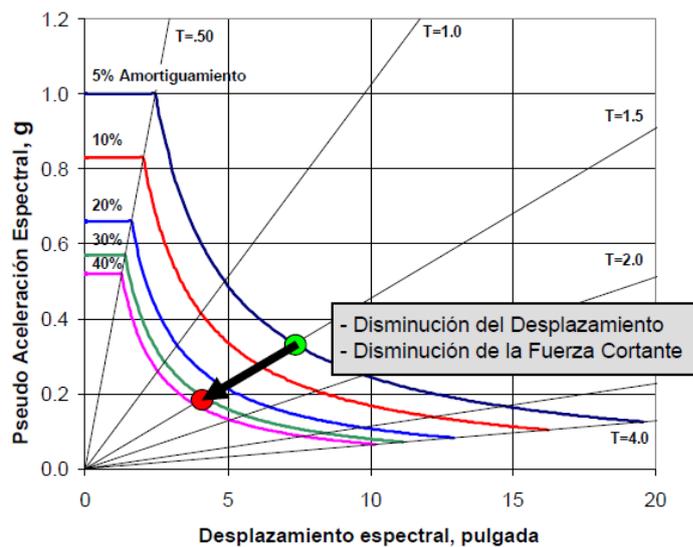


Figura 15. Efecto del amortiguamiento añadido a una estructura

Fuente: Adaptado de Diplomado Calculo de Edificios con sistemas de Amortiguamiento Sismico., por Comunidad para la Ingeniería Civil, 2015, Lima.

Según TOLEDO (2015) indica que:

El amortiguamiento natural de una estructura depende de su masa, rigidez y mecanismos de disipación de energía que se manifiesta como daño, este se encuentra en el rango del 5% a 7%.

Se incrementa el amortiguamiento de una estructura a través de la incorporación de dispositivos de disipación de energía, en nuestro caso de estudio son los amortiguadores de fluido viscoso. El amortiguamiento total

luego de la incorporación de dichos dispositivos puede llegar entre un 10% a un 30%.

2.5.4 Comportamiento fuerza-velocidad del amortiguador lineal y no lineal.

Hasta ahora se consideró el comportamiento lineal del amortiguador, pero a menudo estos son diseñados para tener un comportamiento no lineal donde la fuerza del amortiguador está relacionada no linealmente con la velocidad.

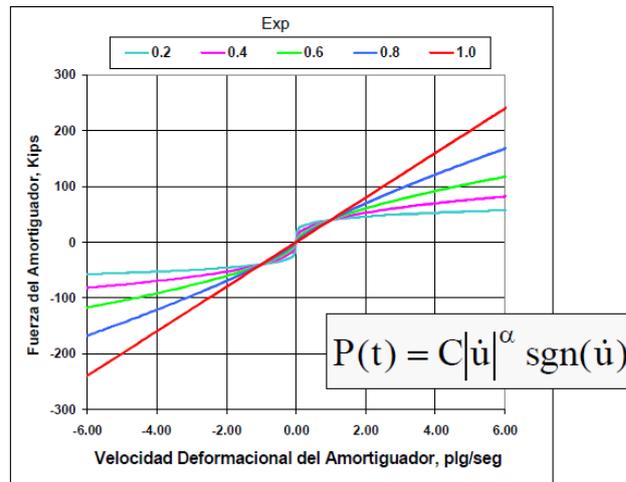


Figura 16. Relación fuerza – velocidad

Fuente: Adaptado de Diplomado Calculo de Edificios con sistemas de Amortiguamiento Sísmico., por Comunidad para la Ingeniería Civil, 2015, Lima.

La fuerza del amortiguador es dependiente del coeficiente de amortiguamiento, la velocidad, el exponente de la velocidad y la función signo de la velocidad.

En la imagen anterior se muestra la relación de fuerza – velocidad para cinco exponentes de velocidad (0.2, 0.4, 0.6, 0.8 y 1.0). Estos exponentes de velocidad van desde valores de 0.2 a 2 y para aplicaciones en estructuras se suele usar valores por debajo de la unidad.

El exponente de velocidad con un valor de 1 mostrará una relación lineal del amortiguador mientras que para valores menores a la unidad tendrá un comportamiento no lineal.

2.6 Dinámica de estructuras

Se realiza el estudio de la dinámica de estructuras y su comportamiento durante la aplicación de cargas, se idealizará a la estructura como sistemas de un grado de libertad con masa concentrada y soportada por un elemento sin masa.

Se estudia el comportamiento de estructuras elásticas lineales y no lineales que están sometidas a cargas dinámicas o el movimiento del terreno.

El estudio inicial corresponde a estructuras denominadas simples tal y como se muestra en la imagen.



Figura 17. Estructura simple

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Como se puede observar en este modelo la masa del tanque será mucho mayor que la de la columna. Entonces podrá idealizarse como un sistema de un grado de libertad con masa concentrada, y su columna no presentara masa pero si rigidez lateral.

Su idealización de esta estructura será como se muestra a continuación:

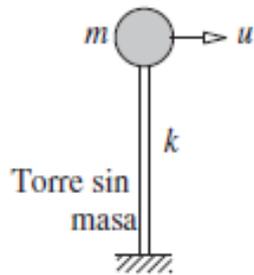


Figura 18. Idealización de la torre de agua

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Cuya ecuación diferencial que controla el movimiento será:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad \text{[Ecuación 3]}$$

2.6.1 Vibración de un sistema de un grado de libertad

Se denomina sistemas de un grado de libertad a la idealización de los sistemas como el presentado en el párrafo anterior. Donde la idealización presenta una masa concentrada y una rigidez del soporte.

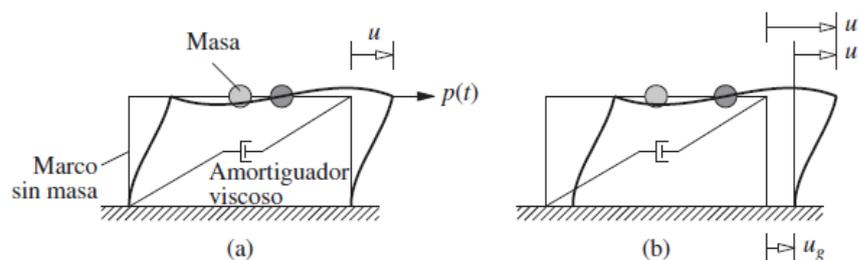


Figura 19. Sistema de un grado de libertad

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

De la imagen superior, según Chopra (2014) para el cálculo de la rigidez se deberá tener en consideración 3 GDL para un análisis estático, una traslación y dos rotaciones. En cambio para el análisis dinámico se considerará solo tendrá un grado de libertad que vendría a ser el desplazamiento lateral, esto si se idealiza con una masa concentrada. Es así que se denomina sistema de un grado de libertad.

Sistemas lineales y no lineales

La clasificación entre un sistema lineal y no lineal está referida en su relación de fuerza lateral y la deformación resultante.

Para un **sistema lineal elástico** se tendrá la siguiente relación

$$f_s = ku$$

Mientras que para un **sistema no lineal**

$$f_s = f_s(u)$$

Donde la fuerza restauradora es una función implícita de la deformación.

Fuerza de amortiguamiento

La fuerza de amortiguamiento es la responsable de la reducción de las amplitudes de la respuesta de un sistema.

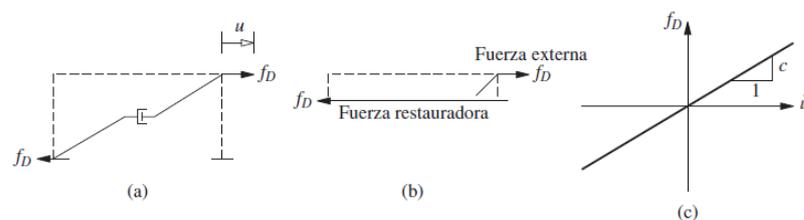


Figura 20. Amortiguamiento viscoso y relación con la velocidad

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

En la imagen obtenida del texto de Chopra (2014) se observa una fuerza externa que actúa en el sistema y una fuerza restauradora que es igual, pero en sentido contrario a la fuerza externa.

Ecuación del movimiento

Según Chopra (2014) la **ecuación que controla el movimiento**, se puede obtener a través de dos métodos:

- Segunda ley de Movimiento de Newton
- Equilibrio Dinámico

Segunda ley de Movimiento Newton

En la imagen se observa un conjunto de fuerzas que actúan sobre una masa en un instante de tiempo. Donde actúa la carga externa, la fuerza restauradora y la fuerza del amortiguador donde estas dos últimas se oponen al desplazamiento que ocasionara la fuerza externa.

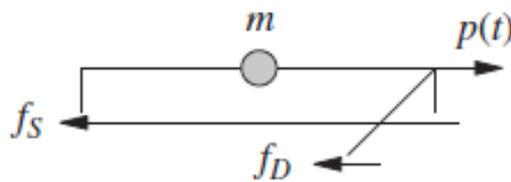


Figura 21. Diagrama de cuerpo libre (Principio segunda ley de Movimiento de Newton)

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Donde:

f_s = Fuerza Restauradora elástica o inelástica

f_D = Fuerza de amortiguamiento

$p(t)$ = Fuerza excitadora

Realizando sumatoria de fuerzas del diagrama de cuerpo libre y aplicando la segunda ley de movimiento de Newton tenemos:

$$p(t) - f_D - f_S = m\ddot{u}$$

Ordenando los términos tenemos:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t) \quad \text{[Ecuación 4]}$$

Para sistemas no lineales se debe reemplazar la rigidez por la rigidez para sistemas no lineales, según como se muestra a continuación.

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_S(u) = p(t) \quad \text{[Ecuación 5]}$$

Equilibrio dinámico

Según Chopra (2014) este método se basa en el equilibrio dinámico de D'Alembert. Donde se incluirá una carga inercial ficticia para luego proceder a realizar el equilibrio.

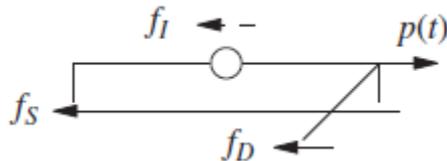


Figura 22. Diagrama de cuerpo libre (Equilibrio dinámico)

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Realizando el equilibrio dinámico obtenemos:

$$f_I + f_D + f_S = p(t)$$

Ordenando los términos

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = p(t)$$

Métodos de solución a las ecuaciones diferenciales.

Se pueden usar cuatro métodos de solución de las ecuaciones diferenciales que caracterizan la respuesta de sistemas de 1 grado de libertad.

- Solución clásica
- Integral de Duhamel
- Método en el dominio de la frecuencia
- Métodos numéricos

La solución clásica presenta dos soluciones una particular y otra complementaria donde la solución total será la suma de ambas. Se tendrán dos constantes de integración en la solución complementaria que serán halladas con las condiciones iniciales de velocidad y desplazamiento.

La integral de Duhamel representa la fuerza aplicada como una secuencia infinitesimal de pulsos cortos, la respuesta se obtiene tras sumar las respuestas de cada pulso hasta el tiempo t .

Método en el dominio de la frecuencia usa la transformada de Fourier, este método es factible para sistemas lineales con excitaciones complicadas.

Los Métodos numéricos estos son usados para sistemas no lineales donde se podrá representar el comportamiento inelástico de la estructura durante movimientos sísmicos.

Sistemas de un grado de libertad

Se tienen sistemas de un grado de libertad con variación en la carga externa y el amortiguamiento, los sistemas estudiados y necesarios para la comprensión de esta investigación se detalla a continuación.

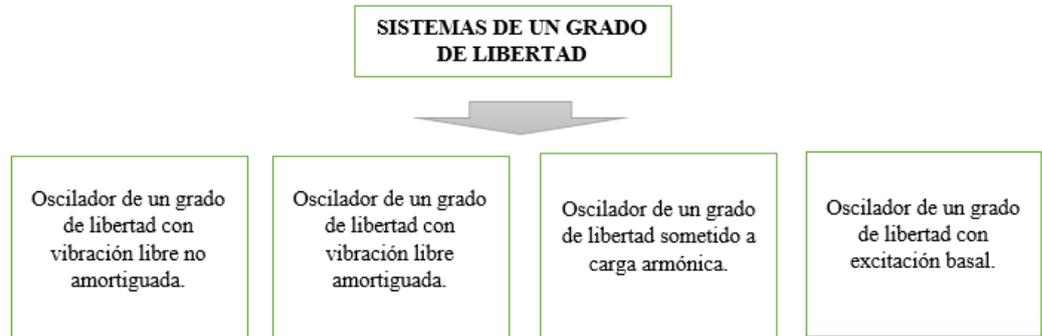


Figura 23. Esquema de sistemas de 1gdl estudiados

Fuente: Elaboración Propia

2.6.1.1 Oscilador de un grado de libertad con vibración libre no amortiguada.

La vibración libre se da cuando la estructura es perturbada de su equilibrio estático y se le deja que vibre sin ninguna excitación externa.

Para el estudio de un sistema de 1gdl con condiciones iniciales de desplazamiento y velocidad conocidas, la ecuación que modelará el movimiento del sistema de 1 GDL en vibración libre no amortiguada será:

$$m\ddot{u} + ku = 0 \quad \text{[Ecuación 6]}$$

Este sistema no presenta alguna carga excitadora ni algún sistema de amortiguamiento. Las condiciones iniciales son un desplazamiento $u = u(0)$ y una velocidad inicial $\dot{u} = \dot{u}(0)$, en el tiempo cero.

La solución a la ecuación diferencial lineal homogénea de segundo orden con coeficientes constantes es:

$$u(t) = A \cos \omega_n t + B \operatorname{sen} \omega_n t$$

$$A = u(0)$$

$$B = \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n}$$

$$u(t) = u(0) \cos \omega_n t + \frac{\dot{u}(0)}{\omega_n} \operatorname{sen} \omega_n t \quad [\text{Ecuación 7}]$$

En la imagen mostrada a continuación se ve el sistema vibrando u oscilando alrededor de su posición de equilibrio estático. Donde para completar un ciclo de vibración le toma $T = 2\pi/\omega_n$ segundos, que es el periodo natural de vibración.

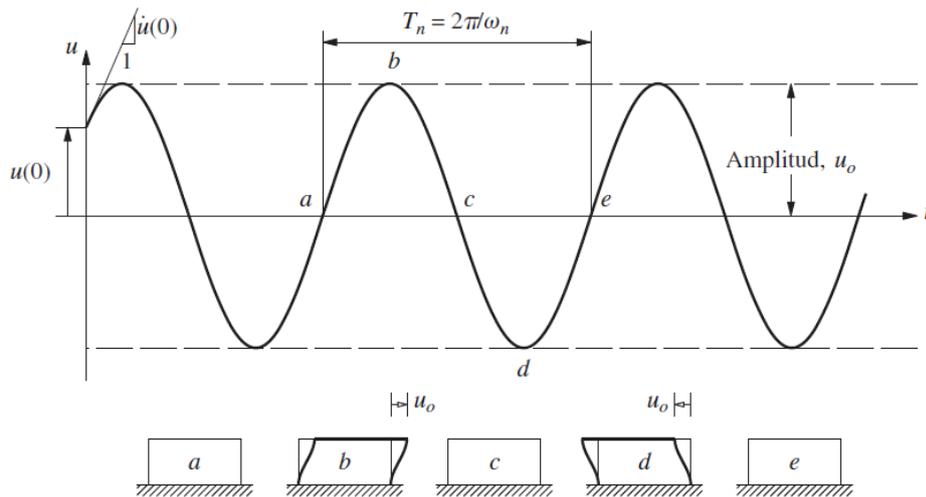


Figura 24. Respuesta de sistema de 1GDL en vibración libre no amortiguada

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Amplitud del movimiento

La amplitud del movimiento que tendrá el sistema y que en este caso no decae estará definida por la siguiente ecuación.

$$u_o = \sqrt{[u(0)t]^2 + \left[\frac{\dot{u}(0)}{\omega_n}\right]^2} \quad [\text{Ecuación 8}]$$

A continuación se muestra la tabulación de la respuesta de **un oscilador de un grado de libertad en vibración libre no amortiguada**. Donde se observa las ecuaciones de la respuesta (velocidad y aceleración), que se obtiene derivando la ecuación de desplazamiento.

Ecuación de desplazamiento

$$u_o(t) = A \cdot \cos(\omega_n \cdot t) + B \cdot \sin(\omega_n \cdot t)$$

Ecuación de la velocidad

$$\dot{u}_o(t) = B \cdot \omega_n \cdot \cos(\omega_n \cdot t) - A \cdot \omega_n \cdot \sin(\omega_n \cdot t)$$

Ecuación de la aceleración

$$\ddot{u}_o(t) = -A \cdot \omega_n^2 \cdot \cos(\omega_n \cdot t) - B \cdot \omega_n^2 \cdot \sin(\omega_n \cdot t)$$

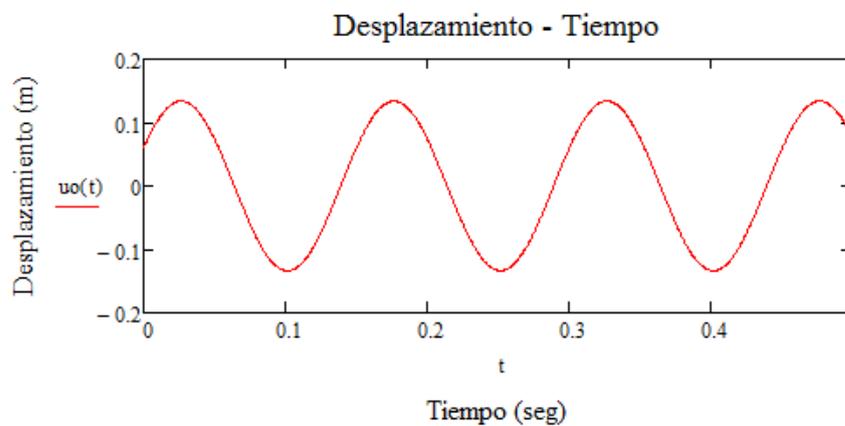


Figura 25. Respuesta de una estructura en vibración libre no amortiguada

Fuente: Elaboración Propia

Periodo natural de vibración del sistema.

Para entender de mejor manera el concepto de **periodo natural de vibración** del sistema, mostraremos algunas comparaciones como ejemplos. La ecuación que representa el periodo natural del sistema es:

$$T_n = 2\pi/\omega_n \quad [\text{Ecuación 9}]$$

Y representa el tiempo en que el sistema completa un ciclo de vibración

En la imagen mostrada a continuación tenemos un modelo con masas iguales y rigideces diferentes, por un lado, de línea roja es un modelo con una rigidez menor que el sistema de línea azul. (Rojo = Menor Rigidez, Azul = Mayor rigidez)

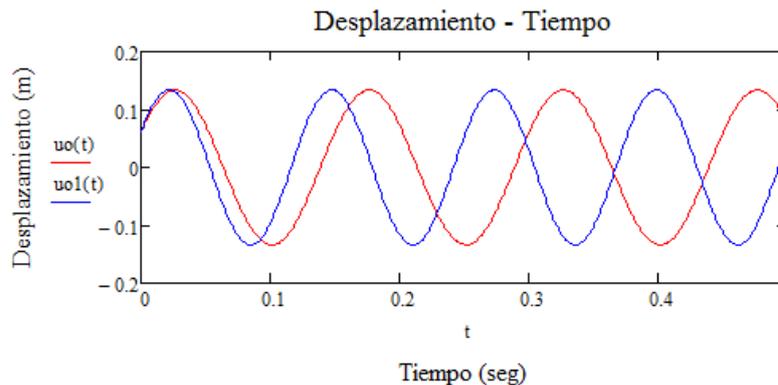


Figura 26. Dependencia de la rigidez sobre el periodo natural de vibración

Fuente: Elaboración Propia

Realizando los cálculos correspondientes para dos sistemas de masa similar igual a 20 ton, Rigidez igual a 35000 Kn/m y 50000 Kn/m respectivamente, con las mismas condiciones iniciales, se obtendrá que para el primer sistema se tiene un periodo natural de vibración de 0.15 seg

y para el segundo sistema de 0.126 seg. Se concluye que a mayor rigidez menor periodo natural de vibración.

Todo lo mencionado anteriormente se resume en la siguiente tabla.

Tabla 13
Relación de frecuencia natural y periodo natural

Caso para 02 sistemas	Frecuencia natural	Periodo natural
$m_1 = m_2$ $k_1 > k_2$	Caso 01 presenta mayor frecuencia natural.	Caso 01 presenta menor periodo natural.
$m_1 > m_2$ $k_1 = k_2$	Caso 01 presenta menor frecuencia natural.	Caso 01 presenta mayor periodo natural.

Fuente: Elaboración Propia

2.6.1.2 Oscilador de un grado de libertad con vibración libre amortiguada.

Para el estudio de un sistema de 1gdl con condiciones iniciales de desplazamiento y velocidad conocidas, la ecuación que modelará el movimiento del sistema de 1 GDL en vibración libre amortiguada será:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = 0 \quad \text{[Ecuación 10]}$$

Se define a la razón de amortiguamiento como:

$$\zeta = \frac{c}{2m\omega_n} = \frac{c}{c_r} \quad \text{[Ecuación 11]}$$

Donde c es la constante de amortiguamiento y c_{cr} es el amortiguamiento crítico y ζ es la razón de amortiguamiento critico.

El valor de la variable ‘ c ’ según Chopra (2014) es una medida de energía disipada en un ciclo de vibracion libre o en un ciclo de vibracion forzada armonica.

Antes de conocer la solución de la ecuación diferencial se estudiara los tres tipos de movimiento que dependeran del amortiguamiento o razón de amortiguamiento crítico.

Tipos de movimiento

Según Chopra (2014) tenemos 3 tipos de movimientos, que dependa de la razón de amortiguamiento o valores de c y c_r .

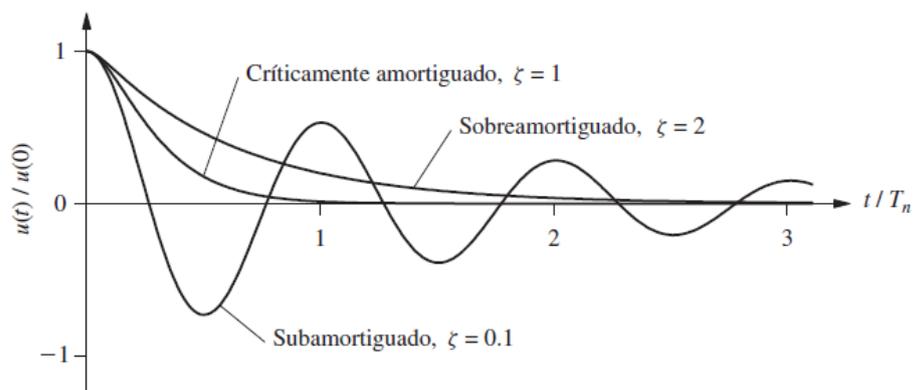


Figura 27. Vibración del sistema subamortiguado, críticamente amortiguado y sobre amortiguado

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

La oscilación del sistema, así como la disminución de las amplitudes dependerá del amortiguamiento o razón de amortiguamiento.

A continuación, se presenta una tabla donde se resume lo mencionado por Chopra (2014), que clasifica a los tipos de movimiento dependiendo de la razón de amortiguamiento o el coeficiente de amortiguamiento.

Tabla 14*Tipos de movimiento según su razón de amortiguamiento*

Tipo de movimiento	Razón de amortiguamiento (ζ)	Coefficiente de amortiguamiento (c)
Sub amortiguado	$\zeta < 1$	$c < c_r$
Críticamente amortiguado	$\zeta = 1$	$c = c_r$
Sobre amortiguado	$\zeta > 1$	$c > c_r$

Fuente: Elaboración Propia

Movimiento subamortiguado

El estudio se realiza con el movimiento subamortiguado debido a su naturaleza, este tipo de movimiento representa el comportamiento de las estructuras que es de nuestro interés.

La solución a la ecuación diferencial lineal homogénea de segundo orden con coeficientes constantes, para la respuesta de un sistema de 1GDL amortiguado es:

$$u(t) = e^{-\zeta \omega_n t} [A \cos \omega_D t + B \operatorname{sen} \omega_D t]$$

Donde

$$A = u(0)$$

$$B = \frac{\dot{u}(0) + \zeta \omega_n u(0)}{\omega_D}$$

$$u(t) = e^{-\zeta \omega_n t} \left[u(0) \cos \omega_D t + \frac{\dot{u}(0) + \zeta \omega_n u(0)}{\omega_D} \operatorname{sen} \omega_D t \right] \quad [\text{Ecuación 12}]$$

La solución a la ecuación diferencial de movimiento que representa el movimiento subamortiguado es como se muestra en la siguiente imagen, también se muestra la velocidad y aceleración del sistema en función del tiempo.

Vibración sub amortiguada

Ecuación del desplazamiento

$$u_0(t) = [e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \cos(\omega_d t) + B \cdot \sin(\omega_d t))]$$

Ecuación del velocidad

$$u_0'(t) = -e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \omega_d \sin(\omega_d t) - B \cdot \omega_d \cos(\omega_d t)) - \zeta \omega_n e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \cos(\omega_d t) + B \cdot \sin(\omega_d t))$$

Ecuación del aceleración

$$u_0''(t) = 2 \cdot \zeta \omega_n e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \omega_d \sin(\omega_d t) - B \cdot \omega_d \cos(\omega_d t)) - \zeta^2 \omega_n^2 e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \cos(\omega_d t) + B \cdot \sin(\omega_d t)) + \omega_n^2 e^{-\zeta \omega_n t} (A \cdot \cos(\omega_d t) + B \cdot \sin(\omega_d t))$$

Figura 28. Respuesta de una estructura en vibración libre amortiguada (Subamortiguado)

Fuente: Elaboración Propia

El efecto del amortiguamiento es la reducción de la amplitud de la respuesta tal y como se muestra en la siguiente imagen.

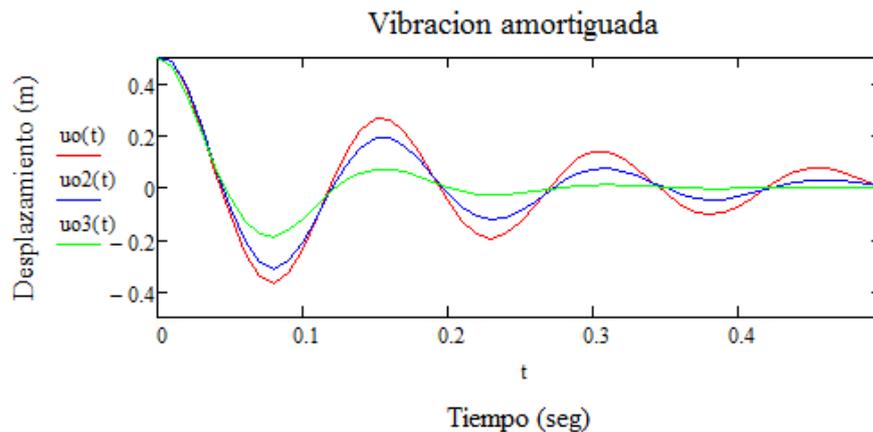


Figura 29. Influencia del amortiguamiento en la respuesta

Fuente: Elaboración Propia

En este modelo se aumentó el amortiguamiento a cada sistema y como se puede observar en la imagen la amplitud de la respuesta disminuye. En color verde está el modelo con mayor razón de amortiguamiento mientras que en color rojo está la de menor razón de amortiguamiento.

La frecuencia amortiguada y periodo amortiguado están relacionados con la frecuencia natural y periodo natural de vibración respectivamente.

$$\omega_D = \omega_n \sqrt{1 - \zeta^2} \quad \text{[Ecuación 13]}$$

$$T_D = \frac{T_n}{\sqrt{1 - \zeta^2}} \quad \text{[Ecuación 14]}$$

La amplitud de la respuesta de desplazamiento del sistema amortiguado tendrá una variación debido a la presencia del amortiguamiento y estará representada por la siguiente ecuación:

$$\rho = \sqrt{[u(0)]^2 + \left[\frac{\dot{u}(0) + \zeta \omega_n u(0)}{\omega_D} \right]^2} \quad \text{[Ecuación 15]}$$

La reducción de las amplitudes estará marcada por la parte exponencial de la solución de la ecuación de movimiento como se puede observar en la siguiente imagen.

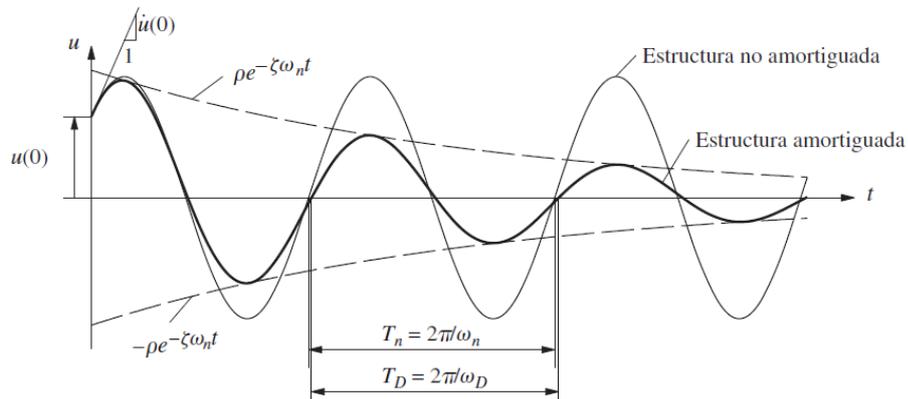


Figura 30. Reducción de amplitudes de la respuesta

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Según CHOPRA (2014) otro efecto del amortiguamiento sobre las propiedades dinámicas de los sistemas es que **el amortiguamiento reduce**

la frecuencia natural de ω_n a ω_D y alarga el periodo natural de T_n a T_D . Estos efectos son insignificantes para fracciones de amortiguamiento menores a 20%.

2.6.1.3 Decremento logarítmico

Estudia la relación entre las amplitudes de la respuesta un ciclo completo después, así el decremento logarítmico queda definido como:

$$\delta = \ln \left(\frac{u_i}{u_{i+1}} \right) = 2\pi\zeta$$

Cuando se tiene N ciclos transcurridos y conocemos las amplitudes se procederá con la siguiente expresión.

$$\zeta = \frac{1}{2\pi N} \ln \left(\frac{u_i}{u_{i+1}} \right) \quad \text{[Ecuación 16]}$$

Donde:

$u_i = \text{Amplitud en } j$

$u_{i+1} = \text{Amplitud en } N \text{ ciclos despues}$

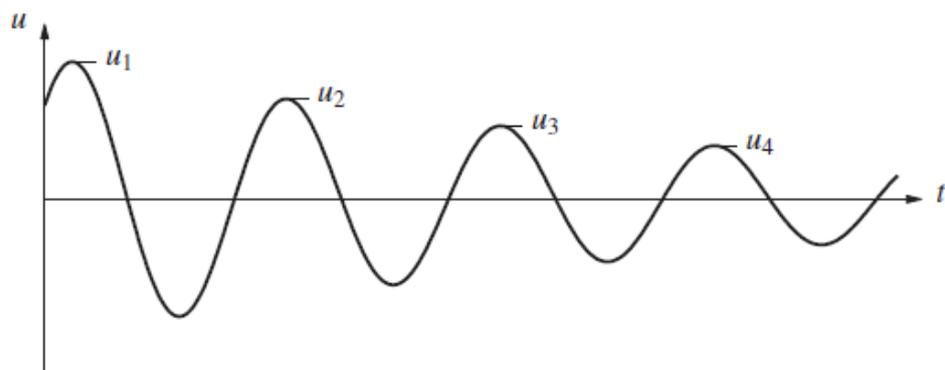


Figura 31. Reducción de la amplitud de la respuesta

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

2.6.1.4 Fase y desfase con la carga excitadora

Si se grafica la relación de frecuencias vs el término de la respuesta dinámica en estado estacionario se tiene.

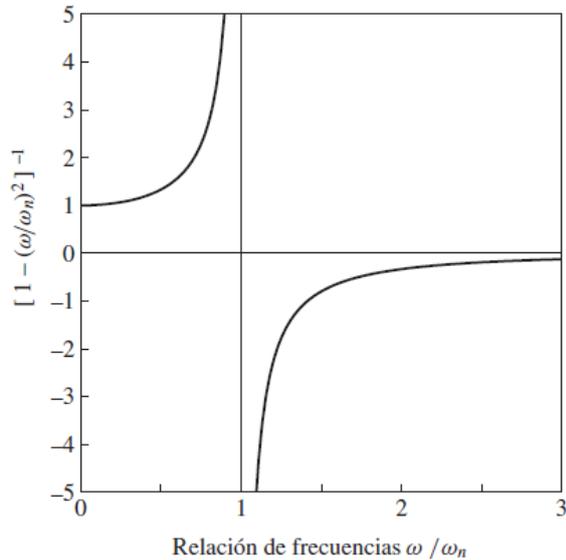


Figura 32. Grafica de relación de frecuencias

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

De lo observado de la gráfica anterior se puede elaborar la siguiente tabla resumen.

Tabla 15

Condición de fase de la respuesta con la carga aplicada

Condición de fase	Condición	Factor $\left(\frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2}\right)$	Angulo de Fase
Desplazamiento en fase con la fuerza aplicada	$\frac{\omega}{\omega_n} < 1$ ó $\omega < \omega_n$	Positivo	0°
Desplazamiento fuera de fase con la fuerza aplicada	$\frac{\omega}{\omega_n} > 1$ ó $\omega > \omega_n$	Negativo	180°

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Cuando la relación de frecuencias tiende a cero el factor R_d es 1 mientras que si tiende al infinito el factor tiende a cero.

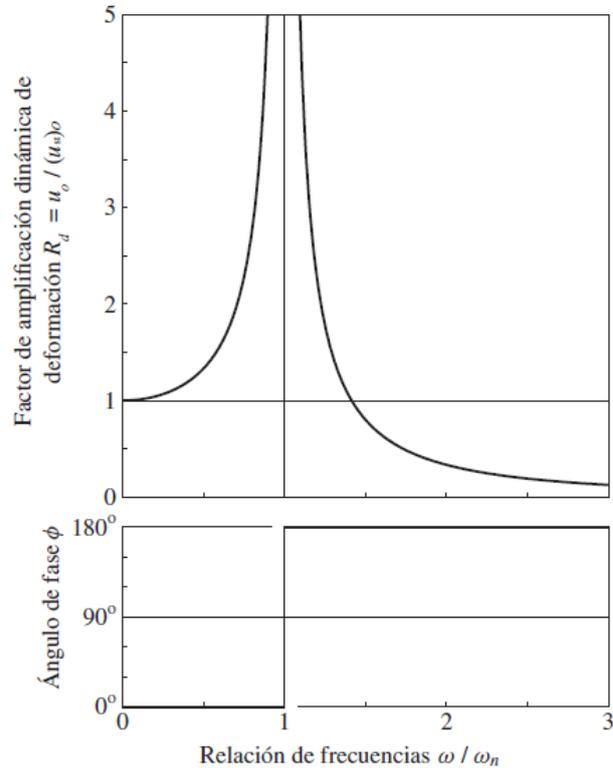


Figura 33. Factor R_d y Ángulo de fase

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

La deformación vibratoria debido a una fuerza que varía rápidamente es muy pequeña debido a que la relación de frecuencias es elevada.

Entonces la solución particular de la solución de la ecuación diferencial también puede ser expresada como se muestra a continuación:

Entonces:

$$u_p(t) = \frac{p_o}{k} \left(\frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} \right) \text{sen } \omega t$$

$$u_p(t) = U_{st} R_d \text{sen}(\omega t - \phi) \quad \text{[Ecuación 17]}$$

Donde:

$$U_{st} = \frac{p_o}{k} = \text{Desplazamiento estatico}$$

$$R_d = \frac{1}{1 - \left(\frac{\omega}{\omega_n}\right)^2} = \text{Factor de amplificacion dinamica}$$

$$\phi = \begin{cases} 0^\circ & \omega < \omega_n \\ 180^\circ & \omega > \omega_n \end{cases} = \text{Angulo de fase}$$

Tabla 16
Condiciones de fase de la carga excitadora y su significado

Condición de fase	Condición	Angulo de Fase	Explicación
Desplazamiento en fase con la fuerza aplicada	$\frac{\omega}{\omega_n} < 1$ ó $\omega < \omega_n$	0°	El desplazamiento varia como $\text{sen } \omega t$. La respuesta está en fase con la excitación armónica.
Desplazamiento fuera de fase con la fuerza aplicada	$\frac{\omega}{\omega_n} > 1$ ó $\omega > \omega_n$	180°	El desplazamiento varia como $-\text{sen } \omega t$. La respuesta está fuera de fase con la excitación armónica.

Fuente: Elaboración Propia

2.6.1.5 Excitación sísmica

Chopra (2014) indica que los desplazamientos que experimenta la estructura están relacionados por la siguiente expresión.

$$u^t(t) = u_g(t) + u(t) \quad \text{[Ecuación 18]}$$

El desplazamiento total es igual a la suma del desplazamiento del terreno más el desplazamiento relativo respecto al eje inercial.

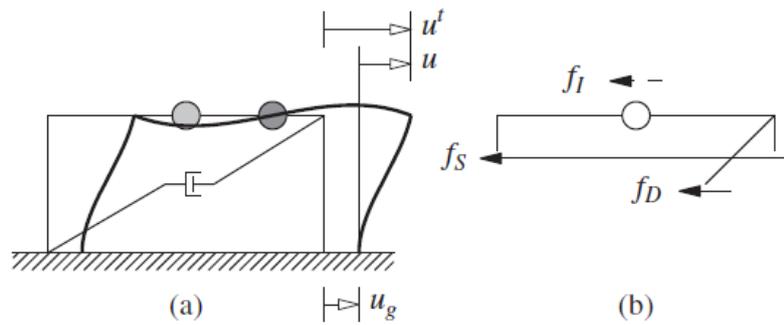


Figura 34. Marco sometido a movimiento del terreno

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Del equilibrio dinámico del diagrama de cuerpo libre se obtiene:

$$f_I + f_D + f_S = 0$$

Chopra (2014) menciona que solo el desplazamiento relativo entre la base y la masa genera fuerzas elásticas y de amortiguamiento, la ecuación de la fuerza inercial será como se muestra a continuación:

$$f_I = m\ddot{u}^t$$

La ecuación de movimiento para un sistema de 1 GDL sometido a aceleraciones del terreno y sin fuerzas externas actuante será:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + ku = -m\ddot{u}_g(t) \quad \text{[Ecuación 19]}$$

Y para sistemas inelásticos:

$$m\ddot{u} + c\dot{u} + f_S(u) = -m\ddot{u}_g(t) \quad \text{[Ecuación 20]}$$

2.6.1.6 Frecuencias y modos de vibración naturales

Si sometemos a vibración libre a un marco de dos niveles, con condiciones iniciales se tendrá el movimiento resultante como se muestra en la siguiente imagen.

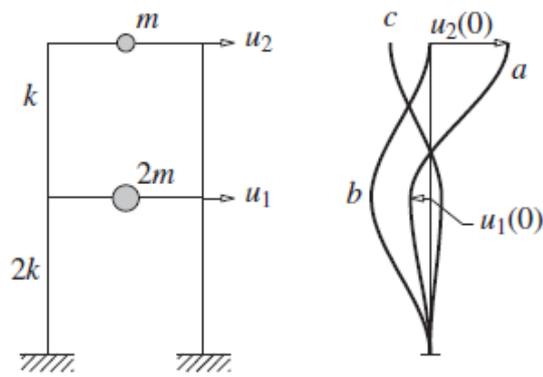


Figura 35. Vibración libre de un sistema de dos grados de libertad

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Se tiene las formas modificadas del marco en los instantes a, b y c que es la respuesta luego de darle condiciones iniciales al sistema para luego estar en vibración libre.

Ahora si establecemos condiciones iniciales y soltaríamos el marco este vibrara como se muestra a continuación. Vibrando en una forma armónica simple sin cambiar de forma modificada.

Para este marco existirá dos formas modificadas de movimiento, a estas formas características se denominan modo natural de vibración.

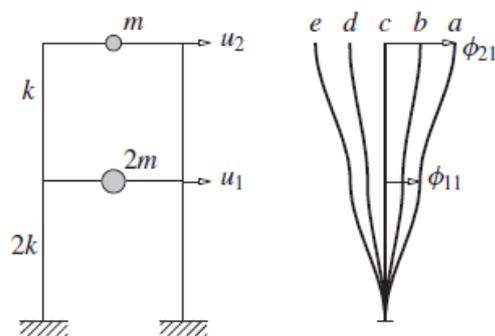


Figura 36. Primer modo natural de vibración

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

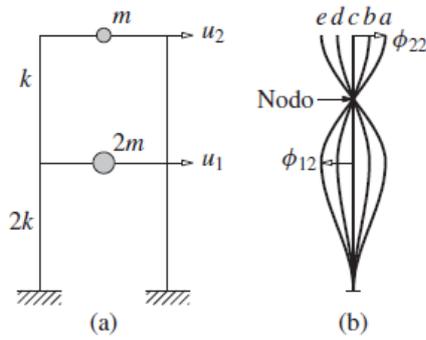


Figura 37. Segundo modo natural de vibración

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

El periodo vibración natural es el tiempo requerido para un ciclo de movimiento armónico simple en uno de estos modos naturales.

Los modos naturales de vibración de este modelo analizado se definirán como:

$$\phi_n = (\phi_{1n} \ \phi_{2n})^T \quad \text{[Ecuación 21]}$$

Donde n es el número de modo de vibrar en ese auto vector.

Para un sistema de varios grados de libertad se puede escribir la siguiente expresión:

$$u(t) = q_n(t) \phi_n$$

Donde

$$q_n(t) = A \cos \omega_n t + B \text{ sen } \omega_n t$$

Remplazando

$$u(t) = \phi_n (A \cos \omega_n t + B \text{ sen } \omega_n t)$$

Ahora remplazaremos esta última ecuación en la ecuación de movimiento para un sistema de varios grados de libertad no amortiguada. Y se obtendrá la siguiente ecuación.

$$m\ddot{u} + ku = 0$$

$$[-\omega_n^2 m \phi_n + k \phi_n] q_n(t) = 0$$

Esta ecuación se puede solucionar de dos maneras:

- Poniendo a $\mathbf{q}_n(\mathbf{t}) = \mathbf{0}$, no se tendrían desplazamientos (Solución trivial)
- Satisfacer la ecuación $\mathbf{k} \phi_n = \omega_n^2 \mathbf{m} \phi_n$ (Problema matricial de valor característico o eigenvalor)

Tomando esta segunda opción y rescribiéndola se tendrá.

$$[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] \phi_n = \mathbf{0} \quad \text{[Ecuación 22]}$$

Solución **trivial** si $\phi_n = 0$, la cual no genera desplazamiento y soluciones **no triviales** si:

$$\det[\mathbf{k} - \omega_n^2 \mathbf{m}] = 0$$

La expansión de la determinante se obtendrá el polinomio de grado N, se denomina **ecuación característica o ecuación de frecuencia**.

Las N raíces de la solución de la ecuación características determinan N frecuencias naturales, estas raíces de las frecuencias naturales elevadas al cuadrado de la ecuación característica se denomina **valores propios, valores característicos o valores normales**

Con la ayuda de estas frecuencias naturales se obtendrán los modos naturales de vibración, estos vectores también se denominan **vectores propios, vectores característicos o modos normales**. El primer modo se conoce como modo fundamental.

2.6.1.7 Matrices modal y espectral

La matriz modal es la matriz ensamblada de los modos naturales de vibración.

$$\Phi = [\phi_{jN}] = \begin{bmatrix} \phi_{11} & \dots & \phi_{1N} \\ \phi_{21} & \dots & \phi_{2N} \\ \phi_{N1} & \dots & \phi_{NN} \end{bmatrix} \quad \text{[Ecuación 23]}$$

Donde

$j = \text{Grado de libertad}$

$n = \text{Numero de modos naturales de vibracion}$

La matriz espectral es los N valores característicos ω_n^2 ensamblados en una matriz diagonal Ω^2 .

$$\Omega^2 = \begin{bmatrix} \omega_1^2 & & \\ & \dots & \\ & & \omega_n^2 \end{bmatrix} \quad \text{[Ecuación 24]}$$

2.6.1.8 Ortogonalidad de los modos

Según Chopra (2014) es posible demostrar que los modos naturales correspondiente a diferentes frecuencias satisfacen las siguientes condiciones de ortogonalidad. Cuando $\omega_n \neq \omega_r$.

$$\phi_n^T k \phi_n = 0 \quad \text{[Ecuación 25]}$$

$$\phi_n^T m \phi_n = 0 \quad \text{[Ecuación 26]}$$

Así, los modos son ortogonales respecto a la matriz de masa y la matriz de rigidez.

Como ejemplo podríamos tomar dos modos diferentes de una estructura y realizamos la operación de la ecuación anterior nos daría un resultado nulo. Los modos son vectores ortogonales.

2.6.2 Amortiguamiento de las estructuras

La matriz de amortiguamiento debe determinarse a partir de sus fracciones de amortiguamiento modal.

2.6.2.1 Amortiguamiento de Rayleigh

Considerando un amortiguamiento proporcional a la masa y otro a la rigidez.

$$c = a_0 m \quad c = a_1 k$$

Realizando una combinación lineal de ambos

$$c = a_0 m + a_1 k \quad \text{[Ecuación 27]}$$

Donde

$$a_0 = \zeta \frac{2\omega_i \omega_j}{\omega_i + \omega_j}$$

$$a_1 = \zeta \frac{2}{\omega_i + \omega_j}$$

2.6.2.2 Amortiguamiento de Caughey

Es una generalización de la matriz de Rayleigh, se consideran más de dos modos a diferencia del caso anterior presentado.

$$c = m \left(\sum_{i=1}^N \frac{2\zeta_i \omega_i}{M_i} \phi_i \phi_i^T \right) m \quad \text{[Ecuación 28]}$$

Habitualmente se consideran los primeros modos de vibración, con una contribución significativa a la respuesta.

2.6.3 Espectro de respuesta de desplazamiento, pseudo-velocidad y pseudo-aceleraciones.

Cuando hablamos de espectro nos referimos a máximas respuestas de la estructura ya sea en términos de desplazamiento, velocidades y aceleraciones.

Si sometemos a un sistema de 1GDL amortiguado a un registro de aceleraciones variando su periodo y no su amortiguamiento como se ve en la imagen.

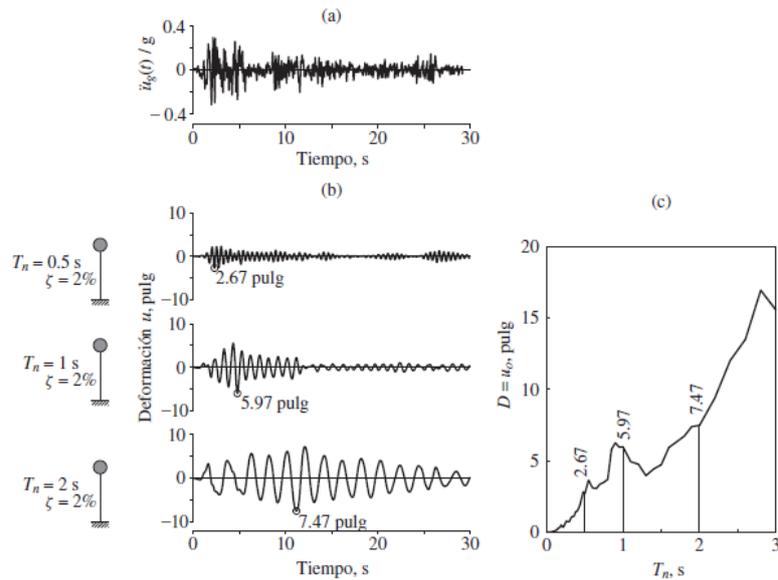


Figura 38. Respuesta de desplazamiento de un sistema de 1DGL

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

Observamos la respuesta para cada caso con las condiciones mencionadas en el párrafo anterior. Ahora si creamos una gráfica con los **máximos desplazamiento para cada caso llegamos al espectro de deformaciones.**

Los valores de la Pseudo-Velocidades y Pseudo-Aceleraciones se determinarán con ayuda de las siguientes expresiones.

- D
- $V = \omega_n D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right) D$
- $A = \omega_n^2 D = \left(\frac{2\pi}{T_n}\right)^2 D$

Si graficamos los tres espectros

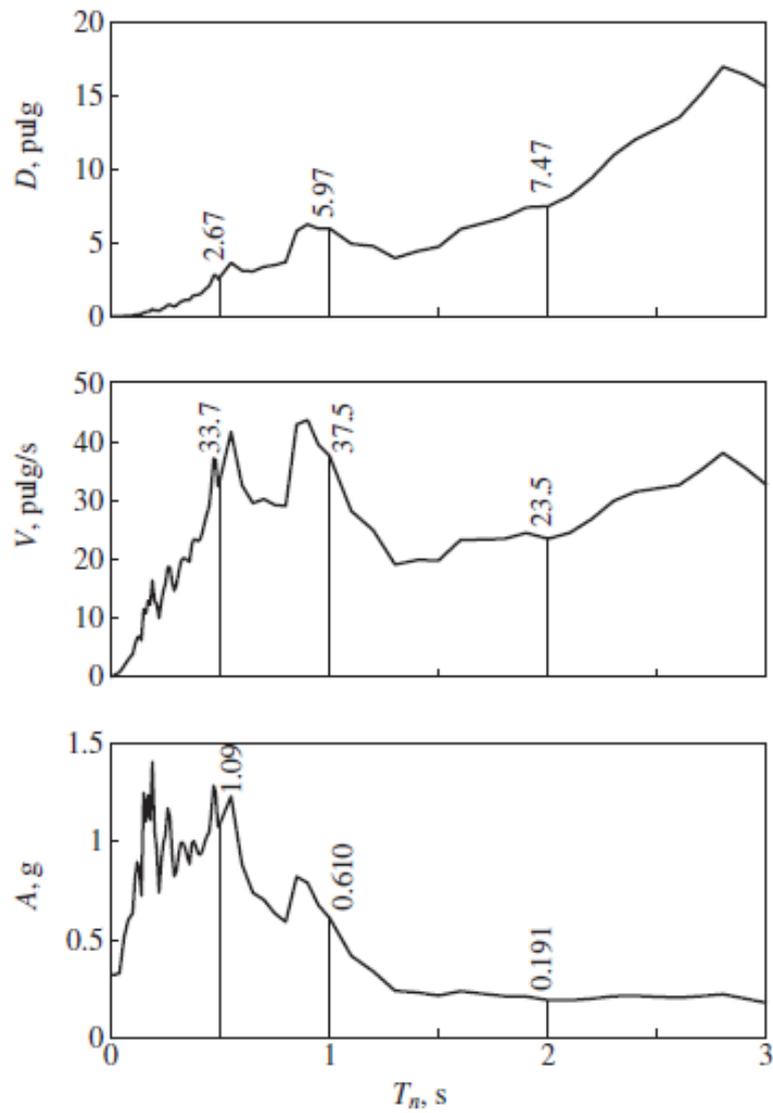


Figura 39. Espectros de respuesta de un sistema de 1GDL

Fuente: Adaptado de Dinámica de Estructuras., Chopra A, 2014, México.

2.7 Desempeño Sismorresistente en Edificaciones

2.7.1 Definición del diseño por desempeño

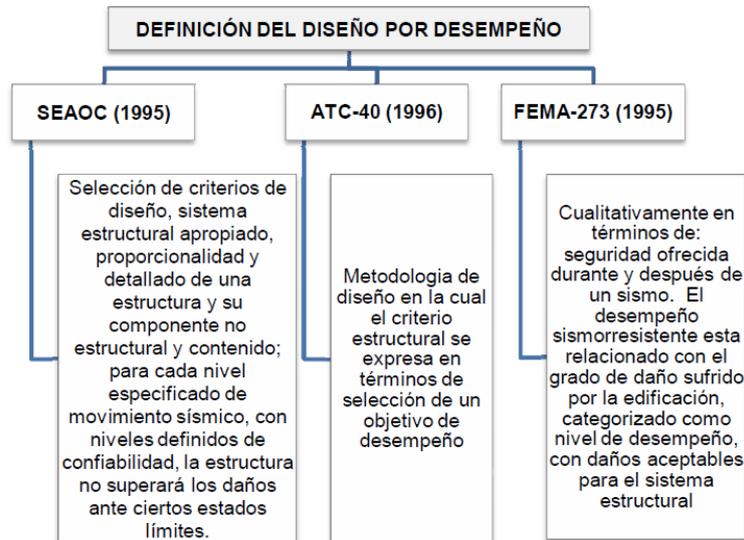


Figura 40 Definición de diseño por desempeño

Fuente: Adaptado de Diseño estructural del centro de salud Chen Chen utilizando disipadores por plastificación de metales, (Pág., 77), por Chambilla A., 2015, Moquegua.

2.7.2 Nivel de amenaza sísmica

El comité del SEAOC contemplo los siguientes tipos de terremotos los cuales están clasificados según su probabilidad de ocurrencia y su periodo de retorno.

MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO	INTERVALO DE RECURRENCIA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10% en 100 años

Figura 41. Nivel de amenaza sísmica

Fuente: Adaptado de Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso, (Pág., 16), por Chacón y Ramírez, 2014, Lima.

2.7.3 Estados de desempeño

Presentado por el comité Visión 2000 donde se muestra el estado de desempeño, estado de daño y el límite de desplazamiento.

ESTADO DE DESEMPEÑO	ESTADO DE DAÑO	LIMITE DE DESPLAZAMIENTO DEL SISTEMA
Totalmente Operacional	Despreciable	Δy
Operacional	Leve	$\Delta y + 0.30\Delta p$
Resguardo de la vida	Moderado	$\Delta y + 0.60\Delta p$
Cerca al colapso	Extenso	$\Delta y + 0.80\Delta p$
Colapso	Completo	$\Delta y + 1.00\Delta p$

Figura 42. Estado de desempeño

Fuente: Adaptado de Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso, (Pág., 17), por Chacón y Ramírez, 2014, Lima.

2.7.4 Importancia de las edificaciones

Se tendrá la siguiente clasificación:



Figura 43. Importancia de las edificaciones

Fuente: Adaptado de Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso en disposición diagonal, (Pág., 29), por Guevara y Torres, 2012, Lima.

2.7.5 Matriz de desempeño

Matriz que muestra el nivel de desempeño vs el nivel de demanda sísmica considerando el tipo de edificación.

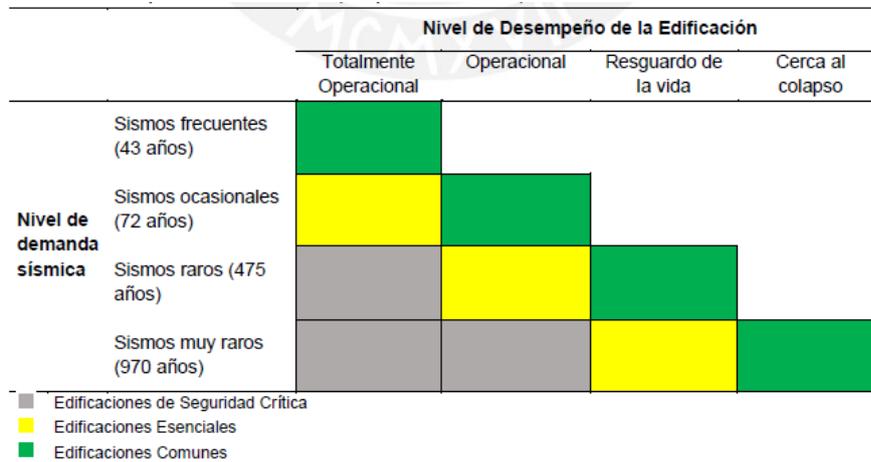


Figura 44. Matriz de desempeño

Fuente: Adaptado de Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso, (Pág., 18), por Chacón y Ramírez, 2014, Lima.

2.7.6 Daño estructural asociado a la deriva del edificio

Presentado por el Multihazard Loss Estimation Methodology (HAZUS) para un edificio aporricado de concreto armado.

Daño Estructural	Descripción	Deriva
Leve	Pueden observarse grietas de corte y flexión cerca de la unión de algunas vigas y columnas.	0.0033
Moderado	La mayoría de columnas y vigas presentan grietas. Algunos elementos como vigas han alcanzado la fluencia. Es evidente la presencia de largas grietas de flexión y en algunos lugares el concreto de recubrimiento se ha desprendido.	0.0058
Extenso	Algunos pórticos han alcanzado su capacidad última evidente por la presencia de largas grietas de flexión, concreto desprendido y refuerzo principal y transversal deformado. Resulta en un colapso parcial.	0.0156
Completo	La estructura ha colapsado o está a punto de hacerlo debido a falla frágil, agotamiento de ductilidad o pérdida de la estabilidad del sistema.	0.0400

Figura 45. Daño estructural asociado a la deriva

Fuente: Adaptado de Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso, (Pág., 19), por Chacón y Ramírez, 2014, Lima.

2.8 Descripción y Estructuración del proyecto

2.8.1 Descripción de la estructura en planta y altura

La edificación a estudiar será de 20 m x 30 m haciendo un área techada por nivel de 600 m² con un sistema estructural a base de **pórticos de concreto armado** en ambas direcciones.

La dimensión en planta es irregular y en altura será tipo regular, teniendo una estructura aporricada simple y no perdiendo el enfoque de la investigación que busca comparar el comportamiento estructural de un edificio aporricado con y sin amortiguadores de fluido viscoso.

La altura típica será de 3.00 m y se considerará para el primer nivel la altura hasta la cara superior de la cimentación



Figura 46. Primer nivel del edificio estudiado

Fuente: Elaboración Propia



Figura 47. Segundo y Tercer nivel del edificio estudiado

Fuente: Elaboración Propia



Figura 48. Cuarto, Quinto, Sexto, Séptimo y Octavo nivel del edificio estudiado

Fuente: Elaboración Propia

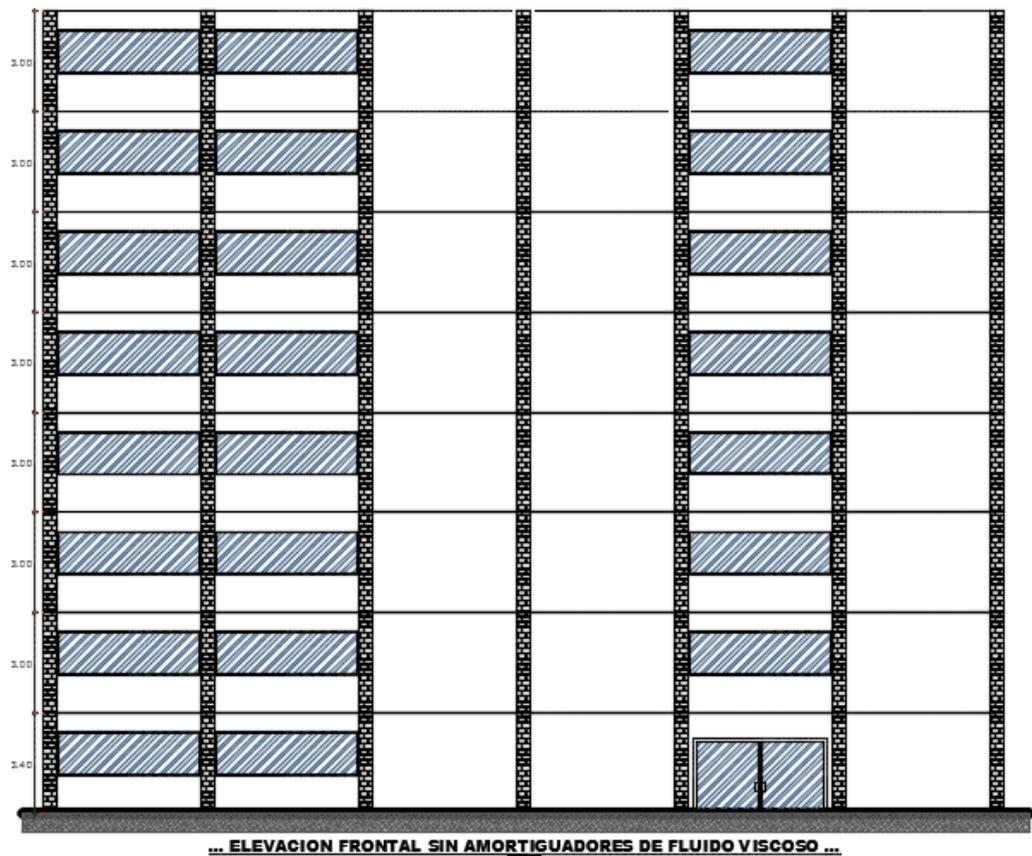


Figura 49. Elevación frontal del edificio estudiado

Fuente: Elaboración Propia

2.8.2 Predimensionamiento de elementos estructurales

Se realiza un pre dimensionamiento de los elementos estructurales para su análisis inicial. Debiendo realizar el posterior análisis y definir las dimensiones finales.

Las **losas** del edificio serán losas macizas en dos direcciones, cuyo espesor estimado será en el orden de $1/33$ de la luz libre, en tal sentido se tiene una losa maciza de **0.15 m de espesor**.

Las **vigas** estarán en el orden de $1/10$ y $1/12$ de la luz libre y siguiendo recomendaciones de la norma, se emplearán vigas de **30x80cm**.

Las **columnas** serán pre dimensionadas con cargas de gravedad, se calculará las cargas de gravedad respecto a su área tributaria de una columna interior, multiplicando por el número de pisos. En tal sentido se tendrán columnas de **45x90 cm.**

2.9 Consideraciones para el análisis sísmico

2.9.1 Cargas de diseño

Las cargas empleadas serán de acuerdo a la norma E020 teniendo en cuenta el uso que se le dará a esta edificación.

Cargas en pisos típicos

- Carga muerta losa maciza = 360 kg/m²
- Carga muerta piso terminado = 100 kg/m²
- Carga muerta tabiquería = 100 kg/m²
- Carga tabique = 250xH kg/m
- Carga viva oficina = 250 kg/m²
- Carga viva corredor = 400 kg/cm²

Cargas en azotea.

- Carga viva = 100 kg/m²
- Carga muerta total = 460 kg/m²

2.9.2 Parámetros sísmicos según normativa

De acuerdo a la norma de diseño sismorresistente se determina los siguientes parámetros sísmicos.

Zonificación Sísmica (Z)

La edificación en estudio se encuentra en la zona sísmica 4, siendo esta zona de alta sismicidad le corresponde un factor de zonificación de 0.45

Categoría de la edificación (U)

La estructura en estudio corresponde al tipo Común, con un factor $U=1.00$

Factor de Amplificación Sísmica (C)

Factor de amplificación de la fuerza sísmica es $C = 1.85$ para la dirección XX y $C = 1.90$ para la dirección YY.

Condiciones Geotécnicas (TP, TL y S)

Los parámetros de suelo fueron obtenidos de un estudio de mecánica de suelos actual, representativo de la zona de estudio. Se tendrá un suelo S2 (Suelo Intermedio) con un factor de amplificación $S=1.05$ y los periodos $TP = 0.6$ seg y $TL = 2.00$ seg.

Configuración Estructural

Para el sentido de análisis X-X se tiene $I_a = 1.00$ y $I_p = 0.90$ y para el sentido Y-Y se tiene $I_a = 1.00$ y $I_p = 0.90$

Coefficiente de Reducción (R)

Según la norma de diseño sismorresistente se tendrá un coeficiente de reducción $R=8.00$ correspondiente a una estructura del tipo aperturada.

2.9.3 Consideraciones para el análisis dinámico modal espectral

Se considera 3 grados de libertad por nivel, para este modelo tendremos 24 modos de vibración.

Espectro de análisis

El espectro de pseudo aceleraciones para el análisis sísmico se obtendrá con la siguiente expresión.

$$Sa = \frac{ZUCS}{R} g \quad [\text{Ecuación 29}]$$

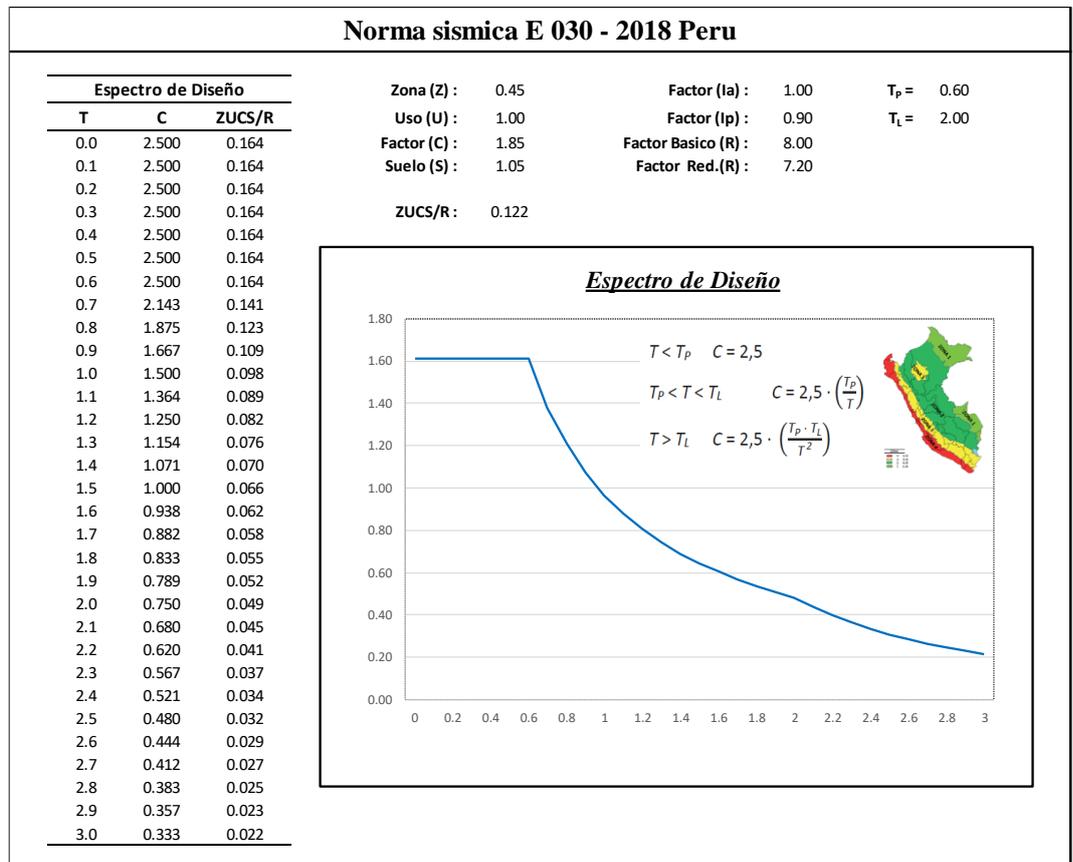


Figura 50. Espectro de diseño E030 (Dir. X-X)

Fuente: Elaboración Propia

Norma sismica E 030 - 2018 Peru

Espectro de Diseño		
T	C	ZUCS/R
0.0	2.500	0.164
0.1	2.500	0.164
0.2	2.500	0.164
0.3	2.500	0.164
0.4	2.500	0.164
0.5	2.500	0.164
0.6	2.500	0.164
0.7	2.143	0.141
0.8	1.875	0.123
0.9	1.667	0.109
1.0	1.500	0.098
1.1	1.364	0.089
1.2	1.250	0.082
1.3	1.154	0.076
1.4	1.071	0.070
1.5	1.000	0.066
1.6	0.938	0.062
1.7	0.882	0.058
1.8	0.833	0.055
1.9	0.789	0.052
2.0	0.750	0.049
2.1	0.680	0.045
2.2	0.620	0.041
2.3	0.567	0.037
2.4	0.521	0.034
2.5	0.480	0.032
2.6	0.444	0.029
2.7	0.412	0.027
2.8	0.383	0.025
2.9	0.357	0.023
3.0	0.333	0.022

Zona (Z) :	0.45	Factor (Ia) :	1.00	$T_p =$	0.60
Uso (U) :	1.00	Factor (Ip) :	0.90	$T_L =$	2.00
Factor (C) :	1.90	Factor Basico (R) :	8.00		
Suelo (S) :	1.05	Factor Red.(R) :	7.20		
ZUCS/R :	0.125				

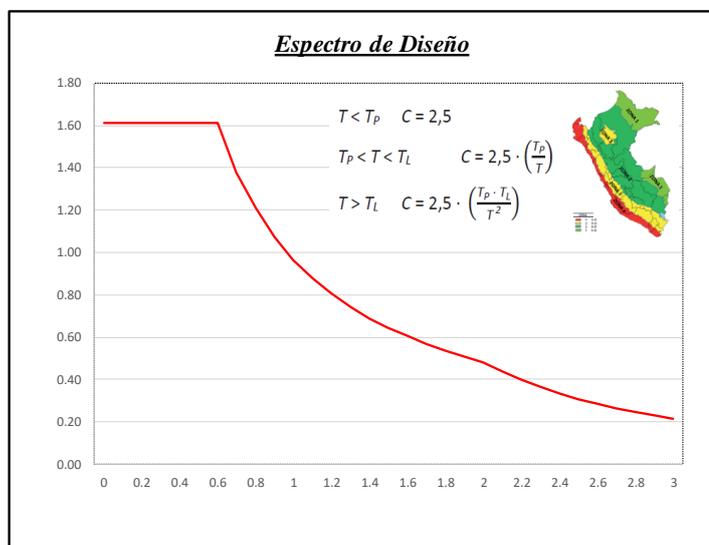


Figura 51. Espectro de diseño E030 (Dir. Y-Y)

Fuente: Elaboración Propia

2.9.4 Consideraciones generales para el análisis tiempo historia

Los detalles de los registros acelerográficos se muestran en la siguiente imagen.

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

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME : César Vizcarra Vargas
STATION CODE : MOQ001
STATION LOCATION : Rolando Catacora Sports Complex - Regional Government of Moquegua, Moquegua, Mariscal Nieto
LATITUDE : -17.186
LONGITUDE : -70.928
ALTITUDE (m) : 1461
ACCELEROMETER MODEL : RION SM-10B
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 100

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE : June 23, 2001
ORIGIN TIME (Local) : 15:33:00
LATITUDE : -16.08
LONGITUDE : -73.77
DEPTH (km) : 33.00
MAGNITUDE : 6.9 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 15:33:00
NUMBER OF SAMPLES : 19892
MAXIMUM ACCELERATION : -295.15 219.99 160.74
DATA UNITS : cm/s²

Figura 52. Datos del registro sísmico Moquegua 2001

Fuente: Cismid – Red de acelerógrafos de Cismid

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

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME : Estación MOQ2
STATION CODE : MOQ002
STATION LOCATION : Water Treatment Plant of Moquegua, Moquegua, Mariscal Nieto
LATITUDE : -17.195
LONGITUDE : -70.921
ALTITUDE (m) : 1562
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinematics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE : August 26, 2003
ORIGIN TIME (Local) : 16:11:00
LATITUDE : -17.40
LONGITUDE : -71.15
DEPTH (km) : 33.00
MAGNITUDE : 5.8 mb
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 16:11:33
NUMBER OF SAMPLES : 18200
MAXIMUM ACCELERATION : 271.87 -238.40 148.50
DATA UNITS : cm/s²

Figura 53. Datos del registro sísmico Moquegua 2003

Fuente: Cismid – Red de acelerógrafos de Cismid

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

1. INFORMATION ABOUT THE SEISMIC STATION
STATION NAME : César Vizcarra Vargas
STATION CODE : MQ0001
STATION LOCATION : Rolando Catacora Sports Complex - Regional Government of Moquegua, Moquegua, Mariscal Nieto
LATITUDE : -17.186
LONGITUDE : -70.928
ALTITUDE (m) : 1461
ACCELEROMETER MODEL : Etna Kinemetrics
SAMPLING FREQUENCY (Hz) : 200

2. INFORMATION ABOUT THE EARTHQUAKE
DATE : April 20, 2005
ORIGIN TIME (Local) : 05:40:00
LATITUDE : -17.32
LONGITUDE : -71.32
DEPTH (km) : 90.00
MAGNITUDE : 4.8 ML
INFORMATION SOURCE : IGP

3. INFORMATION ABOUT THE RECORD
RECORD TIME (Local) : 05:40:48
NUMBER OF SAMPLES : 13600
MAXIMUM ACCELERATION : -10.97 -11.31 6.22
DATA UNITS : cm/s²

Figura 54. Datos del registro sísmico Moquegua 2005

Fuente: Cismid – Red de acelerógrafos de Cismid

2.9.5 Consideraciones generales para el análisis por desempeño

Diseño basado en el desempeño

Metodología usada para evaluar el desempeño de una estructura nueva o existente.

Importancia de la edificación

Según lo establecido por el SEAOC el modelo en estudio califica como una **Edificación Común** (viviendas, oficinas, hoteles, entre otras)

Sismo de Diseño y Nivel de Desempeño

El sismo de diseño es un **sismo raro** con periodo de retorno de 475 años y con el nivel de desempeño de **Resguardo de vida**.

El estado de daño correspondiente a Resguardo de vida es un **Daño Moderado**.

Deriva Objetivo

Según la metodología establecida se tendrá una deriva objetivo del orden de 0.58 % esta deriva dependerá del estado de daño moderado luego del evento sísmico.

2.9.6 Calculo del amortiguamiento efectivo y parámetros para los amortiguadores

El valor de B es el factor que relaciona la deriva máxima obtenida del análisis tiempo historia y la deriva objetivo, para luego hallar el amortiguamiento objetivo.

$$B = \frac{\text{Deriva Maxima}}{\text{Deriva Objetivo}}$$

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln 5}{2.31 - 0.41 \ln \beta_{\text{eff}}} \quad [\text{Ecuación 30}]$$

Luego de realizado el procedimiento de cálculo tendremos un amortiguamiento objetivo de aproximadamente 23%

AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO	
Direccion X-X	
Deriva Maxima :	10.23
Deriva Objetivo :	5.80
B :	1.76
Direccion Y-Y	
Deriva Maxima :	10.02
Deriva Objetivo :	5.80
B :	1.73
Amortiguamiento Calculado	
B x-x :	28.4
B y-y :	27.3
Amortiguamiento Objetivo	
B x-x :	23.4
B y-y :	22.3

Figura 55. Calculo del amortiguamiento objetivo

Fuente: Elaboración Propia

FORMAS MODALES				
NIVEL	DIRECCION X-X		DIRECCION Y-Y	
Story1	0.020	0.354	0.019	0.345
Story2	0.029	0.511	0.028	0.500
Story3	0.037	0.643	0.035	0.634
Story4	0.043	0.758	0.042	0.749
Story5	0.049	0.852	0.047	0.846
Story6	0.053	0.925	0.051	0.921
Story7	0.056	0.974	0.054	0.972
Story8	0.057	1.000	0.056	1.000

Figura 56. Formas modales

Fuente: Elaboración Propia

MASAS	
NIVEL	MASA (ton-s2/m)
Story1	77.79
Story2	73.92
Story3	73.92
Story4	73.92
Story5	73.92
Story6	73.92
Story7	73.92
Story8	47.55

Figura 57. Masas por nivel

Fuente: Elaboración Propia

Calculo del coeficiente de amortiguamiento

El cálculo del coeficiente de amortiguamiento se realizó según lo establecido en el FEMA 273.

DIRECCION X - X

T= 0.81 seg
 $\alpha = 0.5$

$\beta_{visc} = 15\%$
 $\beta mD = 1.35$

$$\beta_{visc} = \frac{\sum_j \lambda C_j \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \Phi_i^2}$$

N° de dis. por nivel= 4

NIVEL	FORMA MODAL ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	MASA (Ton)	COS θ	$\Sigma \phi_i^2 \times m_i$	$\Sigma (\phi_{rj})^{1+\alpha} \times \cos^{1+\alpha} \theta_j$
1	0.354	0.125	0.354	77.791	0.8800	9.74	0.17378
2	0.511	0.261	0.157	73.916	0.8800	19.27	0.05123
3	0.643	0.413	0.132	73.916	0.8800	30.56	0.03977
4	0.758	0.574	0.115	73.916	0.8800	42.42	0.03200
5	0.852	0.726	0.095	73.916	0.8800	53.69	0.02408
6	0.925	0.855	0.073	73.916	0.8800	63.23	0.01615
7	0.974	0.948	0.049	73.916	0.8800	70.08	0.00889
8	1.000	1.000	0.026	47.547	0.8800	47.55	0.00352
	6.016	4.903				336.54	0.34942

$$A = \frac{g \times \Gamma_i \times Sa \times T1}{4 \times \beta mD \times \pi^2}$$

$$\lambda = \frac{2^{2+\alpha} \Gamma^2(1 + \alpha/2)}{\Gamma(2 + \alpha)}$$

$\Gamma_i = 1.247021$
 $A = 0.083666 \text{ m}$
 $A^{1-\alpha} = 0.28925$

$\lambda = 3.49608$
 $\omega^{2-\alpha} = 21.6044$

$$\Sigma C = 1622.5527 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

$$C_x = 406 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

Figura 58. Calculo de coeficiente de amortiguamiento C para la dirección x-x

Fuente: Elaboración Propia

DIRECCION Y - Y

T= 0.795 seg
 $\alpha = 0.5$

$\beta_{visc} = 15\%$
 $\beta mD = 1.35$

$$\beta_{visc} = \frac{\sum_j \lambda C_j \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \Phi_i^2}$$

N° de dis. por nivel= 4

NIVEL	FORMA MODAL ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	MASA (Ton)	COS θ	$\Sigma \phi_i^2 \times m_i$	$\Sigma (\phi_{rj})^{1+\alpha} \times \cos^{1+\alpha} \theta_j$
1	0.345	0.119	0.345	77.791	0.8800	9.25	0.16717
2	0.500	0.250	0.156	73.916	0.8800	18.51	0.05064
3	0.634	0.401	0.133	73.916	0.8800	29.67	0.04011
4	0.749	0.562	0.116	73.916	0.8800	41.51	0.03256
5	0.846	0.716	0.097	73.916	0.8800	52.89	0.02475
6	0.921	0.847	0.075	73.916	0.8800	62.63	0.01683
7	0.972	0.944	0.051	73.916	0.8800	69.77	0.00951
8	1.000	1.000	0.028	47.547	0.8800	47.55	0.00396
	5.966	4.839				331.77	0.34553

$$A = \frac{g \times \Gamma_i \times Sa \times T1}{4 \times \beta mD \times \pi^2}$$

$$\lambda = \frac{2^{2+\alpha} \Gamma^2(1 + \alpha/2)}{\Gamma(2 + \alpha)}$$

$\Gamma_i = 1.253731$
 $A = 0.082558 \text{ m}$
 $A^{1-\alpha} = 0.287329$

$\lambda = 3.49608$
 $\omega^{2-\alpha} = 22.2187$

$$\Sigma C = 1652.5404 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

$$C_x = 413 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

Figura 59. Calculo de coeficiente de amortiguamiento C para la dirección y-y

Fuente: Elaboración Propia

Los valores del coeficiente de amortiguamiento a utilizar son valores de $C = 400 \text{ ton} - \text{s/m}$

2.10 ANALISIS ESTATICO Y DINAMICO DE LA ESTRUCTURA SIN AMORTIGUADORES

2.10.1 Análisis estático de la estructura

Se realizó el análisis estático del edificio según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente E.030. Se toma los parámetros sísmicos del punto 2.9 del presente trabajo de investigación.

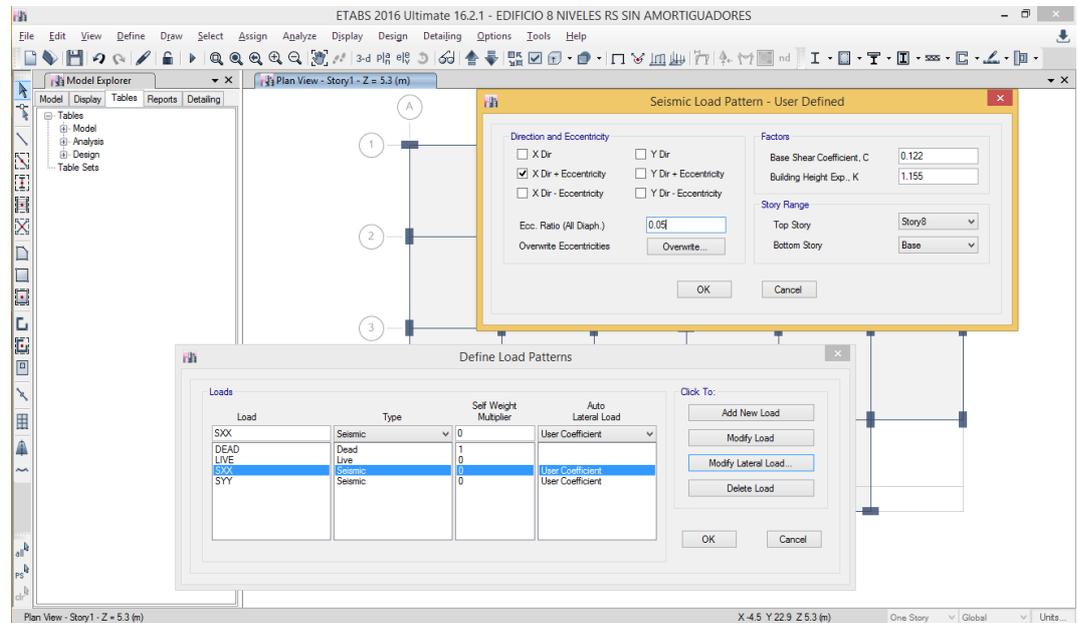


Figura 60. Análisis estático en la dirección X-X

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

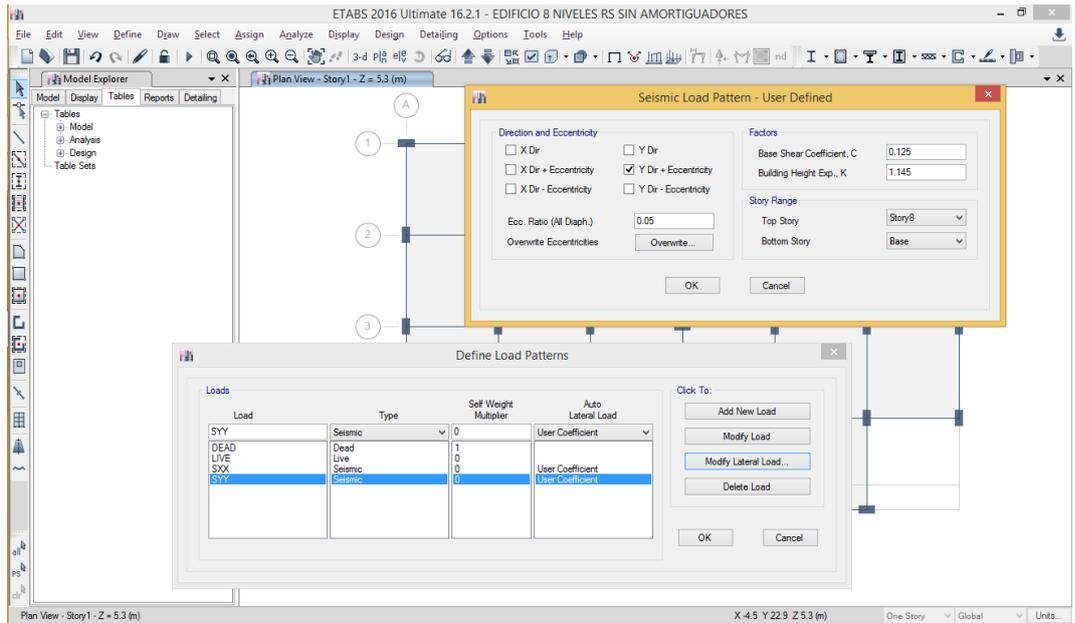


Figura 61. Análisis estático en la dirección Y-Y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.10.2 Análisis dinámico del edificio

Se realizó el análisis dinámico del edificio según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente E.030. Se toma los parámetros sísmicos del punto 2.9 del presente trabajo de investigación.

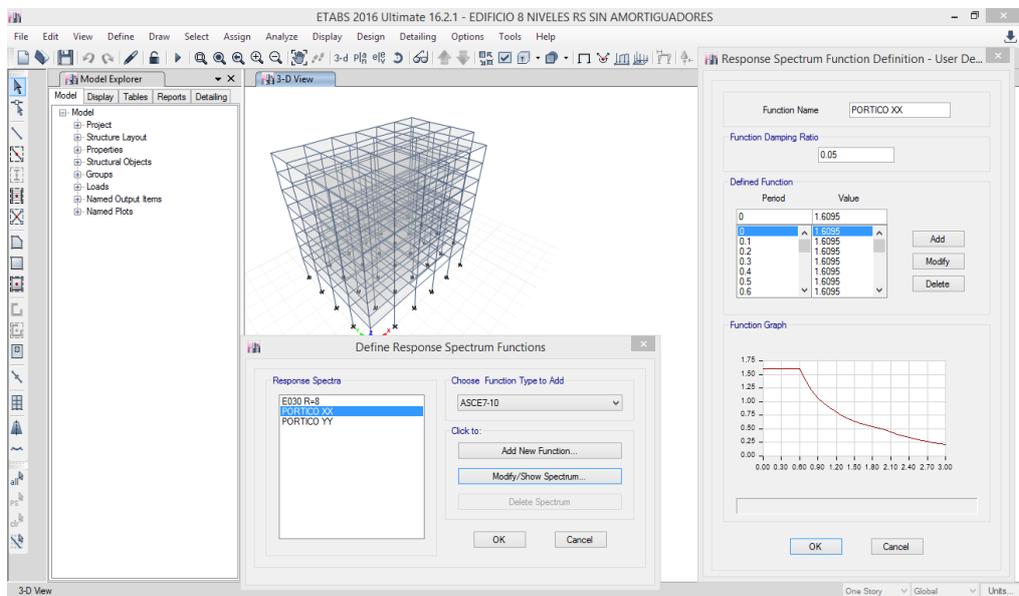


Figura 62. Análisis dinámico en la dirección X-X

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

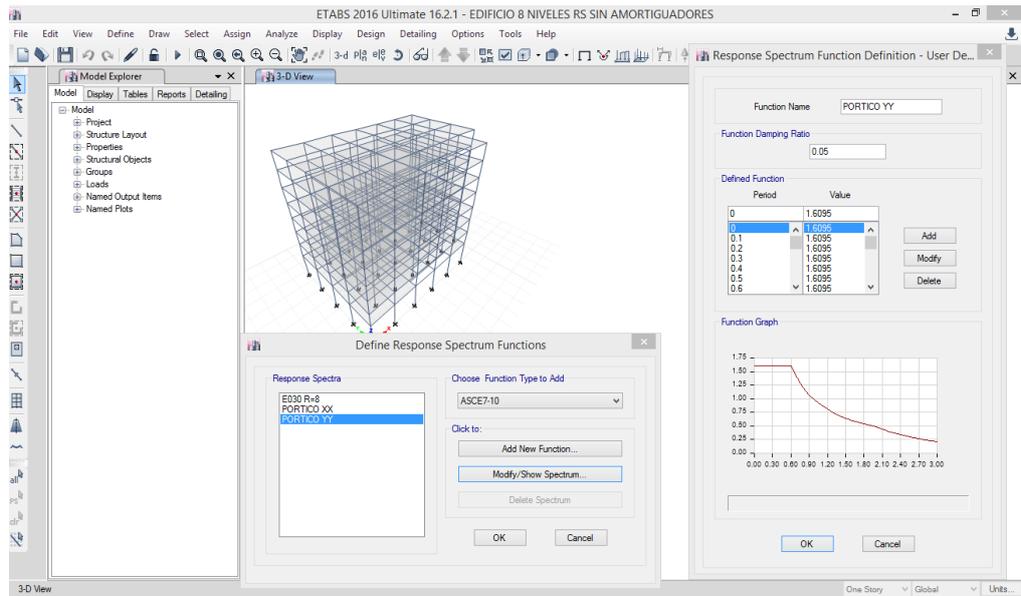


Figura 63. Análisis dinámico en la dirección Y-Y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

Se considera los factores de amplificación por cortante mínima según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente.

CORTANTE SÍSMICO ESTÁTICO VS CORTANTE DINÁMICO					
1. Parámetros Sísmicos					
Factor de Zona	Z=	0.45	Coef. Irregul. en Altura	Ia=	1.00
Factor de Uso	U=	1.00	Coef. Irregul. en Planta	Ip=	0.90
Factor de Amplif. Sísmica	Cxx=	1.85	Factor Reduccion Basica XX	Rox=	7.20
Factor de Amplif. Sísmica	Cyy=	1.90	Factor Reduccion Basica YY	Roy=	7.20
Factor de Suelo	S=	1.05			
2. Resultado del Análisis Estructural					
Peso de la estructura	P=	5665.910 tonf			
Fuerza dinámica en XX	Fx=	633.010 tonf			
Fuerza dinámica en YY	Fy=	643.170 tonf			
3. Verificaciones Reglamentarias					
Verificacion de C/Rx		0.286	Si C/Rx > 0.125 → Ok!!		Ok!
Verificacion de C/Ry		0.286	Si C/Ry > 0.125 → Ok!!		Ok!
V. Estatico XX - Manual		765.134 Ton	V. Estatico YY - Manual		765.134 ton
V. Estatico XX - Max. (80%)		688.621 Ton	V. Estatico YY - Max. (80%)		688.621 ton
Factor Esc. XX		1.09	Factor Esc. YY		1.07

Figura 64. Factor de amplificación por cortante mínima

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

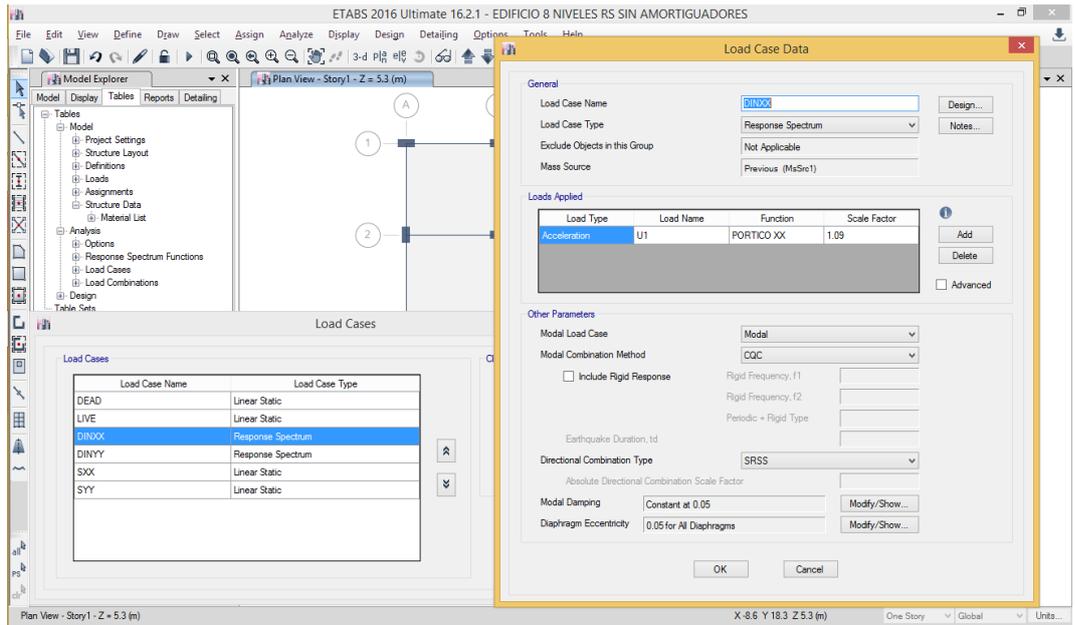


Figura 65. Amplificación por cortante mínima dirección X-X

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

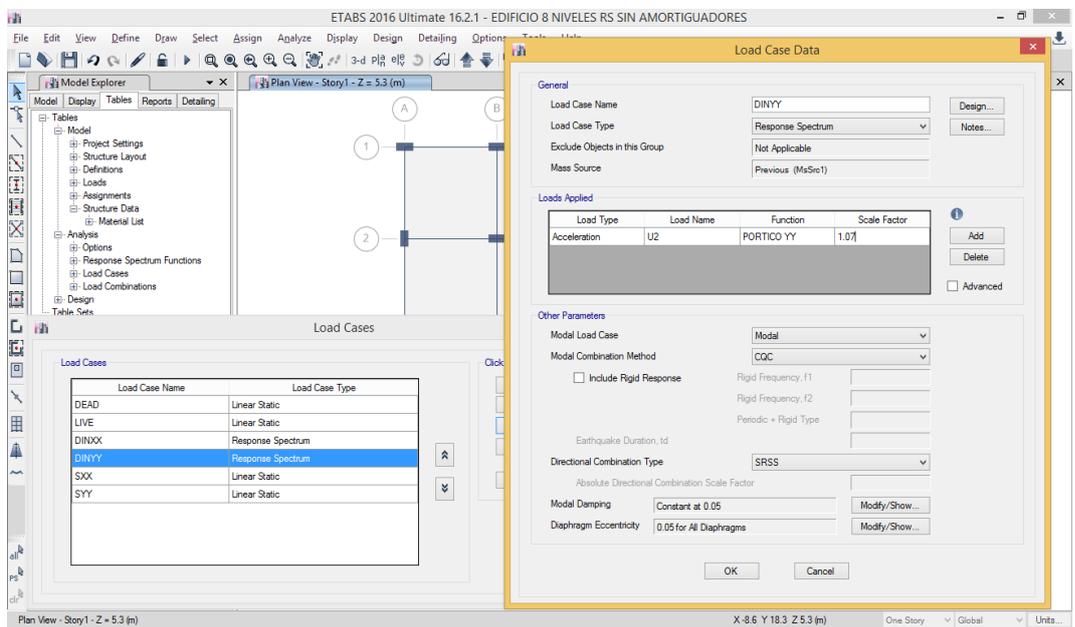


Figura 66. Amplificación por cortante mínima dirección Y-Y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.11 ANALISIS TIEMPO HISTORIA DE LA ESTRUCTURA CON Y SIN AMORTIGUADORES

2.11.1 Análisis tiempo historia sin amortiguadores

Se realizó el análisis tiempo historia del edificio según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente E.030. Se toma los parámetros sísmicos del punto 2.9 del presente trabajo de investigación.

Se inserta los sismos considerados y su respectivo escalamiento según la norma de diseño sismorresistente.

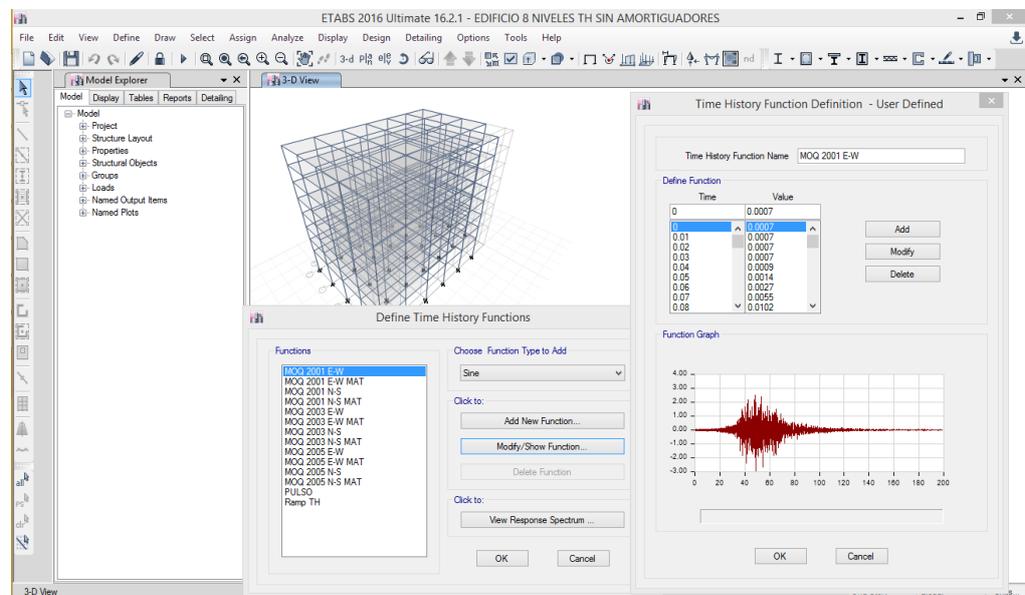


Figura 67. Análisis tiempo historia del edificio sin amortiguadores de fluido viscoso

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

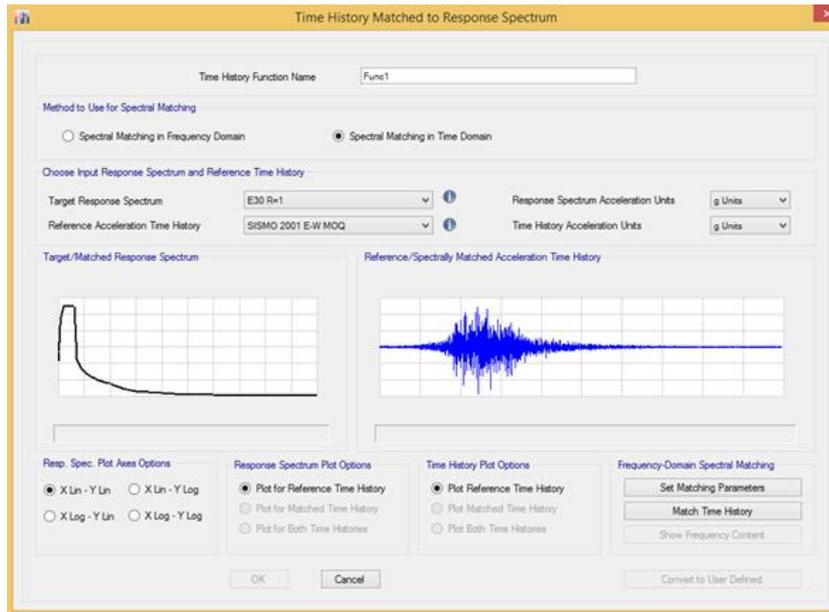


Figura 68. Escalamiento de registros sísmicos

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.11.2 Análisis tiempo historia con amortiguadores

Se realizó el análisis tiempo historia del edificio según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente E.030. Se toma los parámetros sísmicos del punto 2.9 del presente trabajo de investigación.

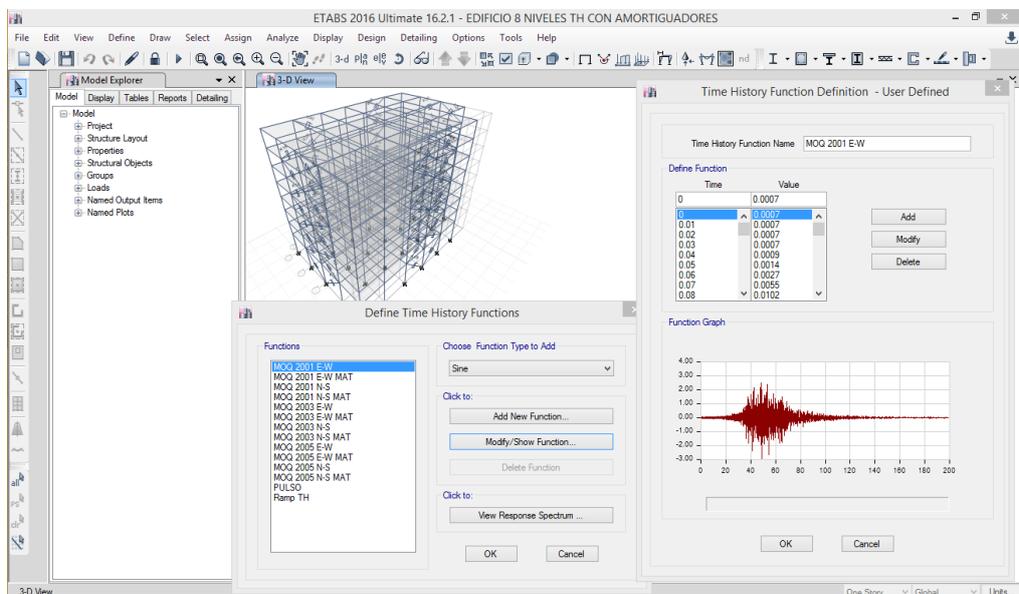


Figura 69. Análisis tiempo historia del edificio con amortiguadores de fluido viscoso

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

Definición de los parámetros de los amortiguadores de fluido viscoso en el programa de análisis estructural.

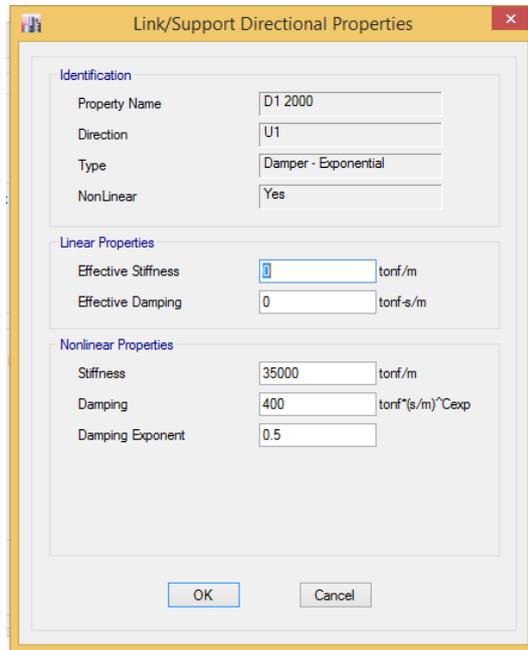


Figura 70. Parámetros del amortiguador de fluido viscoso

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

Definición de la carga pulso en el modelo para el cálculo del amortiguamiento añadido de la estructura luego de la inclusión de los amortiguadores.

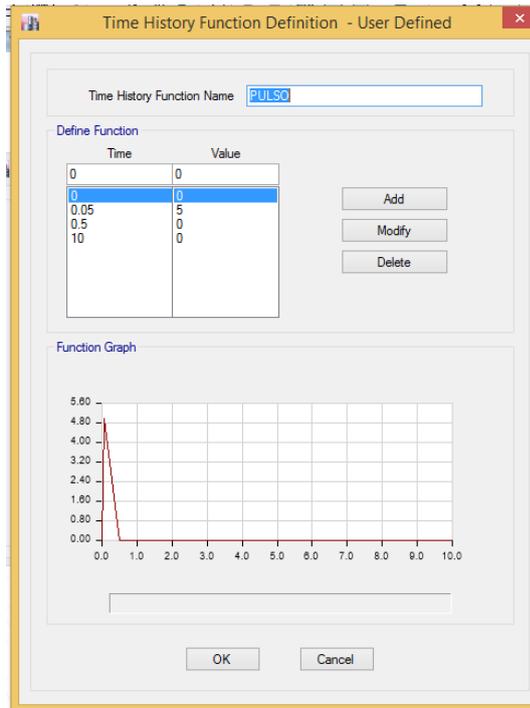


Figura 71. Definición de carga pulso

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

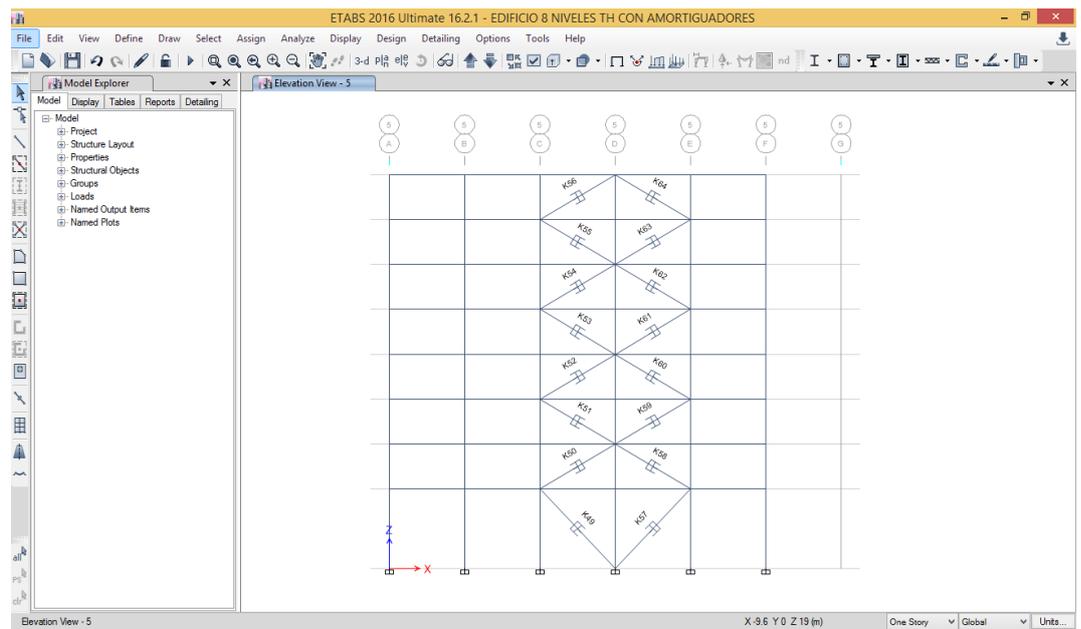


Figura 72. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje 5-5

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

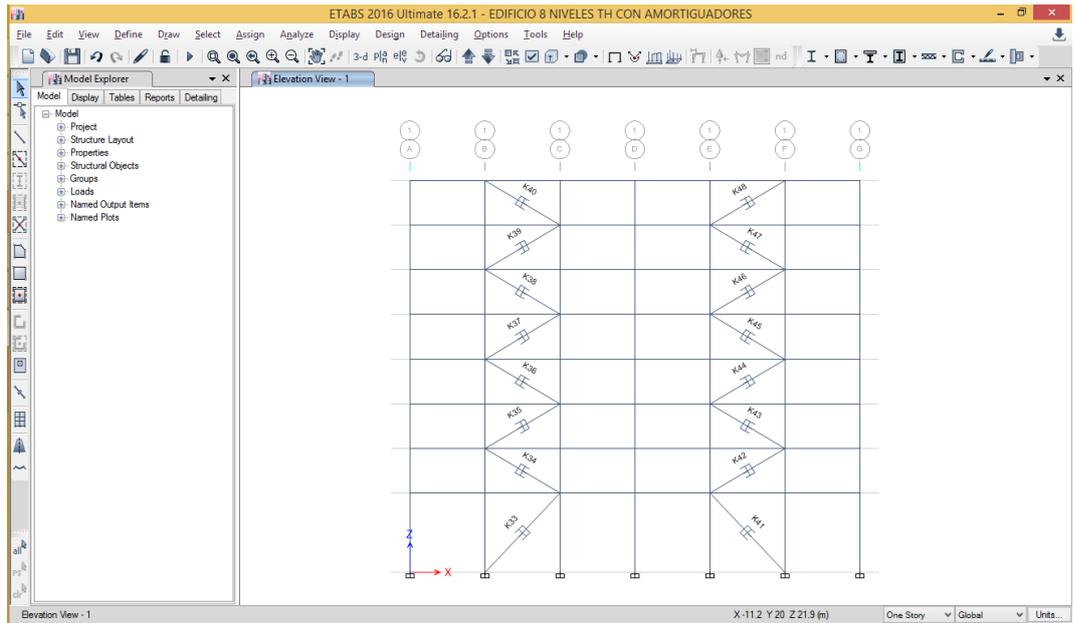


Figura 73. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje 1-1

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

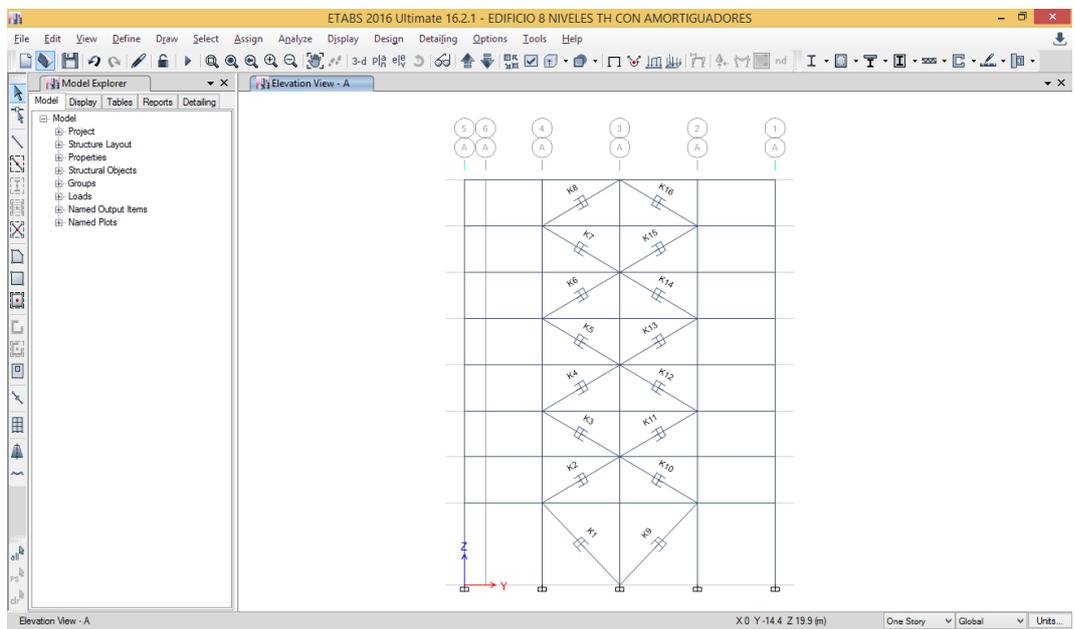


Figura 74. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje A-A

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

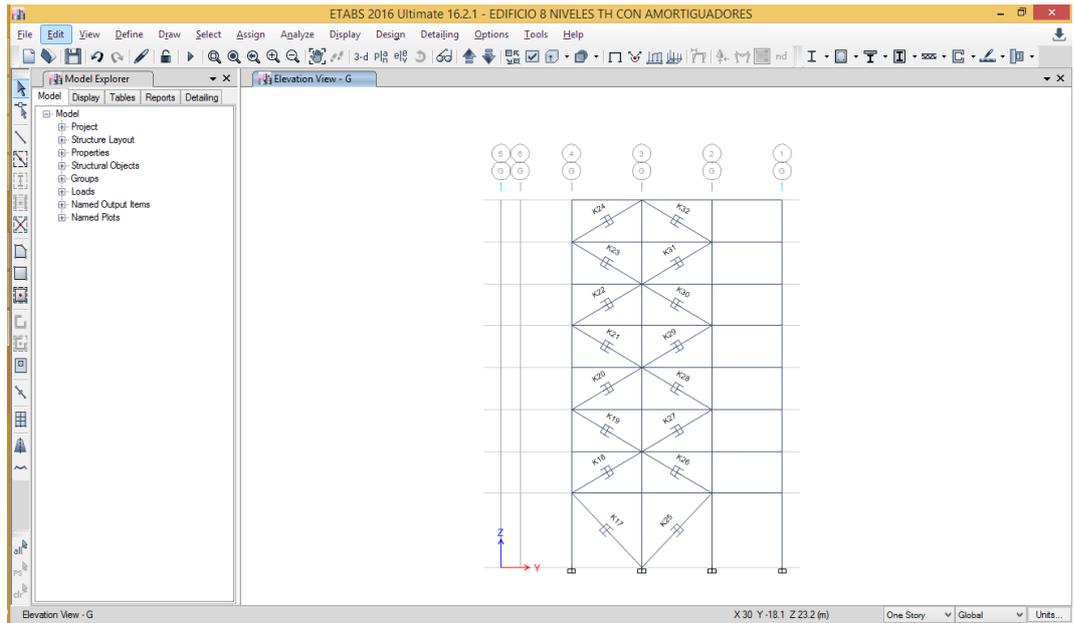


Figura 75. Ubicación de amortiguadores en pórtico del eje G-G

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.12 ANALISIS SISMICO DE LA ESTRUCTURA CON ESPECTRO REDUCIDO

2.12.1 Modelo estructural

El modelo estructural será el mismo al usado en el análisis dinámico modal espectral con la diferencia que se usará parámetros sísmicos reducidos.

2.12.2 Reducción del espectro

Para la reducción del espectro se determina en primer lugar el amortiguamiento añadido, luego se determina el coeficiente de amortiguamiento beta, en nuestro caso tenemos un amortiguamiento añadido de 13 % para lo cual se tendrá un coeficiente de amortiguamiento de 1.29.

Con el coeficiente de amortiguamiento se determina el grado de reducción el cual es 0.77 (77%) respecto al espectro inicial.

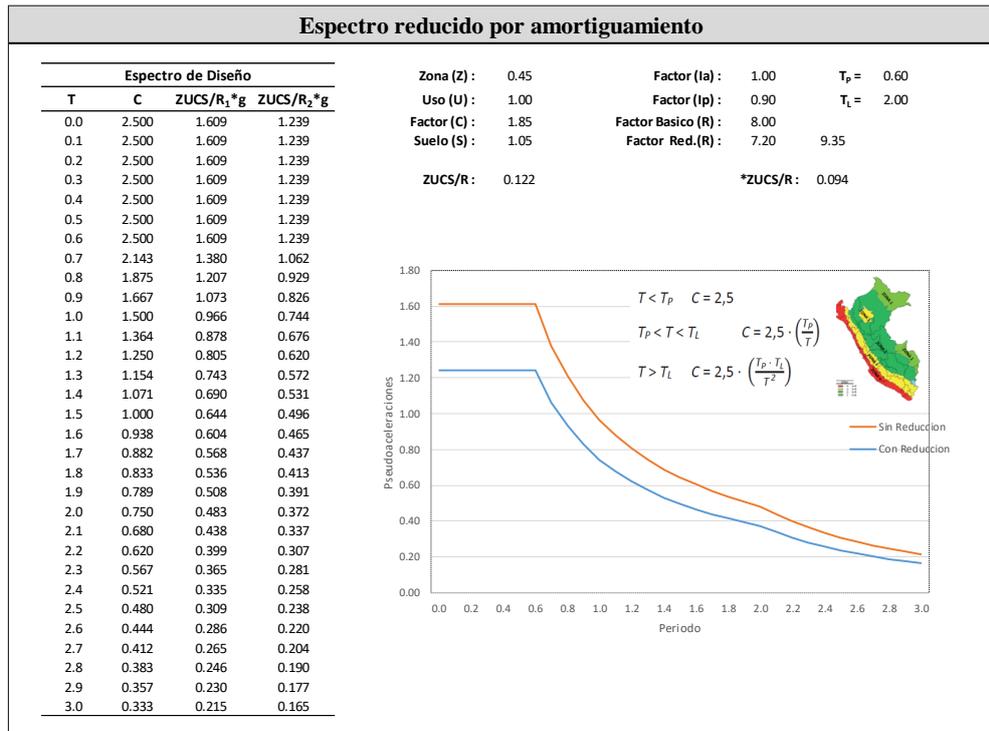


Figura 76. Espectro reducido a un 77% del espectro original dirección x-x

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

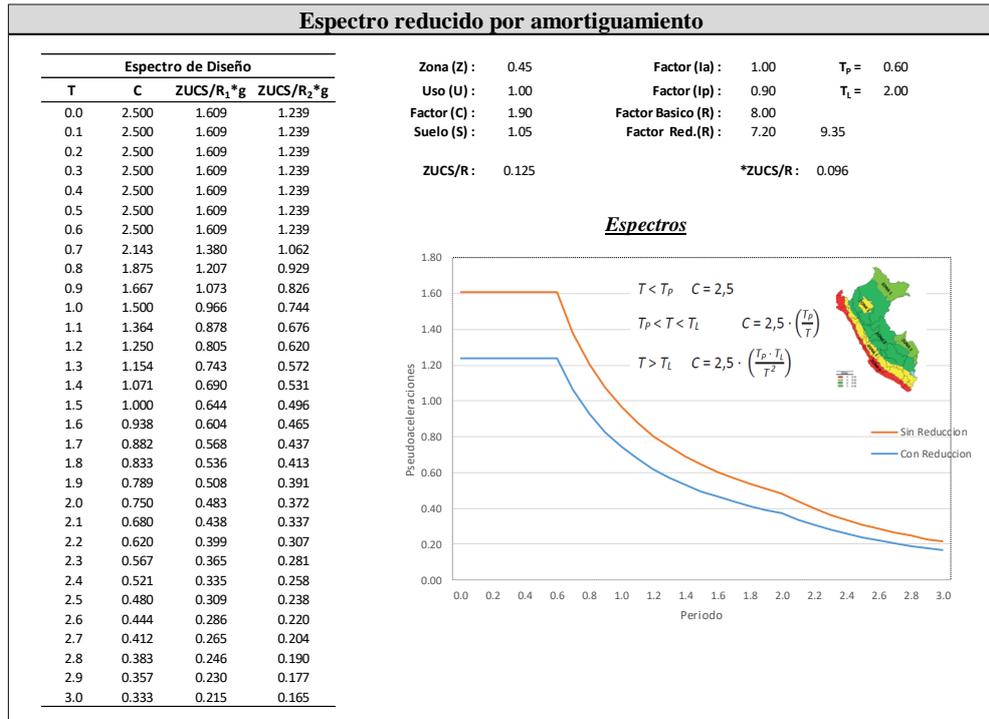


Figura 77. Espectro reducido a un 77% del espectro original dirección y-y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.12.3 Definición de parámetros sísmicos reducidos

En el nuevo modelo se define los parámetros reducidos debido a la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso.

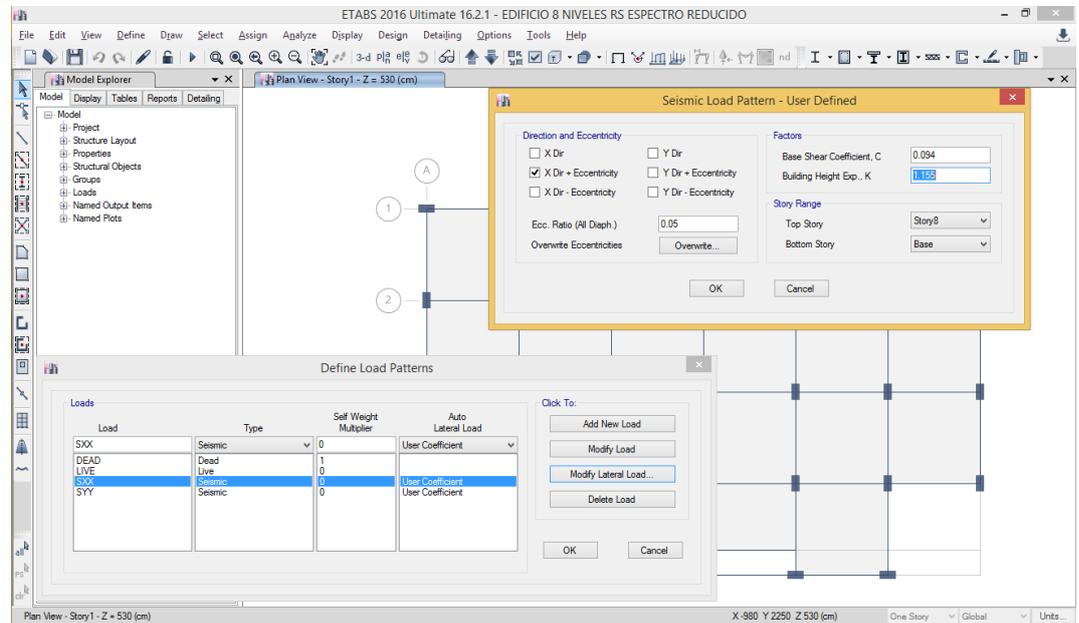


Figura 78. Análisis estático con espectro reducido en la dirección X-X

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

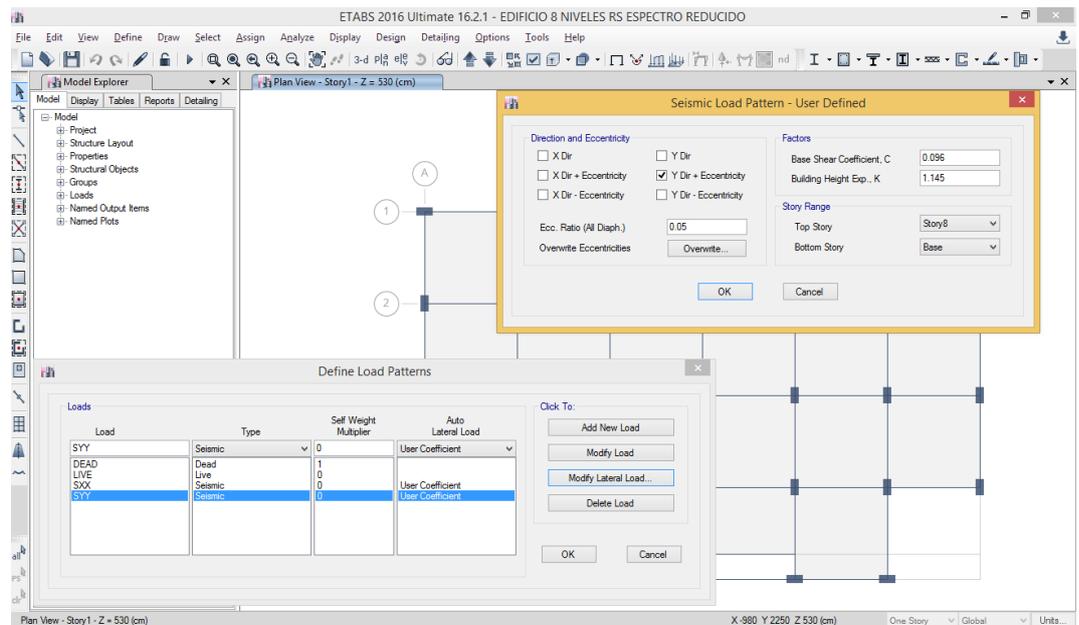


Figura 79. Análisis estático con espectro reducido en la dirección Y-Y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

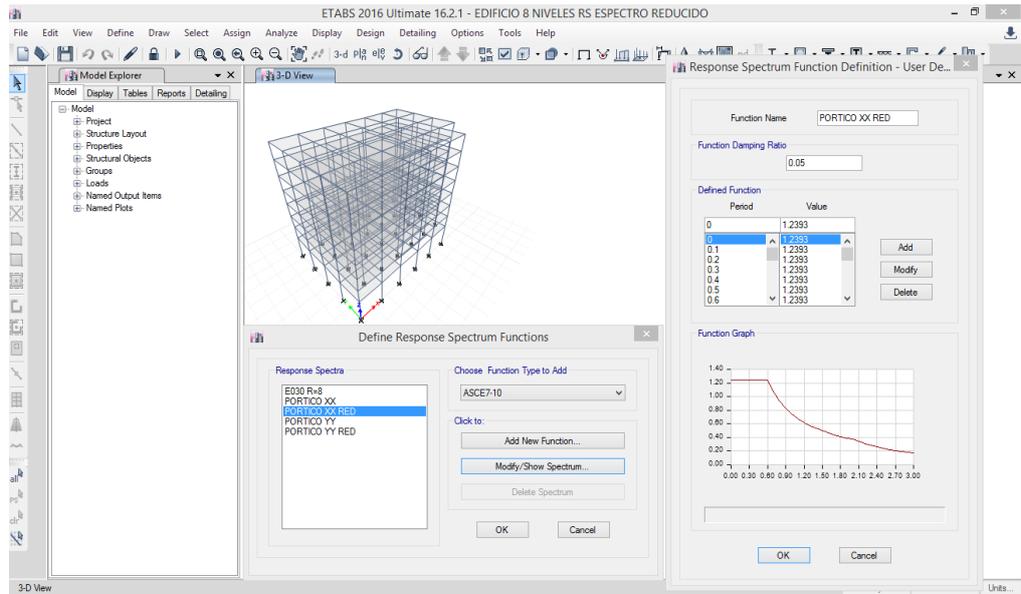


Figura 80. Análisis dinámico con espectro reducido en la dirección X-X

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

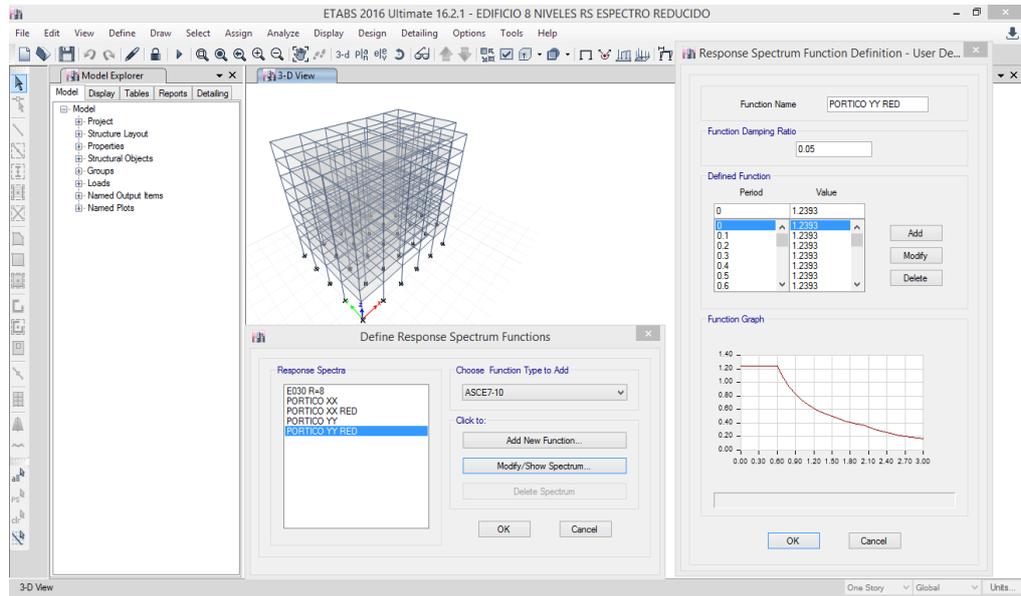


Figura 81. Análisis dinámico con espectro reducido en la dirección Y-Y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

Se considera los factores de amplificación por cortante mínima según lo establecido en la norma de diseño sismorresistente para el modelo con espectro reducido.

CORTANTE SÍSMICO ESTÁTICO VS CORTANTE DINÁMICO				
1. Parámetros Sísmicos				
Factor de Zona	Z=	0.45	Coef. Irregul. en Altura	Ia= 1.00
Factor de Uso	U=	1.00	Coef. Irregul. en Planta	I _p = 0.90
Factor de Amplif. Sísmica	C _{xx} =	1.85	Factor Reduccion Basica XX	R _{ox} = 9.35
Factor de Amplif. Sísmica	C _{yy} =	1.90	Factor Reduccion Basica YY	R _{oy} = 9.35
Factor de Suelo	S=	1.05		
2. Resultado del Análisis Estructural				
Peso de la estructura	P=	5665.910 tonf		
Fuerza dinámica en XX	F _x =	487.430 tonf		
Fuerza dinámica en YY	F _y =	495.260 tonf		
3. Verificaciones Reglamentarias				
Verificacion de C/Rx		0.220	Si C/Rx > 0.125 → Ok!!	Ok!
Verificacion de C/Ry		0.220	Si C/Ry > 0.125 → Ok!!	Ok!
V. Estatico XX - Manual		589.153 Ton	V. Estatico YY - Manual	589.153 ton
V. Estatico XX - Max. (80%)		530.238 Ton	V. Estatico YY - Max. (80%)	530.238 ton
Factor Esc. XX		1.09	Factor Esc. YY	1.07

Figura 82. Factor de amplificación por cortante mínima

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

2.13 ELABORACION DE METODOLOGIA PARA EL ANALISIS SISMICO

2.13.1 Esquema general de trabajo

A continuación, se presenta un esquema donde se resume el procedimiento general del presente trabajo de investigación.

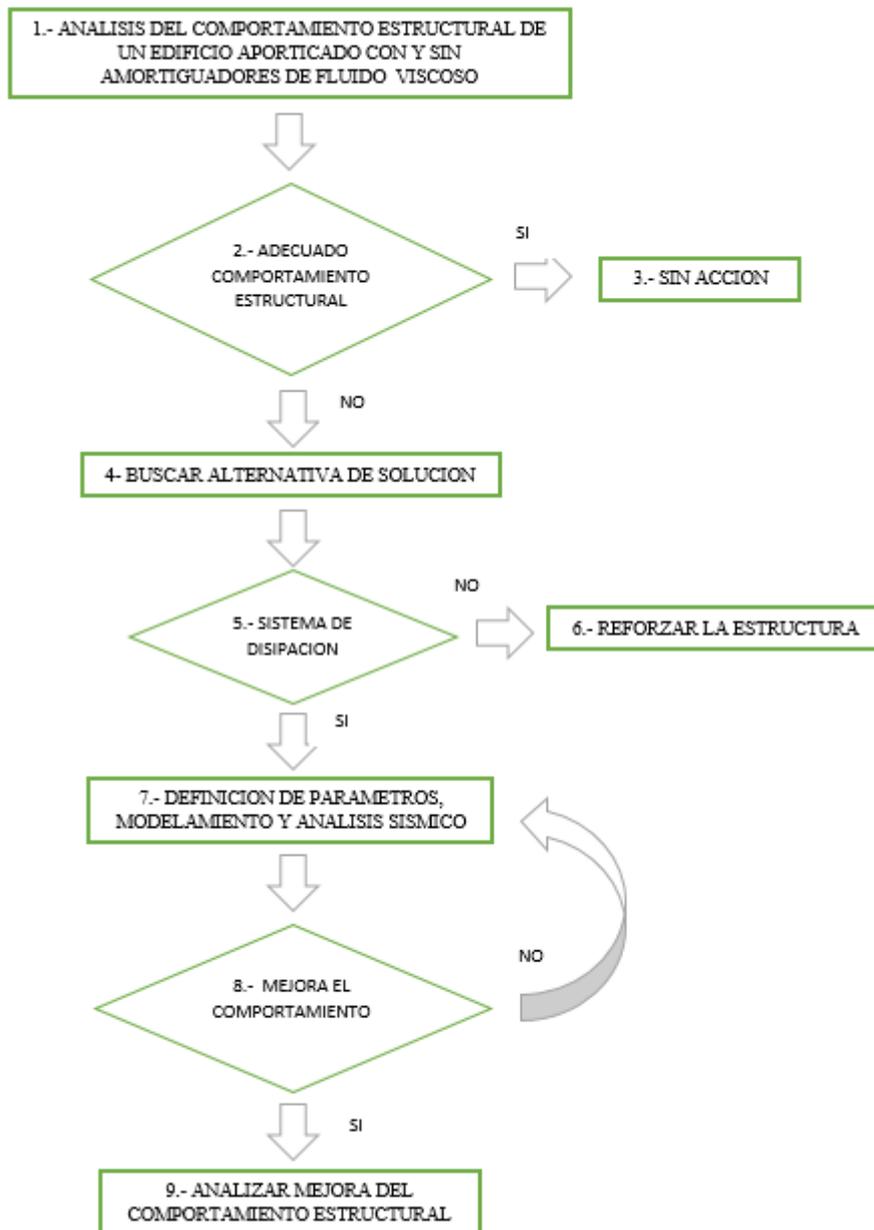


Figura 83. Diagrama de flujo de procedimiento general de trabajo

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a describir cada uno de los puntos considerados en el esquema general de trabajo los cuales se detallan a continuación.

- Punto 1: Es el punto se describe de manera general que tema se desarrollara en esta investigación.

- Punto 2: Se deberá determinar cuál es el comportamiento estructural, si se considera que si se tiene un adecuado comportamiento estructural se pasa al punto 3 y si se considera que no se tiene un adecuado comportamiento estructural se pasa al punto 4.
- Punto 3: No se realiza ningún tipo de acción debido a que se consideró que la edificación tiene un adecuado comportamiento estructural.
- Punto 4: Se busca alternativa para mejorar el comportamiento estructural.
- Punto 5: Se elige la utilización de sistema de disipación de energía del tipo fluido viscoso.
- Punto 6: Se refuerza la estructura incrementando la sección de columnas o insertando elemento de arriostre de tal manera de incrementar la rigidez del sistema para mejorar el comportamiento de la estructura.
- Punto7: Se calcula los parámetros de diseño del amortiguador de fluido viscoso y se realiza el análisis sísmico para obtener resultados numéricos del comportamiento estructural.
- Punto 8: Se evalúa si se logra mejorar el comportamiento estructural
- Punto 9: Se mejorar el comportamiento y se cuantifica esta mejora donde se deberá cumplir los requerimientos mínimos para los cuales fueron diseñados.

2.13.2 Esquema para cálculo de propiedades del amortiguador

A continuación, se presenta un esquema donde se resume el procedimiento para el cálculo de propiedades del amortiguador.

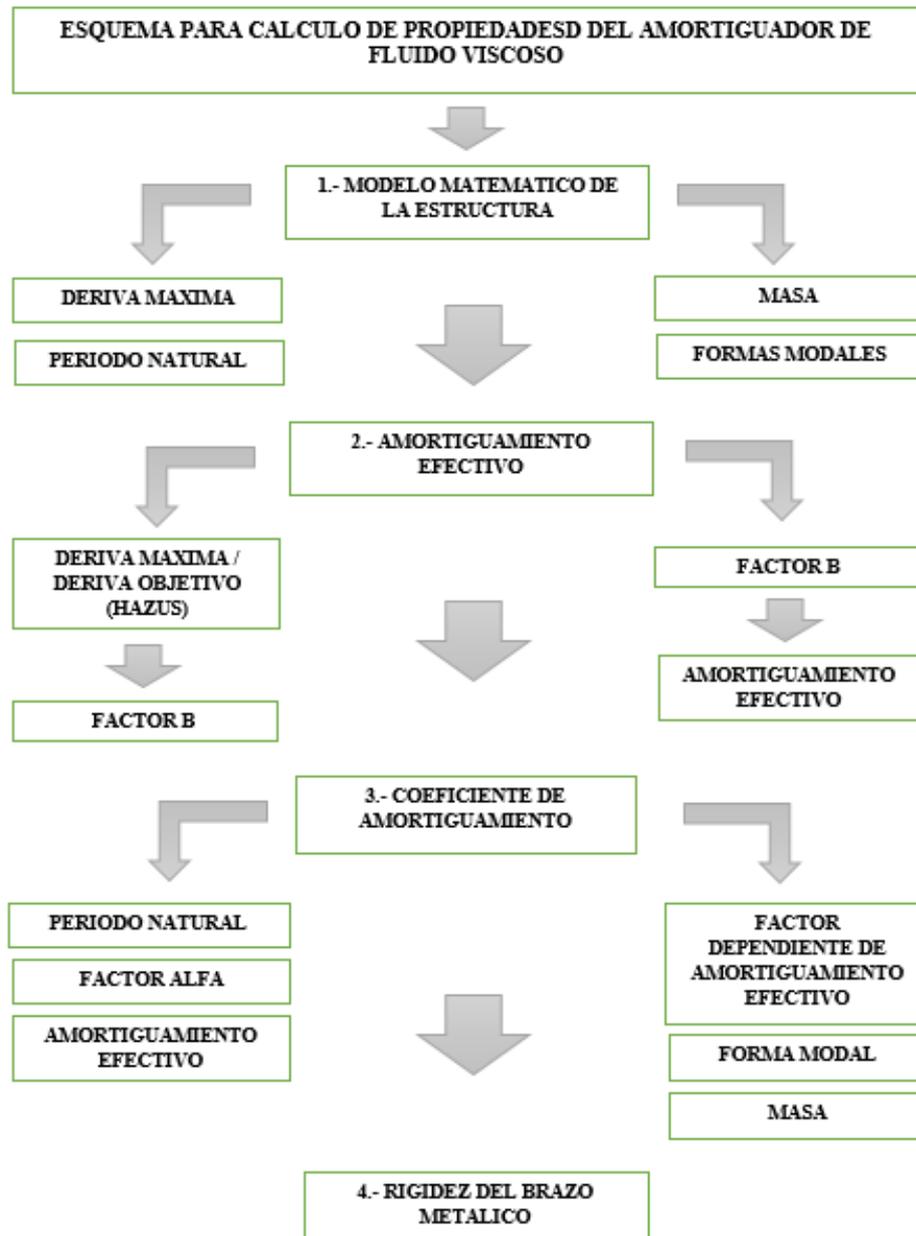


Figura 84. Diagrama de flujo cálculo de propiedades del amortiguador

Fuente: Elaboración Propia

Se procede a describir cada uno de los puntos considerados en el esquema mostrado líneas arriba:

- Punto 1: Es el punto de inicio donde se deberá realizar el modelo matemático de la estructura para obtener algunos parámetros necesarios para el cálculo de las propiedades del amortiguador, los parámetros a obtener del modelo son:
 - ✓ Deriva máxima del modelo matemático.
 - ✓ Periodo natural de vibración
 - ✓ Masa por nivel del modelo
 - ✓ Formas modales del modelo
- Punto 2: En este punto se calcula el amortiguamiento efectivo, en primer lugar, se calcula el **factor B**, que es la división entre la deriva máxima y deriva objetiva (según HAZUS). Con este factor B se procede a calcular el amortiguamiento efectivo mediante la fórmula de Newmark. La participación de los amortiguadores en el amortiguamiento viscoso se obtiene descontando al amortiguamiento objetivo el amortiguamiento inherente.
- Punto 3: En este punto se calcula el coeficiente de amortiguamiento a través de la fórmula propuesta por el FEMA 273. Los datos necesarios para el cálculo de este coeficiente de amortiguamiento son:
 - ✓ Periodo Natural
 - ✓ Factor alfa (Coeficiente de velocidad)
 - ✓ Amortiguamiento efectivo
 - ✓ Coeficiente dependiente de amortiguamiento efectivo

- ✓ Formas modales
- ✓ Masas por niveles
- Punto 4: En este punto se procede al cálculo de la rigidez axial del tubo metálico que contendrá al amortiguador de fluido viscoso, se elegirá un perfil metálico y con las propiedades del perfil más la formula $K=EA/L$ se obtiene la rigidez axial del perfil.

2.13.3 Esquema para análisis sísmico de la estructura

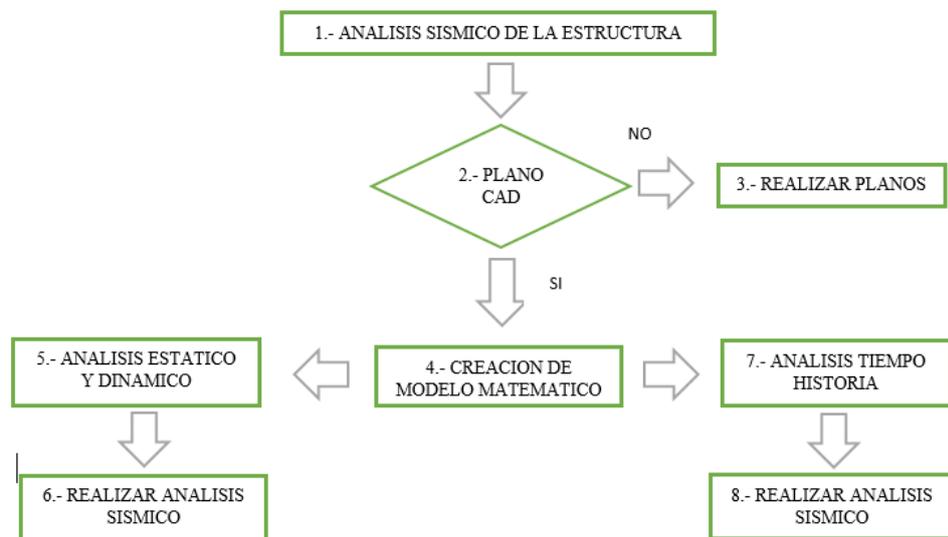


Figura 85. Diagrama de flujo de procedimiento para análisis sísmico

Fuente: Elaboración Propia

A continuación, se procede a describir cada uno de los puntos considerados en el diagrama de flujo para el análisis sísmico de la estructura.

- Punto 1: Es el punto de inicio donde se describe de manera general que tema se desarrollara en el diagrama.
- Punto 2: Se deberá contar con los planos en formato Cad para la correcta generación del modelo matemático de la estructura.

- Punto 3: En caso de no tener los planos en formato Cad, se deberán elaborarlos.
- Punto 4: Se creará el modelo matemático siguiendo de manera general los siguientes pasos:
 - ✓ Definición de unidad de trabajo
 - ✓ Creación de grillas y definición de alturas
 - ✓ Definición de materiales y secciones de los elementos estructurales
 - ✓ Dibujo de elementos estructurales
- Punto 5: Se realiza la inserción de los parámetros para el análisis sísmico estático y dinámico como sigue.
 - ✓ Definición de los parámetros ZUCS/R según la norma de diseño sismorresistente E.030
 - ✓ Con los parámetros hallados del punto anterior se genera e inserta el espectro de diseño para cada dirección pudiendo considerar los 2/3 del espectro para el sentido vertical.
 - ✓ Se define el modal case usando 3 modos por nivel teniendo en consideración que el modelo cumple los requisitos para considerar diafragma rígido.
 - ✓ Se define la fuente de masa según la norma de diseño sismorresistente definiendo el porcentaje de carga muerta y carga viva.
 - ✓ Se define las cargas de gravedad como son la magnitud de carga muerta y carga viva por nivel, teniendo en cuenta el uso que se

dada en el ambiente. La magnitud de la carga está establecida en la norma E.020 Cargas.

- Punto 6: Con todo lo realizado en el punto 5 se procede a realizar el análisis sísmico estático y dinámico del modelo matemático.
- Punto 7: Se realiza la inserción de los parámetros para el análisis tiempo historia como sigue.
 - ✓ Definición de función rampa para la carga gravitacional
 - ✓ Definición de registro sísmico desde un from file
 - ✓ Creación de espectro $R=1$ para escalamiento de registro sísmico
 - ✓ Escalamiento de registro sísmico (matched - dominio de frecuencia/ dominio en el tiempo)
 - ✓ Creación de la función tipo pulso
 - ✓ Creación de nuevo tipo de carga (Gravedad) del tipo tiempo historia
 - ✓ Creación del caso de carga TH (Gravedad -TH)
 - ✓ Creación del caso de carga Pulso (Gravedad-Pulso)
 - ✓ Creación del caso modal (Ritz)

Para el análisis con disipadores se aplica los pasos anteriores además de los siguientes pasos:

- ✓ Creación de la masa fuente (Incluye a masa vertical)
- ✓ Asignación de parámetros del amortiguador (Damper Exponential)
- ✓ Creación del caso modal (Ritz) incluye amortiguador
- Punto 8: Con todos los pasos del punto 7 se procede a realizar el análisis tiempo historia con y sin amortiguadores de fluido viscoso.

CAPITULO III

DISEÑO METODOLOGICO.

3.1 Tipo de investigación

Este estudio corresponde a una investigación de tipo aplicada pues se toma los conocimientos para su aplicación directa en busca de la solución del problema.

3.2 Diseño de investigación

La presente investigación tendrá un diseño experimental de tipo pre-experimento pues es el que mejor se adapta a las necesidades del estudio.

El diseño experimental busca “medir probabilísticamente la relación causal que se establece entre las variables, y estar en la posibilidad de confirmar o rechazar las hipótesis sometidas a prueba” (Rojas, 2013, pág. 272).

Por otro lado, el diseño tipo pre-experimento “consiste en administrar un estímulo o tratamiento a un grupo y después aplicar una medición de una o más variables para observar cual es el nivel del grupo en estas “(Hernández, Fernández y Baptista, 2010, pág. 136)

3.3 Población y muestra

La población, así como la muestra es no probabilístico de carácter informal o intencional a criterio del investigador. Es por ello que se consideró como población a los edificios aporticado de 8 pisos y muestra el edificio aporticado de 8 pisos con características para un análisis sísmico de la región de Moquegua.

3.4 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

Como técnica de recolección de datos se utiliza la observación teniendo como guía de observación la norma de diseño Sismorresistente E.030 y el código ASCESEI 7-10, como instrumento de medición se utilizará el software Etabs 2016 con cuadros de registro de datos obtenidos del programa Etabs 2016.

Se realizará la recolección de datos obteniendo del software ETABS V.13 las fuerzas internas, desplazamientos y porcentaje de disipación de energía con el objetivo de tener una matriz de datos por categorías para su posterior análisis y comparación en combinación con el Microsoft Excel 2013.

CAPITULO IV

ANALISIS E INTERPRETACION DE RESULTADOS

4.1 Presentación de Resultados

4.1.1 Resultados del análisis sísmico sin amortiguadores

4.1.1.1 Amortiguamiento natural de la estructura sin amortiguadores

Se determina el amortiguamiento inherente de la estructura antes de la incorporación de amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 17

Calculo de amortiguamiento natural (Dir. X-X)

Decremento Logarítmico	
INGRESE n :	3.000
INGRESE X1 :	0.124
INGRESE X2 :	0.052
$\delta = \ln (X1 / X2) :$	0.869
$\zeta =$	0.0461
$\beta =$	-0.39%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 18

Calculo de amortiguamiento natural (Dir. Y-Y)

Decremento Logarítmico	
INGRESE n :	3.000
INGRESE X1 :	0.119
INGRESE X2 :	0.046
$\delta = \ln (X1 / X2) :$	0.950
$\zeta =$	0.0504
$\beta =$	0.04%

Fuente: Elaboración Propia

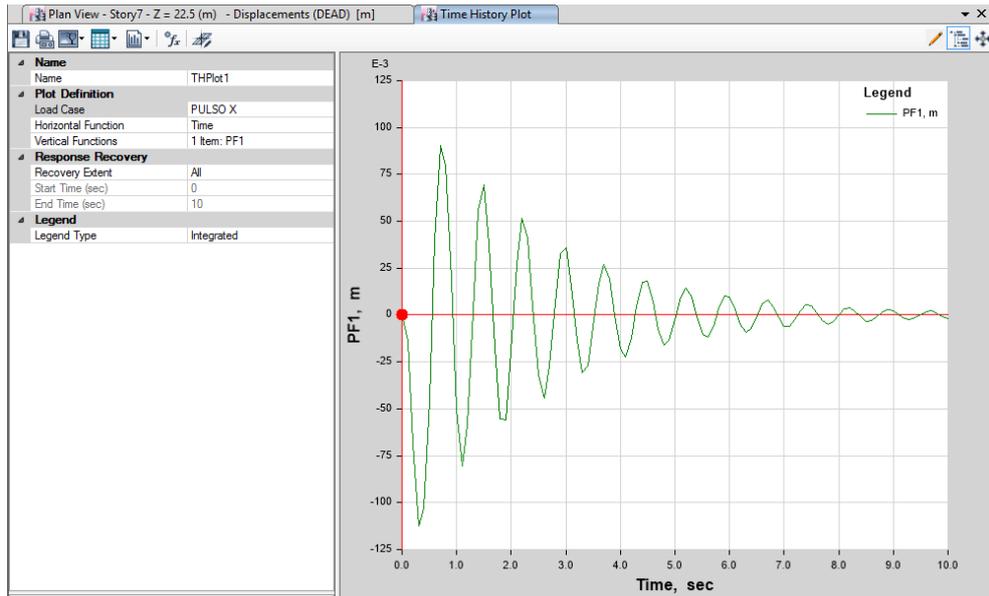


Figura 86. Amortiguamiento de la estructura sin amortiguadores (Dir. X-X)

Fuente: Elaboración Propia

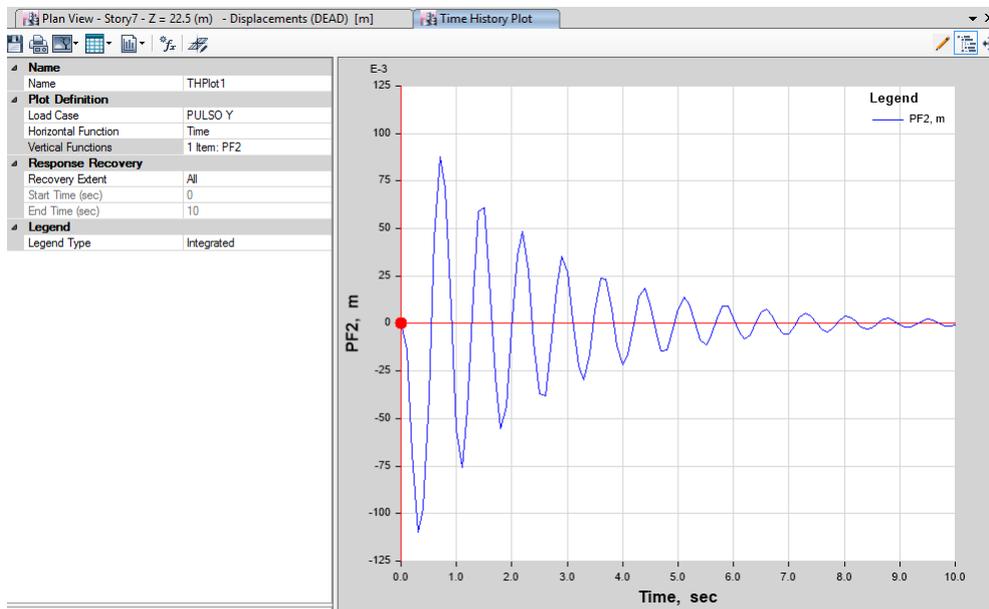


Figura 87. Amortiguamiento de la estructura sin amortiguadores (Dir. Y-Y)

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene amortiguamiento de 4.61% para la dirección x-x y 5.04% en la dirección y-y.

4.1.1.2 Cortante basal de la estructura sin amortiguadores

Se muestra la fuerza cortante de la estructura sin amortiguadores de fluido viscoso.

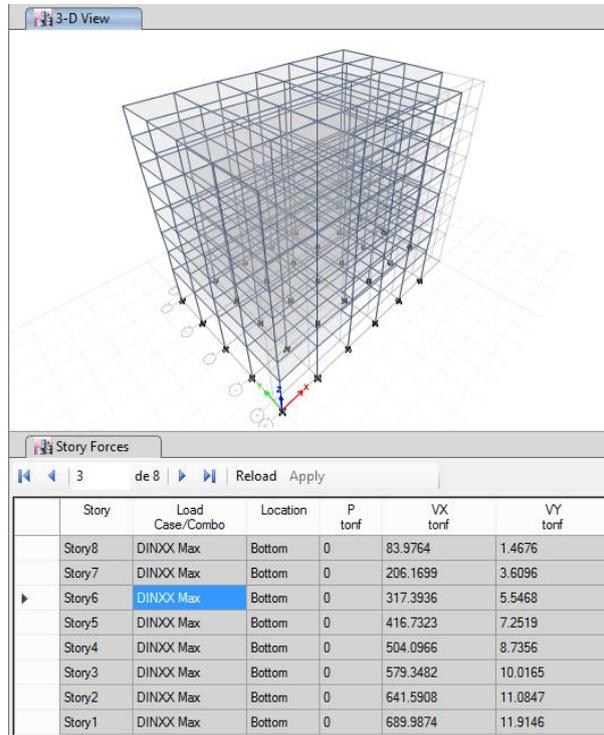


Figura 88. Fuerza cortante de la estructura sin amortiguadores (Dir. X-X)

Fuente: Elaboración Propia

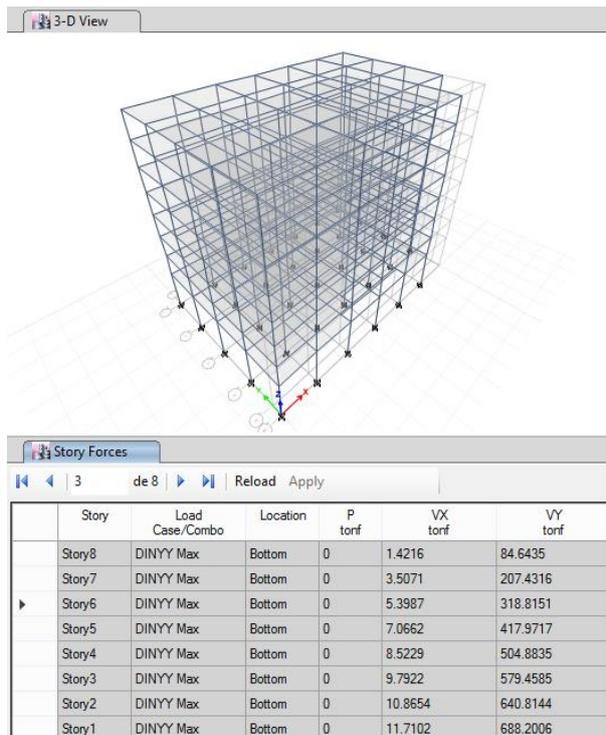


Figura 89. Fuerza cortante de la estructura sin amortiguadores (Dir. Y-Y)

Fuente: Elaboración Propia

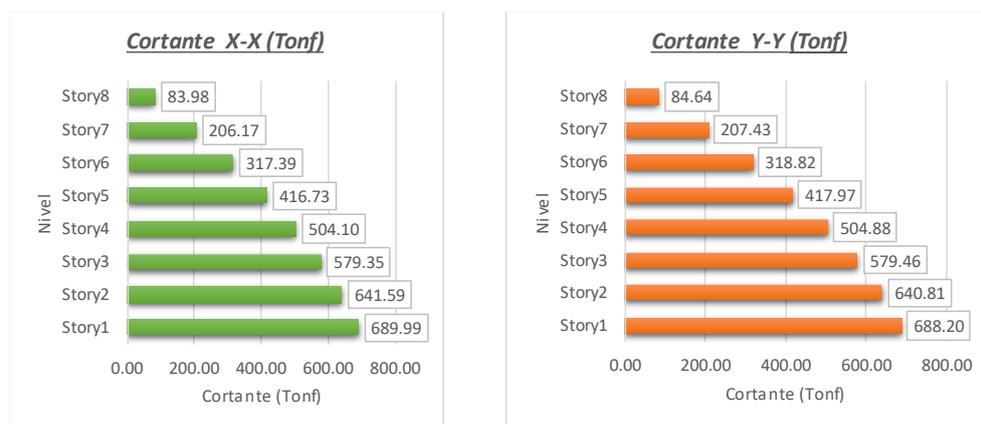


Figura 90. Fuerza cortante basal de la estructura sin amortiguadores

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene valores de cortante en la base de 689.99 tonf para la dirección x-x y 688.20 tonf para la dirección y-y.

4.1.1.3 Derivas de la estructura sin amortiguadores

Respecto a las derivas del edificio sin la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso se tiene los siguientes resultados.

Tabla 19
Derivas (Dirección X-X) sin amortiguadores

Deriva en la dirección X-X (‰)				
Nivel	TH 2001	TH 2003	TH 2005	TH MAX
Story1	10.23	9.96	10.08	10.23
Story2	7.97	7.77	7.78	7.97
Story3	6.77	6.55	6.64	6.77
Story4	5.82	5.66	5.88	5.88
Story5	5.10	5.24	4.98	5.24
Story6	4.12	4.47	4.05	4.47
Story7	2.98	3.28	2.88	3.28
Story8	1.66	1.83	1.61	1.83

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 20
Derivas (Dirección Y-Y) sin amortiguadores

Deriva en la dirección Y-Y (‰)				
Nivel	TH 2001	TH 2003	TH 2005	TH MAX
Story1	10.02	9.17	9.47	10.02
Story2	7.99	7.14	7.47	7.99
Story3	6.81	6.08	6.43	6.81
Story4	5.87	5.43	5.78	5.87
Story5	5.43	5.13	5.02	5.43
Story6	4.68	4.45	4.18	4.68
Story7	3.43	3.32	3.02	3.43
Story8	1.94	1.92	1.73	1.94

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene derivas máximas para el edificio sin amortiguadores de fluido viscoso de 10.23‰ para la dirección x-x y 10.02‰ para la dirección y-y.

4.1.1.4 Disipación de energía sísmica de la estructura sin amortiguadores

Se muestra en las tablas siguientes los porcentajes de disipación de energía del edificio sin amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 21

Disipación de la energía sísmica de la estructura sin amortiguadores

Load Case	Input		Kinetic		Potential		Global Damping		Damper Links	
	tonf-m	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	
TH 2001 A	7743.19	709.90	9.17%	438.41	5.66%	7737.44	99.93%	0.00	0.00%	
TH 2001 B	7778.27	674.56	8.67%	439.06	5.64%	7772.53	99.93%	0.00	0.00%	
TH 2003 A	2037.88	497.16	24.40%	311.98	15.31%	2003.68	98.32%	0.00	0.00%	
TH 2003 B	2168.00	551.61	25.44%	335.15	15.46%	2134.37	98.45%	0.00	0.00%	
TH 2005 A	2091.12	560.10	26.78%	345.26	16.51%	2008.37	96.04%	0.00	0.00%	
TH 2005 B	2116.81	540.15	25.52%	337.58	15.95%	2090.38	98.75%	0.00	0.00%	

Fuente: Elaboración Propia

4.1.1.5 Reacciones en la base de la estructura sin amortiguadores

Las reacciones en la base de la estructura sin amortiguadores de fluido viscoso se muestran en las siguientes capturas.

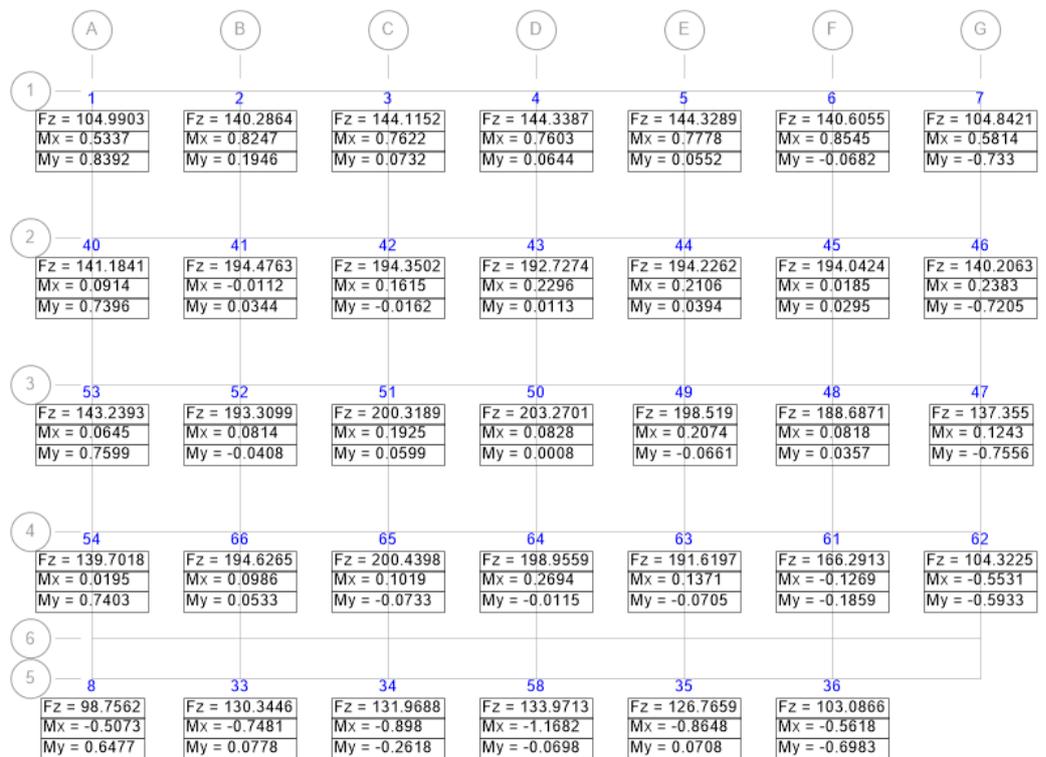


Figura 91. Reacciones en la base para carga muerta

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

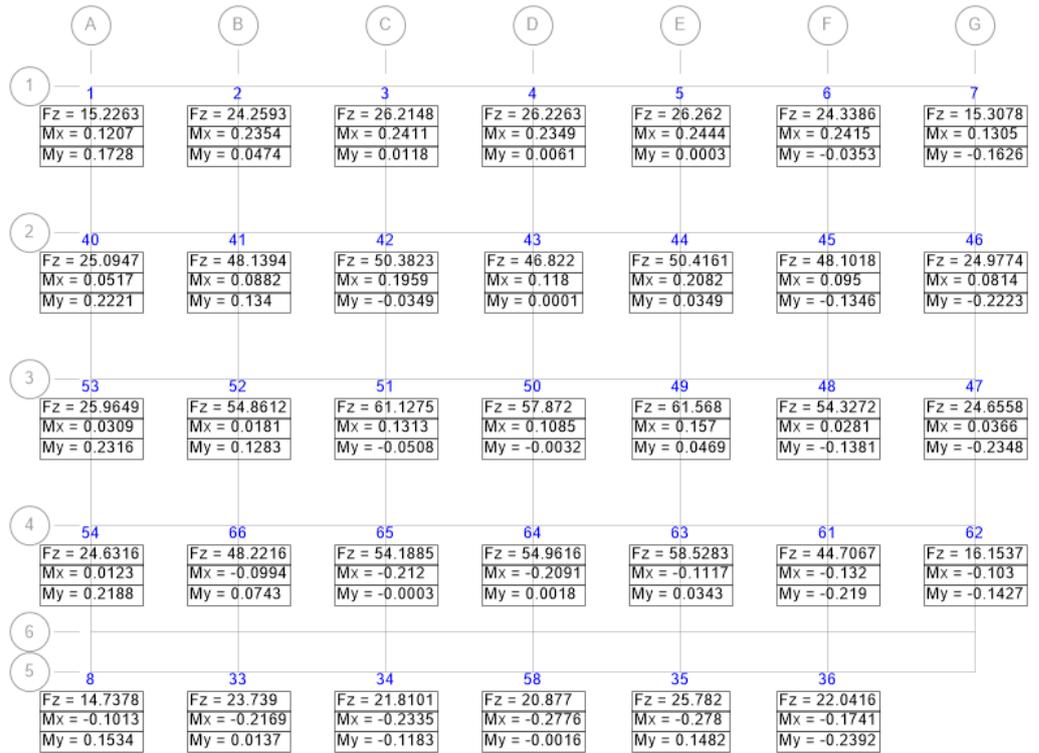


Figura 92. Reacciones en la base para carga viva

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

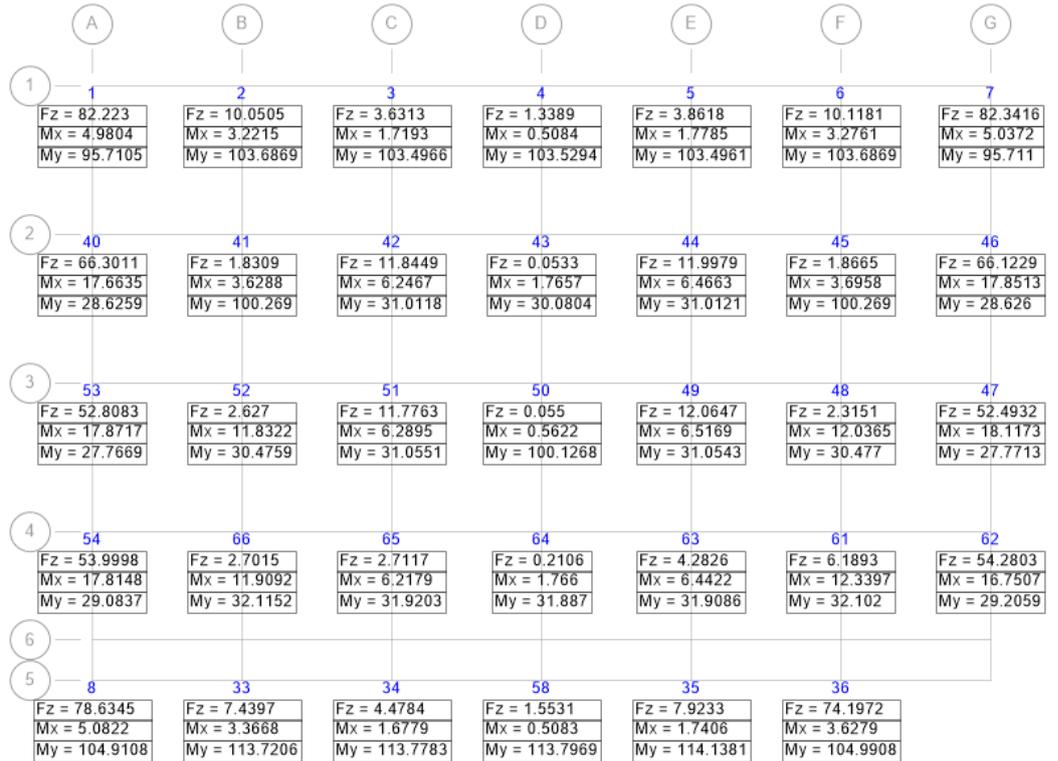


Figura 93. Reacciones en la base para carga de sismo x-x

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

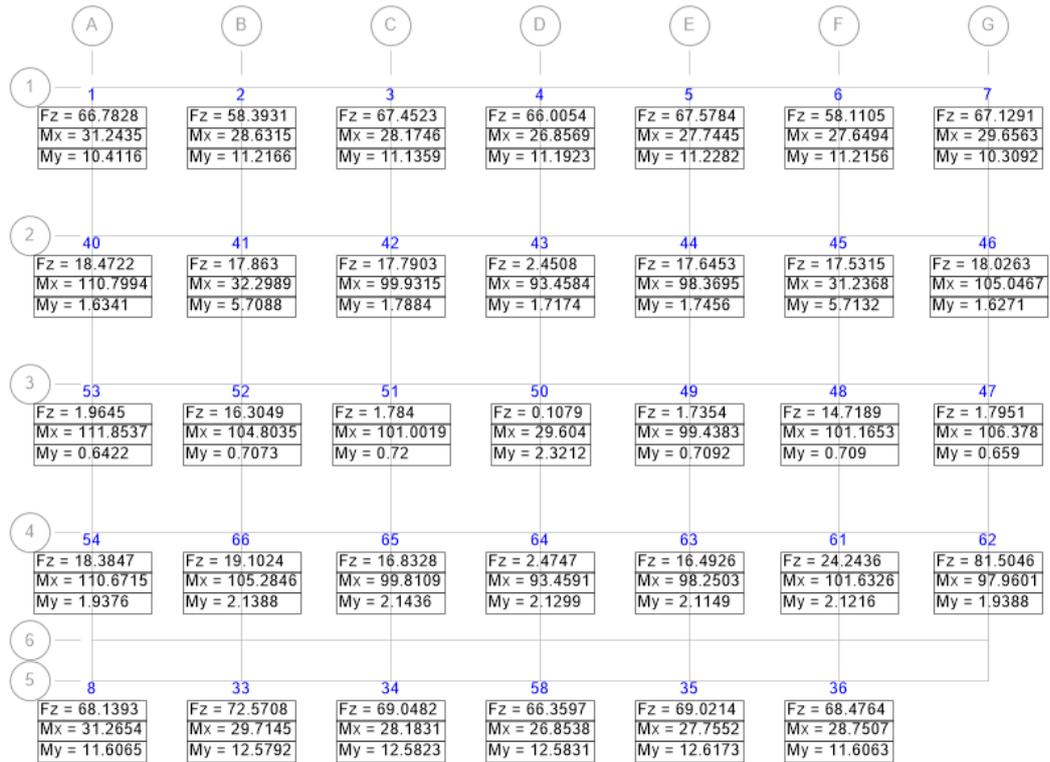


Figura 94. Reacciones en la base para carga de sismo y-y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

4.1.2 Resultados del análisis sísmico con amortiguadores

4.1.2.1 Amortiguamiento añadido de la estructura con amortiguadores

La inclusión de los amortiguadores de fluido viscoso dará como resultado el aumento del amortiguamiento de la estructura, en adelante se muestra el amortiguamiento añadido del sistema.

Tabla 22

Calculo de amortiguamiento añadido (Dir. X-X)

Decremento Logarítmico	
INGRESE n :	3.000
INGRESE X1 :	0.136
INGRESE X2 :	0.003
$\delta = \ln(X1 / X2) :$	3.814
$\zeta =$	0.1983
$\beta =$	14.83%

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 23
Calculo de amortiguamiento añadido (Dir. Y-Y)

Decremento Logarítmico	
INGRESE n :	3.000
INGRESE X1 :	0.139
INGRESE X2 :	0.004
$\delta = \ln(X1 / X2) :$	3.548
$\zeta =$	0.1850
$\beta =$	13.50%

Fuente: Elaboración Propia

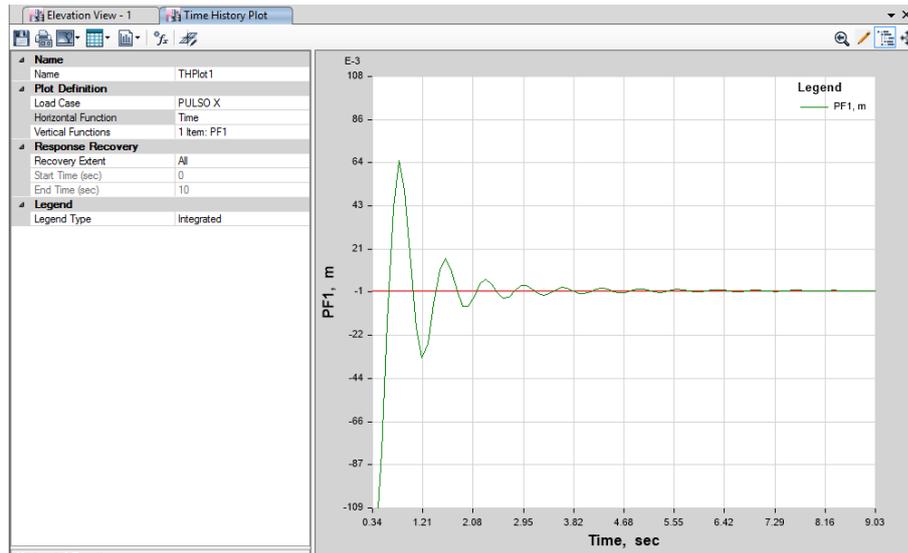


Figura 95. Amortiguamiento de la estructura con amortiguadores (Dir. X-X)

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

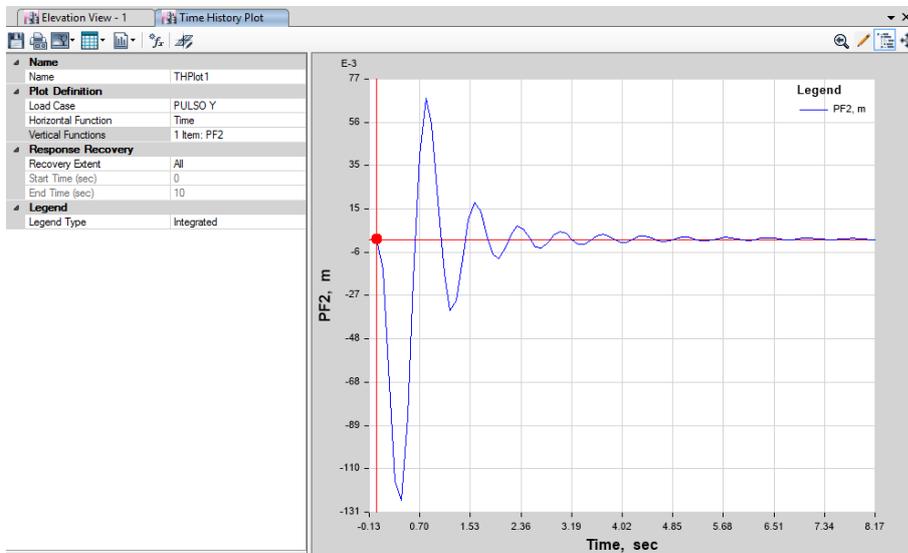


Figura 96. Amortiguamiento de la estructura con amortiguadores (Dir. Y-Y)

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

Se tiene amortiguamiento total de 19.83% para la dirección x-x y 18.50% en la dirección y-y.

4.1.2.2 Cortante en la basal de la estructura con amortiguadores

Se muestra la fuerza cortante de la estructura con amortiguadores de fluido viscoso luego de la inclusión de los amortiguadores de fluido viscoso.

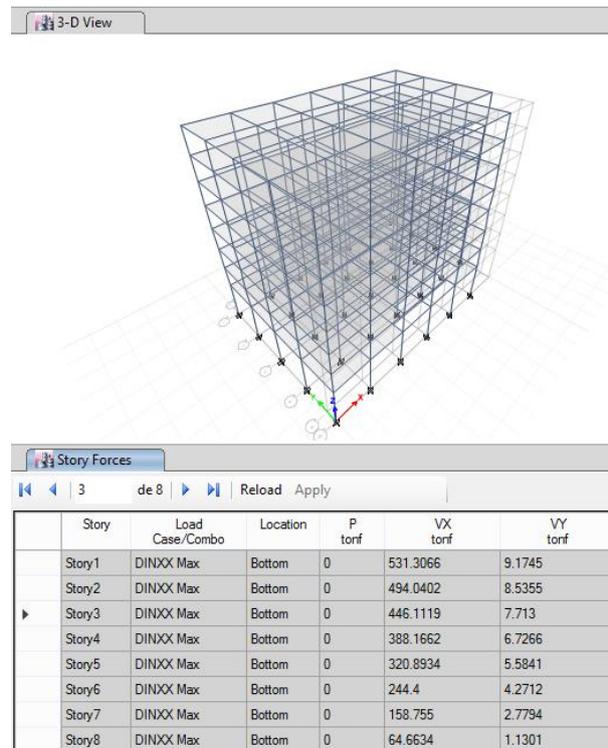


Figura 97. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores (Dir. X-X)

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

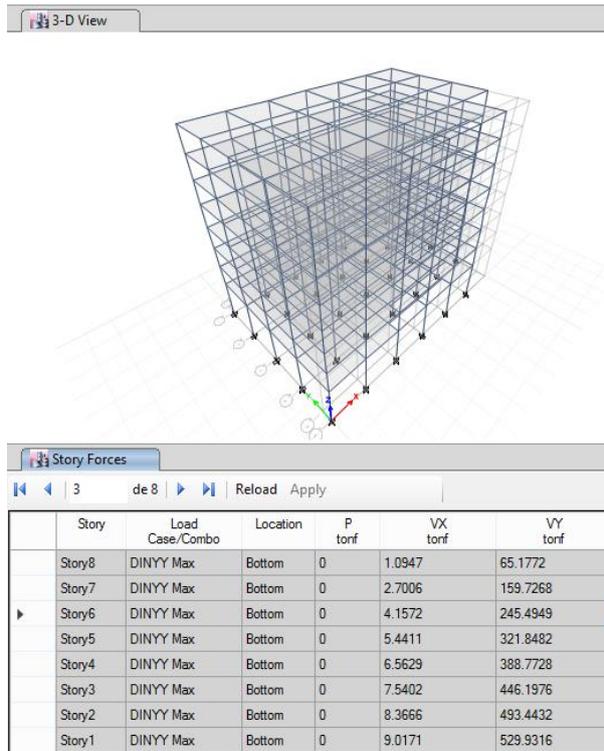


Figura 98. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores (Dir. Y-Y)

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

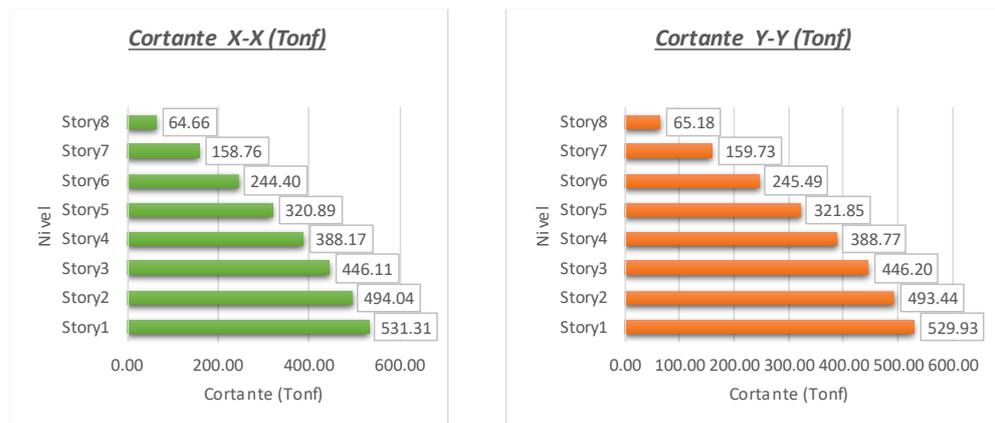


Figura 99. Fuerza cortante de la estructura con amortiguadores

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene valores de cortante en la base de 531.31 tonf para la dirección x-x y 529.93 tonf para la dirección y-y.

4.1.2.3 Derivas de la estructura con amortiguadores

Respecto a las derivas del edificio con la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso se tiene los siguientes resultados.

Tabla 24
Derivas (Dirección X-X) con amortiguadores

Deriva en la dirección X-X (‰)				
Nivel	TH 2001	TH 2003	TH 2005	TH MAX
Story1	5.82	6.09	6.15	6.15
Story2	6.13	6.32	6.42	6.42
Story3	5.36	5.45	5.63	5.63
Story4	4.80	4.69	4.89	4.89
Story5	4.01	3.83	4.01	4.01
Story6	3.00	2.84	3.04	3.04
Story7	1.85	1.77	1.91	1.91
Story8	0.86	0.87	0.92	0.92

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 25
Derivas (Dirección Y-Y) con amortiguadores

Deriva en la dirección Y-Y (‰)				
Nivel	TH 2001	TH 2003	TH 2005	TH MAX
Story1	5.81	6.13	6.29	6.29
Story2	6.15	6.51	6.66	6.66
Story3	5.42	5.71	5.88	5.88
Story4	4.95	4.91	5.15	5.15
Story5	4.16	4.09	4.19	4.19
Story6	3.22	3.14	3.24	3.24
Story7	2.03	2.00	2.10	2.10
Story8	1.05	1.06	1.09	1.09

Fuente: Elaboración Propia

Se tiene derivas máximas para el edificio con amortiguadores de fluido viscoso de 6.15‰ para la dirección x-x y 6.29‰ para la dirección y-y.

4.1.2.4 Disipación de energía sísmica de la estructura con amortiguadores

Se muestra en las tablas siguientes los porcentajes de disipación de energía del edificio con y sin amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 26

Disipación de la energía sísmica de la estructura con amortiguadores

Load Case	Input		Kinetic		Potential		Global Damping		Damper Links	
	tonf-m	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	tonf-m	%	
TH 2001 A	7572.15	278.14	3.59%	153.84	2.03%	2265.19	29.91%	5301.44	70.01%	
TH 2001 B	7590.77	280.04	3.69%	155.50	2.05%	2270.95	29.92%	5314.34	70.01%	
TH 2003 A	2136.69	283.35	13.26%	143.42	6.71%	671.22	31.41%	1460.52	68.35%	
TH 2003 B	2129.92	275.51	12.94%	138.87	6.52%	667.53	31.34%	1457.45	68.43%	
TH 2005 A	2290.76	288.17	12.58%	137.37	6.00%	729.88	31.86%	1555.46	67.90%	
TH 2005 B	2283.02	287.25	12.58%	141.77	6.21%	726.30	31.81%	1551.20	67.95%	

Fuente: Elaboración Propia

4.1.2.5 Reacciones en la base de la estructura con amortiguadores

Las reacciones en la base de la estructura sin amortiguadores de fluido viscoso se muestran en las siguientes imágenes.

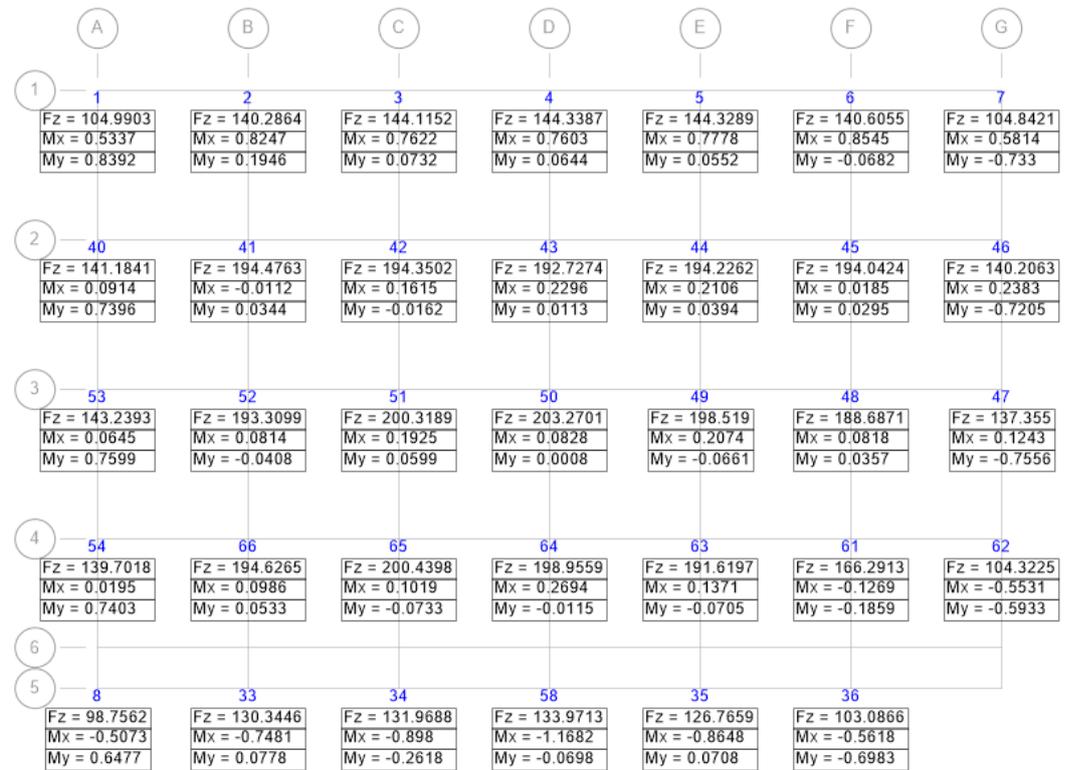


Figura 100. Reacciones en la base para carga muerta

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

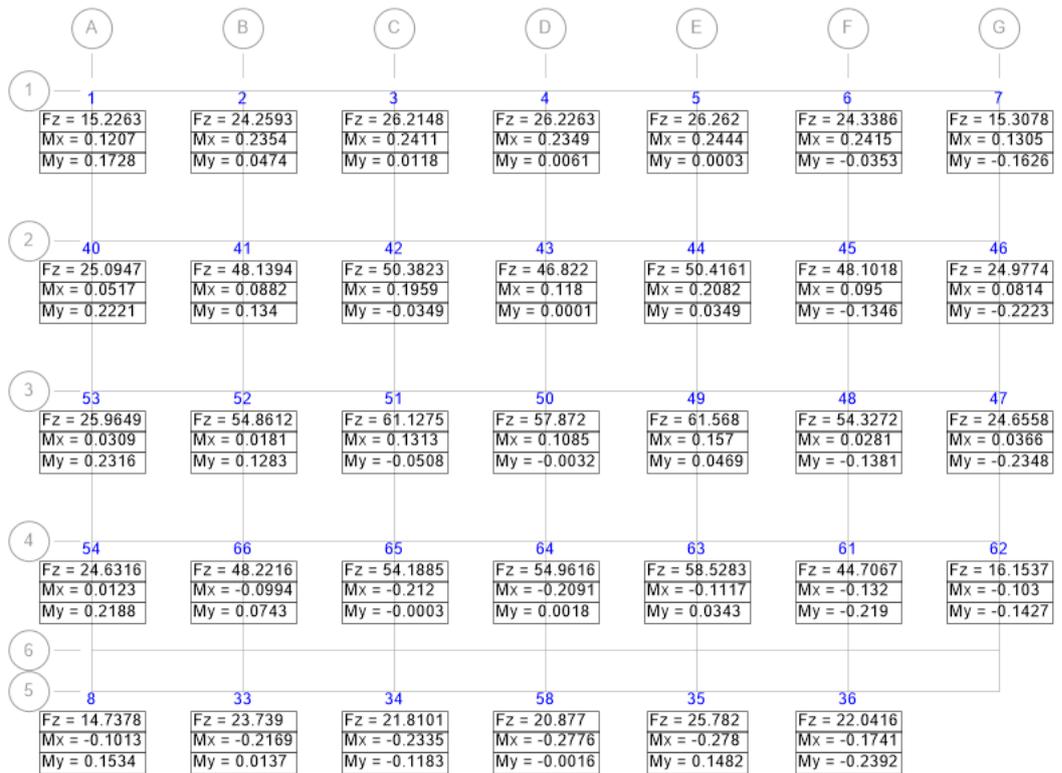


Figura 101. Reacciones en la base para carga viva

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

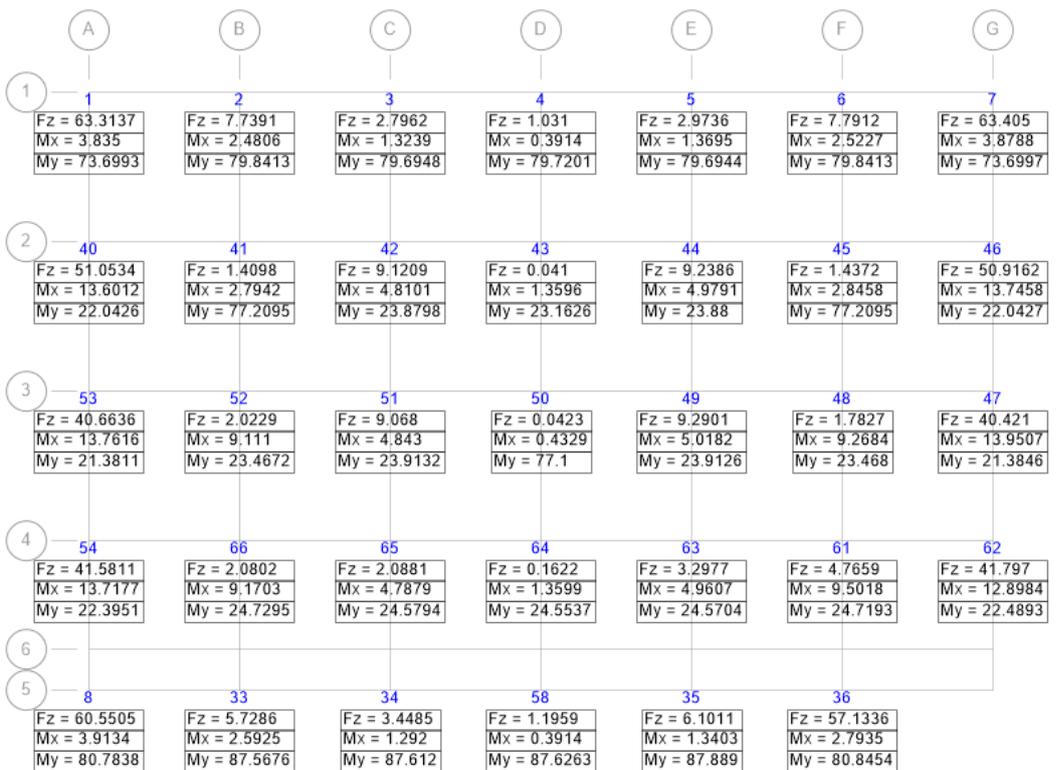


Figura 102. Reacciones en la base para carga de sismo x-x

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

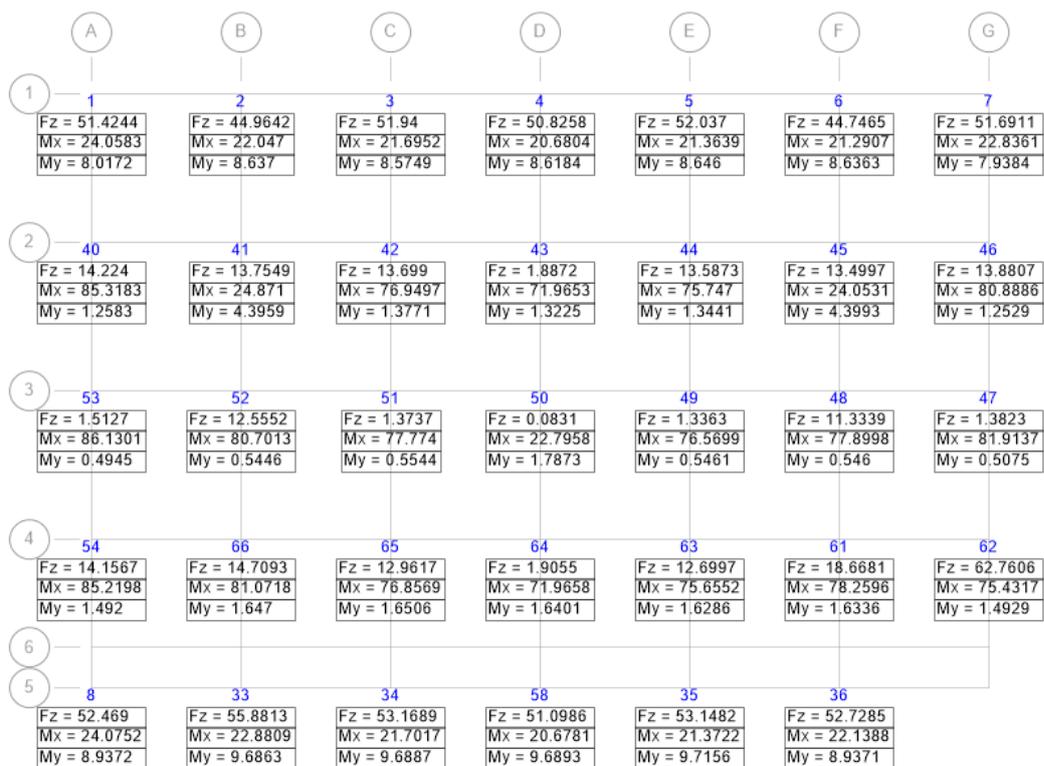


Figura 103. Reacciones en la base para carga de sismo y-y

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

4.1.3 Análisis comparativo de la respuesta sísmica con y sin amortiguadores

4.1.3.1 Análisis comparativo del amortiguamiento en la estructura

Respecto al amortiguamiento se puede observar un aumento del amortiguamiento de la estructura con amortiguadores respecto a la estructura sin amortiguadores.

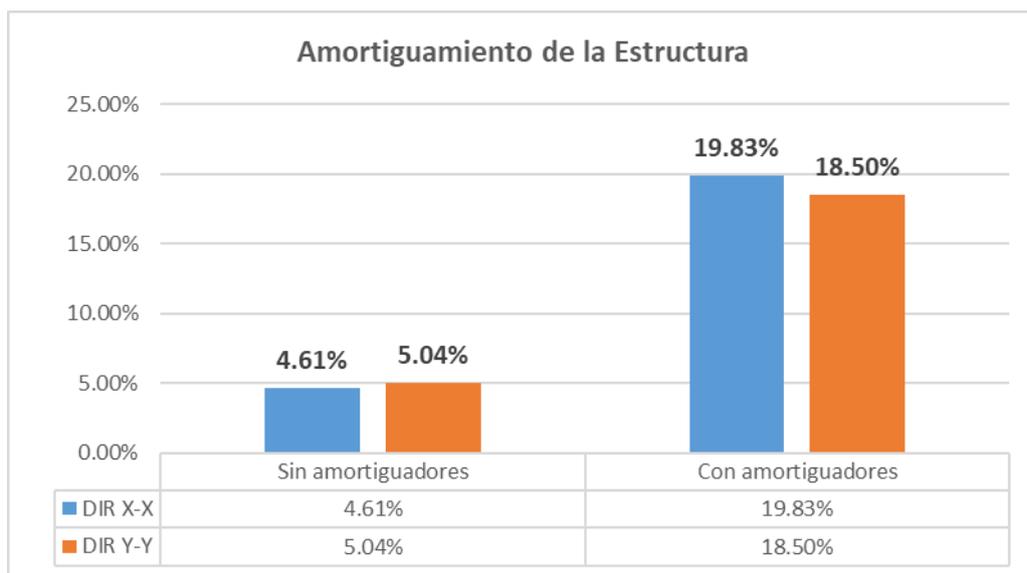


Figura 104. Análisis comparativo del amortiguamiento (%)

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.2 Análisis Comparativo de la cortante basal

Respecto a la fuerza cortante se puede observar una reducción de un 33% de la fuerza cortante de la estructura con amortiguadores respecto a la estructura sin amortiguadores.

Tabla 27

Fuerza cortante de la estructura con y sin amortiguadores Dir. X-X

Cortante basal de la estructura		
Story	Sin	Con
	amortiguadores	amortiguadores
	V (tonf)	V (tonf)
Story1	689.99	531.31
Story2	641.59	494.04
Story3	579.35	446.11
Story4	504.10	388.17
Story5	416.73	320.89
Story6	317.39	244.40
Story7	206.17	158.76
Story8	83.98	64.66

Fuente: Elaboración Propia

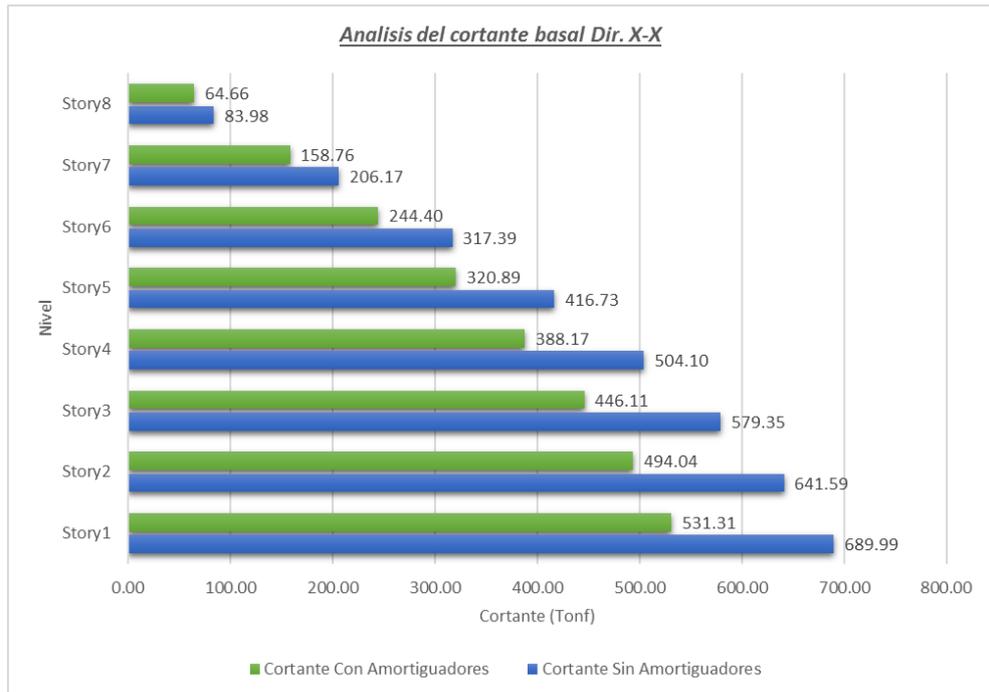


Figura 105. Análisis de la fuerza cortante (tonf) con y sin amortiguadores Dir. X-X

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 28

Fuerza cortante de la estructura con y sin amortiguadores Dir. Y-Y

Cortante basal de la estructura		
Story	Sin	Con
	amortiguadores	amortiguadores
	V (tonf)	V (tonf)
Story1	688.20	529.93
Story2	640.81	493.44
Story3	579.46	446.20
Story4	504.88	388.77
Story5	417.97	321.85
Story6	318.82	245.49
Story7	207.43	159.73
Story8	84.64	65.18

Fuente: Elaboración Propia

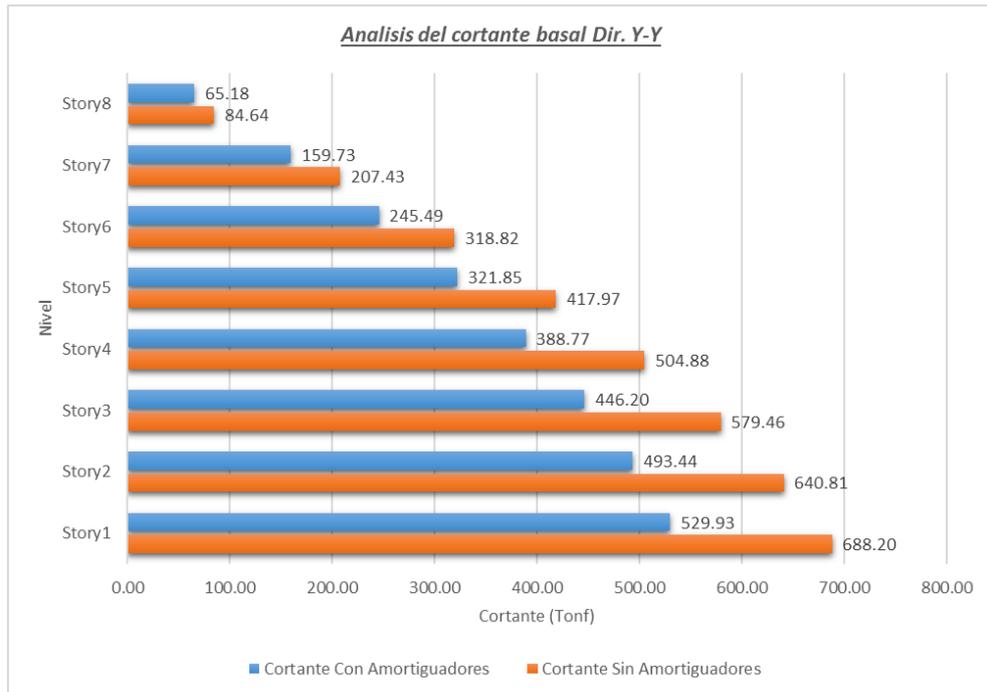


Figura 106. Análisis de la fuerza cortante (tonf) con y sin amortiguadores Dir. Y-Y

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.3 Análisis Comparativo de las derivas

Respecto a las derivas de la estructura con y sin amortiguadores se muestra una reducción máxima del 49.85% para la dirección X-X y 43.56% para la dirección Y-Y.

Tabla 29

Reducción de las derivas en la dirección X-X

Story	Derivas máximas de la estructura		
	Sin amortiguadores	Con amortiguadores	% Reducción
Story1	10.23	6.15	39.82%
Story2	7.97	6.42	19.42%
Story3	6.77	5.63	16.77%
Story4	5.88	4.89	16.79%
Story5	5.24	4.01	23.35%
Story6	4.47	3.04	32.13%
Story7	3.28	1.91	41.58%
Story8	1.83	0.92	49.85%

Fuente: Elaboración Propia

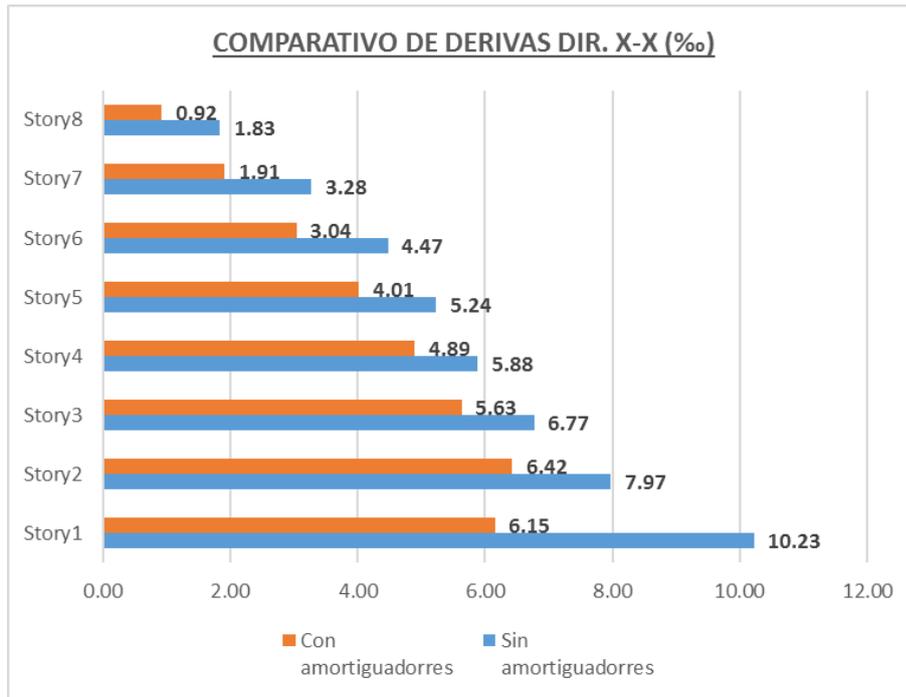


Figura 107. Análisis de la deriva (%) con y sin amortiguadores dirección X-X

Fuente: Elaboración Propia

Tabla 30

Reducción de las derivas en la dirección Y-Y

Derivas máximas de la estructura			
Story	Sin amortiguadores	Con amortiguadores	% Reducción
Story1	10.02	6.29	37.22%
Story2	7.99	6.66	16.59%
Story3	6.81	5.88	13.63%
Story4	5.87	5.15	12.25%
Story5	5.43	4.19	22.80%
Story6	4.68	3.24	30.69%
Story7	3.43	2.10	38.92%
Story8	1.94	1.09	43.56%

Fuente: Elaboración Propia

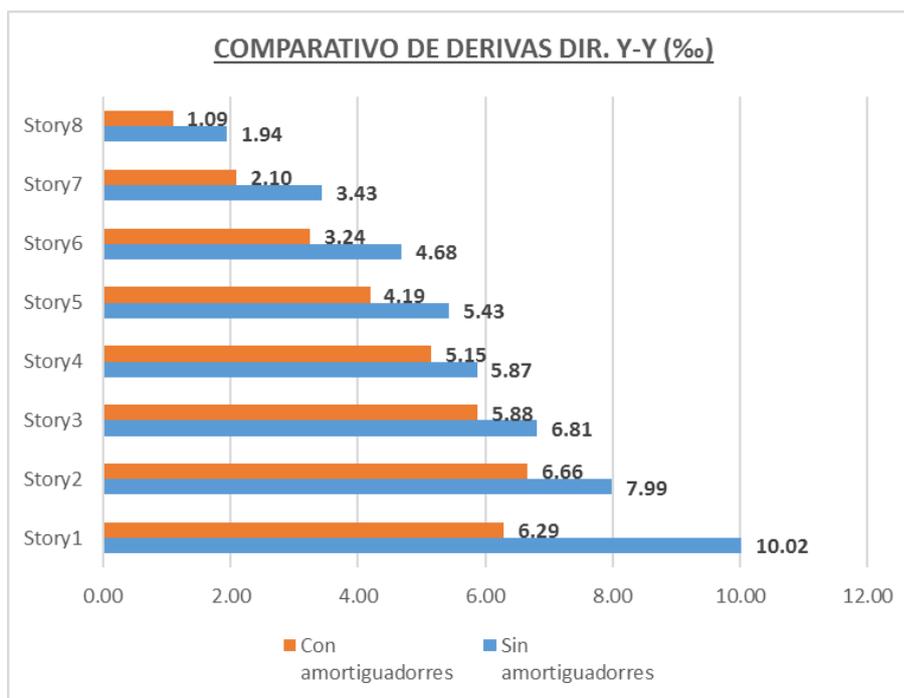


Figura 108. Análisis de la deriva (%) con y sin amortiguadores dirección Y-Y

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.4 Análisis Comparativo de la energía disipada

El análisis comparativo de la energía disipada por los amortiguadores de fluido viscoso en la estructura con y sin amortiguadores de fluido viscoso se muestra en la siguiente tabla.

Tabla 31

Porcentaje de disipación de energía del amortiguador

Load Case	Disipación de energía sísmica del amortiguador			
	Sin amortiguadores		Con amortiguadores	
	tonf-m	%	tonf-m	%
TH 2001 A	0.00	0.00%	5301.44	70.01%
TH 2001 B	0.00	0.00%	5314.34	70.01%
TH 2003 A	0.00	0.00%	1460.52	68.35%
TH 2003 B	0.00	0.00%	1457.45	68.43%
TH 2005 A	0.00	0.00%	1555.46	67.90%
TH 2005 B	0.00	0.00%	1551.20	67.95%

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.5 Análisis comparativo de las fuerzas axiales en la base

El análisis comparativo de este sub capítulo será en base a las etiquetas (label) según el modelo matemático realizado en el programa ETABS V.13

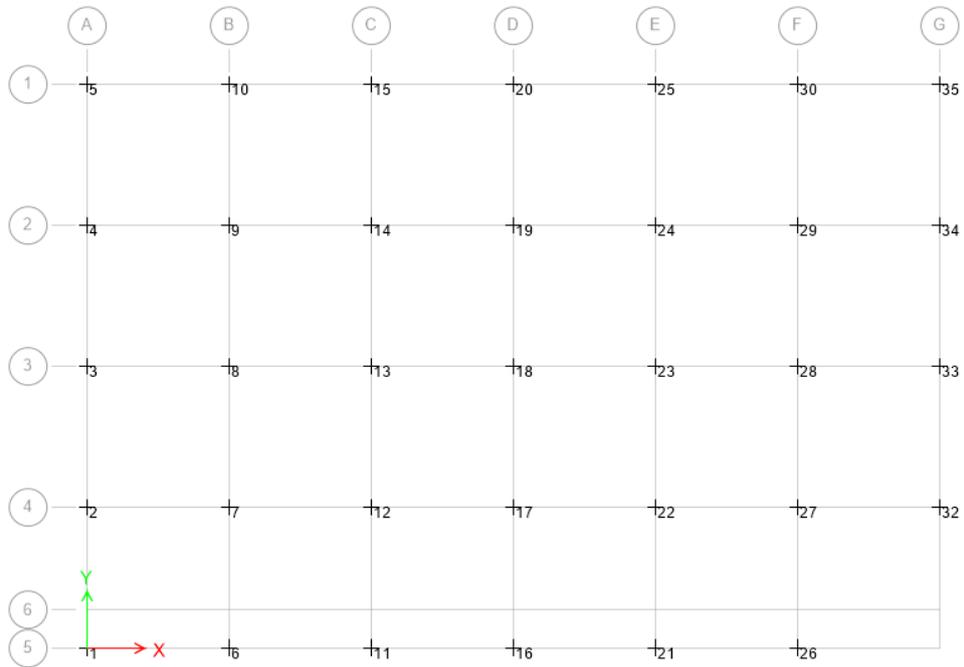


Figura 109. Base de estructura con etiqueta join label

Fuente: Adaptado de ETABS V.13

a) Análisis comparativo de la fuerza Fz en columnas

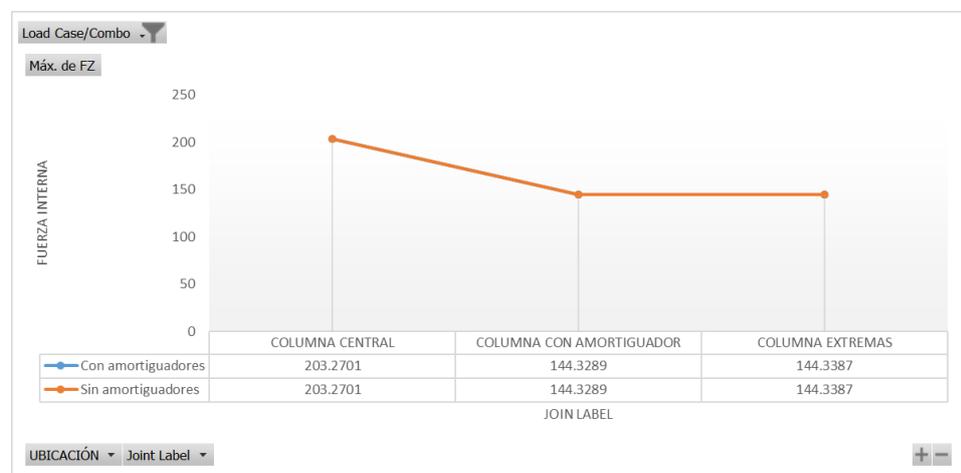


Figura 110. Fuerza máx. Fz (tonf) caso de carga DEAD

Fuente: Elaboración Propia

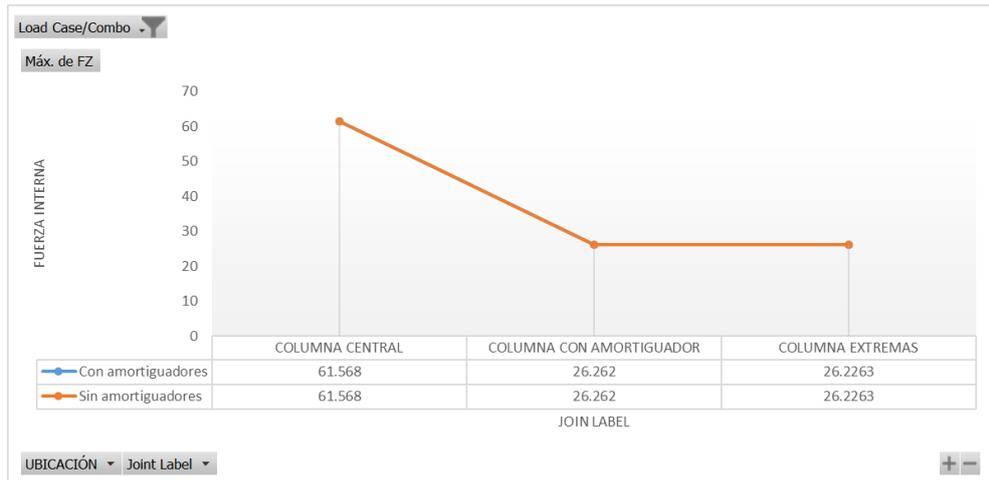


Figura 111. Fuerza Fz (tonf) caso de carga LIVE

Fuente: Elaboración Propia

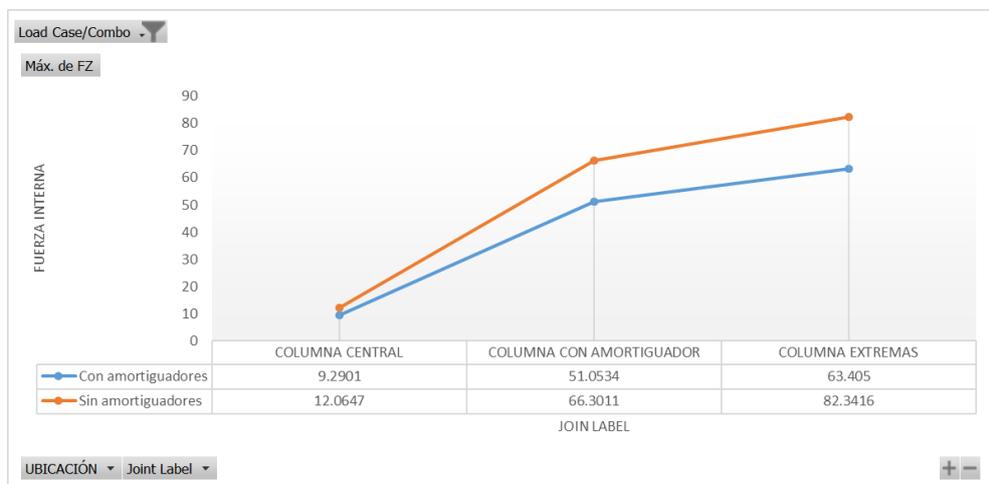


Figura 112. Fuerza Fz (tonf) caso de carga DINXX

Fuente: Elaboración Propia

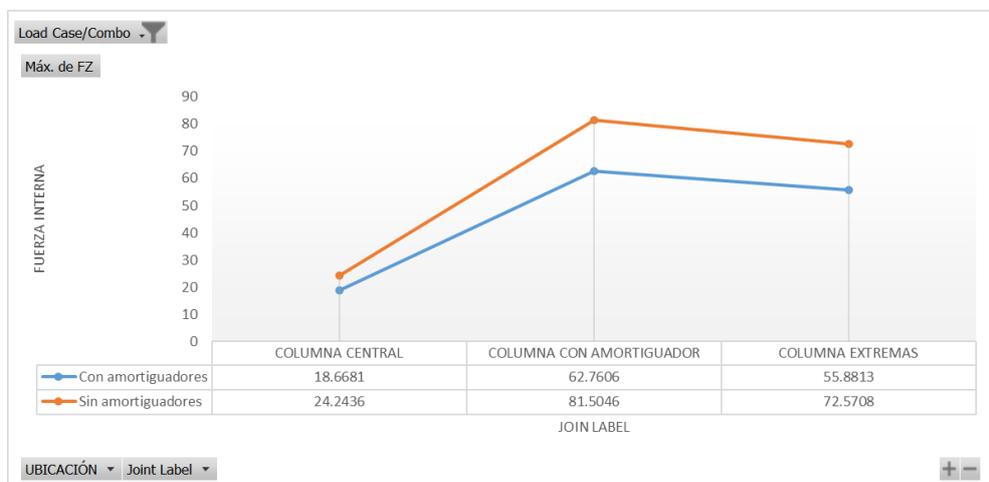


Figura 113. Fuerza Fz (tonf) caso de carga DINYY

Fuente: Elaboración Propia

b) Análisis comparativo de la fuerza Mx en columnas

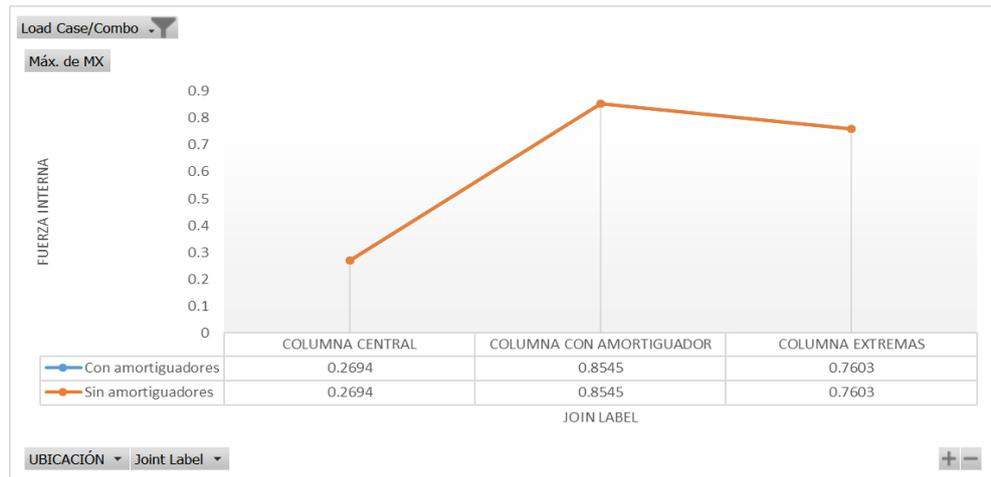


Figura 114. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DEAD

Fuente: Elaboración Propia



Figura 115. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga LIVE

Fuente: Elaboración Propia

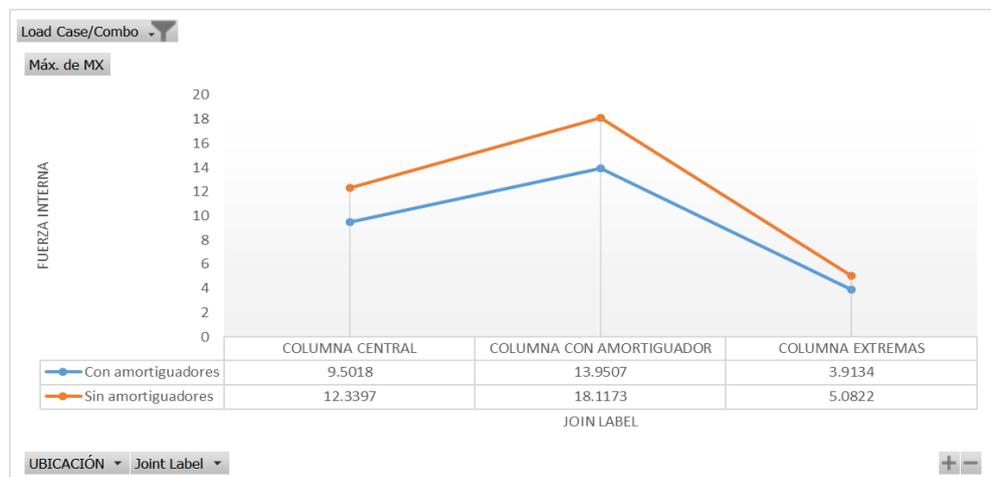


Figura 116. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DINXX

Fuente: Elaboración Propia

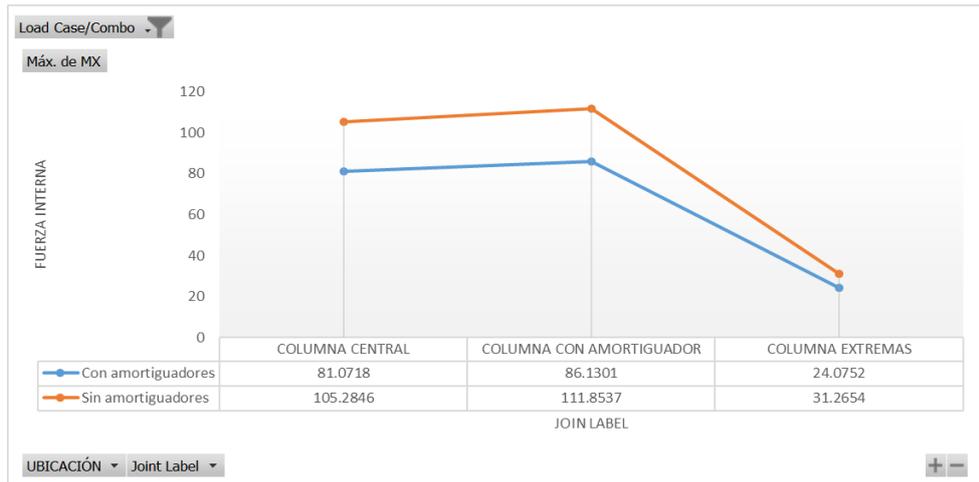


Figura 117. Fuerza Mx (tonf-m) caso de carga DINY

Fuente: Elaboración Propia

c) **Análisis comparativo de la fuerza My en columnas**

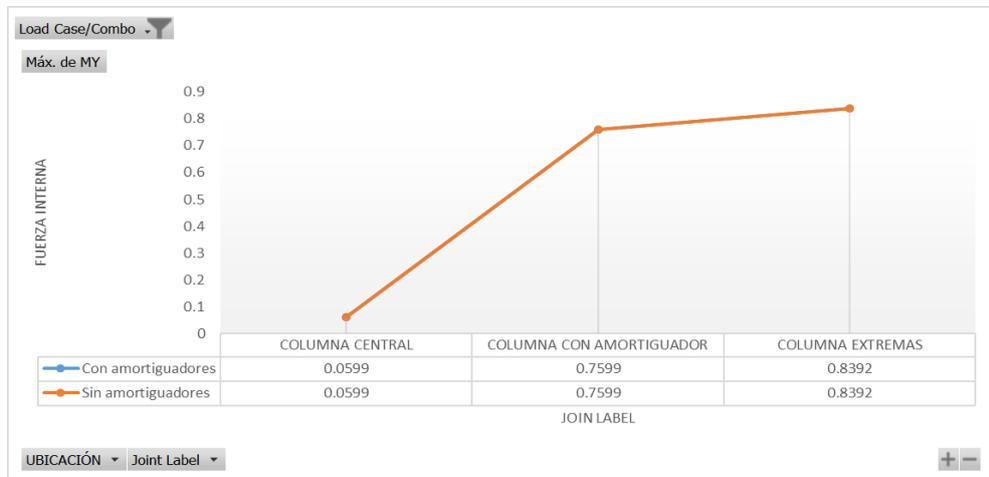


Figura 118. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DEAD

Fuente: Elaboración Propia

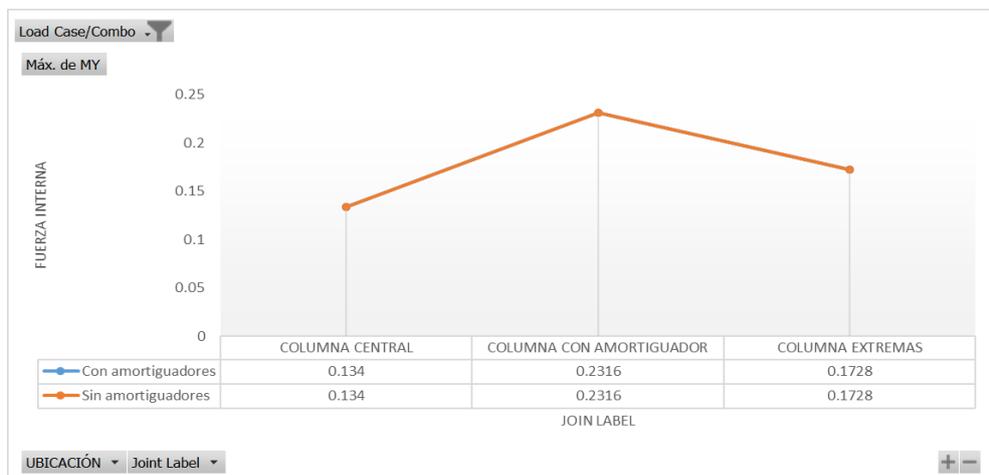


Figura 119. Fuerza My (tonf-m) caso de carga LIVE

Fuente: Elaboración Propia

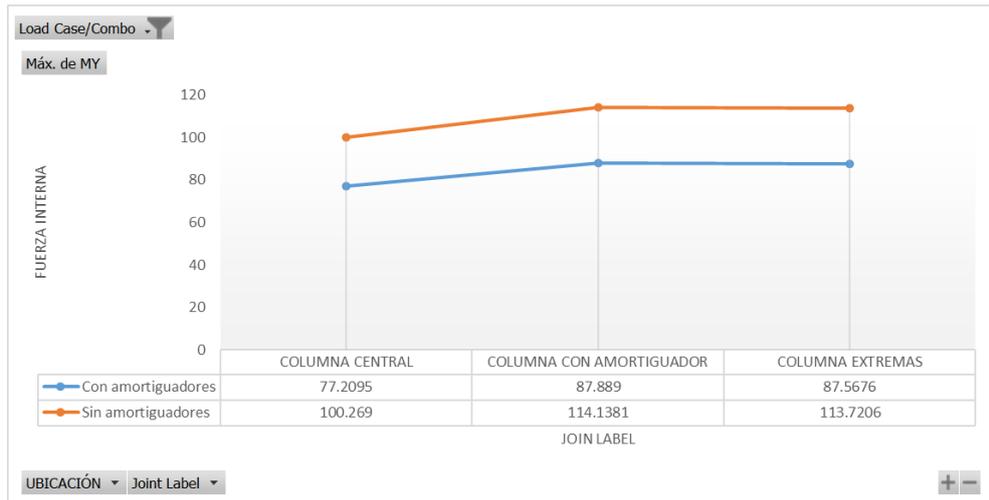


Figura 120. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DINXX

Fuente: Elaboración Propia

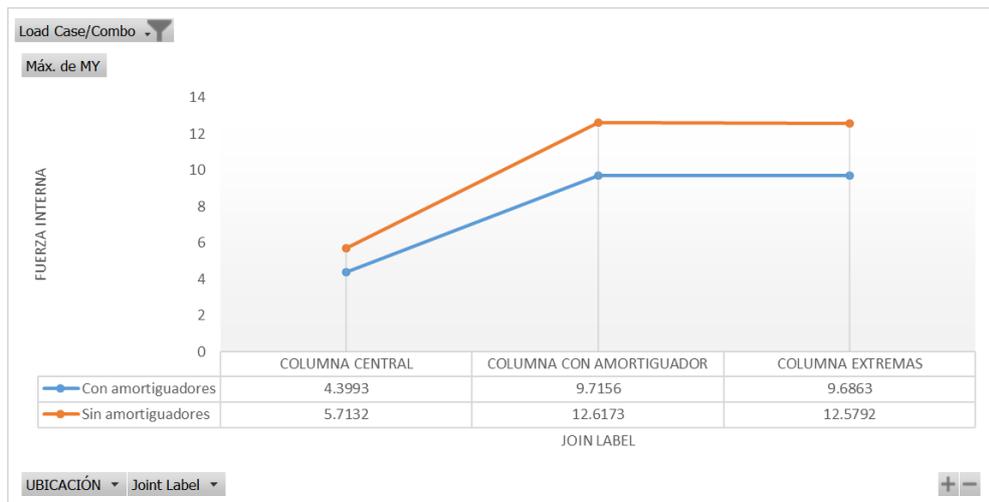


Figura 121. Fuerza My (tonf-m) caso de carga DINYY

Fuente: Elaboración Propia

4.1.3.6 Análisis comparativos de momento flectores en vigas

Para el análisis comparativo de los momentos flectores en las vigas se tomará como guía el plano de planta con etiqueta de vigas realizado en el programa ETAB V.13

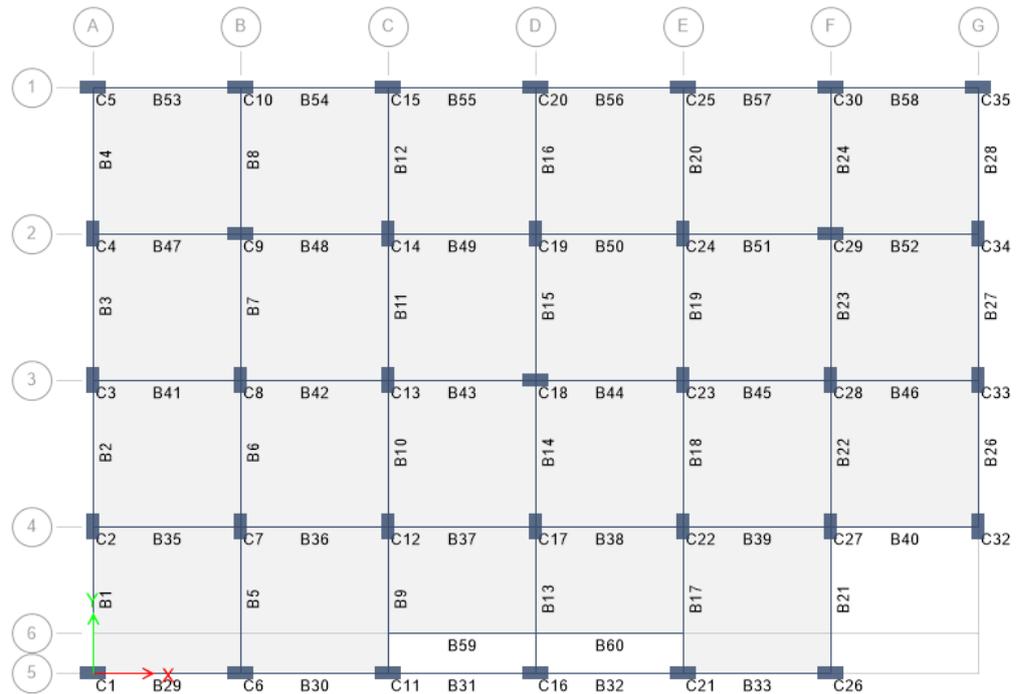


Figura 122. Planta con etiqueta de vigas

Fuente: Adaptado ETABS V.13

a) Análisis comparativo de los momentos flectores M3

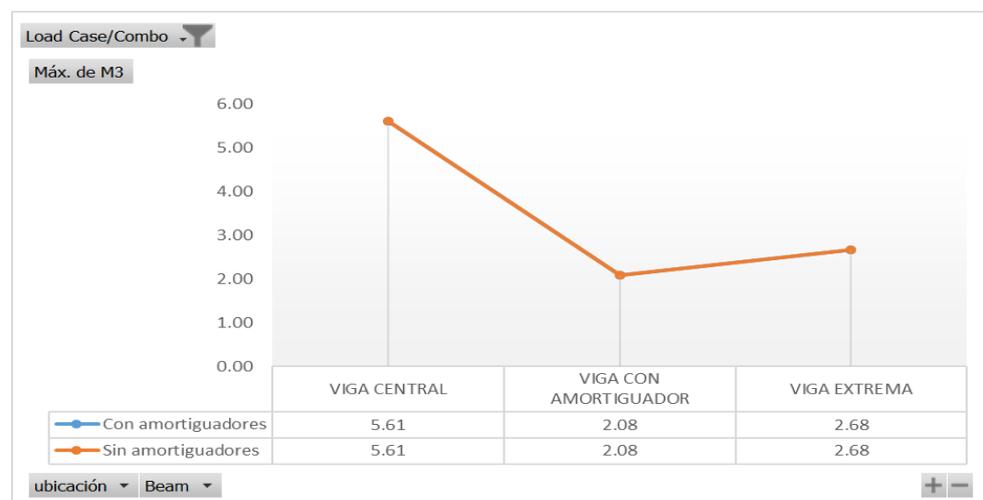


Figura 123. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DEAD

Fuente: Elaboración propia

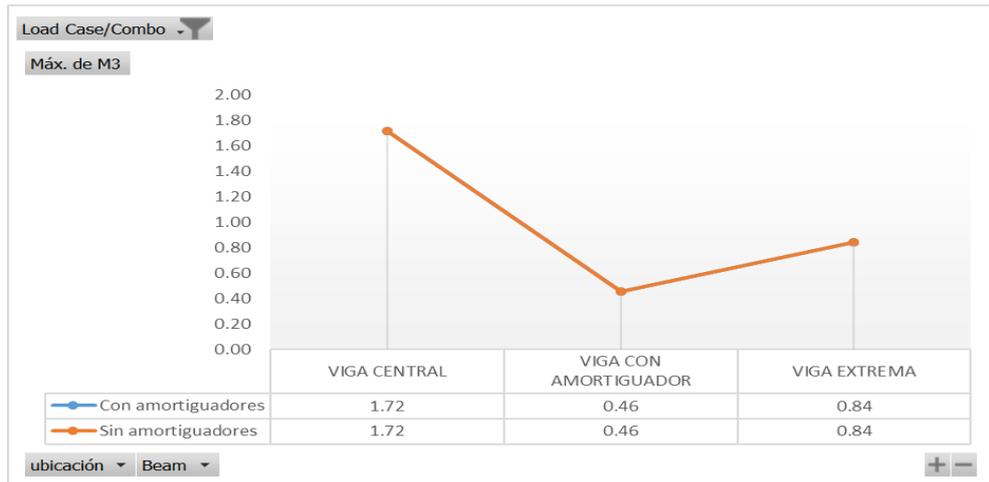


Figura 124. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga LIVE

Fuente: Elaboración propia

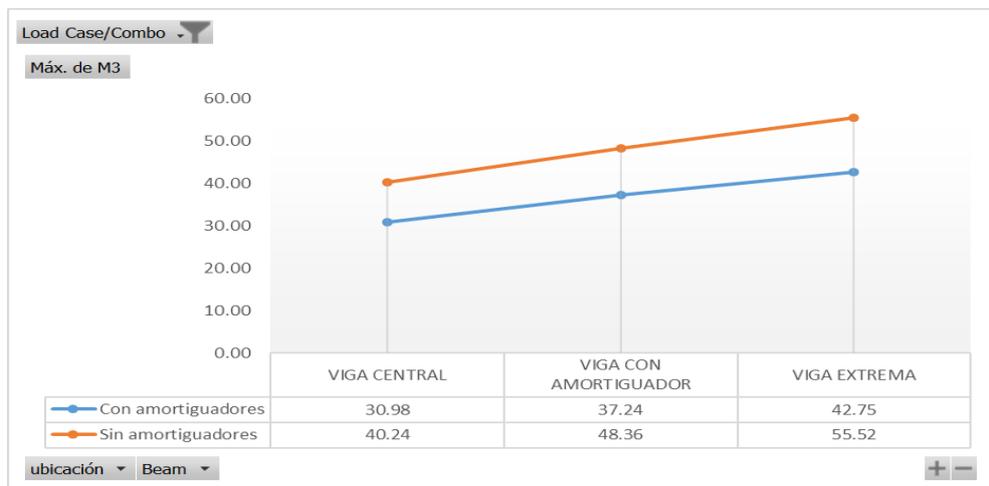


Figura 125. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DINXX

Fuente: Elaboración propia

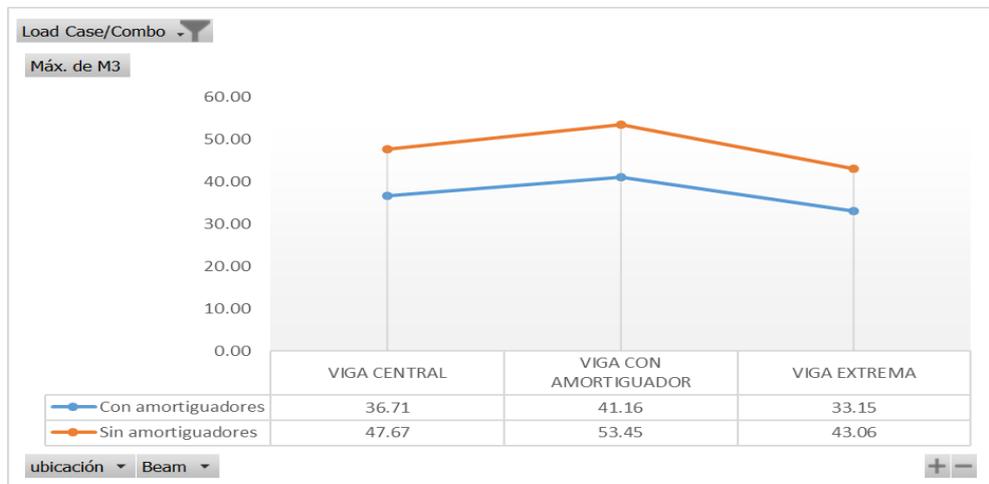


Figura 126. Momentos M3 (tonf-m) caso de carga DINYY

Fuente: Elaboración propia

4.1.3.7 Análisis comparativo de fuerzas cortantes en vigas

Para el análisis comparativo de las fuerzas cortantes en las vigas se tomará como guía el plano de planta con etiqueta de vigas realizado en el programa ETAB V.13

a) Análisis comparativo de fuerzas cortante V2 para el caso de carga sísmico

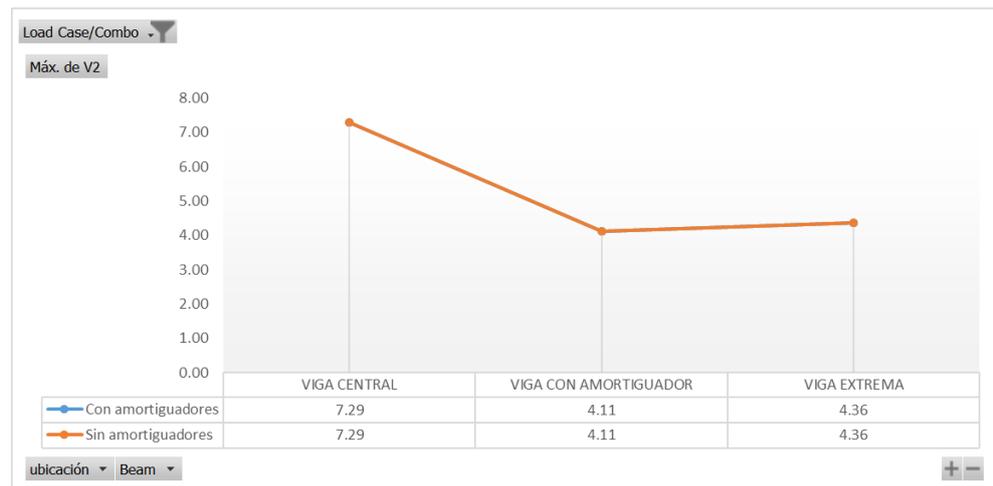


Figura 127. Momentos V2 (tonf) caso de carga DEAD

Fuente: Elaboración propia

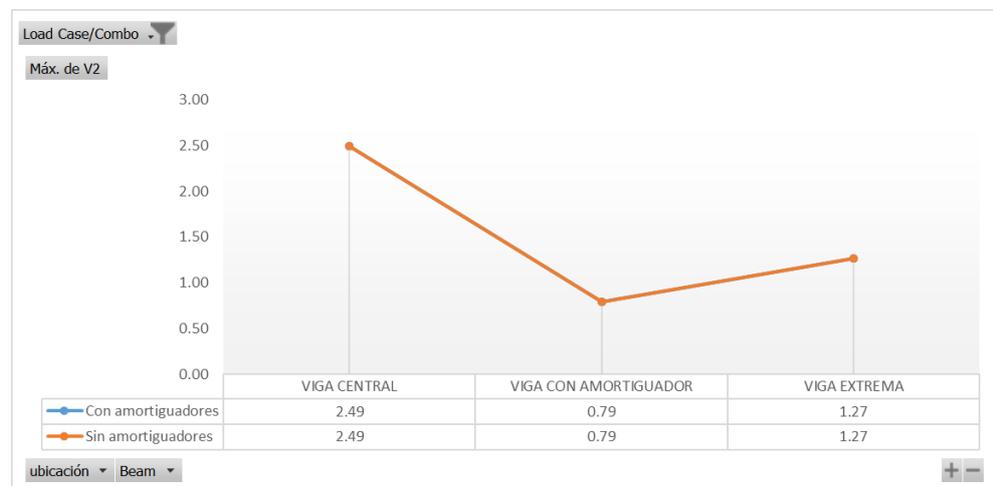


Figura 128. Momentos V2 (tonf) caso de carga LIVE

Fuente: Elaboración propia

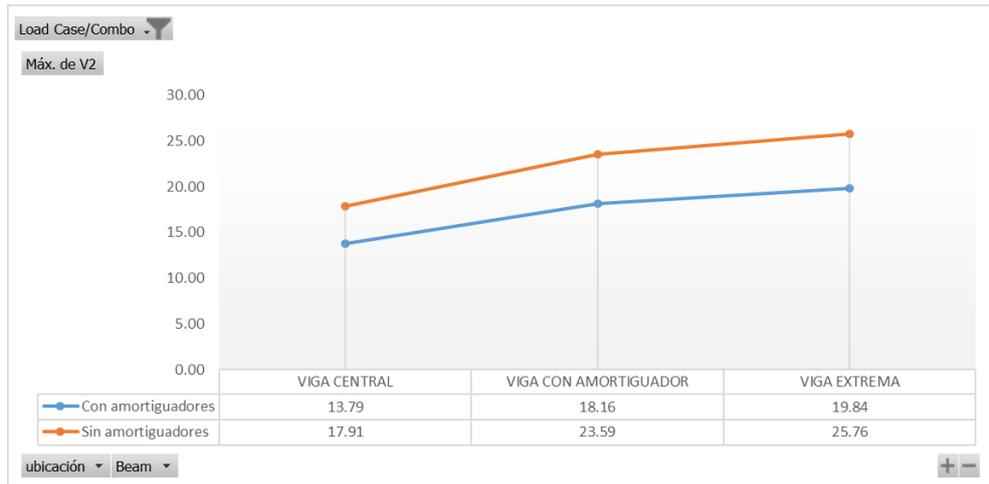


Figura 129. Momentos V2 (tonf) caso de carga DINXX

Fuente: Elaboración propia

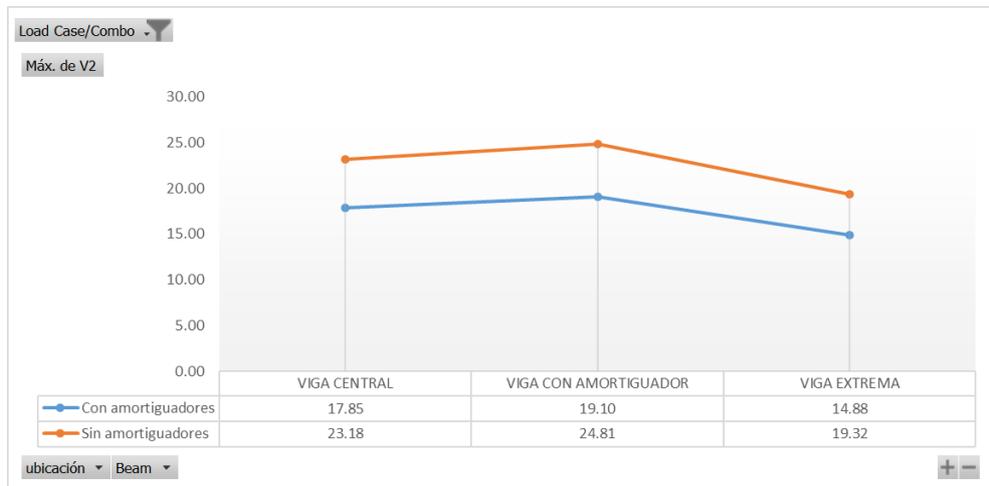


Figura 130. Momentos V2 (tonf) caso de carga DINYY

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Análisis comparativo sobre el periodo natural de vibración

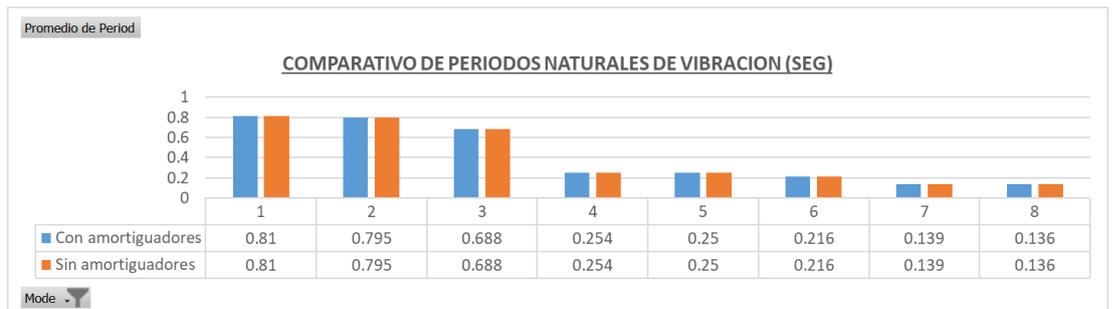


Figura 131. Comparativa de periodos naturales de vibración

Fuente: Elaboración propia

4.1.5 Análisis comparativo sobre el diseño en concreto armado

Diseño de zapata aislada

Se realiza el comparativo de la zapata del eje 3-3 intersección con el eje c-c (zapata central), el detalle del diseño se encuentra en los anexos de la investigación.

En el lado izquierdo se observa la zapata sin amortiguadores y en el lado derecho la zapata del modelo con amortiguadores.

Tabla 32

Diseño comparativo de zapata aislada

Diseño de zapata aislada (label 13)		
Datos	Sin amortiguadores	Con amortiguadores
Fz (Carga Muerta)	200.32 ton	200.32 ton
Fz (Carga Viva)	61.13 ton	61.13 ton
M (Momento)	101.00 ton*m	77.77 ton*m
As (Calculado)	55.88 cm ²	51.39 cm ²
As (Detalle)	3/4 @ 17.5 cm	3/4 @ 17.5 cm

Fuente: Elaboración propia

Diseño de zapata combinada

Se realiza el comparativo de la zapata del eje c-c entre eje 4-4 y eje 5-5, el detalle del diseño se encuentra en los anexos de la investigación.

Tabla 33

Diseño comparativo de zapata combinada

Diseño de zapata combinada (label 11 / 12)		
Datos	Sin amortiguadores	Con amortiguadores
Fz (Carga Muerta)	131.97 ton (Extrema)	131.97 ton (Extrema)
	200.44 ton (Interna)	200.44 ton (Interna)
Fz (Carga Viva)	21.81 ton (Extrema)	21.81 ton (Extrema)
	54.19 ton (Interna)	54.19 ton (Interna)
M (Momento)	28.18 ton*m (Extrema)	21.70 ton*m (Extrema)
	99.81 ton*m (Interna)	76.86 ton*m (Interna)
As (Calculado)	32.38 cm ² (Extrema)	31.03 cm ² (Extrema)
	18.37 cm ² (Interna)	17.62 cm ² (Interna)
As (Detalle)	1 @ 15.0 cm (Sup)	1 @ 15.0 cm (Sup)
	3/4 @ 15.0 cm (Inf)	3/4 @ 15.0 cm (Inf)

Fuente: Elaboración propia

Se puede observar que para la estructura con amortiguadores no es necesario incrementar la sección en planta de la cimentación ni incrementar la distribución del acero, pero se ve una reducción del área de acero. Se deja para futuras investigaciones la influencia sobre el diseño de los elementos estructurales.

4.1.6 Fuerzas en los amortiguadores de fluido viscoso

Se muestra la fuerza en los amortiguadores para la distribución en sus diferentes niveles.

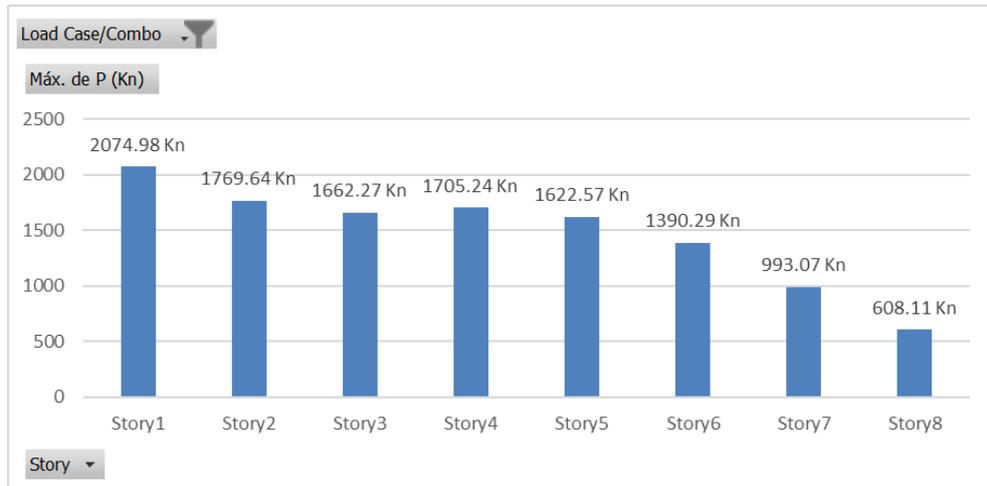


Figura 132. Resumen de fuerza en amortiguador por nivel

Fuente: Elaboración propia

4.2 Contrastación de Hipótesis

Para la contratación de hipótesis se utiliza la estadística inferencial con el objetivo de comparar y relacionar la causa para nuestros casos de análisis.

Análisis estadístico comparativo de las derivas.

Se realiza estadístico de prueba T student para muestras relacionadas.

Se conjetura que:

H0: No hay diferencia significativa en las derivas antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis Nula)

H1: Hay diferencia significativa en las derivas antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis alterna)

El porcentaje de error asumido por el investigador es 5%.

Se muestra la tabla para los valores de deriva antes y después de la implementación de amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 34*Deriva máxima de la estructura con y sin amortiguadores*

Derivas máximas de la estructura		
Story	Sin amortiguadores	Con amortiguadores
Story1	10,23	6,15
Story2	7,97	6,42
Story3	6,77	5,63
Story4	5,88	4,89
Story5	5,24	4,01
Story6	4,47	3,04
Story7	3,28	1,91
Story8	1,83	0,92

Fuente: Elaboración propia

Aplicando el estadístico de prueba con el programa SPSS se verifica en primer lugar la normalidad de los datos que es requisito para la aplicación del estadístico t student.

Pruebas de normalidad						
	Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
DERIVA_ANTES	,099	8	,200 [*]	,993	8	,999
DERIV_DESPUES	,148	8	,200 [*]	,936	8	,570

*. Esto es un límite inferior de la significación verdadera.
a. Corrección de significación de Lilliefors

Figura 133. Prueba de normalidad para análisis de derivas

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Como se tiene valores mayores a 0.05 con la prueba Shapiro – Wilk entonces la **distribución de los datos es normal.**

Seguidamente se determina la estadística descriptiva y el valor de significancia para la prueba t student para muestras relacionadas

Estadísticas de muestras emparejadas					
		Media	N	Desv. Desviación	Desv. Error promedio
Par 1	DERIVA_ANTES	5,7087	8	2,65675	,93930
	DERIV_DESPUES	4,1213	8	2,02084	,71447

Figura 134. Estadística descriptiva para análisis de derivas

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Prueba de muestras emparejadas									
		Diferencias emparejadas							
		Media	Desv. Desviación	Desv. Error promedio	95% de intervalo de confianza de la diferencia		t	gl	Sig. (bilateral)
					Inferior	Superior			
Par 1	DERIVA_ANTES - DERIV_DESPUES	1,58750	1,03027	,36425	,72618	2,44882	4,358	7	,003

Figura 135. Prueba estadística para análisis de derivas

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Puesto que la significancia o P-valor es $0.003 < 0.05$ se concluye que hay diferencia significativa entre las derivas antes y después de la inclusión de los amortiguadores de fluido viscoso.

Por los tanto podemos decir que hay evidencia estadística para afirmar que **las derivas de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido viscoso son significativamente menores respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso.**

Análisis estadístico de las fuerzas Fz (Fuerza Axial)

Se realiza estadístico de prueba Wilcoxon para muestras relacionadas.

Se conjetura que:

H0: **No hay diferencia significativa** en las fuerzas axiales antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis Nula)

H1: **Hay diferencia significativa** en las fuerzas axiales antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis alterna)

El porcentaje de error asumido por el investigador es 5%.

Se muestra la tabla para los valores de fuerzas axiales antes y después de la implementación de amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 35

Fuerzas axiales máximas en columnas con y sin amortiguadores

Fuerzas axiales en columnas (tonf)		
Etiquetas de columna	Sin amortiguadores	Con amortiguadores
1	78,63	60,55
2	54,00	41,58
3	52,81	40,66
4	66,30	51,05
5	82,22	63,31
6	7,44	5,73
7	2,70	2,08
8	2,63	2,02
9	1,83	1,41
10	10,05	7,74
11	4,48	3,45
12	2,71	2,09
13	11,78	9,07
14	11,84	9,12
15	3,63	2,80
16	1,55	1,20
17	0,21	0,16
18	0,06	0,04
19	0,05	0,04
20	1,34	1,03
21	7,92	6,10
22	4,28	3,30
23	12,06	9,29
24	12,00	9,24
25	3,86	2,97
26	74,20	57,13
27	6,19	4,77
28	2,32	1,78
29	1,87	1,44
30	10,12	7,79
32	54,28	41,80
33	52,49	40,42
34	66,12	50,92
35	82,34	63,41

Fuente: Elaboración propia

Aplicando el estadístico de prueba con el programa estadístico SPSS se verifica en primer lugar la normalidad de los datos que es requisito para la aplicación del estadístico de prueba.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra				
		Fz_Sin_Amort iguadores	Fz_Con_Amo rtiguadores	Diferencia
N		34	34	34
Parámetros normales ^{a,b}	Media	23,1268	17,8085	-5,3182
	Desv. Desviación	29,25861	22,53000	6,72861
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,353	,353	,353
	Positivo	,353	,353	,215
	Negativo	-,215	-,215	-,353
Estadístico de prueba		,353	,353	,353
Sig. asintótica(bilateral)		,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c
a. La distribución de prueba es normal. b. Se calcula a partir de datos. c. Corrección de significación de Lilliefors.				

Figura 136. Prueba de normalidad para análisis de fuerzas axiales

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Como P-valor $0.000 < 0.05$ Se concluye que los **datos tienen una distribución sin normalidad** en tal sentido se realizara el estadístico de prueba denominado Wilcoxon, usado para datos con una distribución sin normalidad con objetivo comparativo.

A continuación, se determina es estadístico de prueba Wilcoxon para muestras relacionadas.

Estadísticos				
		Fz_Sin_Amort iguadores	Fz_Con_Amo rtiguadores	Diferencia
N	Válido	34	34	34
	Perdidos	0	0	0
Media		23,1268	17,8085	-5,3182
Desv. Desviación		29,25861	22,53000	6,72861
Varianza		856,066	507,601	45,274

Figura 137. Estadística descriptiva para análisis de fuerzas axiales

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Estadísticos de prueba ^a	
	Fz_Con_Amo rtiguadores - Fz_Sin_Amort iguadores
Z	-5,086 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
b. Se basa en rangos positivos.

Figura 138. Prueba estadística para análisis de fuerzas axiales

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Puesto que la significancia o P-valor es $0.000 < 0.05$ se concluye que **si hay diferencia significativa en la reducción de las fuerzas axiales antes y después de la inclusión de los amortiguadores** de fluido viscoso al edificio aporticado.

Análisis estadístico de los momentos My

Se realiza estadístico de prueba Wilcoxon para muestras relacionadas.

Se conjetura que:

H0: No hay diferencia significativa en los momentos flectores antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis Nula)

H1: Hay diferencia significativa en los momentos flectores antes y después de la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso. (Hipótesis alterna)

El porcentaje de error asumido por el investigador es 5%.

Se muestra la tabla para los valores de momentos flectores antes y después de la implementación de amortiguadores de fluido viscoso.

Tabla 36
Momentos máximos en la base con y sin amortiguadores

Momento en columnas My (tonf-m)		
Etiquetas de columna	Sin amortiguadores	Con amortiguadores
1	104.91	80.78
2	29.08	22.40
3	27.77	21.38
4	28.63	22.04
5	95.71	73.70
6	113.72	87.57
7	32.12	24.73
8	30.48	23.47
9	100.27	77.21
10	103.69	79.84
11	113.78	87.61
12	31.92	24.58
13	31.06	23.91
14	31.01	23.88
15	103.50	79.69
16	113.80	87.63
17	31.89	24.55
18	100.13	77.10
19	30.08	23.16
20	103.53	79.72
21	114.14	87.89
22	31.91	24.57
23	31.05	23.91
24	31.01	23.88
25	103.50	79.69
26	104.99	80.85
27	32.10	24.72
28	30.48	23.47
29	100.27	77.21
30	103.69	79.84
32	29.21	22.49
33	27.77	21.38
34	28.63	22.04
35	95.71	73.70

Fuente: Elaboración propia

Aplicando el estadístico de prueba con el programa SPSS se verifica en primer lugar la normalidad de los datos que es requisito para la aplicación del estadístico.

Prueba de Kolmogorov-Smirnov para una muestra				
		My_Sin_Amor tiguadores	My_Con_Amo rtiguadores	Diferencias
N		34	34	34
Parámetros normales ^{a,b}	Media	65,3394	50,3115	-15,0279
	Desv. Desviación	37,91709	29,19717	8,71992
Máximas diferencias extremas	Absoluto	,339	,339	,339
	Positivo	,339	,339	,259
	Negativo	-,259	-,259	-,339
Estadístico de prueba		,339	,339	,339
Sig. asintótica(bilateral)		,000 ^c	,000 ^c	,000 ^c
a. La distribución de prueba es normal. b. Se calcula a partir de datos. c. Corrección de significación de Lilliefors.				

Figura 139. Prueba de normalidad para análisis de momentos flectores

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Como P-valor $0.000 < 0.05$ Se concluye que los **datos tienen una distribución sin normalidad** en tal sentido se realizara el estadístico de prueba denominado Wilcoxon, usado para datos con una distribución sin normalidad con objetivo comparativo.

A continuación, se determina es estadístico de prueba Wilcoxon para muestras relacionadas.

Estadísticos				
		My_Sin_Amor tiguadores	My_Con_Amo rtiguadores	Diferencias
N	Válido	34	34	34
	Perdidos	0	0	0
Media		65,3394	50,3115	-15,0279
Desv. Desviación		37,91709	29,19717	8,71992
Varianza		1437,705	852,474	76,037

Figura 140. Estadística descriptiva para análisis de momentos flectores

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Estadísticos de prueba ^a	
	My_Con_Amortiguadores - My_Sin_Amortiguadores
Z	-5,088 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	,000

a. Prueba de rangos con signo de Wilcoxon
b. Se basa en rangos positivos.

Figura 141. Prueba estadística para análisis de momentos flectores

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Puesto que la significancia o P-valor es $0.00 < 0.05$ se concluye **que hay diferencia significativa en la reducción de momentos flectores antes y después** de la inclusión de los amortiguadores de fluido viscoso al edificio aporticado.

Análisis de correlación de variables

Se realiza el análisis estadístico r de Pearson para establecer la fuerza y dirección de la relación del amortiguamiento sobre las derivas máximas de la estructura.

Tabla 37

Derivas vs. Amortiguamiento añadidos

Deriva Max vs Amortiguamiento	
Amortiguamiento añadido (%)	Deriva Max (%)
20	6,02
15	6,15
10	6,7
5	7,53
0	10,23

Fuente: Elaboración propia

		Amortiguamiento	Deriva_Max
Amortiguamiento	Correlación de Pearson	1	-.920**
	Sig. (bilateral)		,009
	N	6	6
Deriva_Max	Correlación de Pearson	-.920**	1
	Sig. (bilateral)	,009	
	N	6	6

** . La correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral).

Figura 142. Prueba estadística para análisis de deriva vs. amortiguamiento

Fuente: Adaptado de Software SPSS

Como P-valor $0.009 < 0.05$ **si existe correlación** entre el amortiguamiento y la reducción de derivas, Además se puede afirmar que existe un **grado de relación fuerte con dirección negativa.**

4.3 Discusión de resultados

A partir de los resultados obtenidos en el presente estudio aceptamos la hipótesis general que establece que se tendrá una mejora en el comportamiento estructural de una edificación aporticada con la inclusión de amortiguadores de fluido viscoso.

Estos resultados guardan relación con el trabajo de investigación de Chacón y Ramírez (2014) en “Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso”, Fuentes (2014) en “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso” y Guevara y Torres (2012) en “Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal” donde estos autores establecen que habrá una reducción en los desplazamientos laterales, esfuerzos en elementos

estructurales y mejora en las propiedades dinámicas en tal sentido está acorde con los resultados obtenidos en esta investigación.

En lo que respecta al análisis sísmico de un edificio aporticado de 8 pisos sin amortiguadores de fluido viscoso Borda y Pastor (2007) obtiene resultados similares a los obtenidos en el presente trabajo de investigación donde muestra que un edificio aporticado supera generalmente los requerimientos de la norma de diseño sismorresistente y conlleva a tener estructuras muy robustas para cumplir los requerimientos de la norma.

En lo que respecta en la comparación de resultados del análisis sísmico de la edificación aporticada de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso se tiene resultados que guardan relación en cuestión de disminuciones de fuerzas internas y reducción de derivas con los estudios de Chacón y Ramírez (2014) en “Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso”, Fuentes (2014) en “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso” y Guevara y Torres (2012) en “Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal”

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

Primera. Se determina el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 8 pisos con y sin amortiguadores de fluido viscoso donde el análisis y comparación de resultados obtenidos nos permite indicar que el comportamiento estructural del edificio con amortiguadores de fluido viscoso es mejor respecto al edificio sin amortiguadores de fluido viscoso.

Segunda. Las fuerzas axiales y momentos flectores en las columnas y vigas tienen una reducción máxima del 30% para los casos de carga por sismo y no existe variación para los casos de carga de servicio. En cuanto a la cortante en la base se tiene una reducción del 30% respecto a la estructura sin amortiguadores.

Tercera. Las derivas de la estructura con amortiguadores tienen una reducción máxima respecto a la estructura sin amortiguadores de 49.85% (Sentido X-X) y 43.56% (Sentido Y-Y).

Cuarta. Los amortiguadores de fluido viscoso según sus características de diseño y disposición en la estructura disipan en un rango de 67-70% la energía sísmica ingresada.

5.2 Recomendaciones

Primera. Se recomienda usar la metodología de análisis estructural de esta investigación ya que presenta de forma resumida criterios basados en normas nacionales e internacionales.

Segundo. Se recomienda ampliar las investigaciones de amortiguadores de fluido viscoso considerando otras distribuciones por piso.

Tercero. Se recomienda ampliar las investigaciones de amortiguadores de fluido viscoso considerando otros sistemas estructurales y otros usos como son viviendas unifamiliares y multifamiliares.

Cuarta. Se recomienda ampliar las investigaciones de amortiguadores de fluido viscoso considerando edificaciones de más y menos número de pisos.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). (2005). *Building code Requirements for Structural Concrete and Commentary*. Farmington Hills, Michigan.
- ASCE 7-10. (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston, Virginia USA.
- CHACON, R., y RAMIREZ, J. (2014). *Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso*. (Tesis de Pre grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- CAMPOS, W. (2010), *Apuntes de metodología de la investigación científica*. Magister S.A.C Consultores Asociados. Lima, Peru.
- CHOPRA, A. (2014). *Dinámica de estructuras*. México: Pearson Educación.
- E 030. (2016). *Diseño Sismorresistente*. Lima, Perú.
- E 060. (2009). *Concreto Armado*. Lima, Perú.
- FUENTES, J. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- GUEVARA, D., y TORRES, P. (2012). *Diseño de un edificio aporricado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal*. (Tesis de Pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- GUZMAN, G. (2016). *Diseño de estructuras de concreto armado*. Curso de Nivelación y Actualización (Online). Seproinca, Lima.

HERNANDEZ, R. (1991) *Metodología de la investigación*. 1era edición McGraw-Hill. México.

LOPEZ, O. (2014). *Diplomado Dinamica de Estructuras e Ingenieria Sismica*. Diplomado (Online). Venezuela.

MORALES, L., Y CONTRERAS, J. (2012). *Proteccion de una edificacion existente con Disipadores de Energia*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Catolica del Peru, Lima, Perú.

MARROQUIN, R. (2012). *Matriz operacional de la variable y matriz de consistencia*. Programa de Titulación. Universidad nacional de Educación Guzmán y Valle. Lima, Perú.

OVIEDO, R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras*. (Tesis de Maestría). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

PINAUD, W. (2014). *Estudio experimental de las características dinámicas de un dispositivo disipador viscoso a escala reducida*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.

TOLEDO, V. (2015). *Calculo y Diseño de edificios con Sistemas de Amortiguamiento Sismico*. Diplomado. Comunidad para la Ingeniería Civil, Lima, Perú