



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y ARQUITECTURA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE
ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO EN EL COMPORTAMIENTO
ESTRUCTURAL DE UN EDIFICIO APORTICADO DE 10
NIVELES EN LA CIUDAD DE PUNO EN EL AÑO 2022**

TESIS

PRESENTADA POR:

LUNY YULY ESCOBAR JESUS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE:

INGENIERO CIVIL

PUNO – PERÚ

2024



Reporte de similitud

NOMBRE DEL TRABAJO

INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOOSO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

AUTOR

LUNY YULY ESCOBAR JESUS

RECuento DE PALABRAS

58860 Words

RECuento DE CARACTERES

293763 Characters

RECuento DE PÁGINAS

310 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

4.4MB

FECHA DE ENTREGA

Jul 12, 2024 12:20 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Jul 12, 2024 12:25 AM GMT-5

● **14% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base de datos.

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 8% Base de datos de trabajos entregados
- 2% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Material citado
- Material citado
- Coincidencia baja (menos de 10 palabras)



Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
DIRECTOR DE TESIS



Ing. Jaime Medina Leiva
DOCENTE UNIVERSITARIO
COD. UNA N° 910545
SUBDIRECTOR DE INVESTIGACION EDC
12 Julio 2024

Resumen



DEDICATORIA

A mis padres Andres y Fresia por su apoyo incondicional, comprensión y confianza en mí a lo largo de toda mi vida me han dado la fortaleza para enfrentar los desafíos y perseguir mis sueños.

Luny Yuly Escobar Jesus



AGRADECIMIENTO

Agradezco en primer lugar a Dios por brindarme su sabiduría y permitirme adentrarme en el fascinante mundo de la ingeniería, cuya grandeza se refleja en su creación.

En segundo lugar, expreso mi profundo agradecimiento a mis padres, cuyo esfuerzo y amor incondicional me han sostenido desde el primer día de mi existencia hasta este momento de crecimiento. Soy el producto y la manifestación de su amor y de los valores que me han inculcado.

En tercer lugar, quiero reconocer a la Universidad Nacional de Altiplano, cuya formación ha dejado una huella indeleble en mi ser y que llevaré con orgullo y dignidad en cada paso que dé.

Asimismo, deseo expresar mi gratitud hacia el maestro que me inició en este camino, Edy Fredt Cueva, y a todas las personas que desempeñaron un papel crucial en mi camino y por ayudarme a alcanzar este hito en mi formación académica, les doy las gracias por ser personas importantes en mi vida académica. Cada uno de ustedes, en momentos diferentes y de diversas maneras, me brindó apoyo y orientación que fue esencial para mi desarrollo y crecimiento profesional.

También expreso mi agradecimiento a todos mis amigos(as) y compañeros(as), tanto presentes como pasados, que generosamente compartieron su conocimiento sin esperar nada a cambio.

Por último, quiero reconocer a mi asesor de tesis, cuya guía y apoyo fueron fundamentales en el proceso de esta investigación, así como a todos aquellos que contribuyeron de alguna manera en su desarrollo.

Luny Yuly Escobar Jesus



ÍNDICE GENERAL

	Pág.
DEDICATORIA	
AGRADECIMIENTOS	
ÍNDICE GENERAL	
ÍNDICE DE TABLAS	
ÍNDICE DE FIGURAS	
ACRÓNIMOS	
RESUMEN	20
ABSTRACT.....	21
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	22
1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	26
1.2.1. Pregunta general de la investigación.....	26
1.2.2. Preguntas específicas de la investigación	26
1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN	26
1.3.1. Justificación teórica.....	26
1.3.2. Justificación práctica	27
1.3.3. Justificación metodológica.....	27
1.3.4. Justificación técnica	28
1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN.....	29
1.4.1. Objetivo general	29
1.4.2. Objetivos específicos	29
1.5. HIPÓTESIS	30



1.5.1.	Hipótesis general.....	30
1.5.2.	Hipótesis específicas	30
1.6.	VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN	31
1.6.1.	Variable independiente V1: Disipadores de energía de fluido viscoso... 31	
1.6.1.1.	Definición conceptual	31
1.6.1.2.	Definición operacional.....	31
1.6.1.3.	Dimensiones de la variable independiente.....	31
1.6.2.	Variable dependiente V2: Comportamiento Estructural	32
1.6.2.1.	Definición conceptual	32
1.6.2.2.	Definición operacional.....	32
1.6.2.3.	Dimensiones de la variable	33
1.7.	OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES	34

CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1.	ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN.....	36
2.1.1.	Antecedentes internacionales	36
2.1.2.	Antecedentes nacionales	38
2.1.3.	Antecedentes locales	41
2.2.	BASES TEÓRICAS	44
2.2.1.	De la variable independiente V1: Disipadores de energía de fluido viscoso	44
2.2.1.1.	Sistema convencional o sin disipadores.....	44
2.2.1.2.	Sistema con disipadores de energía de fluido viscoso	49
2.2.2.	De la variable dependiente V2: Comportamiento estructural	65



2.2.2.1. Métodos de análisis sísmico para evaluar el comportamiento estructural.....	66
2.2.2.2. Comportamiento de los disipadores de energía de fluido viscoso	74
2.2.2.3. Modelo matemático	77
2.2.2.4. Balance energético	78
2.2.2.5. Ecuación general del disipador	81
2.2.2.6. Cálculos de los disipadores de fluido viscoso.....	81
2.2.2.7. Diseño por desempeño de los disipadores de energía de fluido viscosos	90
2.3. MARCO CONCEPTUAL	97

CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN	100
3.1.1. Enfoque de la investigación	100
3.1.2. Tipo de investigación	100
3.1.3. Nivel de investigación.....	101
3.1.4. Diseño de investigación	102
3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO	102
3.2.1. Población.....	102
3.2.2. Muestra	103
3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN	103
3.3.1. Técnicas.....	103
3.3.2. Instrumentos.....	104
3.3.2.1. Instrumento 1: Ficha de registro de datos	104



3.3.2.2. Instrumento 2: Ficha de recolección de resultados	107
3.3.2.3. Instrumento 3: Ficha de comparación de resultados	110
3.4. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD.....	112
3.4.1. Validez	112
3.4.2. Confiabilidad.....	113
3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN.....	114
3.5.1. Procedimiento general de la investigación.....	115
3.5.2. Procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV	118
3.5.3. Procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV.....	121

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS	127
4.1.1. Descripción de la zona de estudio.....	127
4.1.2. Diseño arquitectónico.....	128
4.1.3. Perfiles de suelos.....	129
4.1.4. Materiales.....	130
4.1.5. Registros sísmicos.....	131
4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS.....	132
4.2.1. Análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV	132
4.2.1.1. Estructuración	132
4.2.1.2. Pre dimensionamiento de elementos estructurales	134
4.2.1.3. Metrado de cargas	142



4.2.1.4.	Modelamiento estructural de la edificación sin DFV	145
4.2.1.5.	Análisis estático	145
4.2.1.6.	Análisis dinámico.....	154
4.2.1.7.	Verificaciones estructurales de la edificación sin DFV	158
4.2.2.	Análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV	178
4.2.2.1.	Análisis dinámico modal espectral con $R=1$	179
4.2.2.2.	Tratamiento de acelerogramas	182
4.2.2.3.	Análisis dinámico tiempo historia lineal (ATHL)	192
4.2.2.4.	Desempeño de los disipadores de fluido viscoso.....	208
4.2.2.5.	Propiedades del disipador	213
4.2.2.6.	Análisis tiempo historia no lineal rápido (FNA).....	230
4.2.2.7.	Verificaciones estructurales de la edificación con DFV	232
4.2.2.8.	Características de los disipadores elegidos	254
4.2.2.10.	Diseño de brazos metálicos.....	258
4.2.3.	Resumen de resultados por modelo analizado	263
4.2.3.1.	Resumen de resultados del modelo sin DFV	263
4.2.3.2.	Resumen de resultados del modelo con DFV	267
4.3.	RESULTADOS POR OBJETIVOS	270
4.3.1.	Resultados al objetivo específico 1-Aplicación normativa.....	270
4.3.2.	Resultados al objetivo específico 2-Derivas de entrepiso.....	273
4.3.3.	Resultados al objetivo específico 3- Fuerzas cortantes.....	277
4.3.4.	Resultados al objetivo específico 4-Periodos de vibración.....	280
4.4.	SÍNTESIS DE RESULTADOS	281
4.4.1.	Síntesis de metodología de aplicación normativa	282



4.4.2.	Síntesis de derivas de entrepiso.....	283
4.4.3.	Síntesis de fuerzas cortantes.....	284
4.4.4.	Síntesis de periodos de vibración.....	285
4.4.5.	Síntesis de ventajas y desventajas.....	286
4.5.	COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS.....	287
4.5.1.	Comprobación de hipótesis específica 1.....	287
4.5.2.	Comprobación de hipótesis específica 2.....	288
4.5.3.	Comprobación de hipótesis específica 3.....	289
4.5.4.	Comprobación de hipótesis específica 4.....	290
4.5.5.	Comprobación de hipótesis general.....	290
4.6.	DISCUSIÓN DE RESULTADOS.....	291
4.6.1.	Discusión del objetivo específico 1-Aplicación normativa.....	291
4.6.2.	Discusión del objetivo específico 2-Derivas de entrepiso.....	292
4.6.3.	Discusión de objetivo específico 3-Fuerzas cortantes.....	293
4.6.4.	Discusión de objetivo específico 4-Periodos de vibración.....	294
V.	CONCLUSIONES.....	297
VI.	RECOMENDACIONES.....	300
VII.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	301
ANEXOS.....		308

Área: Estructuras

Tema: Comportamiento estructural

Línea de investigación: Análisis y diseño estructural

FECHA DE SUSTENTACIÓN: 31 de julio del 2024



ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1 Operacionalización de variables	34
Tabla 2 Límites para distorsión del entrepiso	68
Tabla 3 Valores del parámetro lambda en función al exponente alpha	88
Tabla 4 Coeficiente de modificación por amortiguamiento	90
Tabla 5 Niveles de movimiento sísmico.....	91
Tabla 6 Niveles de desempeño sísmico	93
Tabla 7 Clasificación de sistemas estructurales según la metodología HAZUS	96
Tabla 8 Derivas de entrepiso para un MCE de acuerdo al HAZUS	97
Tabla 9 Rangos de Validez	112
Tabla 10 Validez de contenido de instrumento de las variables: V1 disipadores de energía y V2 comportamiento juicio de expertos	113
Tabla 11 Registros sísmicos históricos del Perú para el análisis tiempo historia.....	131
Tabla 12 Luces de la viga principal crítica	135
Tabla 13 Resumen de pre dimensionamiento de vigas principales	135
Tabla 14 Luces de vigas secundarias	136
Tabla 15 Pre dimensionamiento de vigas secundarias.....	137
Tabla 16 Criterios para pre - dimensionamiento de espesor de losas aligeradas.....	138
Tabla 17 Área tributaria de las columnas para el pre dimensionamiento	141
Tabla 18 Dimensiones de las columnas resultantes del pre dimensionamiento	141
Tabla 19 Metrado de carga distribuida lineal de muros en los ejes principales	144
Tabla 20 Metrado de carga distribuida lineal de muros en los ejes principales	144
Tabla 21 Parámetros sísmicos.....	146
Tabla 22 Periodos y perfiles de suelo	147
Tabla 23 Cortantes estáticas en la base del edificio.....	153
Tabla 24 Valores del espectro de pseudo-aceleraciones para las direcciones X y Y ..	155
Tabla 25 Cortantes dinámicas en la base de la edificación.....	157
Tabla 26 Verificación de la irregularidad de rigidez-piso blando en la dirección X...	159
Tabla 27 Verificación de la irregularidad de rigidez-piso blando en la dirección Y...	160
Tabla 28 Verificación de irregularidad de resistencia-piso débil en la dirección X....	161
Tabla 29 Verificación de irregularidad de resistencia-piso débil en la dirección Y ...	161



Tabla 30 Verificación de irregularidad de masa o peso.....	162
Tabla 31 Verificación de irregularidad torsional en la dirección X	163
Tabla 32 Verificación de irregularidad torsional en la dirección Y	164
Tabla 33 Verificación de irregularidad torsional extrema en la dirección X.....	165
Tabla 34 Verificación de irregularidad torsional extrema en la dirección Y.....	165
Tabla 35 Resumen de la revisión de irregularidades estructurales en altura	166
Tabla 36 Resumen de la revisión de irregularidades estructurales en planta	167
Tabla 37 Modos periodos y masa participativa del edificio	168
Tabla 38 Verificación de sistema estructural predominante en cada dirección.....	169
Tabla 39 Control de derivas del análisis dinámico lineal modal espectral en la dirección X.....	171
Tabla 40 Control de derivas del análisis dinámico modal espectral en la dirección Y	172
Tabla 41 Secciones finales de losas y vigas	176
Tabla 42 Secciones finales de las columnas y escalera	177
Tabla 43 Parámetros sísmicos para el análisis dinámico modal espectral con R=1	179
Tabla 44 Valores del espectro de pseudo aceleraciones con R=1	180
Tabla 45 Control de derivas del análisis dinámico modal espectral con R=1 en la dirección X.....	181
Tabla 46 Control de derivas del análisis dinámico modal espectral con R=1 en la dirección Y.....	182
Tabla 47 Valores del espectro objetivo de pseudo-aceleraciones con R=1 para SeismoMatch.....	187
Tabla 48 Derivas en X con el caso 1-Lima 1966- componente E-W	195
Tabla 49 Derivas en X con el caso 2-Lima 1966- componente N-S	195
Tabla 50 Derivas en X con el caso 1-Lima 1974- componente E-W	196
Tabla 51 Derivas en X con el caso 2-Lima 1974- componente N-S	196
Tabla 52 Derivas en X con el caso 1-Arequipa 2005- componente E-W.....	197
Tabla 53 Derivas en X con el caso 2-Arequipa 2005- componente N-S.....	197
Tabla 54 Derivas en X con el caso 2-Collao 2010- componente E-W	198
Tabla 55 Derivas en X con el caso 2-Collao 2010- componente N-S	198
Tabla 56 Derivas en Y con el caso 1-Lima 1966- componente N-S	199
Tabla 57 Derivas en Y con el caso 2-Lima 1966- componente E-W	199
Tabla 58 Derivas en Y con el caso 1-Lima 1974- componente N-S	200
Tabla 59 Derivas en Y con el caso 2-Lima 1974- componente E-W	200



Tabla 60	Derivas en Y con el caso 1-Arequipa 2005- componente N-S.....	201
Tabla 61	Derivas en Y con el caso 2-Arequipa 2005- componente E-W.....	201
Tabla 62	Derivas en Y con el caso 1-Collao-Puno 2010-componente E-W	202
Tabla 63	Derivas en Y con el caso 2-Collao-Puno 2010-componente N-S.....	202
Tabla 64	Resumen de las derivas del análisis modal tiempo historia lineal en X	203
Tabla 65	Resumen de las derivas del análisis modal tiempo historia lineal en X	203
Tabla 66	Relación entre las derivas del análisis tiempo historia lineal y el análisis dinámico modal espectral con $R=1$, en la dirección X	205
Tabla 67	Sismo de diseño elegido Caso 1-Arequipa 2005-componente E-W, en la dirección X.....	206
Tabla 68	Relación entre las derivas del análisis tiempo historia lineal y el análisis dinámico modal espectral con $R=1$, en la dirección Y	207
Tabla 69	Sismo de diseño elegido Caso 2- Lima 74 -componente N-S, en la dirección Y	208
Tabla 70	Elección del nivel de amenaza sísmica según el Comité VISION 2000	209
Tabla 71	Nivel de desempeño esperado de la estructura en función al sismo de análisis	210
Tabla 72	Elección del nivel de desempeño sísmico	211
Tabla 73	Clasificación de la edificación según tipo de estructura de la metodología HAZUS	212
Tabla 74	Deriva para definir el estado de daño de la estructura de la estructura	212
Tabla 75	Parámetro lambda en función al exponente de velocidad	214
Tabla 76	Derivas en X Caso 01 - AQP 2005 y la deriva objetivo.....	215
Tabla 77	Derivas en Y Caso 02 – Lima 1974 y la deriva objetivo.....	215
Tabla 78	Dimensiones del brazo metálico Round HSS 20.00 x 0.500.....	217
Tabla 79	Desplazamientos del modo 1 para el pórtico en X	219
Tabla 80	Desplazamientos del modo 1 para el pórtico en Y	220
Tabla 81	Desplazamientos relativos en ambos extremos del pórtico que alberga el disipador en X.....	221
Tabla 82	Desplazamientos relativos en ambos extremos del pórtico que alberga el disipador en Y	222
Tabla 83	Desplazamiento del modo fundamental en X.....	223
Tabla 84	Cálculos para el factor de participación modal en X.....	224
Tabla 85	Desplazamiento del modo fundamental en Y.....	225



Tabla 86	Cálculos para el factor de participación modal en Y	225
Tabla 87	Cálculos generales para el amortiguamiento no lineal del disipador en X... ..	228
Tabla 88	Cálculos generales para el amortiguamiento no lineal del disipador en Y... ..	229
Tabla 89	Resumen de propiedades de los DFVs en arreglo diagonal	230
Tabla 90	Control de derivas de análisis dinámico - tiempo historia no lineal con DFV en X.....	231
Tabla 91	Control de derivas de análisis dinámico - tiempo historia no lineal con DFV en Y.....	231
Tabla 92	Fuerza de los DFV en el eje A-A de la dirección X-X.....	246
Tabla 93	Fuerza de los DFV en el eje F-F de la dirección X-X	247
Tabla 94	Fuerza de los DFV en el eje G-G de la dirección X-X.....	248
Tabla 95	Fuerza de los DFV en el eje 1-1 de la dirección Y-Y.....	249
Tabla 96	Fuerza de los DFV en el eje 3-3 de la dirección Y-Y.....	249
Tabla 97	Fuerza de los DFV en el eje 6-6 de la dirección Y-Y.....	250
Tabla 98	Fuerza de los DFV en el eje 6-6 de la dirección Y-Y.....	250
Tabla 99	Cantidad de disipadores por fuerza axial.....	251
Tabla 100	Verificación de porcentaje de masa participativa y periodos de vibración a partir del análisis FNA	253
Tabla 101	Fuerza de los disipadores con sismo máximo esperado en dirección X-X. ..	259
Tabla 102	Fuerza de los disipadores con sismo máximo esperado en dirección Y-Y. ..	260
Tabla 103	Cuadro de resumen de resultados del modelo sin DFV	264
Tabla 104	Cuadro de resumen de resultados del modelo con DFV.....	267
Tabla 105	Cuadro comparativo sobre metodologías de aplicación normativa	271
Tabla 106	Variación porcentual de las derivas de entrepiso en la dirección X e Y	276
Tabla 107	Variación de fuerzas cortantes para la estructura con y sin disipadores.....	279
Tabla 108	Periodos y variación porcentual de la estructura con y sin disipadores	280
Tabla 109	Cuadro de síntesis de resultados de metodologías de aplicación normativa para el modelo sin DFV y el modelo con DFV	282
Tabla 110	Cuadro de síntesis de resultados de derivas de entrepiso del modelo sin y con disipadores	283
Tabla 111	Cuadro de síntesis de resultados de fuerzas cortantes del modelo sin y con disipadores	284
Tabla 112	Cuadro de síntesis de periodos de vibración.....	285
Tabla 113	Cuadro de síntesis de ventajas y desventajas.....	286



ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1 Cinturón de fuego del Pacífico	24
Figura 2 Energía recibida por un edificio convencional y una edificación con DFV ...	51
Figura 3 Tipos de disipadores de energía	53
Figura 4 Disipador metálico del tipo TADAS	54
Figura 5 Disipador de energía friccional tipo Pall	55
Figura 6 Disipador de sólido viscoelástico	56
Figura 7 Disipadores de energía de fluido viscoso para reforzamiento o edificación nueva	57
Figura 8 Disipadores de energía de fluido viscoso	58
Figura 9 Componentes de un disipador de energía de fluido viscoso	61
Figura 10 Eficiencia disipador fluido viscoso en disposición diagonal.....	63
Figura 11 Disipadores de fluido viscoso en disposición diagonal.....	63
Figura 12 Eficiencia disipador fluido viscoso en disposición Chevron Brace	64
Figura 13 Disipadores de fluido viscoso en disposición Chevron Brace	64
Figura 14 Eficiencia disipador Fluido Viscoso disposición Scissor Jack.....	65
Figura 15 Corrección por línea base y filtrado del acelerograma.....	70
Figura 16 Escalamiento del acelerograma al espectro objetivo o de diseño	71
Figura 17 Comportamiento del disipador de fluido viscoso.....	75
Figura 18 Curva histerética.....	76
Figura 19 Comparación de edificio sin disipadores y con disipadores de energía	77
Figura 20 Acción forzosamente viscosa amortiguada en una masa	78
Figura 21 Balance de energía para un edificio sin disipadores.....	79
Figura 22 Balance de energía de un edificio con disipadores.....	80
Figura 23 Relación Velocidad vs Fuerza de amortiguamiento del disipador	87
Figura 24 Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía ..	89
Figura 25 Matriz de nivel de comportamiento sísmico esperado	95
Figura 26 Ficha para el registro de datos del modelo sin DFV-convencional.....	105
Figura 27 Ficha para el registro de datos del modelo con DFV	106
Figura 28 Ficha de recolección de resultados del modelo sin DFV-convencional.....	108
Figura 29 Ficha de recolección de resultados del modelo con DFV	109



Figura 30	Ficha para la comparación de resultados entre modelos	111
Figura 31	Diagrama de flujo del procedimiento general de la investigación	115
Figura 32	Diagrama de flujo del procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV	118
Figura 33	Diagrama de flujo del procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV	122
Figura 34	Ubicación satelital para el proyecto del edificio multifamiliar de 10 niveles	127
Figura 35	Plano de planta típica de la edificación	129
Figura 36	Estructuración y dirección de la losa aligerada	133
Figura 37	Paño de área máxima de la edificación para pre - dimensionamiento de la losa aligerada	138
Figura 38	Área de influencia en cada tipo de columnas	140
Figura 39	Gráfico de espectro para determinar el coeficiente de amplificación sísmica	148
Figura 40	Modelo del edificio aporticado de 10 niveles	150
Figura 41	Espectro de diseño inelástico según la norma E.030.....	156
Figura 42	Espectro de desplazamientos según la norma E.030	157
Figura 43	Derivas de entrepiso del modelo sin DFV-convencional obtenidos por análisis dinámico lineal modal espectral.....	173
Figura 44	Verificación de demanda-capacidad de elementos estructurales en Etabs..	175
Figura 45	Espectro de diseño con R=1	181
Figura 46	Extracción de datos de la aceleración a partir de los registros sísmicos	183
Figura 47	Cargado de acelerogramas al SeismoSignal V.2022.....	184
Figura 48	Acelerograma sin correcciones	184
Figura 49	Acelerograma corregido	185
Figura 50	Guardado del acelerograma corregido	185
Figura 51	Espectro de diseño con R=1 para SeismoMatch	188
Figura 52	Ingreso del acelerograma que ya fue corregido por línea base y filtrado.....	189
Figura 53	Cargado del espectro objetivo con R=1 AL SeismoMatch	190
Figura 54	Ejecución del escalamiento del acelerograma.....	190
Figura 55	Espectro sin escalar y registro escalado al espectro objetivo	191
Figura 56	Guardado del acelerograma escalado	192
Figura 57	Ingreso de acelerogramas escalados al software Etabs	193



Figura 58	Casos de análisis con registros sísmicos	194
Figura 59	Ubicación de los DFV en los ejes X y Y.....	218
Figura 60	Ángulo del dissipador en disposición diagonal para el eje X	227
Figura 61	Ángulo del dissipador en disposición diagonal para el eje Y	227
Figura 62	Comportamiento histerético de los dissipadores K1 y K2 del 1er nivel.....	232
Figura 63	Balance energético estructural en la dirección X	234
Figura 64	Balance energético estructural en la dirección Y	235
Figura 65	Modelo 3D de la disposición final de los dissipadores.....	236
Figura 66	Disposición final de los dissipadores en planta	237
Figura 67	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje A-A	238
Figura 68	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje F-F.....	239
Figura 69	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje G-G	240
Figura 70	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje 1-1	241
Figura 71	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje 3-3	242
Figura 72	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje 6-6	243
Figura 73	Distribución final de los dissipadores en elevación en el eje 8-8	244
Figura 74	Dimensiones del DFV y de la placa base correspondiente	245
Figura 75	Características del dispositivo de acuerdo al catálogo TAYLOR.....	252
Figura 76	Valor del Máximo Stroke del dissipador K90	254
Figura 77	Dimensiones del DFV de 750KN.....	255
Figura 78	Dimensiones de la placa base del DFV de 750KN	255
Figura 79	Dimensiones del DFV de 1000KN.....	256
Figura 80	Dimensiones de la placa base del DFV de 1000KN	256
Figura 81	Dimensiones del DFV de 1500KN.....	257
Figura 82	Dimensiones de la placa base del DFV de 1500KN	257
Figura 83	Brazo metálico diagonal a diseñar del dissipador K13 del piso 7	261
Figura 84	Gráfica de derivas de entrepiso del modelo sin DFV.....	265
Figura 85	Gráfica de fuerzas cortantes del modelo sin DFV.....	266
Figura 86	Gráfica de derivas de entrepiso del modelo con DFV.....	268
Figura 87	Gráfica de fuerzas cortantes del modelo con DFV.....	269
Figura 88	Derivas de entrepiso en X del sistema con y sin dissipadores.....	274
Figura 89	Derivas de entrepiso en Y del sistema con y sin dissipadores.....	275
Figura 90	Diagrama de fuerzas cortantes basales en la dirección X de la estructura con y sin dissipadores.....	277



Figura 91 Diagrama de fuerzas cortantes basales en la dirección Y de la estructura con y
sin disipadores..... 278



ACRÓNIMOS

DFV:	Disipador de Energía de Fluido Viscoso
RNE:	Reglamento Nacional de Edificaciones
ASCE:	American Society of Civil Engineers (Sociedad Americana de ingenieros Civiles)
SEAOC:	Structural Engineers Association of California
FEMA:	Federal Emergency Management Agency
MCE:	Sismo Máximo Considerado
FNA:	Fast Nonlinear Analysis (Análisis no lineal rápido)
ATHL:	Análisis Tiempo Historia Lineal



RESUMEN

La presente tesis se basa en el problema de descubrir cual es el impacto del uso de disipadores de energía de fluido viscoso en el diseño y/o reforzamiento de edificaciones convencionales, el objetivo principal es evaluar la incidencia del uso de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado multifamiliar de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022, en el que se analiza el comportamiento estructural en función a derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y periodos de vibración de la estructura. La metodología empleada es de enfoque cuantitativo. Primero, se realizó un análisis estático-dinámico hasta optimizar el edificio. Luego, se evaluó el edificio optimizado sin disipadores de fluido viscoso mediante un análisis tiempo-historia lineal, estableciendo una línea base. Posteriormente, se adicionaron los disipadores al mismo modelo optimizado y se analizó utilizando el método tiempo-historia no lineal rápido (FNA) para comparar los resultados. Como resultados se tuvo que las normas y códigos influyen en el comportamiento estructural de las edificaciones, las disminuciones de deriva de entrepiso promedio en el eje X es de 48.43% y en el eje Y es de 48.28%, las fuerzas cortantes basales disminuyeron en el eje X en un 39.32% y en el eje Y el 41.39% y en los periodos de vibración no se ha observado ninguna variación se mantuvo en el valor de $T_x = 0.979s$ y $T_y = 1.005s$. Como conclusión, la implementación de disipadores de fluido viscoso tuvo una incidencia significativa en la mejora del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos severos. Esta mejora se evidenció en la reducción de derivas de entrepiso y fuerzas cortantes en la base del edificio.

Palabras clave: Análisis sísmico, Comportamiento estructural, Disipadores de energía, Fluido viscoso, Respuesta sísmica.



ABSTRACT

The present thesis addresses the problem of discovering the impact of using viscous fluid dampers in the design and/or reinforcement of conventional buildings. The main objective is to evaluate the impact of using viscous fluid dampers on the structural behavior of a 10-story multifamily frame building in the city of Puno in 2022. The structural behavior is analyzed in terms of interstory drifts, shear forces, and vibration periods of the structure. The methodology employed is quantitative in nature. First, a static-dynamic analysis is performed to optimize the building. Then, the optimized building without viscous fluid dampers is evaluated using a linear time-history analysis to establish a baseline. Subsequently, the dampers are added to the same optimized model and analyzed using the fast nonlinear analysis (FNA) method to compare the results. The results show that standards and codes influence the structural behavior of buildings. The average reduction in interstory drift in the X-axis is 48.43% and in the Y-axis is 48.28%. The base shear forces have decreased by 39.32% in the X-axis and by 41.39% in the Y-axis, and no variation was observed in the vibration periods, which remained at $T_x = 0.979s$ and $T_y = 1.005s$. In conclusion, the implementation of viscous fluid dampers significantly improves the structural behavior against severe seismic events. This improvement is evidenced by the reduction in interstory drifts and base shear forces of the building.

Key words: Seismic analysis, Structural behavior, Energy dissipators, Viscous fluid, Seismic response.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Esta investigación aborda el problema de una falta de una metodología consensuada en la aplicación de disipadores de fluido viscoso, así como de la falta de certidumbre en cuanto a la incidencia de la aplicación de disipadores de fluido viscoso en el comportamiento estructural caracterizado por las derivas, fuerzas y períodos de una edificación de 10 niveles. Según estudios previos, la implementación de disipadores de fluido viscoso ha mostrado mejoras significativas en la respuesta sísmica de las estructuras, aunque la metodología y los efectos específicos aún requieren mayor consenso y análisis detallado (Kim & Chung, 2006). El objetivo de este estudio es analizar el impacto de la implementación de disipadores de fluido viscoso en la mejora del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022. La variable independiente es la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en un modelo convencional sin disipadores, mientras que la variable dependiente incluye las dimensiones de los desplazamientos laterales, las fuerzas horizontales y los períodos de vibración que afectan el comportamiento estructural. Investigaciones recientes han demostrado que la inclusión de disipadores de fluido viscoso puede reducir significativamente las derivas y fuerzas internas en estructuras sujetas a movimientos sísmicos (Yang et al, 2022).

A nivel mundial, el uso de sistemas de protección sísmica se ha convertido en un área de innovación tecnológica para ayudar a disipar la energía que los sismos imprimen sobre las edificaciones. Por lo que la aplicación de disipadores se ha convertido en una tecnología de aplicación práctica e implementable incluso en edificaciones ya



construidas. Esta tendencia creciente plantea la necesidad de establecer formas determinadas para su aplicación y evaluación de su implementación. Además, se busca explicar cómo la disipación de energía se presenta como una alternativa económica y viable. Por otro lado, en todo el mundo se proponen metodologías de cálculo y procedimientos teórico-prácticos para mejorar la seguridad sísmica de los edificios, según los países y las zonas sísmicas en que se encuentran para garantizar la provisión de viviendas a la población optimizando espacios y reduciendo costos de refuerzo estructural, dado el constante crecimiento demográfico en las ciudades (Miyamoto & Singh, 2002).

Dado que Perú está ubicado en el Cinturón de Fuego del Pacífico, se enfrenta a una alta actividad sísmica y vulcanismo. Esta actividad sísmica constante se debe a la acumulación gradual de energía que finalmente se liberará en forma de ondas expansivas en todas las direcciones (ver Figura 1). Esta zona es crítica en términos de riesgo sísmico a nivel mundial, con el 90% de la actividad sísmica del planeta concentrada en el Cinturón de Fuego. Además, esta región alberga aproximadamente el 75% de los volcanes activos del mundo (Ayala, 2022). Según Chavez (2017) en una entrevista que brinda al canal de Youtube Libros Peruanos (2017), el silencio sísmico indica que la ocurrencia de sismos en Perú es inminente. Por lo tanto, se plantea la necesidad de optimizar el comportamiento estructural de todas las edificaciones.

Figura 1

Cinturón de fuego del Pacífico



Nota: La imagen muestra los países por los cuales atraviesa el Cinturón de fuego del Pacífico. Tomado de *Así es el «Anillo de Fuego», la cuna de los terremotos más poderosos que agitan la Tierra* por Ayala, 2022.

Es así que las normas peruanas han establecido cuatro zonas sísmicas para implementar una metodología uniforme de análisis sísmico en todo el país. Estas normas establecen parámetros mínimos para el análisis del comportamiento estructural. Todo el Perú está zonificado, incluida la zona donde se desarrolla esta investigación, que es la zona 4 según la RNE, que, aunque la probabilidad de ocurrencia es mínima con referencia a los datos históricos, según la filosofía de diseño de la ingeniería civil en el Perú es fundamental anticipar los escenarios más extremos para prevenir pérdidas humanas y garantizar la reparación de las edificaciones ante daños moderados (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento [MVCS], 2019). Haciendo así que la seguridad y la factibilidad de aplicar esta tecnología deben ser prioritarias.

Los disipadores de fluido viscoso se presentan como una alternativa eficaz para dotar a los edificios de un sistema de protección sísmica. Estos dispositivos están diseñados para disipar una gran parte de la energía vibratoria que una estructura absorbe



durante un terremoto u otro tipo de movimiento brusco. Al hacerlo, protegen los elementos estructurales principales y añaden un amortiguamiento adicional al sistema estructural cuando se integran en un diseño convencional (Ascheri, et al, 2014).

De este problema de investigación se expone la falta de consenso en la metodología de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso y en la medición de su incidencia, evidenciando la no aplicación de esta tecnología de uso creciente en muchos países dado que el riesgo sísmico es una amenaza constante en el Perú debido a la placa de Nazca. Es así que si no se consensua la metodología y la aplicación de disipadores de fluido viscoso no se podrá aplicar estos, dejando sin protección sísmica a los edificios así exponiendo a la pérdida de vidas humanas y a daños extremos en las edificaciones ante la ocurrencia de eventos sísmicos (Aedo y Hurtado, 1994). Por lo tanto, esta investigación expone como control de pronóstico cuantificar la incidencia de la aplicación de los disipadores de fluido viscoso para la reducción de derivas fuerzas y control de amortiguamiento y periodos de una edificación, es así que se plantea como objetivo ofrecer un método y una alternativa para el diseño y construcción de edificaciones de mediana o gran altura que puedan resistir movimientos telúricos en la Región de Puno. Este proceso, en última instancia, se enfoca en optimizar el uso de materiales además de su propósito principal de aumentar el amortiguamiento de la edificación usando dispositivos de disipación de energía (Chopra, 2012), por lo que se plantea las preguntas de investigación.



1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. Pregunta general de la investigación

- ¿Cuál es la incidencia de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022?

1.2.2. Preguntas específicas de la investigación

- ¿Cuál es el cambio metodológico en la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022?
- ¿Cuál es la diferencia en las derivas de entrepiso ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022?
- ¿Cuál es la diferencia en las fuerzas cortantes basales ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022?
- ¿Cuál es la diferencia de los periodos de vibración ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022?

1.3. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1. Justificación teórica

Esta investigación se basa en cómo los aspectos teóricos se aplican en el análisis del diseño sismorresistente de edificios con disipadores de energía de fluido viscoso porque muestra una metodología y una secuencia de aplicación de



estos disipadores, utilizando la normativa vigente del Perú, ASCE/SEI 7-22, FEMA 273/274, VISION 2000 y el AISC Steel Construction. Y se realiza para evaluar los efectos en el comportamiento estructural, tomando en cuenta las derivas, fuerzas y períodos. Y es útil para los ingenieros, proyectistas y académicos quienes que buscan contribuir al cuerpo de conocimientos existente sobre técnicas de mitigación sísmica, específicamente enfocadas en particular a los disipadores de fluido viscoso.

1.3.2. Justificación práctica

Esta investigación tiene implicaciones significativas para la seguridad pública y la ingeniería estructural en Puno y otras áreas sísmicas, porque demuestra de manera práctica la eficacia de los disipadores de energía de fluido viscoso en un contexto específico. Es por tal razón que esta investigación se justifica para proporcionar a los ingenieros, empresas consultoras, proyectistas e interesados una herramienta adicional que mejore la seguridad de las estructuras en zonas propensas a terremotos. Esta investigación es importante para quienes necesitan conocer y cuantificar la incidencia de este sistema estructural en el comportamiento de edificios nuevos de mediana y gran altura. Se describe el procedimiento de diseño estructural de una edificación multifamiliar, desde el predimensionamiento de los elementos estructurales hasta el análisis y diseño del sistema principal de disipación viscosa, contribuyendo así al conocimiento sobre el proceso de diseño en la zona sísmica 3.

1.3.3. Justificación metodológica

Esta investigación utiliza un enfoque estructurado y riguroso para recopilar datos, realizar análisis comparativos, mostrar resultados y sacar conclusiones. Y



este enfoque cumple con la adecuación a las normas peruanas e internacionales porque garantiza la fiabilidad de los resultados obtenidos mediante métodos de modelamiento computacional. Y esta metodología de investigación sirve para proporcionar un marco para futuras investigaciones en el campo de la ingeniería sísmica, siendo útil para quienes quieran evaluar y comparar el rendimiento de disipadores de fluido viscoso por medio de modelación computacional que usa fichas de reporte que permiten comparar derivas, fuerzas cortantes, amortiguamiento y períodos de la edificación.

1.3.4. Justificación técnica

En el contexto de la ingeniería civil, esta investigación explora una tecnología específica que puede transformar la forma en que se diseñan y construyen estructuras en áreas sísmicas. Es esta investigación en cuanto a su pertinencia técnica, es importante porque demuestra que los disipadores de energía de fluido viscoso se pueden utilizar como elementos prefabricados de aplicación efectiva y comprobada para la reducción de vibraciones, proporcionando un amortiguamiento significativo y reduciendo las fuerzas sísmicas y desplazamientos estructurales. Recalcando que esta tecnología sirve para ofrecer una solución técnica sólida que mejore la resistencia sísmica de los edificios. Y esta investigación es relevante porque proporciona una metodología de elección de disipadores en el mercado para el diseño y aplicación de disipadores, que sirve para quienes debe cumplir con las normas o reglamentos de construcción y la vez busquen innovar en el diseño de estructuras sismorresistentes.



1.4. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la incidencia de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

1.4.2. Objetivos específicos

- Analizar la metodología de la aplicación normativa de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Comparar las variaciones de las derivas de entrepiso ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Comparar las variaciones de las fuerzas cortantes basales ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Comparar las variaciones de los periodos de vibración ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.



1.5. HIPÓTESIS

1.5.1. Hipótesis general

- La aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso mejora significativamente el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

1.5.2. Hipótesis específicas

- La metodología de aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso presenta diferencias significativas respecto a la metodología de un sistema sin protección sísmica, en el análisis del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Las derivas de entrepiso resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso son significativamente menores que las derivas de entrepiso de un sistema sin protección sísmica en la evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Las fuerzas cortantes basales resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso son significativamente menores que las fuerzas cortantes basales de un sistema sin protección sísmica en la evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.
- Los periodos de vibración resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso no presentan variación significativa con los periodos resultantes de un sistema sin protección sísmica en la evaluación

del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

1.6. VARIABLES DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.1. Variable independiente V1: Disipadores de energía de fluido viscoso

1.6.1.1. Definición conceptual

Los disipadores de energía de fluido viscosos son elementos que se acoplan a los pórticos de concreto armado para disipar la energía sísmica a través de los dispositivos que trabajan de manera hidráulica generando una resistencia u oposición al desplazamiento libre de la edificación (Chavez, 2021).

1.6.1.2. Definición operacional

Para la medición de esta variable se toma en cuenta dos dimensiones un modelo de edificación sin DFV que debe estar idealizado de acuerdo a las normas peruanas E0.20 y E030 y el otro modelo es la edificación con la incorporación DFV que no solo se basa en normativas nacionales, sino también toma en cuenta normas técnicas americanas FEMA 273/274, ASCE/SEI 7-22 y el AISC Steel Construcción.

1.6.1.3. Dimensiones de la variable independiente

La variable independiente en esta investigación se divide en dos dimensiones:

- D1: Sistema convencional (sin disipadores de energía de fluido viscoso).



- D2: Sistema con disipadores de energía de fluido viscoso.

1.6.2. Variable dependiente V2: Comportamiento Estructural

1.6.2.1. Definición conceptual

El comportamiento estructural es la manera como responde una estructura en términos de desplazamientos y deformaciones, ante la aplicación de determinadas fuerzas externas y/o solicitaciones; las relaciones matemáticas existentes entre las fuerzas generalizadas y los desplazamientos generalizados son conocidas usualmente como relaciones constitutivas de la estructura (Capcha, 2017).

1.6.2.2. Definición operacional

El comportamiento estructural consiste en analizar cómo responde la estructura ante ciertas solicitaciones o fuerzas, para esta investigación se toma como patrón o línea base una estructura de concreto armado sin disipadores de energía para mostrar la variación en porcentajes de las respuestas sísmicas frente a un edificio con disipadores de energía de fluido viscoso que toma en consideración normas americanas. Para este caso se estudia los derivas, fuerzas horizontales y periodos de la estructura.



1.6.2.3. Dimensiones de la variable

La variable dependiente en esta investigación se divide en 3 dimensiones:

- D1: Derivas de la estructura
- D2: Fuerzas cortantes.
- D3: Periodos de vibración.

1.7. OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

Tabla 1

Operacionalización de variables

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA/UNIDAD	INSTRUMENTO
VARIABLE INDEPENDIENTE (VI): Aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso	Para la medición de esta variable se toma en cuenta dos dimensiones un modelo de edificación sin DFV que debe estar idealizado de acuerdo a las normas peruanas E0.20 y E0.30 y el otro modelo es la edificación con la incorporación DFV que no solo se basa en normativas nacionales, sino también toma en cuenta normas técnicas americanas FEMA 274, FEMA 356, ASCE/SEI 7-16 y el AISC Steel Construction 15 th .	D1: Sistema convencional (sin disipadores de energía de fluido viscoso)	I 1: Adecuación normativa del modelo I 2: Verificación del cumplimiento normativo	Dicotómica/(cumple o no cumple)	Fecha de registro de datos del sistema convencional (sin disipadores) y con disipadores.
		D2: Sistema con disipadores de energía de fluido viscoso	I 3: Verificación del Cumplimiento estructural I 1: Adecuación normativa del modelo I 2: Verificación del cumplimiento normativo I 3: Verificación del cumplimiento estructural	Dicotómica/(cumple o no cumple) Adecuación normativa para cada modelo Verificación de cumplimiento normativo Verificación de cumplimiento técnico de cada modelo	

VARIABLE	DEFINICIÓN OPERACIONAL	DIMENSION	INDICADORES	ESCALA/UNIDAD	INSTRUMENTO
VARIABLE DEPENDIENTE (V2): Comportamiento Estructural	El comportamiento estructural consiste en analizar cómo responde la estructura ante a determinadas solicitaciones o fuerzas, se tomará como patrón o línea base una estructura de concreto armado sin disipadores de energía para mostrar la variación en porcentajes de las respuestas sísmicas frente a una edificación con disipadores de energía de fluido viscoso que toma en consideración normas americanas. Para este caso se estudiará los derivas, fuerzas horizontales y periodos de la estructura.	D1: Derivas de la estructura	I 1: Derivas en eje X	Razón/cm	Fichas de reporte de resultados de: Derivas de entrepiso, Fuerzas cortantes Periodos de vibración
			I 2: Derivas en eje Y	Razón /cm	
			I 3: Relación de derivas entre modelos	%	
			I 1: Fuerzas cortantes en X	Razón /t	
		D2: Fuerzas cortantes	I 2: Fuerzas cortantes en Y	Razón /t	
			I 3: Relación de fuerzas cortantes entre modelos	%	
			I 1: Periodo en X	Razón/seg	
			I 2: Periodo en Y	Razón/seg	
		D3: Periodos de vibración	I 4: Relación de periodos entre modelos	%	

Nota: Elaboración propia



CAPÍTULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. ANTECEDENTES DE LA INVESTIGACIÓN

2.1.1. Antecedentes internacionales

Pino (2022) en su trabajo de investigación denominado “Evaluación de las prestaciones de un edificio de categoría especial con disipadores de energía dependientes de la velocidad”. El objetivo principal del estudio realizado en España-Madrid fue el análisis de desempeño de una estructura de categoría especializada diseñada con disipadores lineales dependientes de la velocidad. La metodología consistió en someter el modelo de una edificación de seis niveles ante la acción de siete registros sísmicos de Costa Rica escalados al espectro de diseño. Realizó 154 análisis dinámicos no lineales para obtener los resultados relativos a los desplazamientos máximos de la estructura. Como resultado después de la exposición a varios eventos sísmicos escalados, verificó que la estructura con DFV tenía la capacidad de disipar entre el 60% y el 80% de la energía total. Concluyó que los disipadores de energía proporcionan una serie de ventajas notables, como la disminución del daño estructural al concentrar la energía en estos dispositivos, disminución de las fuerzas cortantes, aceleraciones y desplazamientos laterales en cada piso, lo cual resultó en una disminución de los daños tanto en los elementos estructurales como en los no estructurales.

López & Pinzón (2021), en su investigación de grado “Respuesta sísmica de una estructura de acero implementando disipadores de energía de fluido viscoso para la Ciudad de Bogotá D.C”, cuyo propósito era analizar el comportamiento de



una estructura en acero según su diseño estructural con la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso y hacer una comparativa con estructuras de acero no amortiguadas en cuanto respuesta y costos que se generan. En su metodología abordó el diseño y construcción de una edificación de 30 pisos en acero ubicada en Bogotá D.C. consideró factores como el material, el perfil estructural basándose en las directrices establecidas en la normativa colombiana NSR-10, en función al cual llevó a cabo una evaluación del comportamiento sísmico de la edificación, teniendo en cuenta variables importantes como el tipo de suelo, el nivel de amenaza sísmica, el espectro de diseño y las características del sistema estructural, entre otras. La implementaron disipadores de fluido viscoso lo realizó siguiendo las pautas de normativas como ASCE 7-10 y FEMA 273, así como criterios derivados de registros sísmicos del PEER Ground Motion Database. Los resultados indican que con la implementación de disipadores de fluido viscoso cambia el periodo inicial 5.256s a 5.209s de la estructura, lo que verifica que estos dispositivos no alteran de manera representativa el periodo fundamental. La disipación de energía con los disipadores de fluido viscoso es en promedio de un 9.20% llegando a utilizar un total de 120 disipadores. Las conclusiones del estudio demostraron que la aplicación de los DFV resulta efectiva en la reducción de derivas lo cual refleja menos desplazamientos y menores esfuerzos en la estructura.

Rosero (2020), en su trabajo de titulación “Incidencia de la inclusión de dispositivos disipadores de energía en las respuestas estructurales de edificios de hormigón armado de 10 y 15 pisos en la ciudad de Quito”, trabajo presentado a la Universidad Central del Ecuador, en el Ecuador, se propuso como objetivo determinar el impacto por la incorporación de disipadores de energía viscosos,



visco-elásticos y por fricción en edificios de hormigón armado de 10,15 y 20 niveles. Con respecto a la metodología de la investigación fue de tipo descriptivo en el que procedió a realizar un análisis tiempo historia tanto sin disipadores y como para aquella que incorpora los mismos haciendo uso de 7 registros sísmicos. Llevó a cabo una comparación de las respuestas estructurales generadas en el software ETABS 2016. Para comprender la influencia de los disipadores de energía, se centró en evaluar el periodo fundamental de vibración de las estructuras, examinó su comportamiento modal, determinó las derivas y desplazamientos, y cuantificar la energía disipada a través de la aplicación de estos dispositivos. Como resultados en la edificación de 10 niveles, la deriva máxima en el sentido X sin inclusión de los DFV fue de 1.68% y con la inclusión de los DFV fue de 1.29%, mientras que la deriva en el sentido Y sin inclusión de disipadores fue de 2.13% y con la inclusión de DFV fue de 1.47% y los periodos de vibración no experimentaron cambios. Concluyó que es conveniente la incorporación de los DFV y visco-elásticos en los edificios de 15 y 20 niveles, es decir en edificios flexibles ya que ahí trabajan mejor.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Luque & Condo (2021), en sus tesis tituladas “Diseño estructural de un edificio con disipadores de energía de fluido viscoso frente a un edificio convencional”, tuvieron como propósito llevar a cabo el diseño, análisis y comparación de un edificio con y sin el uso de disipadores sísmicos fluido viscoso en arreglo Chevron. Como parte de la metodología, llevaron a cabo un análisis y diseño sísmico de un edificio de 11 pisos con un semisótano, localizado en el distrito de Cerro Colorado. Este proceso implicó la aplicación de técnicas de análisis dinámico modal espectral y tiempo historia, siguiendo las pautas



establecidas en la norma E.030-2018 "Diseño Sismorresistente"., posteriormente realizaron una comparativa con un edificio similar, tanto con y sin la implementación de DFV. En el desarrollo del análisis y diseño, se apoyaron en las normativas E.020-2006 Cargas, E.030-2019 Diseño Sismorresistente, E.060-2009 Concreto Armado, y siguieron las directrices del estándar de la ASCE/SEI 7-16, específicamente en el capítulo 18, para el diseño de los disipadores fluido viscoso. Como parte de sus resultados obtuvieron que la fuerza cortante basal para el edificio convencional en la dirección X-X es de 933.64 tn y en Y-Y es de 1036.10 tn y para el edificio con disipadores fluido viscoso en la dirección X-X de 664.73 tn, YY de 640.88 tn, habiendo una reducción de la fuerza cortante considerable que representa un 28.8% y 38.1% en la dirección X-X e Y-Y respectivamente respecto el edificio convencional. Llegaron a concluir que en una edificación implementada con DFV se ve reflejada con una disminución de fuerza cortante considerable para el edificio.

Valdez (2019), en su tesis "Análisis y diseño estructural de un edificio utilizando disipadores de energía de fluido viscoso", aborda el objetivo general de realizar el diseño de una edificación de concreto armado, incorporando un sistema de protección sísmica basado en disipadores de energía de fluido viscoso. Se basó en una metodología de tipo aplicada de nivel descriptivo donde tomó como una unidad de análisis la proyección de un edificio de 14 niveles, un semisótano y un sótano con ubicación en Arequipa-Perú, realizaron diseño de manera que se ajustara a la máxima deriva permitida según la normativa RNE E 0.30, posteriormente incorporó los DFV conforme a las normativas americanas. Al emplear 56 disipadores en X y 56 disipadores en Y, los resultados que obtuvo mostraron periodos de vibración de 0.977 segundos en la dirección X y 1.039



segundos en la dirección Y, tanto en el análisis dinámico modal espectral como en el análisis sísmico con disipadores. Concluyó que los disipadores de energía son eficaces tanto en edificaciones recientes como en el refuerzo estructural de edificaciones antiguas. Esto se debe a que el sistema no cambia la rigidez estructural, sino que simplemente mejora el amortiguamiento y la colocación de los dispositivos de disipación en forma diagonal o chevron, influye en el cálculo del coeficiente de amortiguamiento, por ende, en el logro de la deriva objetivo, destaca que cuando el ángulo de inclinación de los brazos tiende a cero, se logra un aumento en el coeficiente de amortiguamiento.

Chilón (2019), en su tesis “Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017”, tuvo como objetivo general realizar el análisis sísmico al sistema estructural con aisladores de núcleo de plomo y al sistema estructural con disipadores de fluido viscoso para una edificación de 4 niveles. Adoptó una metodología descriptiva-aplicada, utilizando como muestra la propuesta del Centro de Capacitación y Servicios Odontológicos. El proyecto lo sometió a un análisis y diseño con aislador y disipador sísmico. Primero llevó a cabo el análisis de un modelo de edificación tradicional, seguido por la evaluación del sistema incorporando DFV para obtener las propiedades del disipador. Seguidamente, examinó la edificación utilizando aisladores de núcleo de plomo para conseguir las características del aislador. Sus resultados evidenciaron que, al implementar 12 DFV, hubo una reducción de aproximadamente un 37% en los desplazamientos y cerca de un 40% en las derivas. Concluyó que la construcción de una edificación con aislamiento o disipadores sería más costosa. Sin embargo, sugiere que los costos de los daños



sísmicos en una estructura convencional superarían la suma de los daños en una estructura protegida por estos sistemas, considerando también el sobre costo de construcción. Destaca que la inversión en sistemas con aisladores y disipadores, está justificada, ya que no solo mejoran la resiliencia de las edificaciones al disipar y controlar la energía sísmica, sino que también minimizan los costos de reparación y rehabilitación posterior un sismo.

2.1.3. Antecedentes locales

Turpo & Paredes (2022), en su tesis titulada “Desempeño sísmico de una edificación de 12 niveles en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso” tuvieron como propósito obtener y analizar el comportamiento sísmico de un edificio de uso común de 12 pisos en tres configuraciones distintas: sistema convencional, con aislador tipo elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso. La metodología empleada fue de naturaleza cuantitativa, con un enfoque descriptivo-explicativo y un diseño experimental que abarcó el modelado y análisis sísmico de cada sistema, estructuraron y dimensionaron los elementos estructurales según la normativa de diseño sismorresistente E.030, los aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso lo diseñaron siguiendo las normativas E.031 y el preestándar FEMA 356, respectivamente, llevando a cabo un análisis de respuesta sísmica utilizando acelerogramas escalados al espectro sísmico pertinente a un sismo máximo considerado. Los resultados obtenidos en el sentido “X” para el sistema con disipador de energía el valor de la deriva es 0.003 lo que demuestra una disminución de deriva máxima en un 14,84% frente al sistema convencional que tuvo como valor inicial de 0.020, mientras que en el sentido “Y” el valor inicial de la deriva del sistema sin disipador es 0.0137 y del sistema con disipadores es



de 0.0039, entonces la disminución de derivas fue del 19.13% frente al edificio convencional. Además, observaron que en la estructura con disipadores de energía se mantuvo los periodos de vibración prácticamente muy similares al 100.25%, 100.37%, y 100.48% en los modos 1, 2 y 3, respectivamente, en comparación con el sistema convencional. Esta mínima variación en los periodos indicó que los disipadores aumentaron efectivamente el amortiguamiento estructural sin aumentar su rigidez. Llegaron a la conclusión de que el diseño convencional conforme a la normativa E.030 no asegura la seguridad de vida durante un sismo máximo considerado. Asimismo, afirmaron que la inclusión de aisladores y disipadores mejora eficientemente el rendimiento del edificio de 12 niveles

Quispe (2022), en su tesis “Evaluación del desempeño estructural del mega laboratorio clínico universitario de salud humana y propuesta de mejora con sistemas de protección sísmica de disipadores de energía sísmica” se propuso como objetivo general la evaluación del desempeño estructural del Mega laboratorio clínico universitario de salud humana de la UNAP, con la inclusión de DFV. Aplicó una metodología de aspecto cuantitativo con un diseño descriptivo transversal. El objeto de estudio comprendió los sectores A, B, C, D, E y E-F del Mega laboratorio, evaluó los materiales como concreto, acero y DFV. Utilizó las aplicaciones como SeismoSignal, SeismoMatch y el software de análisis estructural ETABS 2016. La evaluación consistió en la medición de derivas, desplazamientos, amortiguamiento efectivo y aceleraciones, comparando el modelo estructural tanto sin como con la presencia de DFV. El análisis inició con una evaluación de la capacidad resistente sísmica según las normas establecidas en el RNE, seguido por el análisis de desempeño estructural bajo diferentes condiciones. Sus resultados indican reducciones significativas en la deriva



máxima de piso al aplicar DFV en los sectores A, B, C, D, E y E-F, con porcentajes específicos de 37.19%, 45.41%, 34.21%, 41.55%, 51.37% y 37.13%, respectivamente. Como conclusión, propuso la mejora del desempeño estructural mediante el uso de sistemas DFV no lineales ($\alpha=0.5$) para todos los sectores. Este planteamiento sugiere una solución efectiva para mejorar la resistencia sísmica del Mega laboratorio clínico universitario de salud humana de la UNAP, contribuyendo significativamente a la seguridad estructural del edificio.

Escobar (2019), en su tesis “Análisis sísmico comparativo entre el reforzamiento convencional con muros de corte y el reforzamiento con disipador de fluido viscoso para un sismo severo en el edificio hotel ferrocarril filial Puno”, tuvo como objetivo principal efectuar una comparación de análisis y diseño sísmico entre el reforzamiento convencional con Muros de Corte y el sistema de Disipadores Viscosos para establecer cuál de los sistemas proporciona mayores beneficios frente a un sismo en el edificio universitario de la UANCV, utilizando el software ETABS. La metodología empleada fue de carácter descriptivo, con el propósito de describir el comportamiento del edificio mediante modelos matemáticos. En su primera instancia de modelado, se llevó a cabo un análisis lineal que contemplaba un espectro de diseño. En el segundo modelo, se introdujeron disipadores de fluido viscoso mediante un análisis tiempo historia, y en el tercer modelo se emplearon muros de corte también con un análisis de tiempo historia. Estos modelos fueron comparados para verificar el mejor desempeño y funcionalidad. Para analizar cómo los disipadores de fluido viscoso afectan la respuesta de la estructura de concreto, examinó un edificio aporricado de 4 niveles con un sótano. Llevó a cabo evaluaciones estáticas, espectrales y de tiempo historia, es decir utilizando tres modelos matemáticos distintos. Sus resultados de



la edificación con DFV muestran periodos fundamentales de 0.479s en el sentido X y 0.369s en el sentido Y. Las derivas de entrepiso inicialmente fueron de 0.0043 en dirección X y 0.0092 en dirección Y según las normativas. Con la instalación de los disipadores, estas cifras se redujeron a 0.0039 y 0.0069 en los ejes X e Y, respectivamente. Concluyó que tanto la incorporación de disipadores como de muros de corte podrían lograr las derivas requeridas por la normativa. No obstante, destacó que el cálculo más complejo se relaciona con la consideración de implementar disipadores, sugirió. que en situaciones donde existe rigidez en los primeros niveles, señala que la instalación de dichos dispositivos podría no ser necesaria.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. De la variable independiente V1: Disipadores de energía de fluido viscoso

2.2.1.1. Sistema convencional o sin disipadores

Es un sistema estructural basado solamente en las normativas peruanas E0.20, E.030, E.060 en la que no se considera el uso de algún tipo de dispositivo de protección sísmica, sea aislamiento basal o de dispositivos de disipación de energía aplicados en sus pórticos (R.N.E. E.060, 2006).

Fundamentos de la estructuración convencional

Inicialmente los sistemas no convencionales, es decir aquellos que no contaban con dispositivos de aislamiento o disipación de energía como



sistema de protección sísmica, se guiaban bajo la filosofía del diseño sismorresistente, que son según el RNE E.030 artículo 3:

“Artículo 3.- Filosofía y Principios del Diseño Sismorresistente

3.1. La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdida de vidas humanas.
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad.

3.2. Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras. En concordancia con tal filosofía, se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables...”

Pero la aparición de dispositivos no convencionales que no se rigen bajo la estructuración sísmica convencional basada en la norma R.N.E. E.030 (2018) y sus modificaciones, ahora buscan también la optimización de las respuestas estructurales con la consecuente reducción de costos sin dejar de lado los principios de la filosofía estructural.



Normas y principios de la estructuración convencional

Para determinar los parámetros sísmicos correspondientes a la zona del proyecto se toma en cuenta la norma sismorresistente E.030, las cargas gravitatorias que afectan a la estructura están definidas según la Norma E.020 Cargas.

La configuración estructural hace referencia a la configuración de la forma global de la edificación como es la continuidad, tamaño, proporción, naturaleza y ubicación de elementos estructurales y no estructurales. Para realizar un buen diseño sísmico se requiere una forma adecuada de los elementos estructurales y del conjunto del edificio, de acuerdo al R.N.E. E.030 se debe considerar los siguientes aspectos de adopción de forma estructural:

Simetría. En la etapa de diseño es aconsejable que un edificio sea simétrico en planta y en altura, es decir se debe buscar una coincidencia entre el centro de masa y el centro de rigidez para lograr que las estructuras simétricas se comportan mejor a solicitaciones sísmicas, de lo contrario una estructura con asimetría tiende a generar excentricidades entre el centro de masa y el centro de rigidez, dando lugar a efectos torsionales de evaluación complicada y potencialmente destructivos en numerosas situaciones.

Continuidad. Es recomendable que la estructura mantenga continuidad en elevación y planta para evitar la generación de piso blando que es debido a los cambios bruscos de rigidez, concentraciones de esfuerzos en ciertos puntos y el desarrollo prematuro de rotulas plásticas en los elementos



estructurales verticales. La presencia de rotulas plásticas en los elementos verticales contribuye a que la falla del edificio sea frágil.

Resistencia. La resistencia mide la capacidad de un elemento o sistema estructural ante una acción sísmica en la que debe ser capaz de resistir las combinaciones de carga y/o fuerzas actuantes, por ello es importante elegir materiales estructurales normados (acero, concreto, disipador, etc.) y asignar a la estructura una cantidad adecuada de elementos sismorresistentes.

Deformación lateral limitada o rigidez lateral. Constituye un factor crítico en la evaluación de la capacidad de un elemento o sistema estructural para resistir deformaciones. La rigidez lateral es esencial para contrarrestar la tendencia a ser deformado, y es importante limitar los desplazamientos laterales de un edificio con el fin de mitigar los daños durante eventos sísmicos.

Diafragma rígido. Un diafragma rígido es un conjunto de nodos que ejemplifica una rigidez infinita en el plano y se mueve en el plano del diafragma como un cuerpo rígido. Conduciendo a una ausencia de axiales, corte, y fuerzas de momento dentro del diafragma. Como ejemplo práctico de diafragma rígido suele ser la losa de concreto armado, con una flexión en el plano insignificante.

Edificación convencional

En una edificación convencional “La estructura vibra y la deformación produce daño debido a que la aceleración no cambia por



consecuente la energía sísmica se transfiere en un 100% a la estructura” (CDV Ingeniería Antisísmica, 2018).

En un análisis y diseño sísmico de una estructural convencional la disipación de energía sísmica se da a través de los pórticos de concreto armado o acero estructural, los mismos que inicialmente fueron diseñados suficientemente rígidas y dúctiles para resistir a momentos y cortantes tomando en cuenta la teoría de viga débil y columna fuerte provocando una posible formación de rótulas plásticas en las vigas y esperando una falla dúctil, para que mientras tanto los ocupantes del edificio puedan desocupar (Chavez, 2017).

La concentración de energía no disipada por la estructura está relacionado directamente con la formación de rótulas plásticas de primer orden, el cual es capaz de dejar esos puntos totalmente incomponibles a través de la falla, debido a ello surge la necesidad de que los diseños en edificaciones convencionales incursionen en el rango inelástico o rango de la no linealidad, pero con ello resultaría que las dimensiones de los elementos estructurales serían significativas ocasionando costos elevados y es ahí donde surge la protección sísmica de edificaciones ya sea con disipadores de energía de fluido viscoso o por medio de aisladores (Chavez, 2017).

En este enfoque convencional inicial, se consideran diversos criterios, como las características del suelo de fundación, que influyen en el comportamiento dinámico de la estructura. Se tiene en cuenta la mayor ductilidad del acero en comparación con el concreto, así como una



estructuración adecuada del proyecto para evitar irregularidades tanto en planta como en elevación, con el objetivo de prevenir problemas como torsiones y la formación de pisos blandos (Villarreal & Díaz, 2016).

2.2.1.2. Sistema con disipadores de energía de fluido viscoso

El uso de disipadores está previsto como un sistema no convencional según el RNE, dado que cualquier sistema de construcción fuera del alcance de la Norma RNE E060 está considerado “no convencional”, tal como está previsto en el artículo 1.3 (R.N.E. E.060, 2006, p. 3). Por ejemplo, el MVCS desarrolló normas específicas ante el uso de dispositivos que buscan mejorar el comportamiento de las edificaciones ante sismos, para proteger su estructura y buscar su operatividad continua, es así que el MVCS con el Decreto Supremo N° 030-2019-VIVIENDA, ha dispuesto la aprobación de la Norma Técnica E.031 “Aislamiento Sísmico” como un sistema no convencional. No previendo aun una norma para los sistemas que usan disipadores.

Normas y principios de la estructuración con disipadores

La estructuración sísmica con disipadores al año 2023 no está regulada específicamente en nuestro país, pero deben sujetarse al cumplimiento de los parámetros exigidos en el RNE-2018 y sus modificaciones, al respecto para el control de calidad se debe referir a las normas americanas FEMA 273/274, ASCE/SEI 7-22, SEAOC Visión 2000 y AISC Steel Construcción, sobre los fundamentos teóricos aplicados para sustentar la idoneidad del sistema estructural usado.



El sistema estructural con disipadores de energía de fluido viscoso no sólo se basa en normativas nacionales, sino también toma en cuenta normas técnicas americanas. Los disipadores de energía de fluido viscosos son elementos que se pueden apoyar a los pórticos de concreto armado para disipar la energía sísmica a través de los dispositivos que trabajan de manera hidráulica generando una resistencia al movimiento del edificio (Chavez, 2017).

Criterios de ubicación de los disipadores viscosos

Villarreal & Díaz (2016), mencionan que para lograr la buena ubicación de los disipadores de energía de fluido viscoso se debe tener en cuenta la arquitectura y uso de la edificación, en función a ello probar diversos modelos y disposiciones, se realiza un proceso iterativo y se obtiene la mejor ubicación.

Por otra parte, el capítulo 18 de la Norma ASCE/SEI 7-10 citado en Villarreal & Díaz (2016) señala algunos criterios a considerar:

- La estructura no debe exhibir irregularidades.
- Se requiere la instalación de al menos dos dispositivos en la dirección que se va a reforzar.
- Se deben distribuir dispositivos en todos los niveles de la estructura.
- Se recomienda buscar la simetría para evitar el problema torsional.

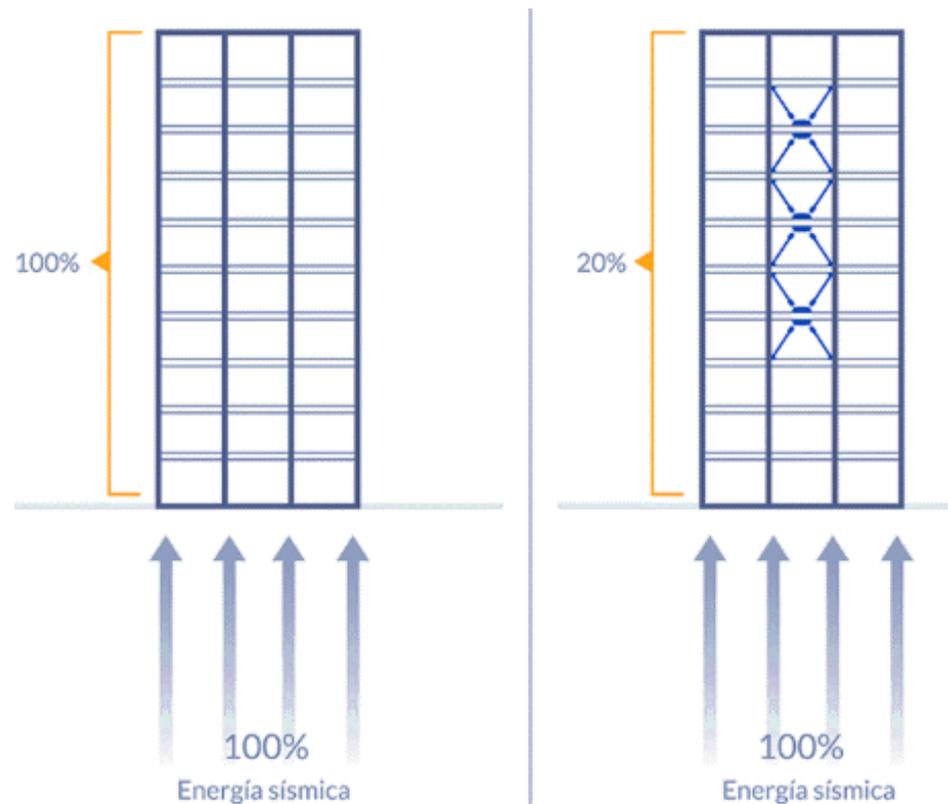
Edificación con disipadores viscosos

Otra forma de diseñar edificaciones sismorresistentes es basándonos en el uso de dispositivos de disipación de energía, los mismos

que se acoplan a la estructura con el fin de reducir los desplazamientos, velocidades y aceleraciones. Una edificación con disipadores tiene un mejor comportamiento al movimiento sísmico gracias que los dispositivos tienen la capacidad de reducir la aceleración, la vibración y la deformación del edificio, en cuanto a la reducción de energía sísmica se puede alcanzar hasta el 80% (veáse Figura 2). La capacidad de disipación de energía está vinculada a la calidad de la ejecución de la construcción y al diseño del proyecto (CDV Ingeniería Antisísmica, 2018).

Figura 2

Energía recibida por un edificio convencional y una edificación con DFV



Nota: Tomado de *Disipadores sísmicos de fluido viscoso* [Ilustración] por CDV Ingeniería Antisísmica, 2018. <https://dev.cdvperu.com/wp-content/uploads/2019/03/resultados-con-uso-de-disipadores-sismicos.png>



Dispositivos de disipación de energía

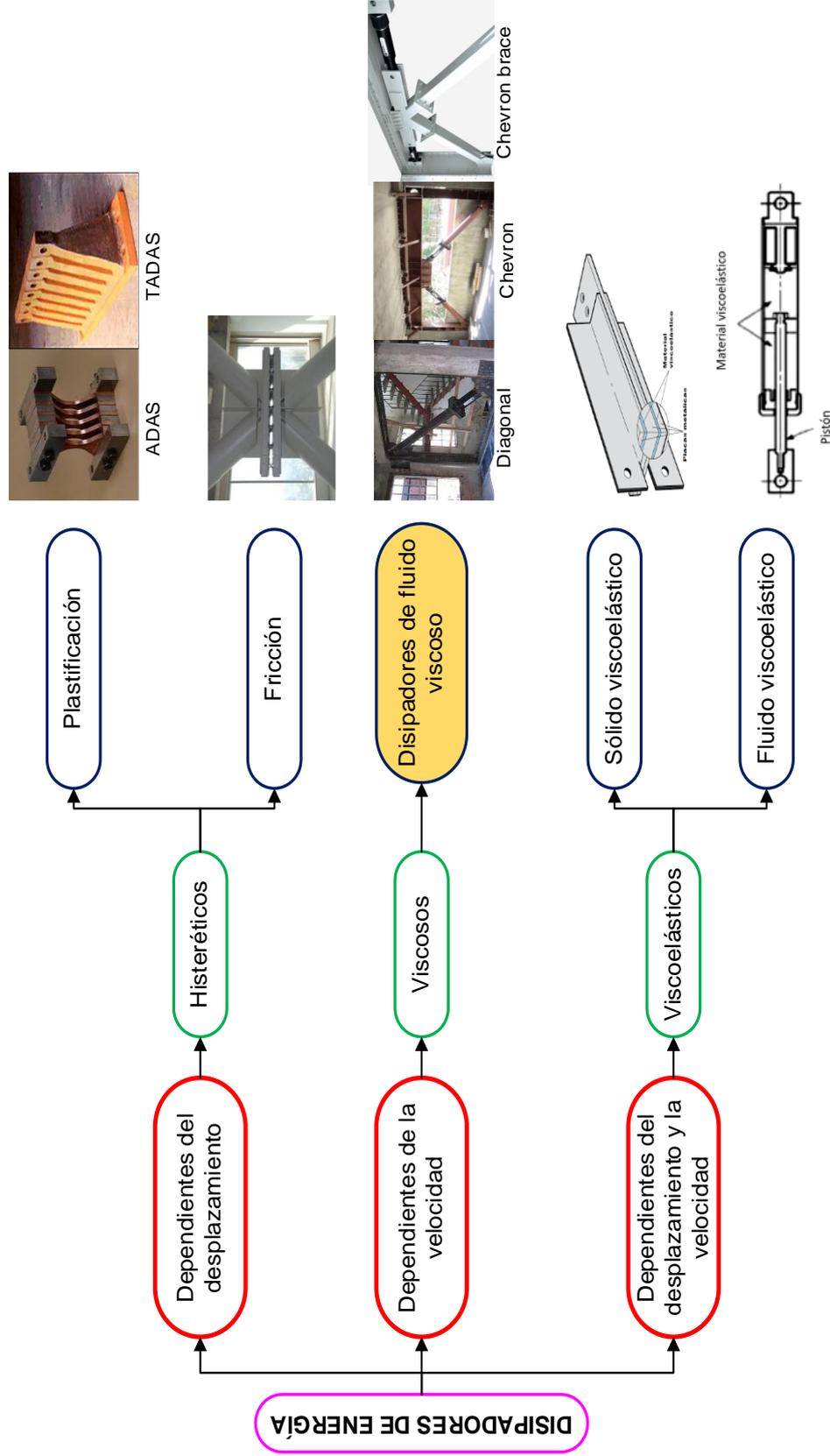
Los disipadores de energía son dispositivos diseñados para disipar la energía entregada por fenómenos de sismo, viento u otras sollicitaciones de origen dinámico, protegiendo y reduciendo los daños en elementos estructurales y no estructurales, gracias a que estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura, se han empleado de manera extendida a nivel global en el diseño de nuevas estructuras y en el reforzamiento de las ya existentes (Corporación de Desarrollo Tecnológico [CDT], 2011).

Tipos de dispositivos de disipación de energía

Los sistemas de disipación de energía se pueden clasificar en cuatro categorías: aquellos que se activan por desplazamientos, por velocidades, por una combinación de desplazamientos y velocidades, o por movimiento (CDT, 2011). A continuación, se presentan brevemente las características generales de cada una de estas categorías de disipadores de energía.

Figura 3

Tipos de disipadores de energía



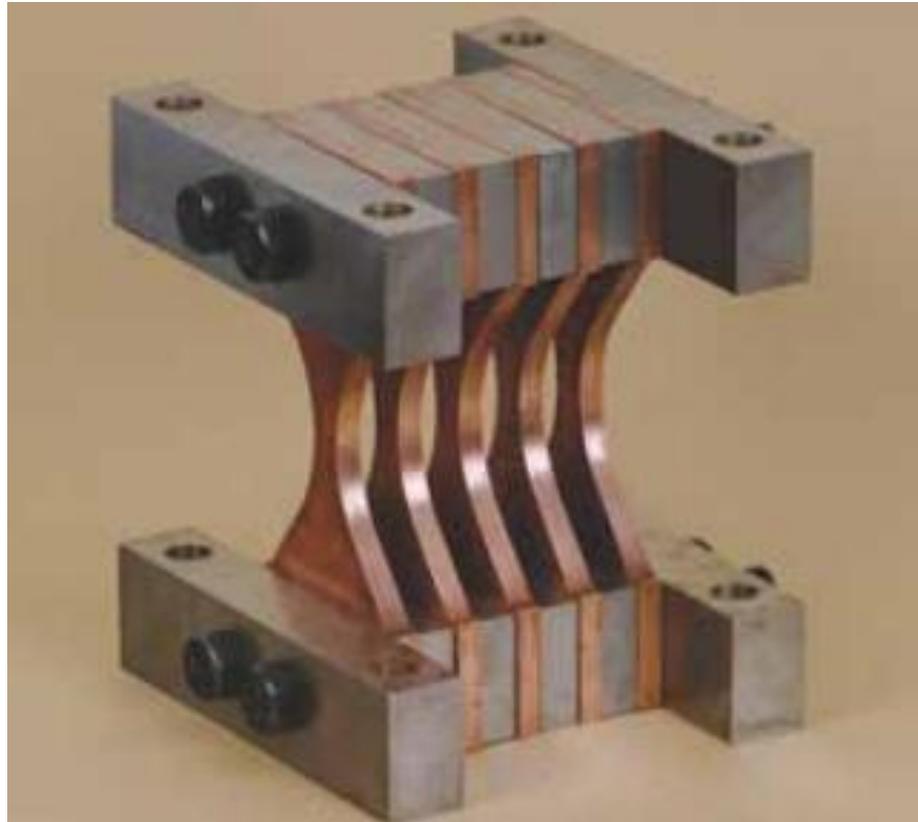
Nota: Tomado de *Edificaciones con disipadores viscosos* por Villareal y Díaz, 2016.

a. Disipadores de plastificación o metálicos

Los disipadores metálicos disipan energía a través de la fluencia de metales que son sometidos a esfuerzos de flexión, corte, torsión, o una combinación de estos. Los disipadores metálicos, en general, presentan un comportamiento predecible, estable y confiable a largo plazo. Además, poseen buena resistencia ante factores ambientales y temperaturas. La Figura 4 muestra un ejemplo de un disipador metálico tipo ADAS, que es un acrónimo del concepto Added Damping Added Stiffness. Este tipo de dispositivo permite añadir rigidez y amortiguamiento a la estructura de manera simultánea (CDT, 2011).

Figura 4

Disipador metálico del tipo TADAS



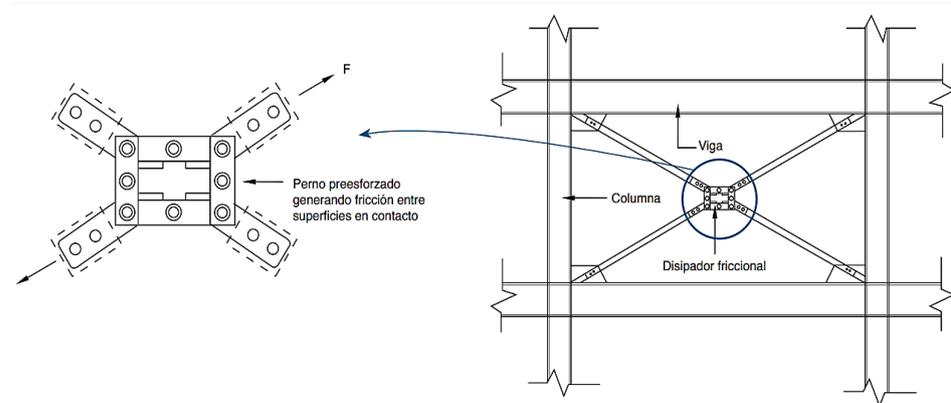
Nota: Tomado de *Protección sísmica de estructuras* [Ilustración] por CDT, 2011.

b. Disipadores friccionales

Los dispositivos friccionales disipan energía a través de la fricción generada durante el desplazamiento relativo entre dos o más superficies en contacto. Estos disipadores están diseñados para activarse una vez que se alcanza un nivel específico de carga en el dispositivo. Mientras no se llegue a dicha carga, el mecanismo de disipación permanece inactivo. La Figura 5 presenta un esquema de un disipador friccional tipo Pall. Una desventaja significativa de este tipo de dispositivo es la incertidumbre en su activación durante un sismo y el incremento de la probabilidad de observar deformaciones residuales en la estructura (CDT, 2011).

Figura 5

Disipador de energía friccional tipo Pall



Nota: Tomado de *Protección sísmica de estructuras* [Ilustración] por CDT, 2011.

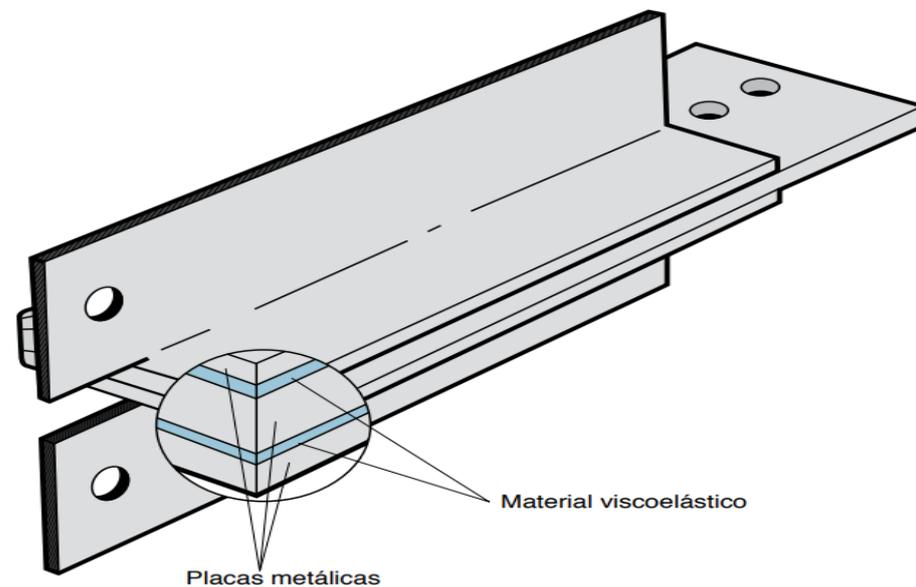
c. Disipadores sólidos viscoelásticos

Como su nombre lo indica están compuestos de material viscoelástico situado entre placas de acero. La energía se disipa mediante la deformación del material viscoelástico, inducida por el desplazamiento relativo de las placas. Habitualmente, estos dispositivos se instalan en

arriostres que conectan diferentes pisos de la estructura. El comportamiento de los amortiguadores viscoelásticos sólidos puede depender de la frecuencia y amplitud del movimiento, del número de ciclos de carga, y de la temperatura operativa. La Figura 6 presenta esquemáticamente un disipador sólido viscoelástico (CDT, 2011).

Figura 6

Disipador de sólido viscoelástico



Nota: Tomado de *Protección sísmica de estructuras* [Ilustración] por CDT, 2011.

d. Disipadores de energía de fluido viscoso

CDV Ingeniería Antisísmica (2018) señala que los disipadores viscosos, también conocidos como dampers, son elementos diseñados para disipar energía sísmica mediante el flujo de fluido viscoso en su interior, generando resistencia al movimiento libre del edificio. Estos dispositivos se anclan a los elementos estructurales que transmiten la carga, es decir, se

fijan entre vigas y columnas mediante pernos de anclaje y soldaduras, como se ilustra en la Figura 7.

Figura 7

Disipadores de energía de fluido viscoso para reforzamiento o edificación nueva



Nota: Tomado de *Disipadores/amortiguadores sísmicos de fluido viscoso* [fotografía], por CDV Ingeniería Antisísmica, 2018. <https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>

La característica distintiva de este dispositivo es su comportamiento conforme a los principios de la mecánica de fluidos, lo que implica que la fuerza resistiva varía en relación con la velocidad traslacional del disipador en cualquier momento dado (Villarreal & Oviedo, 2009).

“Los disipadores de energía de fluido viscosos son dispositivos que dependen de la velocidad y no del desplazamiento, razón por la cual no varía la rigidez de la estructura, ni tampoco incrementan los esfuerzos en los elementos estructurales” (Villarreal & Díaz, 2016).

Los disipadores o amortiguadores de fluido viscoso incrementan el amortiguamiento de la estructura reduciendo los desplazamientos y las fuerzas de modo que la estructura se pueda usar después del evento sísmico (Chavez, 2017).

CDV Ingeniería Antisísmica (2018), menciona que la empresa TAYLOR DEVICES es la empresa líder mundial en proveer tecnología de protección sísmica, como los disipadores de energía de fluido viscoso (ver Figura 8), cuenta con muchos edificios desde hospitales, clínicas, oficinas y edificios multifamiliares en el epicentro del Terremoto de Tohoku Japón (2011) que se comportaron satisfactoriamente durante el sismo ocurrido de intensidad IX.

Figura 8

Disipadores de energía de fluido viscoso



Nota: Tomado de *Fluid Viscous Dampers Can Protect Your Structure* por Taylor devices inc, 2024.

Por lo tanto, los disipadores de energía de fluido viscosos son elementos dependientes de la velocidad idóneos para atenuar esfuerzos y deflexiones de una estructura, ya que su fuerza se adapta dinámicamente a la velocidad, por lo que no requieren de mantenimiento, lo que contribuye a su durabilidad. La disipación de energía se materializa a través de la



circulación de fluido viscoso mediante un orificio estrecho, generando fricción entre las paredes del orificio y el fluido.

Objetivos de los disipadores de energía de fluido viscoso

Chavez (2017) en su exposición menciona que los DFV tienen como objetivo principal mejorar el desempeño de las estructuras en todos los niveles de peligrosidad sísmica como:

- Disminuir la interrupción del uso de la instalación
- Minimizar las deformaciones dañinas en los componentes estructurales y no estructurales.
- Minimizar la respuesta de aceleraciones para minimizar el daño relacionado a los contenidos.

Ventajas de los disipadores de energía de fluido viscoso

Chavez (2021) en su exposición menciona que el uso de los disipadores de energía de fluido viscoso tiene las siguientes ventajas:

- **Técnicas**
 - Incrementa el amortiguamiento disipación de la energía sísmica en un 20% a 40% por ende, la reducción de desplazamientos y esfuerzos, por consiguiente, se reducen los daños estructurales.
 - Mejoría en el desempeño de la estructura.
 - Reducción de las derivas máximas.

- **Funcionales**

- Sistema eficaz para edificaciones de mediana y grandes alturas.
- Útiles para reforzamiento de estructuras y proyección de edificaciones nuevas.

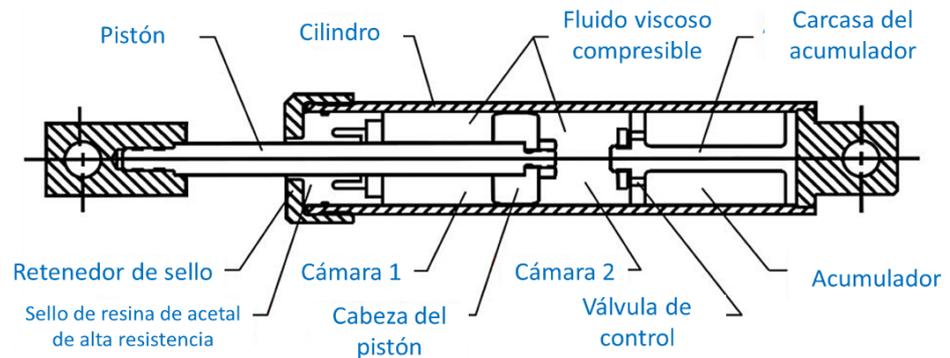
Los DFV, cuando están en buen estado de funcionamiento, no presentan fugas en absoluto y no necesitan ningún tipo de dispositivo adicional para mantenerse llenos de fluido, no hay ningún componente que se desgaste o degrade con el tiempo, lo que significa que su vida útil no tiene un límite práctico, con un período de garantía de 35 años. Para garantizar el rendimiento y estabilidad, todos los componentes del disipador viscoso, incluyendo el fluido, deben ser seguros para cualquier aplicación y no contener sustancias tóxicas o inflamables, como en el caso de los fluidos a base de silicona (Lee & Taylor, s. f.).

Componentes del disipador viscoso

Taylor (1999), señala que los elementos de diseño esenciales de un amortiguador de fluido son relativamente pocos. A continuación en la Figura 9 muestra un amortiguador de fluido típico y sus componentes, se puede ver que simplemente moviendo el vástago del pistón hacia adelante y hacia atrás, el fluido pasa de una cámara a otra mediante los orificios ubicados en la cabeza del pistón, generando una fuerza de amortiguación.

Figura 9

Componentes de un disipador de energía de fluido viscoso



Nota: Tomado de *Buildings: design for damping* por Taylor, 1999.

Pistón. Es un elemento delgado fabricado con material de acero de alta resistencia que reacciona ante las fuerzas de amortiguamiento, proporciona una interfaz para sellar y soporta las cargas que le transmite la columna.

Cilindro. El cilindro del amortiguador es un elemento del disipador fabricado con tubos de acero sin costura que contiene el medio fluido y debe soportar la carga por vibración que le transmite el sismo.

Fluido. Es un tipo de fluido uniforme silicónico que no se degrada con el tiempo, que resiste al fuego y no se produce una sedimentación a largo plazo.

Sello. Los sellos son materiales de sellado utilizados en un amortiguador de fluido viscoso por lo que deben tener una vida útil y compatibilidad con el fluido viscoso, pudiendo ser sellos dinámicos fabricados con polímeros estructurales de alta resistencia para eliminar la adherencia o sellos estáticos donde las tapas de los extremos están unidos al cilindro.

Cabeza de pistón. Es un elemento del disipador de fluido viscoso que divide el cilindro en dos cámaras de presión, su función es barrer el fluido por medio de los orificios internos, creando así una presión amortiguadora.

Retenedor del sello. Son elementos enroscables empleados para cerrar los extremos abiertos del cilindro.

Acumulador. Es un bloque de material plástico con celda cerrada o una de goma, que cumple la función del cambio volumétrico del pistón cuando entra y sale durante la excitación. También tiene una segunda función de regular la expansión y contracción térmica del fluido.

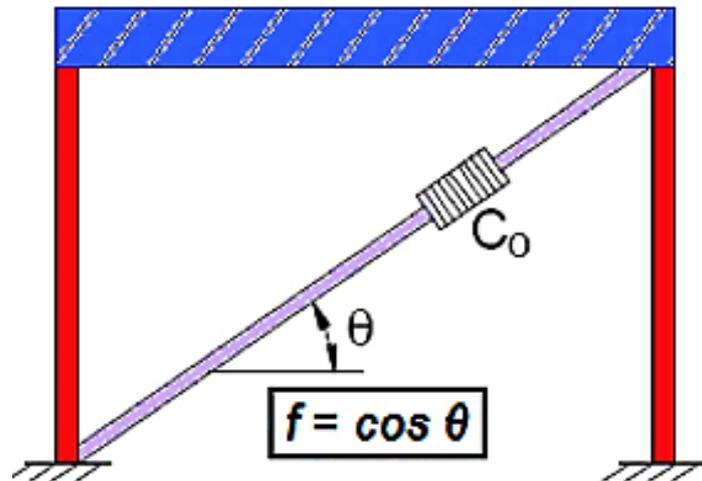
Disposición de los disipadores de fluido viscoso

Según Morales & Contreras (2012) con respecto a la disposición de DFV, hay varias configuraciones que permiten alcanzar una eficiencia distinta. Esta eficacia se puede evaluar en términos de la fuerza aplicada al dispositivo en relación con la velocidad o desplazamiento de entrepiso. A continuación, se muestran algunos arreglos de disipadores más comunes:

Disposición diagonal. Lo que ocurre con esta configuración es que el desplazamiento axial no supera la distorsión del entrepiso, lo que conlleva a una disipación de energía reducida. Este arreglo brinda mayor comodidad durante su instalación y es la más económica, debido a que solo se usa un disipador por pórtilo (ver Figura 10 y Figura 11). Sin embargo, esta configuración suele tener la eficiencia más baja debido a que la mayoría de veces demanda disipadores de mayor tamaño para garantizar que la distorsión del entrepiso se mantenga dentro de los límites permisibles. La eficiencia del sistema está determinada por el ángulo de inclinación del brazo metálico que soporta el disipador, representado mediante la fórmula $f = \cos(\theta)$.

Figura 10

Eficiencia disipador fluido viscoso en disposición diagonal



Nota: Tomado de *Seismic Protective Systems: Passive Energy Dissipation* citado en Morales & Contreras, 2012.

Figura 11

Disipadores de fluido viscoso en disposición diagonal



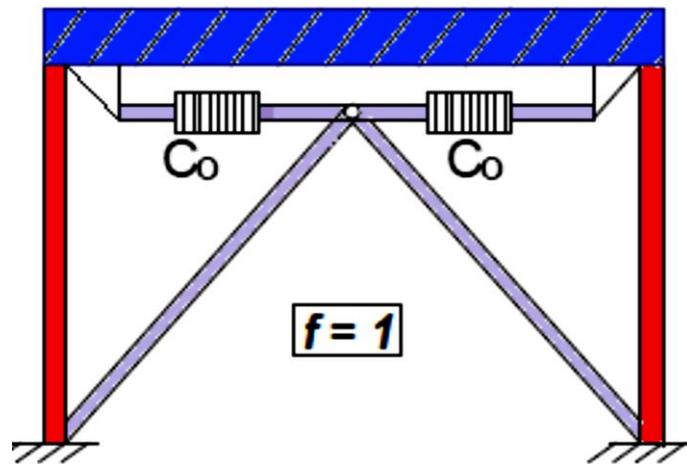
Nota: Adaptado de *Reforzamiento de edificios gubernamentales con disipadores de fluido viscoso* por Taylor Devices, como se citó en Burgos, 2017.

Disposición Chevron Brace. La configuración Chevron Brace puede lograr una eficiencia de 1 como en la Figura 12 y Figura 13 es decir toda la capacidad del disipador sirve para controlar el movimiento lateral de la

estructura. Para lograrlo es necesario que los arriostres que lo sostienen tengan una alta resistencia lateral.

Figura 12

Eficiencia disipador fluido viscoso en disposición Chevron Brace



Nota: Tomado de *Seismic Protective Systems: Passive Energy Dissipation*, citado en Morales & Contreras, 2012.

Figura 13

Disipadores de fluido viscoso en disposición Chevron Brace

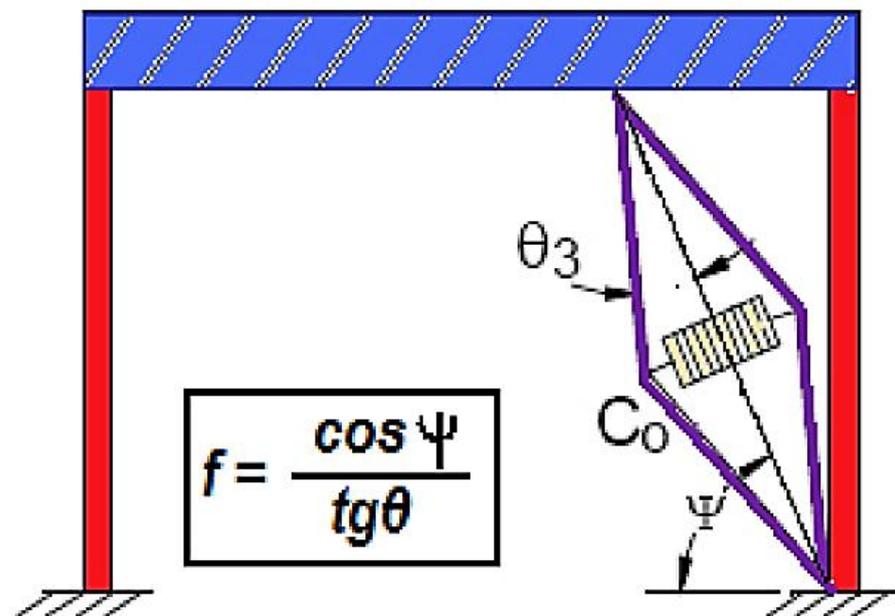


Nota: Adaptado de *Disipadores/amortiguadores sísmicos de fluido viscoso*, CDV Ingeniería Antisísmica, 2018.

Disposición Scissor Jack. Este tipo de disposición (ver Figura 14) requiere menor espacio, ideal para no afectar la arquitectura de puertas y ventanas, sin embargo, requiere de una mayor inversión. Funciona adicionando el desplazamiento del pistón para un desplazamiento de entrepiso, razón por la cual tiene una eficiencia mayor 1. La eficiencia depende del ángulo de inclinación del dissipador (Ψ) y del ángulo de la armadura (θ) según la relación $f = \cos(\theta) / \text{tg}(\psi)$.

Figura 14

Eficiencia dissipador Fluido Viscoso disposición Scissor Jack



Nota: Tomado de *Seismic Protective Systems: Passive Energy*, como se citó en Morales & Contreras, 2012.

2.2.2. De la variable dependiente V2: Comportamiento estructural

El comportamiento estructural consiste en analizar cómo responde la estructura ante determinadas sollicitaciones o fuerzas, se tomará como patrón o línea base una estructura de concreto armado sin dissipadores de energía para mostrar la variación en porcentajes de las respuestas sísmicas frente a una sistema

con disipadores de energía de fluido viscoso que toma en consideración normas americanas. Para este caso se estudia las derivas de entrepiso, fuerzas cortantes basales y periodos de vibración de la estructura.

2.2.2.1. Métodos de análisis sísmico para evaluar el comportamiento estructural

Análisis Estático

Según la norma de diseño sismorresistente (R.N.E. E.030, 2018) “este método representa las sollicitaciones sísmicas mediante un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masas de cada nivel de edificación”.

Este método puede aplicarse para analizar todas las estructuras, tanto regulares como irregulares, que se encuentren en la zona sísmica 1. En zonas sísmicas 2, 3 y 4, este procedimiento puede ser empleado para estructuras clasificadas como regulares, no mayor a 30 m de altura (R.N.E. E.030, 2018).

Análisis Dinámico Modal Espectral (ADME)

El análisis modal espectral es un método que se centra en el cálculo de los valores máximos de desplazamientos y aceleraciones en cada modo de vibración, empleando un espectro de diseño. Estos valores máximos se combinan posteriormente utilizando diferentes métodos, como el promedio ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de estos valores máximos, utilizando el método de combinación cuadrática completa (CQC), que además tiene en cuenta la correlación entre los valores máximos en los diferentes modos. Esto permite obtener

valores estimados más precisos de desplazamientos y fuerzas (Salinas, s. f.).

Modos de Vibración

Respecto a los modos “Los modos de vibración podrán determinarse por un procedimiento de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas.” (R.N.E. E.030, 2018)

Según la norma (R.N.E. E.030, 2018) señala que en cada dirección “se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, pero deberá tomarse en cuenta por lo menos los tres primeros modos predominantes en la dirección de análisis”.

Aceleración Espectral

De acuerdo a la norma E.030 (2018) para cada dirección que se evalúa se utiliza un espectro inelástico de pseudoaceleraciones dada por la fórmula siguiente:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Desplazamientos laterales

De acuerdo a la R.N.E. E.030 (2018), en el análisis estructural, los desplazamientos laterales para estructuras regulares se determinan considerando un factor de reducción de 0.75R aplicado a los resultados obtenidos del análisis lineal elástico, teniendo en cuenta las sollicitaciones sísmicas reducidas. Por otro lado, en el caso de estructuras irregulares, se emplea un factor de 0.85R se realiza el cálculo de los desplazamientos

laterales multiplicando por 0.85R los resultados obtenidos del análisis lineal elástico. De esa manera se busca ajustar de manera adecuada los desplazamientos laterales para diferentes tipos de estructuras, considerando la irregularidad de las mismas y garantizando una evaluación precisa de su comportamiento frente a cargas sísmicas.

Desplazamientos laterales relativos admisibles

Conforme a la R.N.E. E.030 (2018), el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, calculado no debe superar la fracción de la altura de entrepiso establecida en la Tabla 2.

Tabla 2

Límites para distorsión del entrepiso

Material predominante	(Δ_i/h_{ei})
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Nota: Tomado de *Diseño sismorresistente* por N.T.P. E.030, 2018.

Análisis Dinámico Tiempo Historia Lineal (ATHL)

El análisis dinámico tiempo historia es un procedimiento que consiste en la evaluación de la respuesta dinámica de una estructura particular en diferentes intervalos de tiempo. Para llevar a cabo este proceso, se emplean registros reales o generados artificialmente, conocidos como acelerogramas que describen la aceleración del suelo a lo largo del tiempo durante un evento (Medina & Núñez, 2018).

En un análisis de historia de tiempo lineal, podemos obtener una aproximación sobre la capacidad de resistencia requerida por la estructura. Sin embargo, en un análisis de historia de tiempo no lineal, podemos obtener una comprensión más precisa ya que considera las características inelásticas de los materiales (Medina & Núñez, 2018).

Según los códigos de diferentes países para el análisis de edificaciones con DFV, se requiere la utilización de 11 registros sísmicos para un buen grado de precisión, y el resultado se obtendrá promediando estos registros.

Para llevar a cabo un ATHL, es necesario someter los registros sísmicos a un proceso de corrección por línea base y filtrado, así como se muestra en la Figura 15, luego, un escalamiento a la máxima aceleración del suelo en relación a un espectro objetivo o de diseño como en la Figura 16 a través de softwares específicos, para la corrección de la línea base y el filtrado de los registros se usa el software SeismoSignal y para el escalamiento se usa el SeismoMatch (Chavez, 2017).

Corrección de registros sísmicos

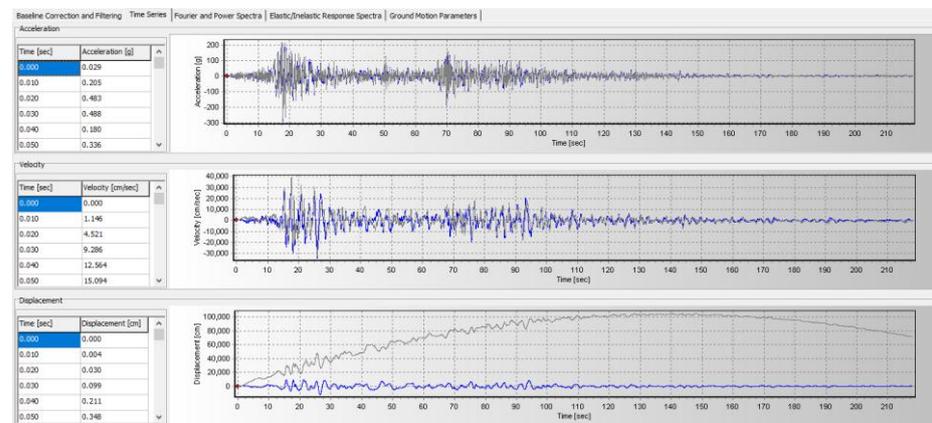
Corrección de línea base. Este método se emplea con el fin de prevenir desviaciones en los acelerogramas con respecto al registro original, consistiendo en la aplicación de una corrección punto por punto que se iguala al promedio aritmético del propio registro (Chavez, 2021).

Filtrado de la señal. La filtración de señales se aplica para remover componentes de frecuencia no deseados en una señal específica, como el ruido de alta y baja frecuencia comúnmente presente en los lugares de

registro. Factores como el tráfico vehicular y el ruido ambiental generan este ruido. En consecuencia, otra señal con un cierto nivel se superpone a la señal original, lo cual puede ocultar características importantes de la señal inicial (Chavez, 2021).

Figura 15

Corrección por línea base y filtrado del acelerograma



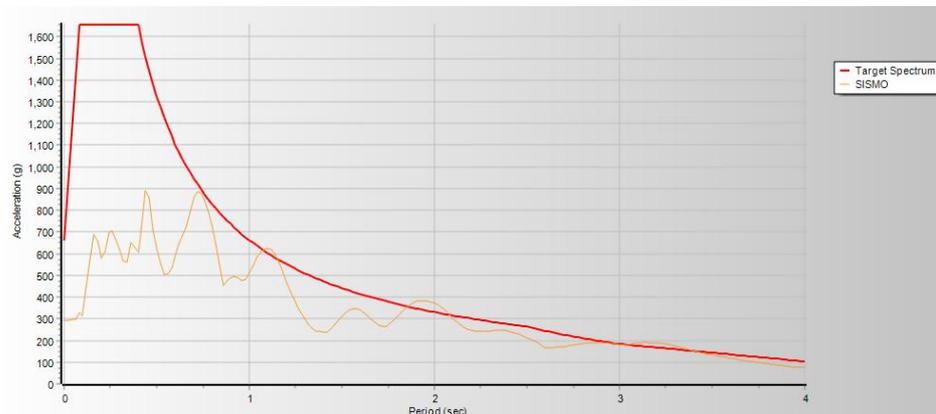
Nota: Elaboración propia con el apoyo del software SeismoSignal.

Escalamiento de registros sísmicos

Cuando se lleva a cabo un análisis dinámico destinado a evaluar el desempeño en un rango de no linealidad, como resultado de la futura incorporación de disipadores de energía, es necesario realizar un nuevo rediseño de la edificación. Esto significa que la simulación se ajusta desde un sismo moderado a uno extremadamente severo, que será el espectro de diseño al cual se ajustarán los registros sísmicos (Chavez, 2021).

Figura 16

Escalamiento del acelerograma al espectro objetivo o de diseño



Nota: Fuente propia.

Los rangos de escalamiento pueden ser tomados del ASCE/SEI 7-22 o en su defecto ajustar por completo el registro sísmico. Los rangos de acuerdo al ASCE/SEI 7-22 son de $0.20T_D$ y $2T_M$.

Análisis no lineal rápido o Fast No Linear Analysis (FNA)

El análisis no lineal rápido o Fast Nonlinear Analysis (FNA), también conocido como análisis modal no lineal, se fundamenta en la noción de reducir los grados de libertad del sistema mediante la aplicación de vectores de Ritz que se ajustan de acuerdo con las distribuciones de carga (García, 2009).

El FNA es una técnica de análisis modal que se utiliza para evaluar tanto sistemas estructurales lineales como no lineales, ya sea en un contexto estático o dinámico. Gracias a su enfoque computacionalmente eficaz, el FNA se convierte en una elección muy apropiada para realizar análisis tiempo historia, el cual revela buenos resultados si las respuestas no lineales se concentran en los links con ese comportamiento y

frecuentemente se sugiere como alternativa a las aplicaciones de integración directa (CSI, 2016).

Asimismo CSI (2016) al emplear el análisis FNA dinámico no lineal, los modelos analíticos deben cumplir con los siguientes criterios::

- Mantener un comportamiento predominantemente lineal-elástico.
- Incluir un número limitado de elementos no lineales previamente definidos. (Disipadores de Fluido Viscoso que se modelan como elementos Link concentrados en los Softwares de modelamiento).
- Comportamiento no lineal agrupado dentro de objetos de enlace.

Aunque los dispositivos no forman parte esencial de la concepción del diseño, un análisis elástico preliminar puede identificar áreas propensas a inelasticidad. Sin embargo, es recomendable prever mecanismos inelásticos para que el diseño proporcione la ductilidad necesaria, asegurando que los sistemas elásticos mantengan la resistencia adecuada (CSI, 2016).

Según Alvarez (2017) el análisis no lineal rápido (FNA) es una metodología directa que se caracteriza por cumplir con los principios de la mecánica, que incluyen el equilibrio, la relación entre fuerza y deformación, así como la compatibilidad estructural. El equilibrio de las fuerzas en el modelo computacional de una estructura en un momento "t" se formula mediante la siguiente ecuación de matriz:

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K]u(t) + [R](t)_{NL} = [R](t)$$

Donde:

$[M]$: matriz de masas

$[C]$: matriz de amortiguamiento

$[K]$: matriz de rigidez

El tamaño de estas tres matrices cuadradas equivale al número total de desplazamientos incógnitos en los nodos de referencia, representado por "Nd". La matriz de rigidez elástica $[K]$ excluye la rigidez de los elementos no lineales. Los vectores que varían en el tiempo, $\ddot{u}(t)$, $\dot{u}(t)$, $u(t)$, y $[R](t)$, representan la aceleración, la velocidad, el desplazamiento y la carga aplicada externamente en el nodo de referencia, respectivamente. El vector $[R](t)_{NL}$ representa vector de fuerza nodal global de la suma de las fuerzas en los elementos no-lineales, calculado iterativamente en cada instante del tiempo.

Si resolvemos la ecuación mencionada previamente, obtendríamos la siguiente expresión:

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [K]u(t) = R(t) - R(t)_{NL}$$

De acuerdo con Alvarez (2017) una matriz de rigidez efectiva lineal, denotada como $[K_N]$, se agrega en ambas partes de la ecuación para los elementos no lineales. La rigidez efectiva puede variar en un rango entre cero y la máxima rigidez no lineal. La ecuación de equilibrio dinámico resultante se asemeja a las ecuaciones modales elásticas lineales, y todos los efectos no lineales se incluyen en el lado derecho de la ecuación:

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + ([K]u(t) + [K_N]u(t)) = [R](t) - [R](t)_{NL} + [K_N]u(t)$$

En consecuencia, es posible expresar las ecuaciones de equilibrio dinámico para el modelo computarizado no lineal de la siguiente manera:

$$[M]\ddot{u}(t) + [C]\dot{u}(t) + [\bar{K}]u(t) = [\bar{R}](t)$$

Donde:

$$[\bar{K}]u(t) = [K]u(t) + [K_N]u(t) \quad (\text{Matriz conocida})$$

$$[\bar{R}](t) = [R](t) - [R](t)_{NL} + [K_N]u(t) \quad (\text{Matriz a ser evaluada por iteración})$$

El método FNA permite su uso sin requerir la inclusión de todos los modos estructurales disponibles en su conjunto completo. Por lo tanto, se recomienda emplear el método de vectores de Ritz dependiente de la carga para identificar un número adecuado de modos estructurales que representen eficazmente el comportamiento de la respuesta de la estructura. Al utilizar el método FNA, es posible resolver un número de ecuaciones considerablemente menor que el total de grados de libertad presentes en la estructura, especialmente en estructuras con una limitada cantidad de grados de libertad no lineales. Esto resulta en un tiempo de análisis notablemente reducido en comparación con el análisis de integración directa en el tiempo, manteniendo una precisión comparable Alvarez (2017).

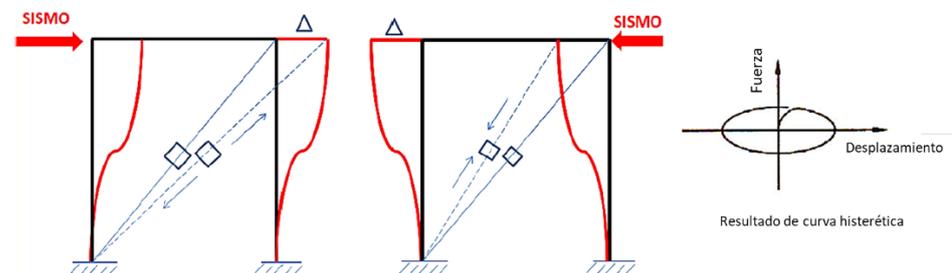
2.2.2.2. Comportamiento de los disipadores de energía de fluido viscoso

También se ha percibido que los disipadores de energía además de emplearse por su capacidad de disipación de energía sísmica, también se han venido implementando para aumentar la capacidad estructural, sin embargo en ambos casos el nivel de disipación de energía dependerá del

diseño del proyecto y la calidad de la construcción, lo que implica que “el comportamiento del disipador depende de en qué dirección se coloca y el eje en la que se someterá la estructura al deformarse por el evento sísmico” (Burgos, 2014) citado en Azuncion (2016, p. 33). En la Figura 17, se observa que el amortiguador absorbe la energía a través de fuerzas de fricción interna, las cuales actúan en tensión o compresión, en ambas direcciones, es claro que, durante el desplazamiento máximo de la estructura, se observa que la fuerza aplicada a la misma alcanza su valor más alto. No obstante, en este mismo instante, la fuerza ejercida por el disipador viscoso se encuentra en su nivel más bajo.

Figura 17

Comportamiento del disipador de fluido viscoso

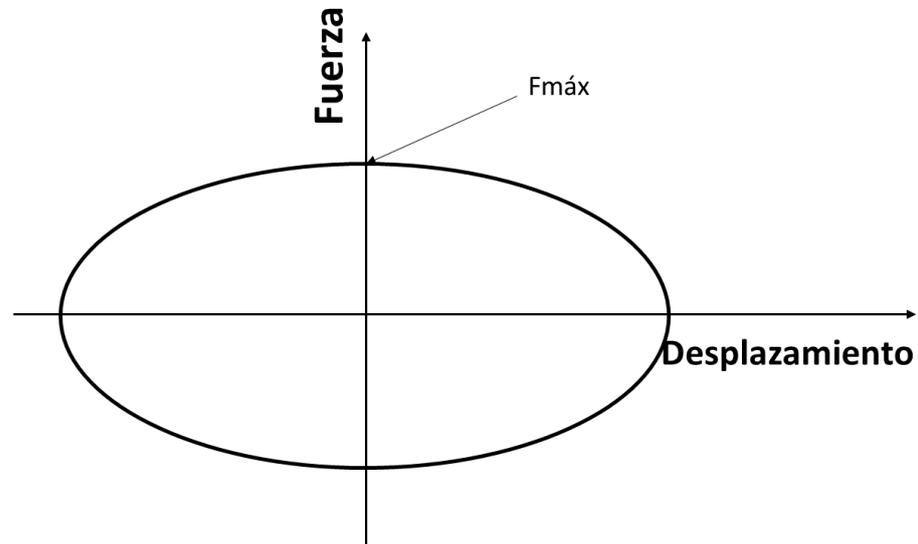


Nota: Adaptado de Burgos, 2014, citado en Azuncion, 2016, (p.33).

Según FEMA 273-274 (1997), El comportamiento de la curva histerética se aprecia en la Figura 18, es decir, la curva que representa la relación entre fuerza y deformación, esta deberá, ser de tipo elíptica. En caso contrario se tendría que cambiar la disposición de los disipadores.

Figura 18

Curva histerética



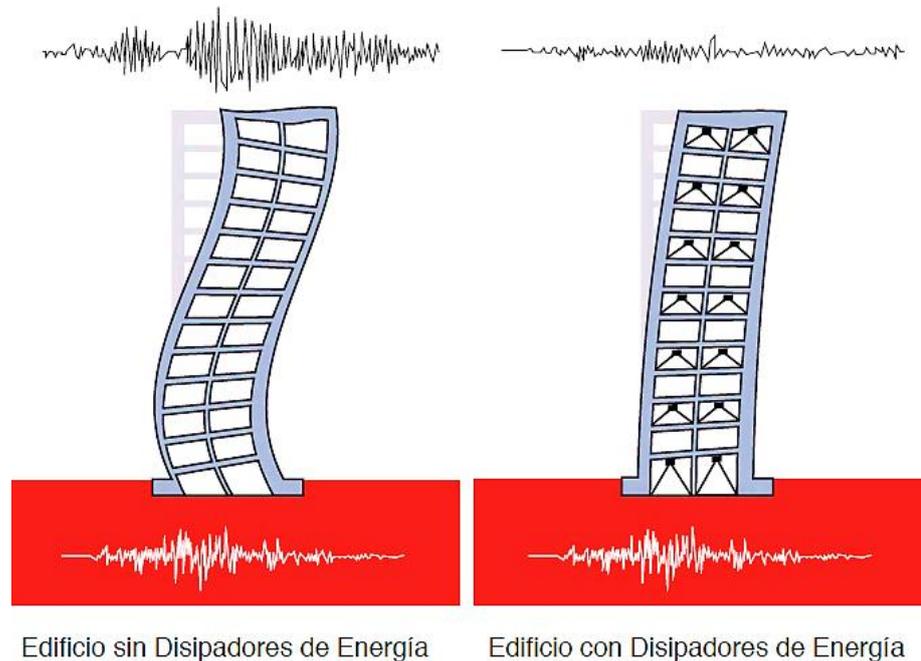
Nota: Tomado de *NEHRP Comentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buldings*, FEMA 274, 1997.

Asimismo, la CDT (2011) menciona que los disipadores de energía adicionan amortiguamiento sin afectar su rigidez lateral porque se activan a partir de las velocidades relativas de los extremos del dispositivo, inducidos por los movimientos de la estructura durante un sismo.

Por lo tanto, según la Figura 19 al comparar el edificio sin disipadores con uno que tiene disipadores, se aprecia que la aceleración producto del sismo llega igual para ambas estructuras, pero cuando el edificio tiene disipadores de energía sea de cualquier tipo, la estructura lo que hace es detectar que tiene dispositivos especiales. En cambio, en un edificio sin disipadores toda la energía sísmica es capturada por la propia estructura, llegando a ingresar a la zona inelástica, donde empiezan a formarse rótulas plásticas ocasionando la falla en vigas y luego en las columnas (CDT, 2011).

Figura 19

Comparación de edificio sin disipadores y con disipadores de energía



Nota: Adaptado de *Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*, Corporación de Desarrollo Tecnológico, 2011.

2.2.2.3. Modelo matemático

Vibración libre viscosamente amortiguada

La vibración libre ocurre cuando una estructura oscila sin la influencia de una fuerza externa (Chopra, 2014). El comportamiento de la vibración libre amortiguada se representa matemáticamente por la siguiente ecuación:

$$M\ddot{u} + C\dot{u} + Ku = P(t)$$

Donde:

\ddot{u} : Aceleración dependiente del tiempo

\dot{u} : Velocidad dependiente del tiempo

u : Desplazamiento dependiente del tiempo

K : Rigidez

M : Masa

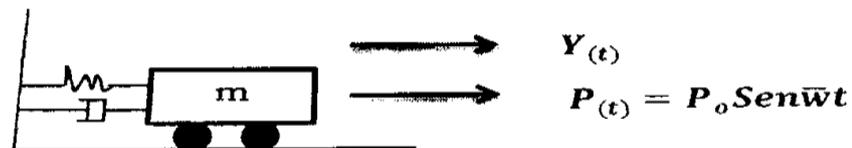
C: Coeficiente de amortiguamiento

Vibración forzada viscosamente amortiguada

El enfoque principal de la investigación es el trabajar y analizar determinadas estructuras que incorporan un amortiguamiento adicional, el cual se activa mediante la vibración forzada generada por un sismo (ver Figura 20). El sismo generará una carga armónica con fracciones de amortiguamiento, y a través de un adecuado decremento logarítmico, la estructura volverá gradualmente a su estado inicial de reposo (Chavez, 2017).

Figura 20

Acción forzosamente viscosa amortiguada en una masa



Nota: Adaptado de *Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso* por Chavez, 2017.

$$M\ddot{x}_{(t)} + c\dot{x}_{(t)} + Kx_{(t)} = P_o \text{sen } \bar{w}t$$

2.2.2.4. Balance energético

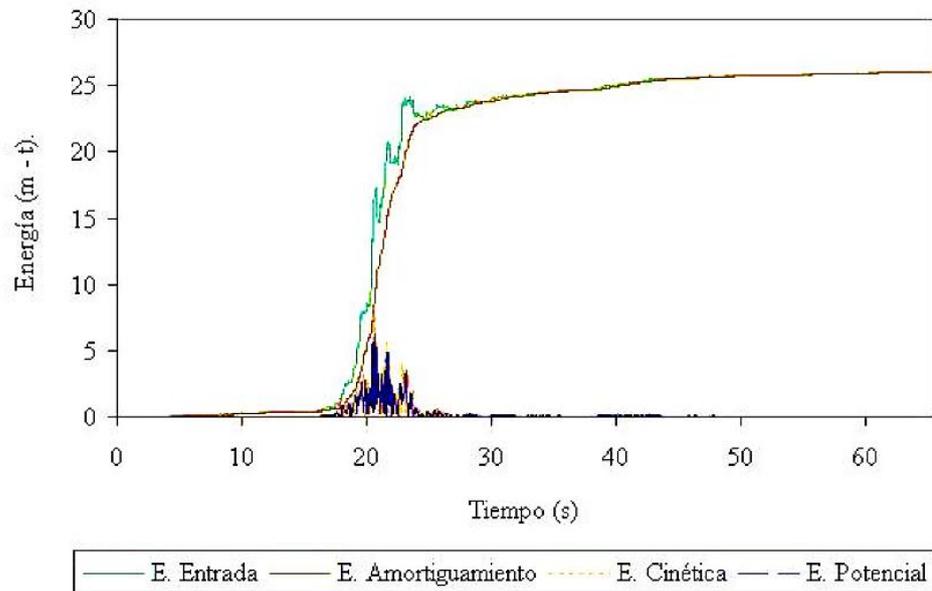
Al optimizar una estructura utilizando sistemas de protección sísmica como DFV, es necesario considerar la extracción de un gráfico que ilustra el balance energético de la estructura. Esto implica obtener las curvas que representan la energía introducida por el sismo severo, así como la energía cinética, la energía potencial, el amortiguamiento proporcionado por la estructura y el amortiguamiento generado por todos los disipadores, tanto en su conjunto como individualmente (Chavez, 2017).

La Figura 21 ilustra el balance de energía de una estructura sin disipadores de energía sísmica. En esta representación, es evidente que la energía que ingresa es completamente absorbida por la estructura.

$$E_{sismo} = E_{cinética} + E_{potencial} + E_{edificio}$$

Figura 21

Balance de energía para un edificio sin disipadores



Nota: Adaptado de *Edificaciones sin disipadores viscosos* por Villarreal & Díaz, 2016.

En la Figura 22, se presenta la distribución de energía para la misma estructura, pero esta vez se han incorporado dispositivos de disipación de energía en el diseño. En esta representación, se puede observar que la energía de amortiguamiento ha aumentado, lo que a su vez disminuye la demanda de disipación de energía a través de la ductilidad de la estructura. El color verde representa la energía de entrada del sismo, el color mostaza denota la energía absorbida por el material de construcción, el color rojo indica la energía absorbida por los dispositivos de disipación

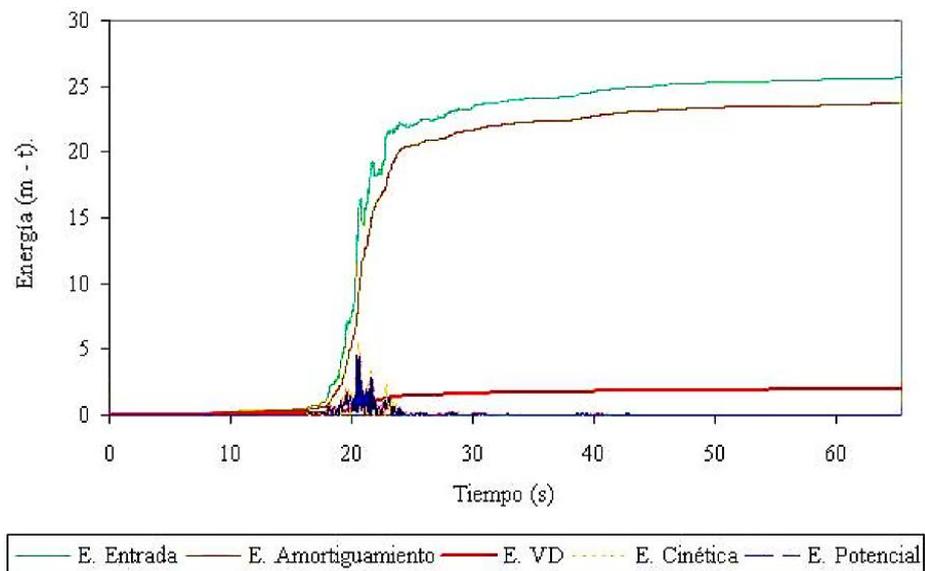
de energía, el color amarillo representa la energía cinética y el color azul la energía potencial (Villarreal & Díaz, 2016).

La conservación de energía para un edificio con disipadores de energía se plantea de la siguiente relación:

$$E_{sismo} = E_{cinética} + E_{potencial} + E_{edificio} + E_{disipador}$$

Figura 22

Balance de energía de un edificio con disipadores



Nota: Adaptado de *Edificaciones con disipadores viscosos* por Villarreal & Díaz, 2016.

El cálculo del porcentaje de disipación de energía sísmica se llevará a cabo utilizando la siguiente proporción.

$$\% \text{ de disipación de energía} = \frac{\text{energía disipada por los dispositivos}}{\text{energía de entrada del sismo severo}} \times 100$$

“Al tener un sistema, ante el inicio del sismo los primeros en actuar y contrarrestar las fuerzas laterales serán los disipadores, posteriormente la propia estructura” (Chavez, 2017).

2.2.2.5. Ecuación general del disipador

Según Villarreal & Díaz (2016) , “los disipadores de fluido viscoso conceden una fuerza que resiste el movimiento de la estructura, el cual es proporcional a la velocidad relativa entre los extremos del disipador de fluido viscoso”. La ecuación de fuerza debido al amortiguamiento del disipador es:

$$F = CV^\alpha$$

Donde:

F = Fuerza axial del disipador

C = Coeficiente de amortiguamiento

V = Velocidad del disipador

α = Exponente de velocidad

2.2.2.6. Cálculos de los disipadores de fluido viscoso

Factor de reducción de respuesta sísmica (B)

El factor de reducción de la respuesta sísmica se calcula como el cociente entre la deriva máxima registrada durante los eventos sísmicos y la deriva objetivo de diseño. Este cálculo considera o no la metodología Hazus que relaciona el daño con la deriva según la amenaza sísmica y el nivel de desempeño del comité VISIÓN 2000. La fórmula utilizada para este cálculo es la siguiente:



$$B = \frac{D_{max}}{D_{objetivo}}$$

Donde:

B : Factor de reducción de respuesta sísmica

D_{max} : Deriva máxima del edificio

$D_{objetivo}$: Deriva objetivo al cual se pretende llegar empleando disipadores de energía de fluido

Amortiguamiento efectivo (B_{eff})

Según FEMA 274, el amortiguamiento efectivo " β_{eff} " del disipador se deducirá a partir del factor de reducción de la respuesta sísmica " B " que presenta sistema de disipadores.

$$B = \frac{2.31 + 0.41 \ln(B_o)}{2.31 + 0.41 \ln(B_{eff})}$$

Donde:

B : Factor de reducción de respuesta sísmica

B_o : Amortiguamiento inherente a la estructura (se considera 5%
Para edificaciones de concreto armado)

B_{eff} : Amortiguamiento efectivo



Amortiguamiento viscoso (β_H)

De acuerdo con Villarreal & Díaz (2016), este amortiguamiento efectivo comprende a ser amortiguamiento al principio " β_o " que se asume en 5% para estructuras de concreto armado, a ello se añade el amortiguamiento respecto a los disipadores dentro de la estructura " β_H ". Como se ve en la siguiente ecuación:

$$\beta_{eff} = \beta_o + \beta_H$$

Por ende, el amortiguamiento viscoso " β_H " se calcula como la diferencia entre el amortiguamiento efectivo del disipador y el amortiguamiento intrínseco de la estructura. .

$$\beta_H = \beta_{eff} - \beta_o$$

Rigidez de brazo metálico (K)

Según el manual del AISC Steel Construction 15th edición los brazos metálicos deben ser adosados a los pórticos estructurales de acuerdo a la disposición elegida, en caso de no lograr un adecuado comportamiento acorde a la curva histerética, deberá modificarse la forma de colocación elegida inicialmente. Para su cálculo se emplea la siguiente fórmula:

$$K = \frac{EA}{L} \text{ Tn/m}$$

Donde:

E: Coeficiente de elasticidad del acero



A: Área de la sección del brazo metálico

L: Longitud del brazo metálico

Las riostras metálicas que sujetan los amortiguadores de fluido viscoso estarán sujetas al esfuerzo axial tanto en tracción como en compresión. Es frecuente utilizar perfiles HSS o tipo PIPE debido a su aspecto estético y facilidad de montaje. Durante el proceso de diseño, es necesario realizar pruebas y comprobaciones para asegurar la eficacia y funcionalidad del brazo metálico.

$$\phi T_n = \phi F_y A_g \geq T_a \quad (\text{tensión})$$

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g \geq P_a \quad (\text{compresión})$$

Donde:

ϕ : Factor de reducción (0.9)

A_g : Área bruta de la sección del brazo metálico

T_n : Resistencia nominal a tensión del brazo (LRFD)

P_n : Resistencia nominal a compresión del brazo (LRFD)

T_a : Fuerza de tensión actuante en el brazo con el sismo extremo

P_a : Fuerza de compresión actuante en el brazo con el sismo extremo

Coefficiente de amortiguamiento no lineal (C_j)

Según FEMA 273 y 274 la fórmula de amortiguamiento efectivo que se usa cuando se considera un disipador no lineal con valores de $\alpha < 1$ es el siguiente:

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

Es partir de dicha ecuación que se despeja el coeficiente de amortiguamiento para su respectivo cálculo, el coeficiente de amortiguamiento no lineal " C_j " es una constante que varía según las propiedades del fluido y el comportamiento del dispositivo.

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

Donde:

β_H : amortiguamiento viscoso de la estructura

λ : parámetro lambda

C_j : coeficiente de amortiguamiento del disipador j

ϕ_{rj} : desplazamiento relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (con sismo de diseño)

ϕ_j : ángulo de inclinación del disipador j

A : amplitud de desplazamiento del modo fundamental



ω : frecuencia angular

m_i : masa del nivel i

ϕ_i : desplazamiento del nivel i (con sismo de diseño)

a. Exponente velocidad (α) y parámetro lambda (λ)

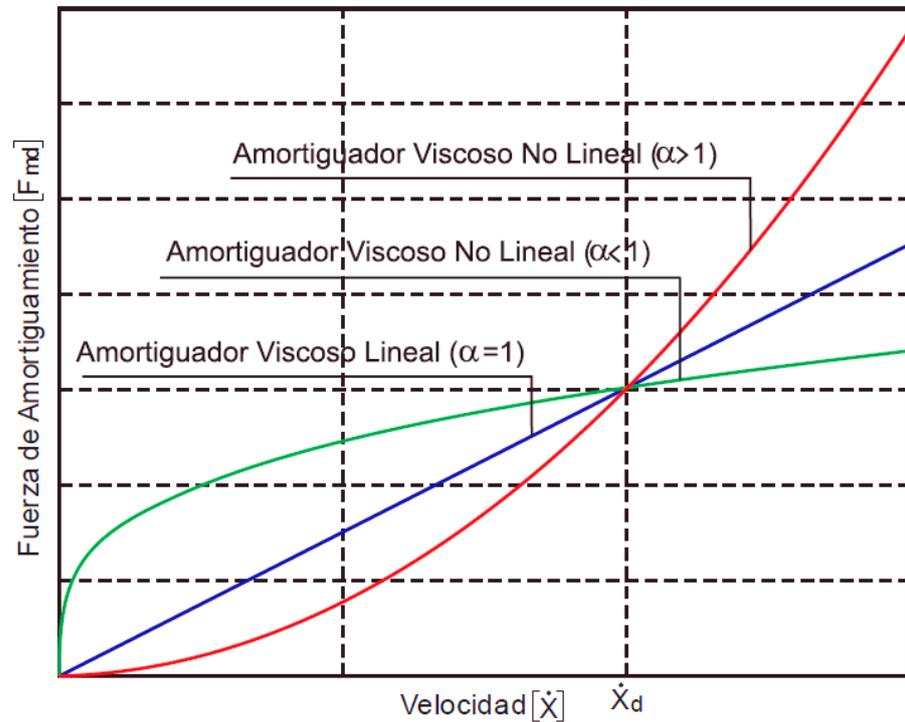
“El exponente de velocidad es el valor que define la reacción del dispositivo ante impactos producto de la dependencia de la velocidad de los disipadores viscosos, generando ante dichos desplazamientos un gráfico del comportamiento histerético” (Chavez, 2017).

De acuerdo con Villarreal & Díaz (2016) para elegir el valor adecuado de α para el diseño, es necesario tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Los DFV con un valor $\alpha = 1$ son denominados como dispositivos lineales, donde la fuerza del dispositivo es proporcional a la velocidad relativa, lo que implica que se requiere una velocidad regular para generar la fuerza de amortiguamiento.
- Los DFV con un valor de $\alpha > 1$ o $\alpha < 1$, son los denominados como dispositivos no lineales. Los disipadores con valores de $\alpha < 1$ son eficaces para reducir pulsos de alta velocidad, generando así grandes fuerzas de amortiguamiento. Sin embargo, los disipadores con $\alpha > 1$ requieren altas velocidades para aumentar significativamente la fuerza en el disipador, lo que los hace menos comunes en aplicaciones estructurales.

Figura 23

Relación Velocidad vs Fuerza de amortiguamiento del disipador



Nota: Adaptado de *Edificaciones con disipadores viscosos* por Villarreal & Díaz, 2016.

De la Figura 23 se observa que el amortiguador viscoso no lineal ($\alpha < 1$), es el más eficiente debido a que ante mínimas velocidades genera grandes fuerzas de amortiguamiento respecto a los otros disipadores con $\alpha = 1$ y $\alpha > 1$.

Villarreal & Díaz (2016) comentan que en muchos casos el valor de α del exponente de velocidad está comprendido en el rango de 0.3 a 1.0, pero demostraciones que recomiendan que los valores de α para el diseño sísmico de edificios y de puentes estén en el rango de 0.4 a 0.5.

FEMA 274 (1997) proporciona una tabla para determinar el parámetro lambda en función del valor de α , relacionado con el comportamiento y tipo de disipador a utilizar.

Tabla 3

Valores del parámetro lambda en función al exponente alpha

Coefficiente de velocidad α	Valores del parámetro lambda
	λ
0.25	3.7
0.50	3
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Nota: Adaptado de *NEHRP Comentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buldings* por FEMA 274, 1997.

b. Frecuencia angular (ω)

Según Chopra (2014) para el cálculo de la frecuencia angular se hace uso de la fórmula de dinámica estructural:

$$\omega = \frac{2\pi}{T}$$

Donde:

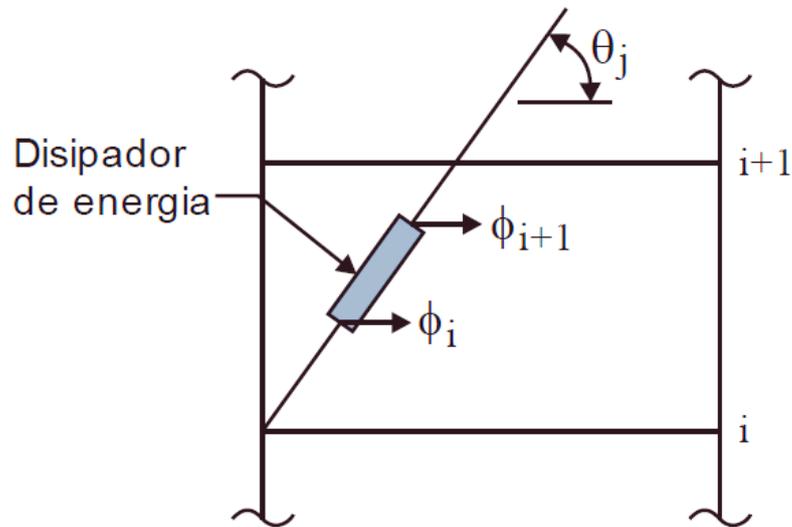
T: periodo natural de vibración del primer modo.

c. Ángulo de inclinación del dispositivo (θ_j)

Villarreal & Díaz (2016) el ángulo de inclinación y el desplazamiento relativo del disipador de energía está dada, así como se muestra en la figura:

Figura 24

Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía



Nota: Adaptado de *Edificaciones con disipadores viscosos* por Villarreal & Díaz, 2016.

d. Amplitud (A)

La amplitud es el desplazamiento modal máximo de la estructura, que ocurre en su nivel más alto. Se puede extraer del software Etabs a partir del desplazamiento que se producirá en el último piso, sino también se puede determinar utilizando la fórmula establecida por el ASCE SEI 7-22.

$$A = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma \frac{S_D T_D}{B_D}$$

Donde:

g: gravedad

S_D: Aceleración espectral en cm/s²

T: Periodo natural del primer modo de la dirección

B_{mD}: Coeficiente de modificación por amortiguamiento

Γ : Factor de participación modal

Según FEMA 274, el coeficiente de modificación o reducción por amortiguamiento debe ser aplicado de acuerdo a la Tabla 4.

Tabla 4

Coefficiente de modificación por amortiguamiento

Amortiguamiento efectivo, β (porcentaje crítico)	$B_{V+1}, B_{ID}, B_{IE}, B_R, B_{IM}, B_{mD}$ (cuando el periodo de la estructura $\geq T_0$)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Nota: Tomado de *Comentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buldings* por FEMA 274, 1997.

2.2.2.7. Diseño por desempeño de los disipadores de energía de fluido viscosos

Niveles de amenaza sísmica según Vision 2000

De acuerdo al SEAOC comité Vision 2000 (1995), la Tabla 5 muestra los movimientos sísmicos de diseño en función de los intervalos de recurrencia y las probabilidades de excedencia:

Tabla 5

Niveles de movimiento sísmico

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)
Sismos frecuentes	43	50% en 30 años
Sismos ocasionales	72	50% en 50 años
Sismos raros	475	10% en 50 años
Sismos muy raros	970	10% en 100 años

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC comité Vision 2000, 1995.

Nivel de amenaza sísmica según ASCE/SEI 7-22

El estándar ASCE/SEI 7-22 (2022), establece 2 niveles de amenaza sísmica:

- **Sismo máximo considerado (MCE)**. Representa al efecto sísmico más severo establecido por el estándar ASCE 7 (2022). Se subdivide en 2 categorías: MCEg que corresponde al sismo máximo considerado, definiendo el valor máximo promedio de respuesta de aceleración (PGAM) y el MCEr, que establece el valor máximo de respuesta en el suelo en el sentido horizontal. Esto se basa en una probabilidad del 2 % de ser superado en un período de 50 años, con un período de retorno de 2475 años.

- **Sismo básico de diseño (BDE)**. Es un evento sísmico que representa dos tercios del sismo máximo considerado, siguiendo las recomendaciones del NERPH (2009). Este enfoque establece que hay una probabilidad del 10% de que el sismo sea superado en un



período de 50 años, lo que corresponde a un período de retorno de 475 años.

Niveles de desempeño sísmico

El nivel de desempeño que exhibirá un edificio antes de la sollicitación sísmica define el estado límite de daño. Este se debe a que representa condiciones basadas en el daño estructural que puede sufrir el edificio, el riesgo para los ocupantes y la función de la estructura (SEAOC comité Vision 2000, 1995).

El SEAOC (1995), proporciona 5 niveles de desempeño que exhibirá el edificio ante cargas sísmicas basados en el daño estructural que puede sufrir los elementos estructurales del edificio, seguridad y riesgo para los ocupantes debido al daño y la operatividad del edificio después del sismo (ver Tabla 6).

Tabla 6

Niveles de desempeño sísmico

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción
Despreciable	Totalmente operacional	El daño es despreciable o nulo, la estructura se mantiene segura y estable para sus ocupantes. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones permanecen operativos.
Ligero	Operacional	Daños menores en elementos estructurales. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan operando sin interrupciones. Se necesitan reparaciones menores.
Moderado	Resguardo de vida	El edificio experimenta daños moderados en elementos estructurales, no estructurales y su contenido, lo que resulta en una disminución de resistencia y rigidez del sistema frente a cargas laterales. Seguridad de ocupantes. Además, los sistemas de evacuación y las instalaciones quedan inoperativos.
Severo	Próximo al colapso	Daños severos en elementos estructurales, lo que provoca una significativa degradación de la rigidez lateral y de la capacidad resistente del sistema. La seguridad de los ocupantes está comprometida y los costos de reparación pueden no ser económicamente viables.
Completo	Colapso	Pérdida parcial o colapso total de la estructura. Es imposible la reparación.

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC comité Vision 2000, 1995.



Nivel de comportamiento sísmico esperado

SEAO (1999) define lo siguiente: “Los objetivos del desempeño Sismorresistente son el resultado de la combinación entre los distintos niveles de desempeño y los niveles de amenaza sísmica esperada de acuerdo al uso de la edificación”.

El nivel de desempeño deseado de una estructura se relaciona con el comportamiento sísmico considerado adecuado cuando la estructura se enfrenta a movimientos sísmicos de diversas intensidades. Se pueden definir diversos niveles de desempeño deseado para la edificación, en función de la intensidad de los movimientos sísmicos, teniendo en cuenta factores como el uso, la relevancia, los gastos relacionados con las reparaciones y la interrupción de los servicios (Turpo y Paredes, 2022).

Turpo y Paredes (2022) mencionan que el nivel de desempeño deseado para las estructuras establece los requerimientos mínimos para asegurar una respuesta sísmica apropiada en diversas situaciones de amenaza sísmica. Los niveles de desempeño recomendados difieren en función de la relevancia de la estructura, como se ilustra en la Figura 25 adjunta.

Figura 25

Matriz de nivel de comportamiento sísmico esperado

Movimiento sísmico de diseño	Nivel de desempeño sísmico			
	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención del colapso
Sismo frecuente (43 años)	1	0	0	0
Sismo ocasional (72 años)	2	1	0	0
Sismo raro (475 años)	3	2	1	0
Sismo muy raro (970 años)	3	3	2	1
0	Desempeño inaceptable			
1	Edificaciones básicas			
2	Edificaciones esenciales			
3	Edificaciones de seguridad crítica			

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC comité Vision 2000, 1995.

Clasificación de la estructura de acuerdo a la metodología HAZUS

La experiencia sísmica recopilada en años recientes ha destacado que a medida que se incrementan los desplazamientos inelásticos, se incrementa el riesgo de daño y de posible colapso. El manual HAZUS (2010) presenta una clasificación de 16 sistemas estructurales, que se detallan según la altura de las edificaciones. Para cada categoría de estructura definida, se asigna un nivel de daño estructural, que se divide en categorías como leves, moderados, extensos, o completos. En la Tabla 7 se muestra para 3 categorías de sistemas aporticados.

Tabla 7*Clasificación de sistemas estructurales según la metodología HAZUS*

Descripción	Tipo de estructura	Altura			
		Rango		Típico	
		Nombre	Pisos	Piso	Altura (m)
Sistemas aportricados	C1L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C1M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C1H	Gran altura	8+	12	37
Sistemas con muros de corte	C2L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C2M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C2H	Gran altura	8+	12	37
Sistemas aportricados con muros de albañilería	C2L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C1M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C1H	Gran altura	8+	12	37

Nota: Tomado de *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Technical Manual* por FEMA, 2003.

Derivas para un MCE de acuerdo al HAZUS

El nivel de comportamiento sísmico de una edificación está relacionado con su estado estructural después de un terremoto, considerando el grado de deterioro y daño que pueda presentar. HAZUS (2010) ofrece una propuesta que relaciona el estado de daño con la deriva, la cual varía según el sistema estructural y la altura del edificio (ver Tabla 8).

Tabla 8

Derivas de entrepiso para un MCE de acuerdo al HAZUS

Tipo de estructura	Derivas de entrepiso para un MCE de acuerdo al HAZUS			
	Daño leve	Daño moderado	Daño severo	Daño completo
C1L	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
C2L	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
C2M	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
C2H	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300

Nota: Tomado de *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Technical Manual* por FEMA, 2003.

2.3. MARCO CONCEPTUAL

- **Rigidez lateral.** La rigidez lateral es la propiedad de una estructura de soportar cargas sin deformarse o desplazarse excesivamente. Los elementos de la estructura deben aportar rigidez lateral en sus direcciones principal (Ingeniarc, 2020).
- **Centro de masas.** “El centro de masa es una posición definida en relación a un objeto o a un sistema de objetos. Es el promedio de la posición de todas las partes del sistema, ponderadas de acuerdo a sus masas” (Khan Academy, s. f.)
- **Amortiguamiento.** El amortiguamiento es un proceso en el cual la disipación de energía de vibración se da a través de múltiples mecanismos en un sistema. El amortiguamiento se refiere al proceso en el cual la magnitud de una vibración disminuye de manera constante a lo largo del tiempo (Chopra, 2014).



- **Derivas.** Estrada & Verde (2020), mencionan que las derivas “son los movimientos laterales relativos entre dos pisos continuos de una edificación” p. 58).
- **Curva histerética de un material.** Los modelos histeréticos buscan representar de manera matemática la conexión entre la fuerza y el desplazamiento en una serie de ciclos de carga y descarga. En una primera categorización, se distingue si presentan o no una disminución en la capacidad de disipación, lo que permite diferenciar entre modelos que experimentan una pérdida de capacidad y aquellos que no la experimentan (Quispe & García, 2019).
- **Niveles de desempeño.** El nivel de desempeño corresponde a un estado límite de daño y se determina en base a los daños físicos que la estructura podría experimentar y la funcionalidad de la edificación después del sismo (ATC-40, 1996).
- **Diafragma rígido.** En cuanto a los diafragmas rígidos, se refieren a aquellos que tienen movilidad en únicamente dos direcciones, ya sea en sentido horizontal o vertical. Un diafragma se clasifica como rígido si su longitud máxima no sobrepasa cuatro veces su anchura (Aceros Arequipa, s. f.).
- **Fuerzas cortantes.** “Es el conjunto de fuerzas horizontales actuando sobre cada uno de los puntos donde se supone las masas concentradas en pisos” (Ñaca & Quenaya, 2020).
- **Espectro de diseño sísmico.** Un espectro para el diseño sísmico (Castro & Pérez, 2016 citado en Chopra, 2001). Es un valor empleado en los



cálculos de la ingeniería sísmica para evaluar la reacción de una estructura ante la vibración del suelo en la que está asentada.



CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1.1. Enfoque de la investigación

El enfoque cuantitativo se emplea para investigar suposiciones a través de la recolección de datos, los cuales son sometidos a un análisis estadístico y numérico. Su principal finalidad consiste en descubrir tendencias en el comportamiento y verificar teorías mediante la medición y el procesamiento de datos numéricos (Hernández et al., 2014).

El enfoque es cuantitativo porque implica la recolección de datos numéricos de los indicadores de la variable dependiente como desplazamientos, fuerzas horizontales y periodos de vibración del modelo convencional y luego del otro modelo con disipadores de energía de fluido viscoso, en seguida, esto permite comparar el porcentaje de las variaciones en el comportamiento estructural en ambas condiciones y así cumplir con los objetivos.

3.1.2. Tipo de investigación

La investigación básica se enfoca en contribuir a un conjunto organizado de conocimientos científicos y no necesariamente genera resultados de utilidad práctica inmediata. Se dedica a recopilar información de la realidad para enriquecer el conocimiento teórico científico, con el objetivo de descubrir principios y leyes. Su principal característica es que realiza investigaciones originales y experimentales teóricas, buscando obtener nuevos conocimientos (Valderrama, 2002).



En la presente tesis el tipo de investigación es básica porque se centra en la generación de conocimiento teóricos, sin buscar una aplicación inmediata. El objetivo de este tipo de investigación es ampliar el conocimiento técnico de los principios en el área de estructuras. En esta investigación, se analiza un edificio aporticado de 10 niveles al cual se le aplican los disipadores de energía de fluido viscosos, no con el fin de crear un producto o solución, sino para comprender mejor la incidencia el comportamiento del edificio aporticado convencional de 10 niveles cuando se le aplican de estos disipadores.

3.1.3. Nivel de investigación

Una investigación de nivel descriptivo según Hernández et al. (2014) “busca especificar las propiedades, características y los perfiles de personas, grupos, comunidades procesos, objetos o cualquier otro fenómeno que se someta a un análisis” (p. 92).

“Los estudios explicativos van más allá de la descripción de conceptos o fenómenos o del establecimiento de relaciones entre conceptos; es decir, están dirigidos a responder por las causas de los eventos y fenómenos físicos o sociales” (Hernández et al., 2014, p. 95).

La presente tesis es de tipo descriptivo-explicativo porque se centra en la descripción detallada de la metodología de aplicación de disipadores y la comparación de las características del comportamiento estructural de una edificación aporticada entre un modelo de edificio con disipadores de energía de fluido viscoso y otro modelo con estos disipadores. Además, explica la incidencia de la aplicación de disipadores de energía de energía de fluido viscoso en las



mejoras del comportamiento estructural de una edificación ubicada en la Zona sísmica 3.

3.1.4. Diseño de investigación

Hernández et al. (2014) afirman que el diseño de la investigación es no experimental debido a que no se manipulan intencionadamente las variables. En otras palabras, este tipo de estudios no modifica deliberadamente las variables independientes para observar sus efectos sobre otras variables.

La investigación tiene un diseño no experimental porque se enfoca en observar y analizar el impacto del uso de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio sin manipular deliberadamente las variables. En este estudio, se recolectan datos mediante simulaciones computacionales y análisis estructurales realizados con y sin la implementación de disipadores de energía, pero no se introduce una intervención directa o manipulación intencional en las condiciones del edificio. Además, se trata de un diseño transversal, ya que se recopilan datos en un único momento, con el objetivo de describir variables y analizar cómo influyen e interpretan en ese momento, es decir, todas las variables se miden una sola vez.

3.2. POBLACIÓN Y MUESTRA DE ESTUDIO

3.2.1. Población

La población, según Guillén & Valderrama, (2013), “viene a ser un conjunto finito o infinito de elementos que la componen tales como: personas, animales o cosas que tienen características comunes entre ellos y sobre los cuales



el investigador realiza la investigación en un determinado espacio y tiempo” (p. 63).

La población está referida a todos los edificios de diez niveles en la ciudad de Puno usando como referencia la zonificación sísmica de tipo 3 según el Reglamento Nacional de Edificaciones E.030.

3.2.2. Muestra

La muestra está conformada por un subconjunto de la población que está siendo investigada, considerando similitudes en las características de la población que se está estudiando. Es representativa, lo que significa que representa a toda la población de estudio, esto permite generalizar los resultados obtenidos a partir de la muestra al conjunto de la población y para lograr esto, se debe calcular el tamaño de la muestra mediante la fórmula adecuada (Guillén & Valderrama, 2013, p. 65).

Esta investigación toma como muestra solamente a una unidad de análisis que corresponde a un estudio de caso como un elemento representativo de la población, el muestreo es considerado no estadístico es decir se trata de una selección por conveniencia de la investigadora, por lo que se toma como unidad de análisis a un edificio de 10 niveles de uso multifamiliar en la ciudad de Puno con un tipo de suelo S2 sobre el cual se estudia la aplicación de disipadores de fluido viscoso.

3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE RECOLECCIÓN

3.3.1. Técnicas

Para la elaboración de la presente investigación se usa como técnicas:

- El **análisis documental** o investigación bibliográfica para la recolección de teorías y normativas que sustenten la aplicación de disipadores de energía con fluido viscoso.
- El **análisis computacional** que se realiza por medio de la aplicación de modelamiento de la respuesta sísmica en un programa de software para la obtención del comportamiento estructural por medio de simulación.
- **Observación directa** para ver si la aplicación de disipadores en una edificación aporricada mejora el comportamiento estructural, el cual será verificado a través de los resultados del análisis computacional.

3.3.2. Instrumentos

En la presente investigación, se emplean instrumentos específicos para la recopilación y registro de datos relevantes. Estos instrumentos se caracterizan por su capacidad para capturar información detallada y estructurada, facilitando así el análisis y la interpretación de los resultados obtenidos.

3.3.2.1. Instrumento 1: Ficha de registro de datos

Fichas de registro de datos de entrada es un formato previo para iniciar el modelamiento del edificio en el software Etabs, este registro se realizó de acuerdo a las dimensiones e indicadores de la variable independiente. Se usa las siguientes fichas Figura 26 y Figura 27:

Figura 26

Ficha para el registro de datos del modelo sin DFV-convencional

Aspectos de registro de información	Estado
Indicador 1: Modelo analizado	Planos de arquitectura
	Planos de estructuras
	Memoria descriptiva
	Diagrama de flujo de proceso de modelamiento
Indicador 2: Cumplimiento normativo	Parámetros de la norma E.030
	Parámetros de la norma E.020
	Parámetros de la norma E.060
Indicador 3: Cumplimiento estructural	Parámetros limitantes de desplazamiento
	Parámetros limitantes de reglamento

Nota: Elaboración propia

La ficha de registro de datos del modelo sin DFV Figura 26 contiene los siguientes indicadores:

- Indicador 1: Modelo analizado, que consta de sus planos de arquitectura, estructuras, memoria descriptiva y diagrama de flujo de proceso de modelamiento; en los cuales se verifica si existe o no tal documento.
- Indicador 2: Cumplimiento normativo, consiste en el uso de parámetros de la norma E.030, E.020 y E.060.
- Indicador 3: Cumplimiento estructural, que consta para ver si se cumplen los parámetros limitantes distorsión y otros parámetros limitantes del reglamento.

Figura 27

Ficha para el registro de datos del modelo con DFV

Aspectos de registro de información	Estado
Indicador 1: Modelos analizados	
Planos de arquitectura	
Planos de estructuras	
Memoria descriptiva	
Diagrama de flujo de proceso de modelamiento	
NORMA E.030	
NORMA E.020	
Indicador 2: Cumplimiento normativo	
NORMA E.060	
FEMA 274	
FEMA 356	
AISC Steel Construction	
ASCE/SEI 7-16	
Indicador 3: Cumplimiento estructural	
Parámetros limitantes de desplazamiento	
Parámetros limitantes de reglamento	

Nota: Elaboración propia.

La ficha de registro de datos del modelo con DFV Figura 27 contiene los siguientes indicadores:

- Indicador 1: Modelo analizado, que consta de sus planos de arquitectura, estructuras, memoria descriptiva de registros sísmicos y diagrama de flujo de proceso de modelamiento; en los cuales se verifica si existe o no tal documento.
- Indicador 2: Cumplimiento normativo, consiste en el uso de parámetros de la norma E.030, E.020, E.060, FEMA-HAZUS 99, ASCE/SEI 7-22, SEAOC-COMITÉ VISION 2000 y el AISC Steel Construction 15th.



- Indicador 3: Cumplimiento estructural, que consta para ver si se cumplen los parámetros limitantes distorsión y otros parámetros limitantes.

3.3.2.2. Instrumento 2: Ficha de recolección de resultados

Fichas de reporte de resultados es un formato para extraer los resultados (ver Figura 28 y Figura 29) luego de los modelamientos en el programa ETABS tanto del estado inicial modelo sin DFV y del estado final cuando se aplica los DFV, el formato está elaborado de acuerdo a las dimensiones e indicadores de la variable dependiente.

Figura 28

Ficha de recolección de resultados del modelo sin DFV-convencional

FICHA DE RECOLECCIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO SIN DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO-CONVENCIONAL																		
Código de la ficha: RMSD-O																		
I. DATOS INFORMATIVOS																		
TÍTULO:		Incidencia de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022																
VARIABLE INDEPENDIENTE (V1):		Aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso																
VARIABLE DEPENDIENTE (V2):		Comportamiento estructural																
II. ASPECTOS DE REGISTRO DE INFORMACIÓN																		
2.1. CUADRO DEL MODELO ÓPTIMO DEL EDIFICIO SIN DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO																		
V. DEPENDIENTE (V2)		DERIVAS		FUERZAS HORIZONTALES		PERIODOS DE VIBRACIÓN												
NIVEL	Altura (m)	V2-D1-11/V1-D1	V2-D1-12/V1-D1	V2-D2-11/V1-D1	V2-D2-12/V1-D1	V2-D3-11/V1-D1	V2-D3-12/V1-D1	V2-D3-13/V1-D1										
		X (‰)	Y (‰)	X (t)	Y (t)	X (seg)	Y (seg)	Z (seg)										
Piso 10																		
Piso 9																		
Piso 8																		
Piso 7																		
Piso 6																		
Piso 5																		
Piso 4																		
Piso 3																		
Piso 2																		
Piso 1																		
Base																		
2.2. GRÁFICA DEL MODELO ÓPTIMO DEL EDIFICIO SIN DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO																		
Gráfica de derivas				Gráfica de fuerzas horizontales														
<p>DERIVAS DE ENTREPISO DEL SISTEMA SIN DFV</p>				<p>FUERZAS CORTANTES BASALES DEL SISTEMA SIN DFV</p> <table border="1"> <tr> <td>Series1</td> <td>309.9</td> <td>730.5</td> <td>1114</td> <td>1438</td> <td>1704</td> <td>1932</td> <td>2113</td> <td>2249</td> <td>2330</td> <td>2361</td> </tr> </table>				Series1	309.9	730.5	1114	1438	1704	1932	2113	2249	2330	2361
Series1	309.9	730.5	1114	1438	1704	1932	2113	2249	2330	2361								

Nota: Elaboración propia

La ficha de registro de reporte de resultados del modelo sin DFV-

Figura 28 contiene las siguientes dimensiones e indicadores:

- D1: Derivas de entrepiso correspondiente al modelo sin DFV.
- D2: Fuerzas cortantes correspondiente al modelo sin DFV.

- D3: Periodos de vibración correspondiente al modelo sin DFV.

Figura 29

Ficha de recolección de resultados del modelo con DFV

FICHA DE RECOLECCIÓN DE RESULTADOS DEL MODELO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO																														
Código de la ficha: RMCD-O																														
I. DATOS INFORMATIVOS																														
TÍTULO:		Incidencia de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022																												
VARIABLE INDEPENDIENTE (V1):		Aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso																												
VARIABLE DEPENDIENTE (V2):		Comportamiento estructural																												
II. ASPECTOS DE REGISTRO DE INFORMACIÓN																														
2.1. CUADRO DEL MODELO ÓPTIMO DEL EDIFICIO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO																														
V. DEPENDIENTE (V2)		DERIVAS		FUERZAS HORIZONTALES		PERIODOS DE VIBRACIÓN																								
NIVEL	Altura (m)	V2-D1-I1/V1-D1 X (‰)	V2-D1-I2/V1-D1 Y (‰)	V2-D2-I1/V1-D1 X (t)	V2-D2-I2/V1-D1 Y (t)	V2-D3-I1/V1-D1 X (seg)	V2-D3-I2/V1-D1 Y (seg)	V2-D3-I3/V1-D1 Z (seg)																						
Piso 10	↓	→																												
Piso 9																														
Piso 8																														
Piso 7																														
Piso 6							→																							
Piso 5																														
Piso 4																														
Piso 3																														
Piso 2																														
Piso 1																														
Base																														
2.2. GRÁFICA DEL MODELO ÓPTIMO DEL EDIFICIO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO																														
Gráfica de derivas					Gráfica de fuerzas horizontales																									
<p>DERIVAS DE ENTREPISO DEL SISTEMA CON DFV</p>					<p>FUERZAS CORTANTES DEL SISTEMA SIN DFV</p> <table border="1"> <tr> <td></td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>6</td> <td>5</td> <td>4</td> <td>3</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> <tr> <td>Series1</td> <td>309.9</td> <td>730.5</td> <td>1114</td> <td>1438</td> <td>1704</td> <td>1932</td> <td>2113</td> <td>2249</td> <td>2330</td> <td>2361</td> </tr> </table>					10	9	8	7	6	5	4	3	2	1	Series1	309.9	730.5	1114	1438	1704	1932	2113	2249	2330	2361
	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1																				
Series1	309.9	730.5	1114	1438	1704	1932	2113	2249	2330	2361																				

Nota: Elaboración propia

La ficha de registro de reporte de resultados del modelo con DFV-

Figura 29 contiene las siguientes dimensiones:

- D1: Derivas de entrepiso correspondiente al modelo con DFV.



- D2: Fuerzas cortantes correspondiente al modelo con DFV.
- D3: Periodos de vibración correspondiente al modelo con DFV.

3.3.2.3. Instrumento 3: Ficha de comparación de resultados

Ficha de comparación de resultados entre modelos es un formato donde se registra las variaciones de las derivas, fuerzas cortantes y periodos de vibración de acuerdo a los objetivos específicos planteados (véase la Figura 30).

Figura 30

Ficha para la comparación de resultados entre modelos

FICHA DE COMPARACIÓN DE RESULTADOS ENTRE MODELOS							
Código de la ficha: CRMSCD-H1							
I. DATOS INFORMATIVOS							
TÍTULO:		Incidencia de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022					
VARIABLE INDEPENDIENTE (V1):		Aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso					
VARIABLE DEPENDIENTE (V2):		Comportamiento estructural					
II. ASPECTOS DE REGISTRO DE INFORMACIÓN							
2.1. CUADRO DEL MODELO ÓPTIMO DEL EDIFICIO CON DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO							
DERIVAS DE ENTREPISO							
V. DEPENDIENTE (V2)		MODELO SIN DISIPADORES		MODELO CON DISIPADORES		VARIACIÓN PORCENTUAL	
NIVEL	Altura (m)	V2-D1-I1/V1-D1	V2-D1-I2/V1-D1	V2-D1-I1/V1-D2	V2-D1-I2/V1-D3	V2-D1-I3	
		X (‰)	Y (‰)	X (‰)	Y (‰)	X (%)	Y (%)
Piso 10	↓						
Piso 9							
Piso 8							
Piso 7							
Piso 6							
Piso 5							
Piso 4							
Piso 3							
Piso 2							
Piso 1							
FUERZAS HORIZONTALES							
V. DEPENDIENTE (V2)		MODELO SIN DISIPADORES		MODELO CON DISIPADORES		VARIACIÓN PORCENTUAL	
NIVEL	Altura (m)	V2-D2-I1/V1-D1	V2-D2-I2/V1-D1	V2-D2-I1/V1-D2	V2-D2-I2/V1-D3	V2-D2-I3	
		X (t)	Y (t)	X (t)	Y (t)	X (%)	Y (%)
Piso 10	↓						
Piso 9							
Piso 8							
Piso 7							
Piso 6							
Piso 5							
Piso 4							
Piso 3							
Piso 2							
Piso 1							
PERIODOS DE VIBRACIÓN							
V. DEPENDIENTE (V2)		MODELO SIN DISIPADORES		MODELO CON DISIPADORES		VARIACIÓN PORCENTUAL	
						V2-D3-I4	
Periodo en X (seg)							
Periodo en Y (seg)							
Periodo en Z (seg)							

Nota: Elaboración propia.

3.4. VALIDEZ Y CONFIABILIDAD

3.4.1. Validez

“Un instrumento de recolección de datos es válido cuando mide lo que la variable pretende medir” (Hernández et al., 2014).

La Tabla 9 ofrece una visión detallada del rango de validez de nuestros instrumentos. Este análisis es crucial, ya que demuestra cómo cada instrumento mide con precisión y exactitud las variables clave de nuestra investigación.

Tabla 9

Rangos de Validez

Rango de validez	Interpretación
0.81 - 1	Muy fuerte
0.60 - 0.80	fuerte
0.41 - 0.60	Moderada
0.21 - 0.40	Débil
0.01 - 0.20	Muy débil

Nota: Tomado de *Teoría y práctica de la investigación cualitativa* por Ruiz, 2012.

Esta investigación para la validez se recurrió a 4 expertos con experiencias en el área de estructuras Tabla 10, quienes validan los instrumentos de recolección de datos, confirmando la adecuación de las dimensiones hacia los objetivos de la investigación (ver ANEXO 1).

La tabla ofrece una visión detallada del rango de validez de los instrumentos, este análisis es importante ya que demuestra cómo cada instrumento mide con precisión y exactitud las variables de la investigación para lo cual se usa el índice de validez de V de Aiken que se encuentra en el ANEXO 1.

Tabla 10

Validez de contenido de instrumento de las variables: V1 disipadores de energía y V2 comportamiento juicio de expertos

Ítem	Nombres y apellidos	Grado académico	CIP	Experiencia laboral	Validez
1	Fernando Calagua Mendoza	Magíster en Ingeniería civil, estructuras		Chumbiauca-Calagua Ingenieros Consultores SAC y docente de posgrado UPT	1.00
2	Jorge Edson Limachi Mozo	Maestro en estructuras (c) Ingeniero civil	65104	Gerente regional de infraestructura del GORE de Puno 2015-2019	1.00
3	Cesar Alfredo Catacora Peñaranda	Ingeniero civil	40497	Gerente de Ingeniería Municipal-Juliaca e inspector de ingeniería GORE Puno	1.00
4	Ruth Mercedes Jines Cabezas	Maestra en estructuras. Ingeniera civil	117532	Docente universitario en UJCM	1.00
Promedio					1.00

Nota: Fuente propia

A través de juicio de expertos se obtuvo un puntaje de **1.00** y de acuerdo con Ruiz (2012), califica como **validez muy fuerte**.

3.4.2. Confiabilidad

La confiabilidad se entiende a la capacidad de reproducir un resultado, indicando en qué medida un procedimiento específico para convertir un concepto en una variable genera el mismo resultado en ensayos repetidos utilizando el mismo instrumento de investigación o herramientas equivalentes (Corbetta, 2007, p. 99).



La confiabilidad de esta investigación está fortalecida por el uso del software Etabs para el análisis estructural, software SeismoSignal V.2022 y SeismoMatch V.2022 para la corrección de registros sísmicos y el escalado respectivamente. Estos softwares están basados en el conocimiento teórico relacionados al campo de la ingeniería estructural.

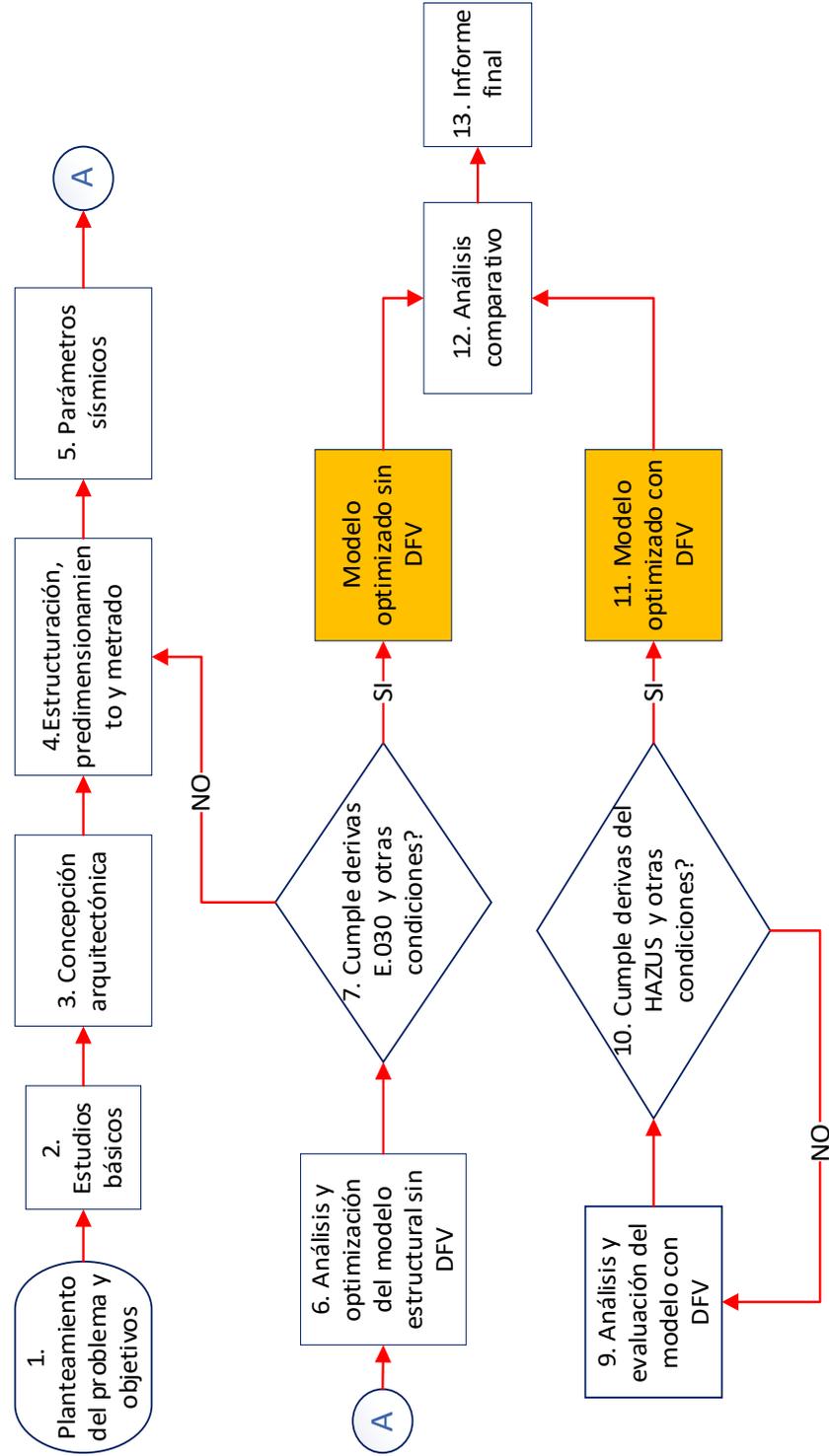
3.5. PROCEDIMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN

El procedimiento para determinar la incidencia de los disipadores en el proyecto de la edificación nueva frente a un edificio convencional en la Ciudad de Puno que se sigue en esta investigación es como se muestra en el diagrama de flujo de las Figura 31, Figura 32 y Figura 33.

3.5.1. Procedimiento general de la investigación

Figura 31

Diagrama de flujo del procedimiento general de la investigación



Nota: Elaboración propia



Paso 1: Planteamiento del problema y objetivos. Es la primera parte de la investigación donde se define el problema y los objetivos que se buscan.

Paso 2: Estudios básicos. Consiste en la realización de estudios de ubicación del proyecto de edificación y estudios geotécnicos

Paso 3: Concepción arquitectónica. Concepción del proyecto de vivienda multifamiliar utilizando el programa Autocad.

Paso 4: Estructuración, pre dimensionamiento y metrado. Se realiza la estructura de acuerdo a los criterios de estructuración que indica la norma E.030, luego se desarrolla el predimensionamiento y el metrado de cargas.

Paso 5: Parámetros sísmicos. Se definen los parámetros sísmicos siguiendo lo establecido por la norma E.030 según el lugar de estudio y características de la edificación.

Paso 6: Análisis y optimización del modelo estructural sin DFV. Se realiza el modelamiento y análisis del edificio aporticado multifamiliar de 10 niveles sin incluir disipadores de energía de fluido viscoso con la ayuda del programa ETABS. Generalmente en un inicio del modelado no se cumplen las derivas, por lo que es necesario hacer modificaciones de las dimensiones de los elementos estructurales haciendo una serie de iteraciones ya sea incrementando o disminuyendo las secciones de vigas y/ columnas hasta encontrar un modelo óptimo.

Paso 7: Verificación de cumplimiento de derivas de la E.030 y otras condiciones. En este paso se verifica que las distorsiones de entrepiso del modelo optimizado sin DFV estén por debajo 0.007, límite establecido por la norma E.030, conjuntamente también se realiza la verificación de factores de irregularidad, porcentaje



de masa participativa, verificaciones del sistema estructural, verificación de demanda-capacidad e elementos estructurales.

Paso 8. Modelo optimizado sin DFV. Se define el modelo óptimo sin DFVs resultante, el mismo que se utilizará para el modelado y análisis y con DFVs. Además, también se extraen los resultados del comportamiento estructural como son las derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y periodos de vibración de la estructura, para emplear en la comparación con el modelo con DFVs.

Paso 9: Análisis y evaluación del modelo con DFV. Se realiza el modelado y análisis del edificio aporticado multifamiliar de 10 niveles con disipadores de energía de fluido viscoso utilizando el programa ETABS.

Paso 10: Verificación de derivas según la metodología HAZUS y otras condiciones. En este paso se verifica que las distorsiones de entrepiso del modelo optimizado con DFV estén por debajo 0.0043, límite establecido por la metodología HAZUS para edificaciones de concreto armado mayores a 8 pisos, conjuntamente también se realizar la verificación de porcentaje de periodos y masa participativa, comportamiento histérico, balance energético y máximo stroke.

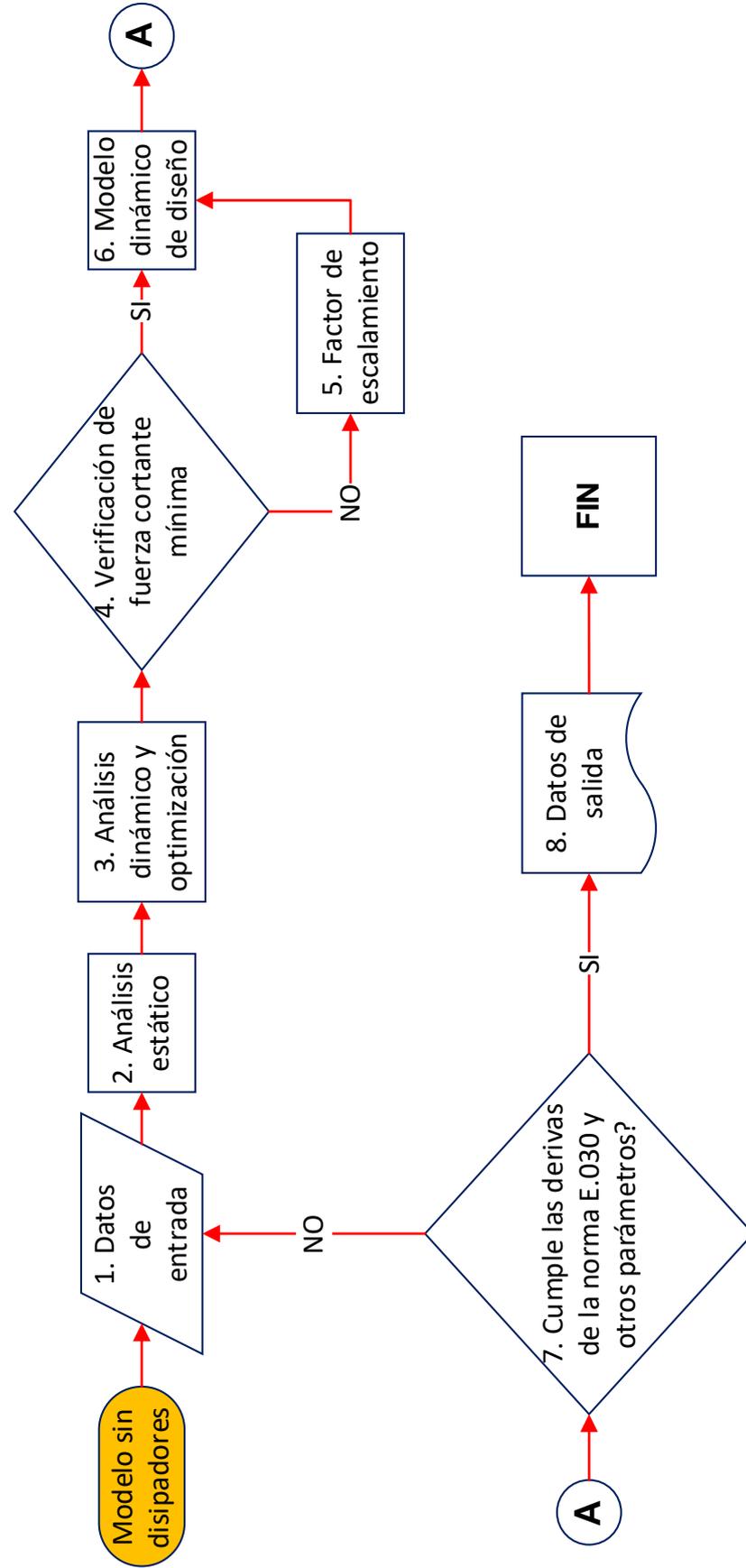
Paso 11: Modelo optimizado con DFV. Se define el modelo óptimo con DFVs resultante, el mismo que se utilizará para el modelado y análisis y con DFVs. Además, también se extraen los resultados del comportamiento estructural como son las derivas de entrepiso, fuerzas cortantes y periodos de vibración de la estructura, para emplear en la comparación con el modelo con DFVs.

Paso 12: Análisis comparativo. Se realiza el análisis comparativo de derivas de entrepiso, fuerzas cortantes, y periodos que inciden en el comportamiento estructural del edificio de 10 niveles según los resultados de ambos modelos.

3.5.2. Procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV

Figura 32

Diagrama de flujo del procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV



Nota. Elaboración propia



Paso 1. Datos de entrada. Comprende los siguientes ítems:

- Planos de arquitectura inicial.
- Plano de estructuras inicial.
- Propiedades de los materiales.
- Predimensionamiento.
- Metrado de cargas
- Parámetros sísmicos

Paso 2. Análisis estático. Comprende los siguientes ítems:

- Fuerza cortante en la base, V_e .
- Periodo de la estructura, T .
- Cálculo de masas para cada nivel i .
- Coeficiente estático basal corregido, C' .
- Exponente relacionado con el periodo fundamental de vibración k .

Paso 3. Análisis dinámico y optimización. Comprende los siguientes ítems:

- Modos de vibración.
- Optimización del sistema estructural.
- Fuerza cortante en la base.
- Cálculo de irregularidades en altura y en planta.



- Cálculo de derivas elásticas.
- Cálculo de derivas inelásticas.

Paso 4. Verificación de fuerza cortante mínima. Verificación de cortante basal del estatico y dinámico según la norma E.030 de diseño sismorresistente del R.N.E.

$$\text{Estructuras regulares: } V_{\text{dinámico}} \geq 80\% V_{\text{estática}}$$

Paso 5. Factor de escalamiento. En caso no se cumpla el paso anterior se aplica un factor de escalamiento.

6. Modelo dinámico de diseño. Se define el modelo que cumpla con las condiciones de la cortante mínima.

Paso 7. Verificación de derivas de la norma E.030 del R.N.E y otros parámetros. Comprende los siguientes aspectos:

- Sistema estructural.
- Irregularidades.
- Periodos de vibración.
- Porcentaje de masa participativa.
- Centro de masas y rigidez.
- Deriva de la norma E.030 < 0.007 .
- Demanda-capacidad de elementos de concreto armado.

Paso 8. Datos de salida. Se extraen los resultados del comportamiento estructural del modelo sin DFV analizado:

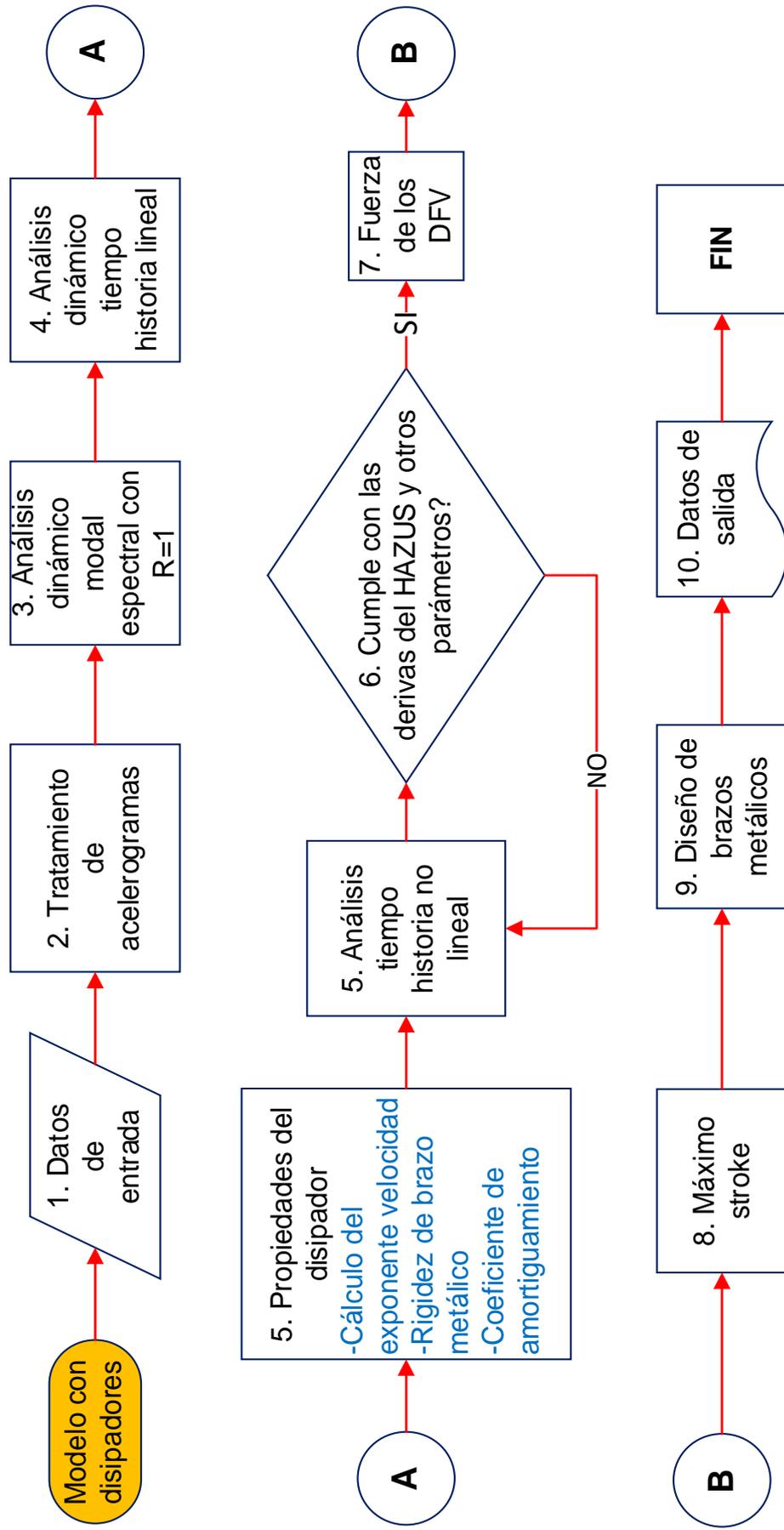


- Derivas de entrepiso.
- Fuerzas cortantes.
- Periodos de vibración.

3.5.3. Procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV

Figura 33

Diagrama de flujo del procedimiento de análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV



Nota. Elaboración propia



Paso 1. Datos de entrada. Comprende los siguientes aspectos:

- Planos de arquitectura.
- Planos de estructuras optimizado del análisis convencional.
- Parámetros sísmicos.
- Metrado de cargas.

Paso 2. Tratamiento de acelerogramas. Se desarrolla los siguientes ítems:

- Selección de 3 registros sísmicos.
- Corrección y filtrado de acelerogramas con SeismoSignal V.2022.
- Creación del espectro de diseño con $R=1$ para SeismoMatch V.2022.
- Escalamiento de acelerogramas al espectro de diseño con SeismoMatch V.2022.

Paso 3. Análisis dinámico modal espectral con $R=1$. Comprende los siguientes ítems:

- Creación del espectro de diseño con $R=1$ en Excel.
- Análisis modal espectral con $R=1$ en Etabs.
- Cálculo e interpretación de derivas.

Paso 4. Análisis dinámico tiempo historia lineal. Comprende los siguientes puntos:

- Creación de casos de carga con los registros sísmicos ya escalados en Etabs.



- Control e interpretación de derivas
- Cálculo de ratio de derivas (derivadas del análisis tiempo historia lineal/derivadas del análisis dinámico modal espectral $R=1$).
- Selección del sismo de diseño con el cual se trabaja en los posteriores procesos (se escoge del caso que tenga la condición de ratio de derivas de 0.9-1.2, de preferencia la más próxima a 1).

Paso 5. Propiedades del disipador. Para determinar todas las propiedades se tienen que determinar los siguientes aspectos:

- *Cálculo del exponente velocidad.*
- Determinación del nivel de desempeño sísmico según las recomendaciones del SEAOC comité Vision 2000.
- Determinación del nivel de comportamiento sísmico esperado.
- Clasificación del sistema estructural según la metodología HAZUS.
- Determinación de la deriva para un MCE de acuerdo al HAZUS (Deriva objetivo).
- Factor de reducción de respuesta sísmica.
- Amortiguamiento efectivo.
- Amortiguamiento viscoso.
- *Rigidez de brazo metálico.*
- Modelamiento de la estructura con la incorporación de DFV.



- Desplazamientos del modo i en pórtico.
- Desplazamientos relativos en ambos extremos del pórtico que alberga el disipador.
- Amplitud.
- Frecuencia angular de la estructura.
- Masa de cada nivel de la estructura en análisis.
- *Coefficiente de amortiguamiento.*

Paso 6. Verificación de derivas del Hazus y otros parámetros. Comprende los siguientes aspectos:

- Deriva objetivo.
- Comportamiento de bucles histeréticos.
- Balance energético.

Paso 7. Fuerzas de los DFV. Comprende los siguientes aspectos:

- Extracción de fuerza axial (tracción y/o compresión) generada en cada DFV.
- Selección del dispositivo según el catálogo comercial.

Paso 8. Máximo stroke. En este ítem se verifica que la deformación máxima del dispositivo sea de 5cm.



Paso 9. Diseño de elementos de acero del disipador. Comprende la determinación de los siguientes aspectos:

- Características de los disipadores elegidos.
- Longitud del brazo metálico del brazo metálico.
- Verificación de pandeo con la fórmula de Euler del brazo metálico.
- Determinación de longitud efectiva (K) del brazo metálico.
- Determinación de la resistencia del perfil de brazo metálico.
- Verificación de resistencia del perfil de brazo metálico.

Paso 10. Datos de salida. Se extraen los resultados del comportamiento estructural del modelo sin DFV analizado:

- Derivas de entrepiso.
- Fuerzas cortantes.
- Periodos de vibración.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. RECOLECCIÓN DE DATOS

4.1.1. Descripción de la zona de estudio

El presente proyecto del edificio multifamiliar de 10 niveles, se llevó a cabo en el Jr. Vizcardo y Guzmán S/N en el distrito de Puno, provincia y departamento de Puno. La zona es considerada urbana y se encuentra a una altitud de 3823 metros sobre el nivel del mar, con coordenadas UTM de 392059.9990083 al este y 8246869.3832712 al norte (ver Figura 34).

Figura 34

Ubicación satelital para el proyecto del edificio multifamiliar de 10 niveles



Nota: Tomado de Google Maps (2023)



4.1.2. Diseño arquitectónico

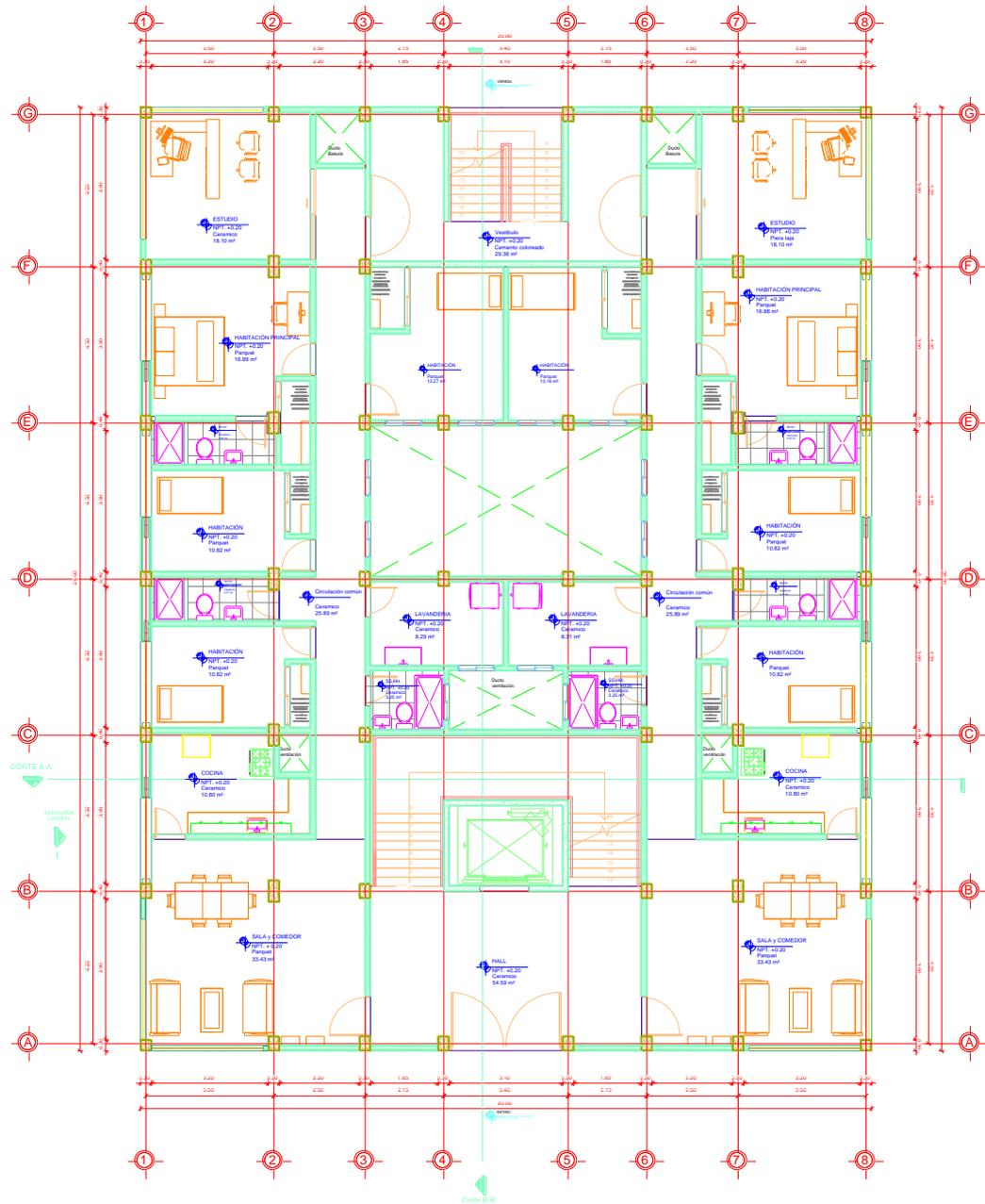
El diseño arquitectónico del edificio multifamiliar presenta una estructura de 10 niveles típicos destinada principalmente para uso residencial. Cada nivel tiene un área construida de aproximadamente 519.60 metros cuadrados, con un perímetro total de 92.00 metros lineales.

El perímetro del edificio se distribuye de la siguiente manera: en el frente tiene una extensión de 20 metros lineales, mientras que en la parte posterior también cuenta con 20 metros lineales y por los lados, el perímetro es de 26 metros lineales.

Esta distribución proporciona una disposición equilibrada de espacios residenciales en cada nivel, permitiendo una óptima utilización del terreno disponible y una distribución eficiente de las áreas habitables dentro del edificio. Cada nivel consta de dos departamentos, y cada departamento consta de 1 sala-comedor, 1 cocina, 3 habitaciones, 1 habitación principal, 1 sala de estudio, 1 lavandería y 3 baños. El departamento cuenta con 1 escalera de uso cotidiano, 1 ascensor y una escalera de emergencia. El proyecto de edificación se encuentra distribuido, así como se muestra en la Figura 35:

Figura 35

Plano de planta típica de la edificación



Nota: Elaboración propia con el apoyo del software Autocad 2022

4.1.3. Perfiles de suelos

El estudio de mecánica de suelos (EMS) fue llevado a cabo con el propósito de determinar las propiedades físicas y mecánicas del suelo en el área de construcción de la estructura.

Los perfiles de suelo empleados en este estudio son derivados del análisis geotécnico realizado de la zona donde se proyecta la edificación. Se constata que el estrato de cimentación está compuesto por arena limosa con rocas frágiles con una capacidad admisible de $q_{adm} = 1.636 \text{ kg/cm}^2$. Asimismo, se identifica en el análisis geotécnico que el suelo se clasifica como perfil S_2 de acuerdo con la normativa E.030 “Diseño Sismorresistente”.

4.1.4. Materiales

Concreto. El concreto considerado tiene como características:

- Resistencia a la compresión ($f'c$):

$$f'c = 280 \text{ kgf/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad (Ec):

$$Ec = 15000\sqrt{f'c} = 15000\sqrt{280}$$

$$Ec = 250998.008 \text{ kg/cm}^2$$

- Módulo de Poisson (μ):

$$u = \frac{Ec}{2 \cdot Gc} - 1 = 0.15$$

- Módulo de Corte (G):

$$G = \frac{Ec}{2.3} = 109129.5687 \text{ kg/cm}^2$$

- Peso específico (γ_c):

$$\gamma_c = 2400 \frac{\text{kgf}}{\text{m}^3}$$

Acero. El acero considerado es de Grado 60 y tiene las siguientes características:

- Esfuerzo a la fluencia (fy):

$$fy = 4200 \text{ kgf/cm}^2$$

- Módulo de elasticidad (Es):

$$Es = 2000000 \text{ kgf/cm}^2$$

- Peso específico (γ_s):

$$\gamma_s = 7849 \frac{kgf}{m^3}$$

Disipador

- Fluido viscoso en arreglo diagonal

4.1.5. Registros sísmicos

Para el análisis dinámico tiempo historia, se ha seleccionado un conjunto de cuatro pares de registros sísmicos con magnitudes representativas del comportamiento sísmico del territorio peruano. Esta elección se basa en los lineamientos que establece la norma peruana E.030, que estipula que tres pares de registros sísmicos constituyen el mínimo requerido para llevar a cabo este tipo de análisis de manera adecuada y rigurosa.

Tabla 11

Registros sísmicos históricos del Perú para el análisis tiempo historia

Localización de la estación	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/s ²)	Duración (s)
Lima (Parque de la Reserva)	17 de octubre de 1966	E-W	-180.592	197.64
		N-S	-269.336	
Lima (Parque de la Reserva)	03 de octubre de 1974	E-W	-192.5	97.96
		N-S	179	
Arequipa (Characato)	13 de junio 2005	E-W	-138.5	178
		N-S	125.43	
Sismo del Collao-Puno registrado por la est. UPT Tacna	13 de junio 2005	E-W	-138.5	49.995
		N-S	125.43	

Nota: Elaboración propia



Se obtiene los acelerogramas de los sismos que tienen lugar en Perú a partir de las páginas web <https://www.cismid.uni.edu.pe/ceois/red/> y <https://ultimosismo.igp.gob.pe/descargar-datos-sismicos> seleccionando específicamente las estaciones de dos sismos que registraron mayores aceleraciones del suelo (Registro sísmico de Lima 1966 y Lima 1974), un registro del sismo de Arequipa debido a que tiene un perfil de suelo similar a Puno y registro sísmico del Collao-Puno.

4.2. DISEÑO DE LA PRESENTACIÓN DE RESULTADOS

4.2.1. Análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación sin DFV

4.2.1.1. Estructuración

Los criterios de estructuración de una edificación representan los pilares fundamentales sobre los cuales se garantiza la seguridad, estabilidad y funcionalidad de cualquier proyecto arquitectónico. Estos criterios abarcan desde la simplicidad en el diseño hasta la selección de una cimentación adecuada, cada uno de estos criterios desempeñan un papel fundamental en la integridad estructural del edificio.

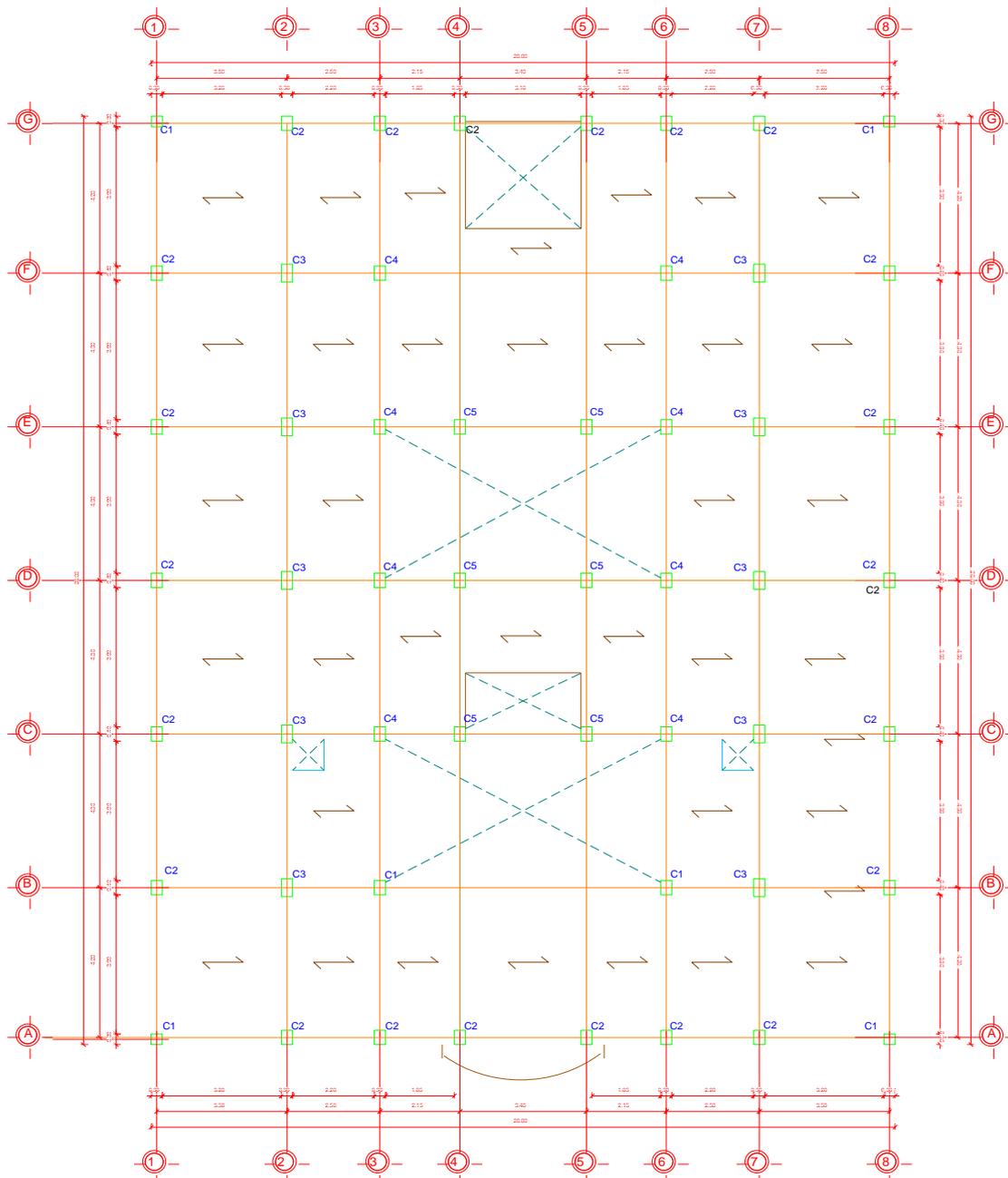
- Simplicidad.
- Simetría.
- Uniformidad y continuidad de la estructura
- Redundancia.
- Resistencia y rigidez torsional.
- Comportamiento de diafragma en cada nivel.

- Una cimentación adecuada.

Tras realizar una minuciosa inspección de la arquitectura del edificio y sus condiciones de estructuración, se confirma que la configuración estructural es así como se muestra en la Figura 36:

Figura 36

Estructuración y dirección de la losa aligerada



Nota: Elaboración propia

4.2.1.2. Pre dimensionamiento de elementos estructurales

Pre dimensionamiento de vigas principales

Tomando las recomendaciones de Blanco (1994), las dimensiones de las vigas principales se obtienen con las siguientes expresiones, a continuación, se muestra el procedimiento de cálculo para el predimensionamiento de una viga principal crítica:

- **Peralte de la viga (h)**

$$h = \frac{LL}{10 \text{ a } 12}$$
$$h = \frac{LL}{10} \quad \text{Si } S/C > 300 \text{kg/m}^2$$
$$h = \frac{LL}{12} \quad \text{Si } S/C < 300 \text{kg/m}^2$$

- **Base de la viga (b)**

$$b = \frac{h}{2} \quad \text{ó} \quad b = \frac{3h}{4}$$

Donde:

h: peralte de la viga.

LL: luz libre de la viga.

b: base de la viga

En este caso del plano de arquitectura se extraen las luces de la viga principal crítica, así como se muestra en la Tabla 12.

Tabla 12*Luces de la viga principal crítica*

A-B	B-C	C-D	D-E	E-F	F-G
4.20	4.30	4.30	4.30	4.30	4.20

Nota: Elaboración propia

$$LL = 4.30m$$

$$\text{Sobrecarga de vivienda} = 200kg/m^2$$

$$h = \frac{LL}{12} = \frac{4.30m}{12} = 0.36m$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{0.36}{2} = 0.18m \quad \text{ó} \quad b = \frac{3h}{4} = \frac{0.36}{2} = 0.27m$$

El detalle de predimensionamiento de los elementos estructurales del edificio se realizó con el apoyo de la hoja Excel el cual se encuentra adjunto en el ANEXO 5 para más detalles, asimismo se muestra el resumen en la Tabla 13.

Tabla 13*Resumen de pre dimensionamiento de vigas principales*

VIGA	Calculado		Asumido	
	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)
Viga 1-1	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 2-2	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 3-3	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 4-4	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 5-5	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 6-6	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 7-7	0.27	0.36	0.30	0.40
Viga 8-8	0.27	0.36	0.30	0.40

Nota: Elaboración propia

Pre dimensionamiento de vigas secundarias

Tomando la viga secundaria del área más cargada y usando las mismas fórmulas empleadas en el predimensionamiento de vigas principales según Blanco (1994) se tiene el siguiente predimensionamiento:

En la Tabla 14 se muestra las luces de la viga secundaria principal.

Tabla 14

Luces de vigas secundarias

1-2	2-3	3-4	4-5	5-6	6-7	7-8
3.50	2.50	2.15	3.40	2.15	2.50	3.50

Nota: Elaboración propia

Siendo la luz crítica de:

$$LL = 4.30m$$

$$\text{Sobrecarga de vivienda} = 200kg/m^2$$

$$h = \frac{LL}{12} = \frac{3.50m}{12} = 0.29m$$

$$b = \frac{h}{2} = \frac{0.29}{2} = 0.15m \quad \text{ó} \quad b = \frac{3h}{4} = \frac{(3)(0.29)}{4} = 0.22m$$

Por lo tanto, todas las vigas secundarias de la edificación tendrán como dimensiones, así como se detalla en la Tabla 15 el predimensionamiento de vigas secundarias.

Tabla 15*Pre dimensionamiento de vigas secundarias*

VIGA	Calculado		Asumido	
	b (m)	h (m)	b (m)	h (m)
Viga A-A	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga B-B	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga C-C	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga D-D	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga E-E	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga F-F	0.15	0.22	0.30	0.40
Viga G-G	0.15	0.22	0.30	0.40

Nota. Elaboración propia.

Pre dimensionamiento de vigas chatas

Según Lleclish (s.f.), para el pre dimensionamiento de vigas chata se toma los siguientes criterios:

$$\text{Para luces de hasta 3m: } b \times h = 0.25 \times h_{losa}$$

$$\text{Para luces de hasta 4m: } b \times h = 0.30 \times h_{losa}$$

Para las vigas chatas de la presente investigación se consideraron

$$0.30\text{m} \times 0.20\text{m}.$$

Pre dimensionamiento de losas aligeradas

Según Blanco (1997, p. 35-36), para las losas aligeradas se toma en cuenta los criterios siguientes de la Tabla 16:

Tabla 16

Criterios para pre - dimensionamiento de espesor de losas aligeradas

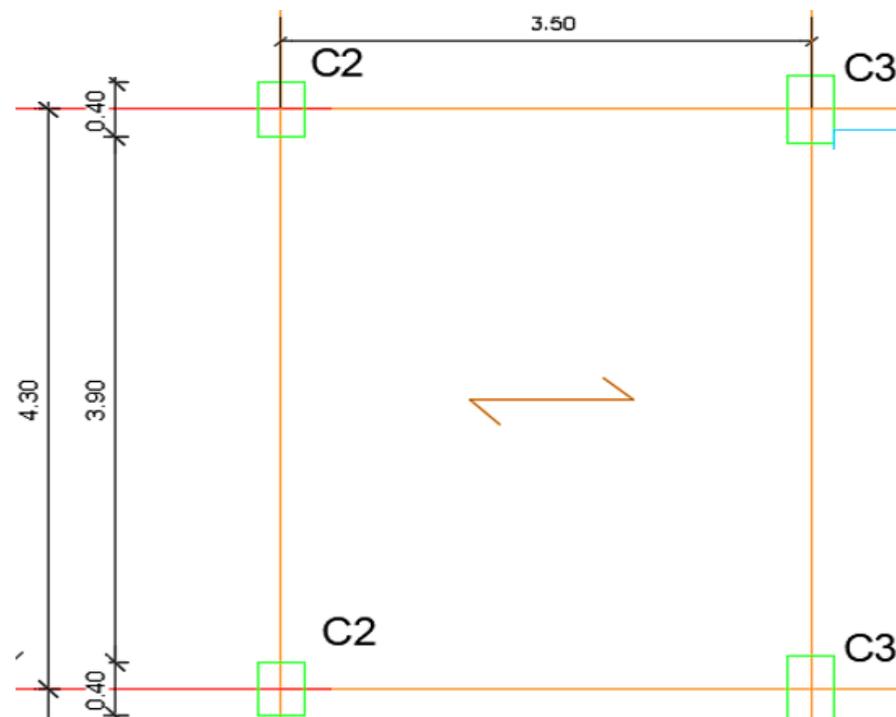
Criterio	Espesor total de la losa
Para luces menores de 4.00 m	$h = 0.17$ m
Para luces entre 4.00 m y 5.50 m	$h = 0.20$ m
Para luces entre 5.00 m y 6.50 m	$h = 0.25$ m
Para luces entre 6.00 m y 7.50 m	$h = 0.30$ m

Nota: Adaptado de Blanco, 1997).

Para la losa aligerada tomando como referencia el paño de mayor área.

Figura 37

Paño de área máxima de la edificación para pre - dimensionamiento de la losa aligerada



Nota: Elaboración propia



Como en este caso según la Figura 37 se tiene luz libre de 4.30m, al cual según la tabla anterior le corresponde un espesor de $h=0.20m$.

$$h_{alig} = 0.20m$$

Por lo tanto, todos los espesores de los paños de la losa aligerada del proyecto de edificación serán de 20cm.

Pre dimensionamiento de columnas

Los elementos estructurales sometidos tanto a flexión como compresión (flexo-compresión) y a corte, se considera un pre dimensionamiento inicial y pre dimensionamiento final.

Las columnas se preestablecen siguiendo las pautas aplicables a estructuras con una base inamovible. Esto se realiza utilizando las siguientes ecuaciones Lleclish (s.f.), donde A representa el área de la columna en m^2 , $Pservicio$ es la carga axial en condiciones de servicio que la columna debe soportar y N es el número de pisos.

$$\text{Columnas interiores: } A = \frac{Pservicio}{0.45f'c}$$

$$\text{Columnas exteriores: } A = \frac{Pservicio}{0.35f'c}$$

$$Pservicio = P \cdot A \cdot N$$

$$\text{Edificaciones categoría A: } P = 1500kg/m^2$$

$$\text{Edificaciones categoría B: } P = 1300kg/m^2$$

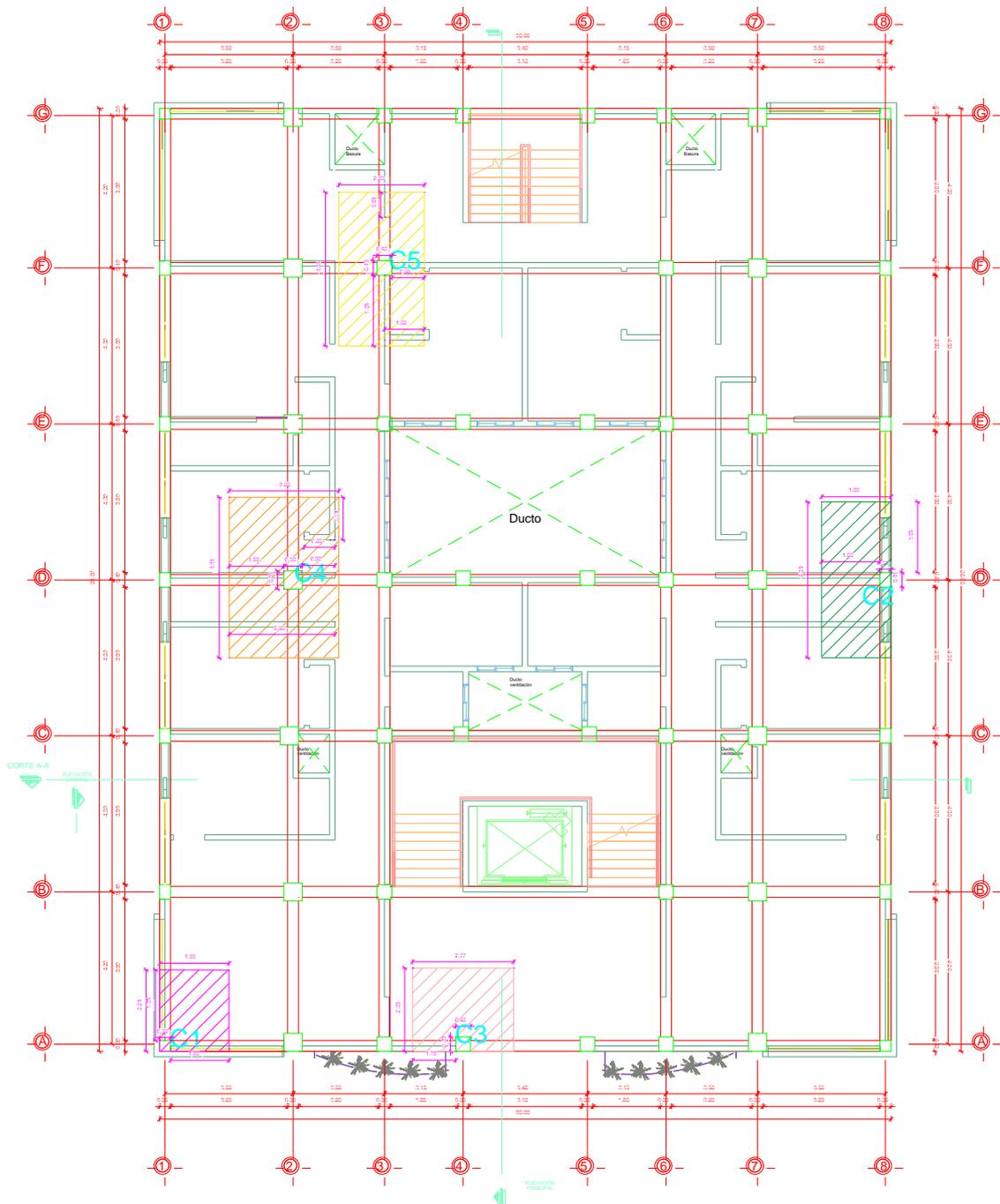
$$\text{Edificaciones categoría C: } P = 1100kg/m^2$$

Además, se considerará la resistencia $f'c = 280 kg/cm^2$

Respecto al área de influencia para las columnas está dada de la siguiente manera en la Figura 38:

Figura 38

Área de influencia en cada tipo de columnas



Nota: Elaboración propia



Con el apoyo de Excel se procede a determinar el área tributaria según para cada tipo de columna, así como se muestra en la Tabla 17.

Tabla 17

Área tributaria de las columnas para el pre dimensionamiento

Clasificación	Código de la columna	P (kg/m ²)	Largo (m)	Ancho (m)	Área tributaria (m ²)
Esquina	C1	1000	2.25	1.9	4.275
Lateral eje Y	C3	1000	4.3	1.9	8.17
Lateral eje X	C2	1000	2.8	2.3	6.44
Central	C4	1000	3	4.43	13.29
Central	C5	1000	4.24	2.33	9.8792

Nota: Elaboración propia

Con las fórmulas mencionadas anteriormente se determina la carga axial $P_{Servicio}$ y el área de las columnas A (ver Tabla 18).

Tabla 18

Dimensiones de las columnas resultantes del pre dimensionamiento

Columna	$P_{servicio}$ (kg)	factor	Área Columna (cm ²)	Lado cuadrado posible (cm)	Dimensiones necesarias (cm)
C1	42750	0.35	581.63	24.12	25x25
C2	81700	0.35	1111.56	33.34	30x40
C2	64400	0.35	876.19	29.60	30x30
C3	132900	0.45	1406.35	37.50	30x50
C4	98792	0.45	1045.42	32.33	30x35
C5	63940	0.45	676.61	26.01	30x30

Nota: Elaboración propia



4.2.1.3. Metrado de cargas

4.2.1.3.1. Carga muerta (CM)

Cargas de vigas y columnas

Las cargas asociadas a los elementos estructurales como vigas y columnas no serán cuantificadas manualmente, ya que el programa ETABS se encargará de definir las de manera automática durante el proceso de diseño.

Cargas de losa aligerada armadas en una sola dirección de C.A.

Se describe como una carga que se extiende de manera uniforme sobre la superficie en relación con el grosor de la losa sólida. En este contexto, según la norma se especifica que para una losa con un espesor de 0.20 metros, la carga es de 300.00 kg/m².

Carga de acabados

Se describe como una carga que se reparte uniformemente en una superficie con un grosor para el proyecto se ha considerado de 160 kg/m².

$$CM_{acabados} = 160 \text{ kg/m}^2$$

Carga de ladrillo de techo

Se refiere al peso total de los ladrillos que forman parte de la estructura del techo, siendo esta un tipo de carga que actuará de manera permanente en la edificación.

$$CM_{lt} = 70 \text{ kg/m}^2$$

Carga de equipamiento

La carga muerta de equipamiento en una edificación se refiere al peso de los elementos permanentes y fijos que forman parte de la infraestructura interna de la estructura, como los sistemas eléctricos, sanitarios, de ventilación, aire acondicionado y otros elementos similares. Esta carga debe ser soportada por la edificación en su funcionamiento normal, y es importante tenerla en cuenta durante el diseño y la construcción para garantizar la estabilidad y seguridad de la estructura.

$$CM_{equip} = 50kg/m^2$$

Carga de muros en los ejes principales

Para determinar dicha carga se empleó los siguientes datos

Peso unitario del muro: $\gamma_{muro} = 1800kg/m^3$

Peso unitario del mortero: $\gamma_{mortero} = 2000kg/m^3$

Espesor del muro: $e_{muro} = 0.13m$

Espesor del mortero: $e_{mortero} = 0.02m$

Luego se procedió a calcular el peso del muro por metro cuadrado

W_m .

$$W_m = \gamma_{muro} \times e_{muro} + \gamma_{mortero} \times e_{mortero}$$

$$W_m = \frac{1800kg}{m^3} \times 0.13m + \frac{2000kg}{m^3} \times 0.02m = 274kg/m^2$$

El metrado de carga distribuida lineal en los muros de los ejes principales fue la siguiente manera (ver Tabla 19):

Tabla 19

Metrado de carga distribuida lineal de muros en los ejes principales

	Tramo A-B	Tramo B-C	Tramo C-D	Tramo D-E	Tramo E-F	Tramo F-G
Eje 1 con hm=0.90m	247 kg/m					
Eje 1 con hm=2.40m	658 kg/m	-	-	-	-	712kg/m
Eje 2 con hm=2.40m	-	658 kg/m	-	658 kg/m	-	-
Eje 3 con hm=0.90m	-	-	-	247 kg/m	-	-
Eje 3 con hm=2.40m	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m
Eje 4 con hm=0.90m	-	-	247 kg/m	-	-	-
Eje 4 con hm=2.40m	-	-	-	-	-	658 kg/m
Eje 5 con hm=2.40m	-	-	-	-	-	658 kg/m
Eje 5 con hm=0.90m	-	-	247 kg/m	-	-	-
Eje 6 con hm=2.40m	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m
Eje 6 con hm=0.90m	-	-	-	247 kg/m	-	-
Eje 7 con hm=2.40m	-	658 kg/m	-	658 kg/m	-	-
Eje 8 con hm=2.40m	658 kg/m	-	-	-	-	658 kg/m
Eje 8 con hm=0.90m	247 kg/m					

Nota: Elaboración propia

Carga de muros en los ejes secundarios

El metrado de carga distribuida lineal en los muros de los ejes principales fue la siguiente (ver Tabla 20):

Tabla 20

Metrado de carga distribuida lineal de muros en los ejes principales

	Tramo 1-2	Tramo 2-3	Tramo 3-4	Tramo 4-5	Tramo 5-6	Tramo 6-7	Tramo 7-8
Eje A con hm=2.60m	-	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m	-
Eje C con hm=2.60m	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m
Eje D con hm=2.60m	658 kg/m						
Eje E con hm=0.90m	-	-	247 kg/m	247 kg/m	247 kg/m	-	-
Eje E con hm=2.60m	658 kg/m	-	-	-	-	-	658 kg/m
Eje F con hm=2.60m	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m	658 kg/m
Eje G con hm=0.90m	247 kg/m	-	-	-	-	-	247 kg/m
Eje G con hm=2.60m	-	658 kg/m	658 kg/m	-	658 kg/m	658 kg/m	-

Nota: Elaboración propia

Carga muerta en azotea



$$CM_{\text{muros perimetrales en azotea}} = 200\text{kg/m}^2$$

4.2.1.3.1. Carga viva (CV)

$$CV_{\text{viviendas}} = 200\text{kg/m}^2$$

$$CV_{\text{corredores y escaleras}} = 200\text{kg/m}^2$$

$$CV_{\text{azotea}} = 100\text{kg/m}^2$$

4.2.1.3.1. Metrado de cargas en vigas principales y secundarias

El metrado detallado de vigas principales, vigas secundarias y columnas se encuentra en la sección anexos: ANEXO 5.

4.2.1.4. Modelamiento estructural de la edificación sin DFV

Considerando los datos sísmicos requeridos, se llevó a cabo la representación geométrica del proyecto de edificación de 10 pisos utilizando el software Etabs V.21.1.0. Esta representación se basó en los planos de arquitectura y los planos estructurales, que incluían información preliminar sobre el diseño de la edificación. Los detalles del proceso de modelado se encuentran en la sección de anexos en el ANEXO 6.

4.2.1.5. Análisis estático

El análisis estático, también conocido como análisis de fuerzas equivalentes, implica la aplicación de una fuerza concentrada en el centro de masa final de cada entrepiso. Este método tiene tres objetivos principales en ingeniería estructural: determinar el sistema estructural, evaluar la regularidad estructural y calcular la fuerza cortante estática para su comparación con la fuerza cortante dinámica.

Parámetros sísmicos iniciales para realizar el análisis estático

Teniendo en cuenta el capítulo II de la norma E.030-2018, a continuación, se muestra la Tabla 21, un resumen de los parámetros para iniciar con el análisis estático de la estructura.

Tabla 21

Parámetros sísmicos

Parámetros sísmicos	Símbolo	Valor
Zona (Z)	3	0.35
Categoría (U)	Común - C	1.00
Factor de suelo (S)	S2	1.15
Periodo que define la plataforma del factor C	Tp	0.6
Periodo que define el inicio de la zona del factor C	Tl	2.0
Sistema estructural	C.A, Pórticos	
Coefficiente básico de reducción	Ro	8
Irregularidad en Altura	Ia	1.00
Irregularidad en Planta	Ip	1.00
Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas	R=(Ro)(Ia)(Ip)	8

Nota: Elaboración propia

Periodo fundamental de vibración

Para iniciar con el análisis estático se determina un periodo natural de vibración referencial con la fórmula del artículo 28.4 “*Periodo fundamental de vibración*” de la norma E.030-2018:

$$T = \frac{h_n}{C}$$

La altura total de la edificación en estudio medida desde el nivel de terreno natural es de 30m y el sistema estructural asumido es un sistema aporticado por consiguiente se calcula de la siguiente manera:

$$T_{XY} = \frac{30}{35} = 0.857s$$

Coeficiente de amplificación sísmica (C)

Para determinar el coeficiente de amplificación sísmica C, esta se determina tomando en cuenta los periodos del terreno (ver Tabla 22) dado en el artículo 13 “*Parámetros de sitio (S, Tp y Tl)*” de la norma E.030-2018:

Tabla 22

Periodos y perfiles de suelo

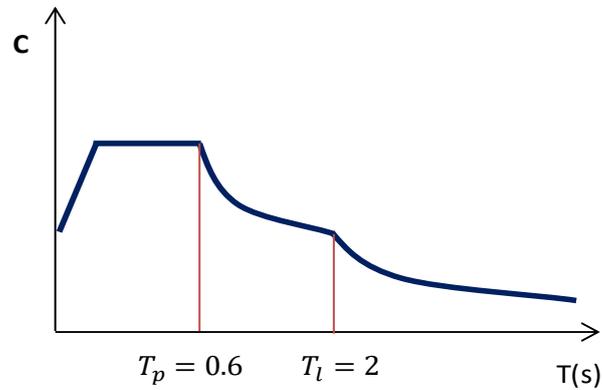
Periodos	Perfiles de suelo			
	S0	S1	S2	S3
Tp (s)	0.3	0.4	0.6	1.0
Tl (s)	3.0	2.5	2.0	1.6

Nota: Extraído de la norma E.030 del R.N.E.

Como se ha mencionado el suelo para este proyecto es de tipo S₂, por ende, el valor que le corresponde al periodo que define la plataforma del factor C es Tp=0.6s y del periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante es Tl=2.0s, se determina el gráfico del coeficiente de amplificación sísmica mediante el siguiente gráfico (ver Figura 39):

Figura 39

Gráfico de espectro para determinar el coeficiente de amplificación sísmica



Nota: Elaboración propia

Y los valores del coeficiente de amplificación sísmica C son calculados de acuerdo al artículo 14 “*Factor de Amplificación Sísmica*” de la norma E.030 con las siguientes fórmulas:

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

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

$$T > T_l \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_l}{T^2} \right)$$

Por lo que para la edificación en estudio se tiene los siguientes valores:

$$C_{XY} = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) = 2.5 \left(\frac{0.6}{0.857} \right) = 1.75$$

Coficiente de cortante basal inicial C'_{i}

$$C'_{xyi} = \frac{ZUCS}{R} = \frac{0.35 \cdot 1 \cdot 1.75 \cdot 1.15}{8} = 0.0880469$$



Exponente por altura de edificio inicial (K_i)

En vista de que los periodos naturales de vibración del edificio de 10 niveles superan los 0.5s. Según el artículo 28.3.2 “*Distribución de Fuerza Sísmica en Altura*” de la norma E.030-2018 el exponente por altura del edificio K, se halla mediante la siguiente fórmula:

$$K = (0.75 + 0.5T) \leq 2$$

$$K_{Xi} = (0.75 + 0.5T_X) = 0.75 + 0.5(0.857) = 1.179$$

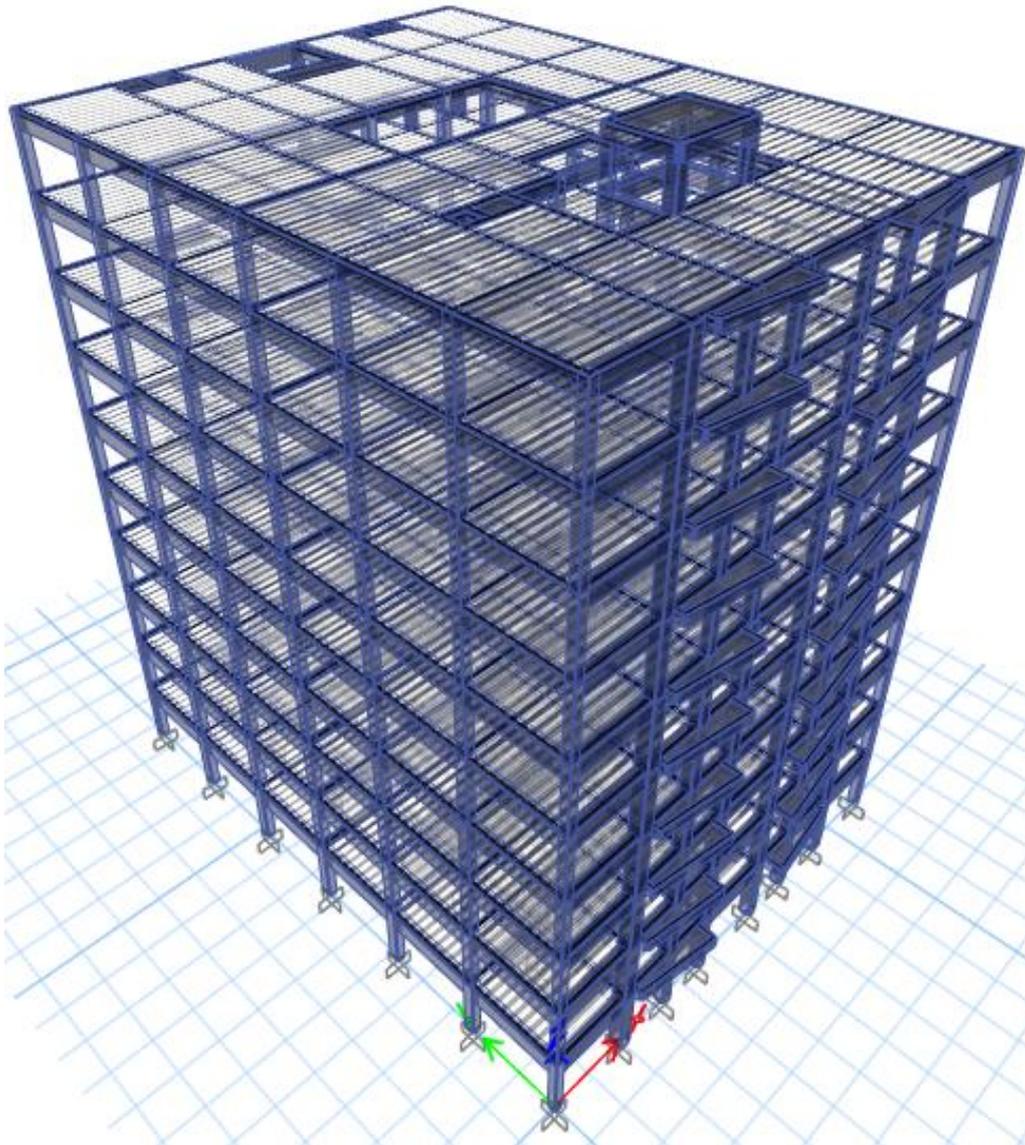
$$K_{Yi} = (0.75 + 0.5T_Y) = 0.75 + 0.5(0.857) = 1.179$$

Modelamiento 3D de la estructura

Una vez determinados los parámetros sísmicos se procede a ejecutar el modelado de la edificación en el software Etabs de la Figura 40 y la realización del análisis estático siguiendo los pasos indicados en el capítulo de modelamiento estructural.

Figura 40

Modelo del edificio aporticado de 10 niveles



Nota: Elaboración propia con el software Etabs

Periodos naturales de vibración

Se extraen los periodos naturales de vibración reales a partir del análisis estático inicial que se realiza en el Etabs.

$$T_x = 0.979 \text{ seg}$$

$$T_y = 1.005 \text{ seg}$$

Corrección por periodo real sísmico

Inicialmente se tenía un factor C de amplificación sísmica de $C = 0.088046875$, teniendo como referencia un periodo natural de 0.857 seg. Sin embargo, de ahora en adelante se realizará la corrección por periodo natural de vibración que se obtuvo a partir del modelamiento en el software Etabs.

- **Para la dirección X**

$$T_p = 0.6s < T_x = 0.979 < T_l = 2$$

$$C_x = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) = 2.5 \left(\frac{0.6}{0.979} \right) = 1.5322$$

Se verifica que el valor de:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

Corrección del coeficiente de cortante basal C'_{xf}

$$C'_{xf} = \frac{(0.35)(1.0)(1.5322)(1.15)}{8} = 0.077087589$$

Donde el coeficiente de cortante basal C'_{xf} para la dirección X es ingresado al software Etabs para que generar nuevamente el análisis estático con el coeficiente real calculado previamente.

- **Para la dirección Y**

Se tiene el caso:

$$T_p = 0.6s < T_y = 1.005 < T_l = 2$$

Entonces en coeficiente de amplificación sísmica será:

$$C_{Yf} = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) = 2.5 \left(\frac{0.6}{1.005} \right) = 1.4925$$

Se verifica que el valor de:

$$\frac{C}{R} \geq 0.11$$

Corrección del coeficiente de cortante basal C'yf

$$C'_{yf} = \frac{(0.35)(1.0)(1.4925)(1.15)}{8} = 0.07509328$$

Donde el coeficiente de cortante basal C'yf para la dirección Y es ingresado al software Etabs para que generar nuevamente el análisis estático con el coeficiente real calculado previamente.

Corrección del exponente por altura del edificio (K)

El factor exponente mencionado también debe ser corregido de acuerdo a los periodos naturales de vibración del edificio obtenidos del Etabs, con la siguiente condición del art. 28.3.2 de la norma E.030.

$$K = (0.75 + 0.5T) \leq 2$$

$$K_{Xf} = (0.75 + 0.5T_X) = 0.75 + 0.5(0.979) = 1.240$$

$$K_{Yf} = (0.75 + 0.5T_Y) = 0.75 + 0.5(1.005) = 1.253$$

Como siguiente paso se ingresa todos los datos corregidos al Etabs, los cuales servirán para continuar con el análisis estático y dinámico donde se hace una iteración de modo que con el modelado de la edificación sin

DFV tenga las secciones óptimas finales cumpliendo las condiciones de dispuestas por la norma peruana.

Cortante estática en la base

A partir del modelo creado con el software Etabs, se obtiene la fuerza cortante estática en las dos direcciones de análisis (ver Tabla 23).

Tabla 23

Cortantes estáticas en la base del edificio

Sismo	Vx (ton)	Vy (ton)
Estático X	370.63	-
Estático Y	-	402.81

Nota: Fuente propia

De la Tabla 23 se indica que la cortante estática en la dirección X es $V_x = 370.63\text{ton}$, este valor representa la fuerza de corte que actúa en la base del edificio en la dirección horizontal X debido a un sismo estático, es un indicador de la resistencia que debe proporcionar la estructura para contrarrestar los efectos sísmicos en esta dirección. y la cortante estática en la dirección Y es $V_y = 402.81\text{ton}$ representa la fuerza de corte en la base del edificio en la dirección horizontal Y durante un sismo estático, esto indica cuánto debe resistir la estructura en la dirección Y. El hecho de que este valor sea mayor que el de la dirección X sugiere que la estructura enfrenta una mayor demanda sísmica en la dirección Y. Además, estos valores servirán para la verificación del sistema estructural y la aplicación del factor de escalamiento a la cortante dinámica.

4.2.1.6. Análisis dinámico

El análisis modal espectral dinámico implica la aplicación de una fuerza de excitación externa generada por un espectro inelástico de aceleración frente al periodo. Se deben considerar tres modos por cada nivel de la estructura, lo que significa un total de 30 modos de vibración para un edificio de 10 pisos. Es necesario que la suma de los modos considerados supere al menos el 90% de la masa total del edificio.

Aceleración espectral

Se utiliza un espectro de pseudo-aceleraciones para cada dirección ortogonal del análisis del edificio multifamiliar de acuerdo al Art. 29.2 “Aceleración espectral” de la norma E.030-2018 de Diseño sismorresistente , el cual lo define mediante la siguiente fórmula.

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g$$

Para casos prácticos de modelado en Etabs el espectro de diseño se genera con la siguiente ecuación:

$$\frac{S_a}{g} = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R}$$

Asimismo, el factor de amplificación sísmica C, es definido según las características de sitio y el periodo con las siguientes expresiones:

$$\begin{aligned} T < T_p & \quad C = 2.5 \\ T_p < T < T_l & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \\ T > T_l & \quad C = 2.5 \left(\frac{T_p \cdot T_l}{T^2} \right) \end{aligned}$$

Con el apoyo de la hoja Excel se determinó los valores del espectro de respuesta variando el periodo (ver Tabla 24).

Tabla 24

Valores del espectro de pseudo-aceleraciones para las direcciones X y Y

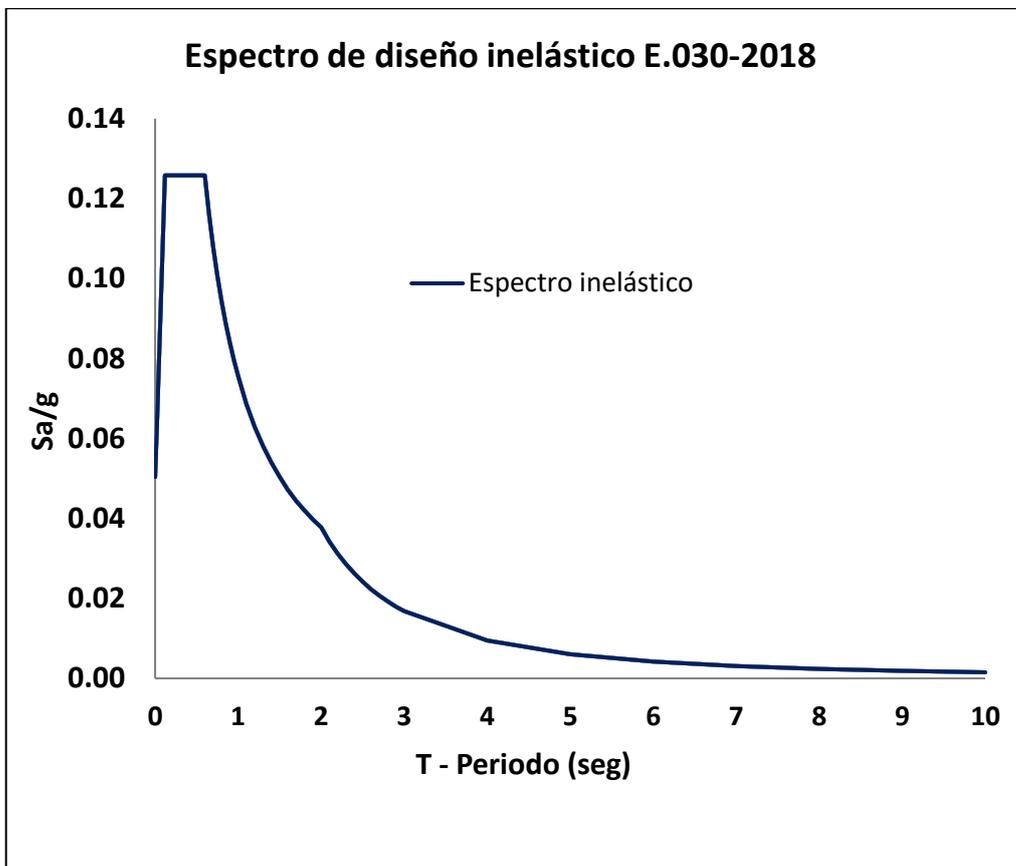
T (s)	C _{xy}	(ZUCS/R) _{xy}	T (s)	C _{xy}	(ZUCS/R) _{xy}
0.00	1.00000	0.0503125	1.10	1.36364	0.068608
0.02	1.25000	0.06289063	1.20	1.25000	0.0628906
0.04	1.50000	0.07546875	1.30	1.15385	0.0580529
0.06	1.75000	0.08804688	1.40	1.07143	0.0539063
0.08	2.00000	0.100625	1.50	1.00000	0.0503125
0.10	2.25000	0.11320313	1.60	0.93750	0.047168
0.12	2.50000	0.12578125	1.70	0.88235	0.0443934
0.14	2.50000	0.12578125	1.80	0.83333	0.0419271
0.16	2.50000	0.12578125	1.90	0.78947	0.0397204
0.18	2.50000	0.12578125	2.00	0.75000	0.0377344
0.20	2.50000	0.12578125	2.10	0.68027	0.0342262
0.25	2.50000	0.12578125	2.20	0.61983	0.0311854
0.30	2.50000	0.12578125	2.30	0.56711	0.0285326
0.35	2.50000	0.12578125	2.40	0.52083	0.0262044
0.40	2.50000	0.12578125	2.50	0.48000	0.02415
0.45	2.50000	0.12578125	2.60	0.44379	0.022328
0.50	2.50000	0.12578125	2.70	0.41152	0.0207047
0.55	2.50000	0.12578125	2.80	0.38265	0.0192522
0.60	2.50000	0.12578125	2.90	0.35672	0.0179474
0.65	2.30769	0.11610577	3.00	0.33333	0.0167708
0.70	2.14286	0.1078125	4.00	0.18750	0.0094336
0.75	2.00000	0.100625	5.00	0.12000	0.0060375
0.80	1.87500	0.09433594	6.00	0.08333	0.0041927
0.85	1.76471	0.08878676	7.00	0.06122	0.0030804
0.90	1.66667	0.08385417	8.00	0.04688	0.0023584
0.95	1.57895	0.07944079	9.00	0.03704	0.0018634
1.00	1.50000	0.07546875	10.00	0.03000	0.0015094

Nota: Elaboración propia

A continuación, en la Figura 41 se muestra el espectro de diseño inelástico generado, el cual se usa para realizar el análisis dinámico lineal.

Figura 41

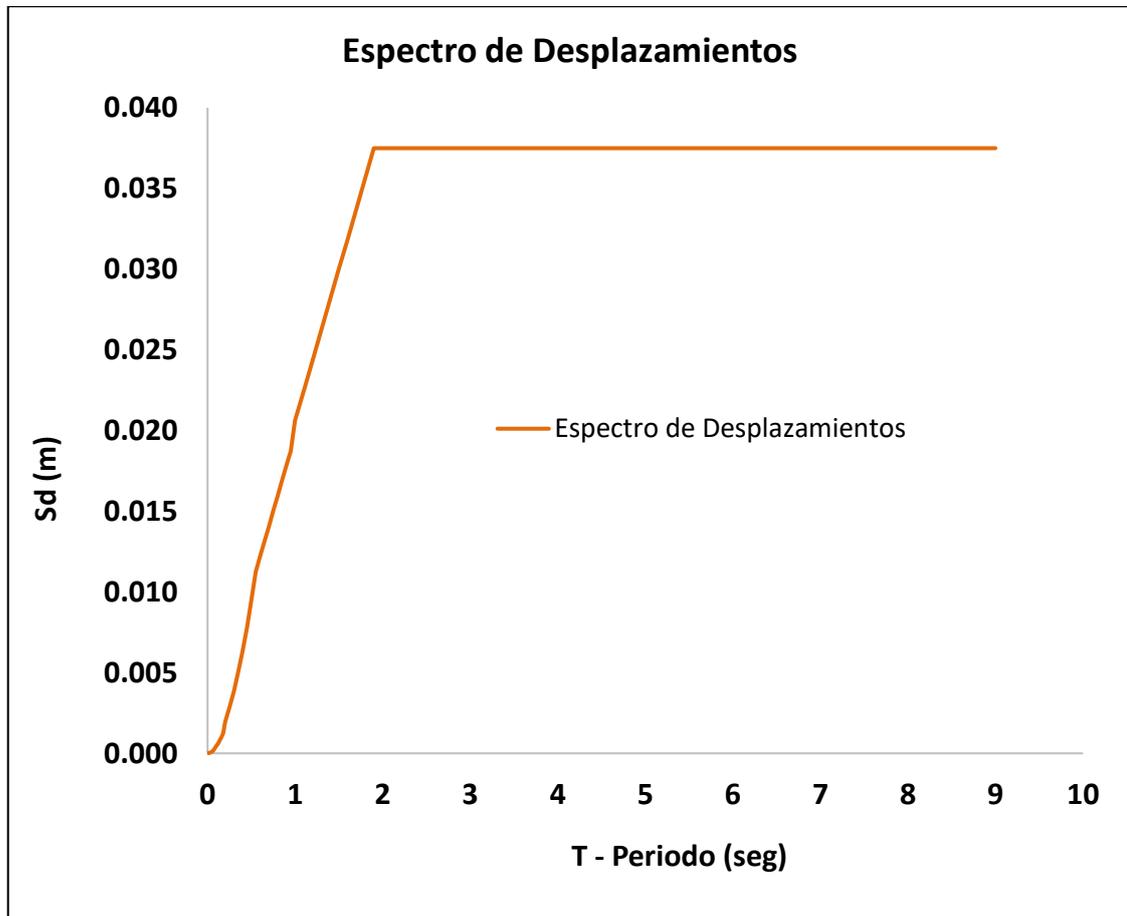
Espectro de diseño inelástico según la norma E.030



Nota: Elaboración propia

Figura 42

Espectro de desplazamientos según la norma E.030



Nota: Elaboración propia

Cortante dinámica en la base

A partir del modelo generado con el software Etabs V.21.1.0, se obtiene la fuerza cortante dinámica en las dos direcciones de análisis (ver Tabla 25).

Tabla 25

Cortantes dinámicas en la base de la edificación

Sismo	Vdx (ton)	Vdy (ton)
Dinámico X	293.07	-
Dinámico Y	-	330.55

Nota: Extraído del software Etabs

La Tabla 25 proporciona información sobre las cortantes dinámicas en la base de la edificación para dos direcciones ortogonales (X y Y) en condiciones sísmicas. En la dirección X, la cortante dinámica es de 293.07ton, indicando la magnitud de la fuerza horizontal que el edificio debe resistir en esta dirección durante un sismo dinámico. En la dirección Y, la cortante dinámica es de 330.55ton, representando la fuerza horizontal que debe resistirse en esta dirección. Estos valores servirán para la verificación del sistema estructural y la aplicación del factor de escalamiento a la cortante dinámica.

4.2.1.7. Verificaciones estructurales de la edificación sin DFV

4.2.1.7.1 Verificación de irregularidades

Se emplea Excel para calcular las irregularidades en altura y planta de acuerdo al Art. 20 “*Factores de Irregularidad (Ia, Ip)*” de la norma E.030-2018 de Diseño Sismorresistente, y se comprueba si el factor de irregularidad utilizado fue el adecuado.

a. Irregularidades por altura (Ia)

- **Irregularidad de rigidez-piso blando**

$$K_i < 0.70K_{i+1} \quad \vee \quad K_i < \frac{0.80}{3}(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})$$

Donde:

K_i : rigidez lateral enésima

K_{i+1} : rigidez lateral del entrepiso inmediato superior



$$\frac{(K_{i+1} + K_{i+2} + K_{i+3})}{3} : \text{rigidez lateral promedio de los 3 niveles}$$

superiores adyacente

En la dirección X-X

Tabla 26

Verificación de la irregularidad de rigidez-piso blando en la dirección X

N Pisos	hi (m)	Ki(tn/m)	K_i/K_{i+1}	$K_i/(K_{i+1}+K_{i+2} + K_{i+3})$	¿Piso Blando?
10	3.0	30394.536	----	----	----
9	3.0	41192.562	1.355	----	----
8	3.0	43970.565	1.067	----	----
7	3.0	51375.705	1.168	1.334	No tiene
6	3.0	81983.627	1.596	1.801	No tiene
5	3.0	85212.360	1.039	1.442	No tiene
4	3.0	87895.670	1.031	1.206	No tiene
3	3.0	90804.137	1.033	1.068	No tiene
2	3.0	94844.643	1.044	1.078	No tiene
1	3.0	127955.058	1.349	1.403	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

En la dirección Y-Y

Tabla 27

Verificación de la irregularidad de rigidez-piso blando en la dirección Y

N Pisos	hi (m)	Ki(tn/m)	K_i/K_{i+1}	$K_i/(K_{i+1}+K_{i+2}+K_{i+3})$	¿Piso Blando?
10	3.0	34183.907	----	----	----
9	3.0	44682.004	1.307	----	----
8	3.0	48640.042	1.089	----	----
7	3.0	59419.993	1.222	1.398	No tiene
6	3.0	89301.635	1.503	1.754	No tiene
5	3.0	92047.911	1.031	1.399	No tiene
4	3.0	93748.560	1.018	1.168	No tiene
3	3.0	95646.419	1.020	1.043	No tiene
2	3.0	103278.343	1.080	1.101	No tiene
1	3.0	132934.850	1.287	1.363	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

- **Irregularidad de resistencia-piso débil**

$$R_i < 0.80R_{i+1}$$

Donde:

R_i : Resistencia del entrepiso

R_{i+1} : Resistencia del entrepiso inmediato superior

En la dirección X-X

Tabla 28

Verificación de irregularidad de resistencia-piso débil en la dirección X

N Pisos	hi (m)	Ri (tn)	R_i/R_{i+1}	$R_i/R_{i+1} < 0.80?$
10	3.0	53.930	----	No tiene
9	3.0	112.893	2.093	No tiene
8	3.0	160.116	1.418	No tiene
7	3.0	197.391	1.233	No tiene
6	3.0	228.248	1.156	No tiene
5	3.0	257.590	1.129	No tiene
4	3.0	283.891	1.102	No tiene
3	3.0	306.170	1.078	No tiene
2	3.0	322.927	1.055	No tiene
1	3.0	331.801	1.027	No tiene
			F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

En la dirección Y-Y

Tabla 29

Verificación de irregularidad de resistencia-piso débil en la dirección Y

N Pisos	hi (m)	Ri (tn)	R_i/R_{i+1}	$R_i/R_{i+1} < 0.80?$
10	3.0	54.115	----	No tiene
9	3.0	113.876	2.104	No tiene
8	3.0	162.166	1.424	No tiene
7	3.0	200.645	1.237	No tiene
6	3.0	232.612	1.159	No tiene
5	3.0	262.937	1.130	No tiene
4	3.0	290.123	1.103	No tiene
3	3.0	313.153	1.079	No tiene
2	3.0	330.449	1.055	No tiene
1	3.0	339.520	1.027	No tiene
			F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

- **Irregularidad extrema de rigidez**

No tiene irregularidad

- **Irregularidad extrema de resistencia**

No tiene irregularidad

- **Irregularidad de masa o peso**

$$W_i > 1.5W_{i+1} \quad \vee \quad W_i > 1.5W_{i-1}$$

Tabla 30 Verificación de irregularidad de masa o peso

N Pisos	hi (m)	P acum (tn)	Pi (tn)	W_i / W_{i+1}	W_i / W_{i-1}	¿Presenta?
10	3.0	442.5	442.473	-----	0.811	-----
9	3.0	987.8	545.287	1.232	1.000	No Tiene
8	3.0	1533.0	545.287	1.000	1.000	No Tiene
7	3.0	2078.3	545.287	1.000	0.937	No Tiene
6	3.0	2660.0	581.644	1.067	1.000	No Tiene
5	3.0	3241.6	581.644	1.000	1.000	No Tiene
4	3.0	3823.3	581.644	1.000	1.000	No Tiene
3	3.0	4404.9	581.644	1.000	1.000	No Tiene
2	3.0	4986.6	581.644	1.000	1.001	No Tiene
1	4.0	5567.9	581.330	0.999	-----	No Tiene
					F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

- **Irregularidad geométrica vertical**

No tiene irregularidad

- **Discontinuidad en los sistemas resistentes**

No tiene irregularidad

- **Discontinuidad en los sistemas resistentes**

No tiene irregularidad

b. Irregularidades estructurales en Planta (Ip)• **Irregularidad torsional**

$$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.3\Delta_{prom} \quad \vee \quad \frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{\Delta_{prom}} > 1.3$$

En la direcci3n X-X

Tabla 31

Verificaci3n de irregularidad torsional en la direcci3n X

Nivel	Caso de carga	Deriva maxima	Deriva promedio	Ratio	Ratio > 1.3?
Story10	D.In 0.75*8 Rx din	0.00398	0.00334	1.192	No tiene
Story9	D.In 0.75*8 Rx din	0.00647	0.00548	1.181	No tiene
Story8	D.In 0.75*8 Rx din	0.00860	0.00728	1.181	No tiene
Story7	D.In 0.75*8 Rx din	0.00968	0.00823	1.176	No tiene
Story6	D.In 0.75*8 Rx din	0.00653	0.00557	1.173	No tiene
Story5	D.In 0.75*8 Rx din	0.00708	0.00605	1.171	No tiene
Story4	D.In 0.75*8 Rx din	0.00757	0.00646	1.173	No tiene
Story3	D.In 0.75*8 Rx din	0.00791	0.00674	1.174	No tiene
Story2	D.In 0.75*8 Rx din	0.00802	0.00682	1.175	No tiene
Story1	D.In 0.75*8 Rx din	0.00614	0.00525	1.170	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboraci3n propia

*En la dirección Y-Y***Tabla 32***Verificación de irregularidad torsional en la dirección Y*

Nivel	Caso de carga	Deriva máxima	Deriva promedio	Ratio	Ratio > 1.3?
Story10	D.In 0.75*8 Ry din	0.00277	0.00266	1.039	No tiene
Story9	D.In 0.75*8 Ry din	0.00493	0.00474	1.040	No tiene
Story8	D.In 0.75*8 Ry din	0.00676	0.00650	1.040	No tiene
Story7	D.In 0.75*8 Ry din	0.00787	0.00757	1.039	No tiene
Story6	D.In 0.75*8 Ry din	0.00543	0.00523	1.038	No tiene
Story5	D.In 0.75*8 Ry din	0.00596	0.00574	1.038	No tiene
Story4	D.In 0.75*8 Ry din	0.00646	0.00622	1.038	No tiene
Story3	D.In 0.75*8 Ry din	0.00683	0.00658	1.039	No tiene
Story2	D.In 0.75*8 Ry din	0.00698	0.00672	1.039	No tiene
Story1	D.In 0.75*8 Ry din	0.00533	0.00513	1.039	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

La Tabla 32 muestra una verificación similar a la de la Tabla 31, pero en la dirección Y. En este caso, no se presenta irregularidad torsional en la dirección Y.

- **Irregularidad torsional extrema**

$$\Delta_{m\acute{a}x} > 1.5 \Delta_{prom}$$

Tabla 33

Verificación de irregularidad torsional extrema en la dirección X

Nivel	Caso de carga	Deriva máxima	Deriva promedio	Ratio	Ratio > 1.5?
Story10	D.In 0.75*8 Rx din	0.00398	0.00334	1.192	No tiene
Story9	D.In 0.75*8 Rx din	0.00647	0.00548	1.181	No tiene
Story8	D.In 0.75*8 Rx din	0.00860	0.00728	1.181	No tiene
Story7	D.In 0.75*8 Rx din	0.00968	0.00823	1.176	No tiene
Story6	D.In 0.75*8 Rx din	0.00653	0.00557	1.173	No tiene
Story5	D.In 0.75*8 Rx din	0.00708	0.00605	1.171	No tiene
Story4	D.In 0.75*8 Rx din	0.00757	0.00646	1.173	No tiene
Story3	D.In 0.75*8 Rx din	0.00791	0.00674	1.174	No tiene
Story2	D.In 0.75*8 Rx din	0.00802	0.00682	1.175	No tiene
Story1	D.In 0.75*8 Rx din	0.00614	0.00525	1.170	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

Tabla 34

Verificación de irregularidad torsional extrema en la dirección Y

Nivel	Caso de carga	Deriva máxima	Deriva promedio	Ratio	Ratio > 1.5?
Story10	D.In 0.75*8 Ry din	0.00277	0.00266	1.039	No tiene
Story9	D.In 0.75*8 Ry din	0.00493	0.00474	1.040	No tiene
Story8	D.In 0.75*8 Ry din	0.00676	0.00650	1.040	No tiene
Story7	D.In 0.75*8 Ry din	0.00787	0.00757	1.039	No tiene
Story6	D.In 0.75*8 Ry din	0.00543	0.00523	1.038	No tiene
Story5	D.In 0.75*8 Ry din	0.00596	0.00574	1.038	No tiene
Story4	D.In 0.75*8 Ry din	0.00646	0.00622	1.038	No tiene
Story3	D.In 0.75*8 Ry din	0.00683	0.00658	1.039	No tiene
Story2	D.In 0.75*8 Ry din	0.00698	0.00672	1.039	No tiene
Story1	D.In 0.75*8 Ry din	0.00533	0.00513	1.039	No tiene
				F.I.	1.00

Nota: Elaboración propia

- **Esquinas entrantes**

No tiene irregularidad

- **Discontinuidad del diafragma**

No tiene irregularidad

- **Sistemas no paralelos**

No tiene irregularidad

c. Resumen de irregularidades

Luego del análisis estático-dinámico, se presenta el resumen de la revisión de irregularidades tanto en altura (ver Tabla 35) y planta (ver Tabla 36).

Tabla 35

Resumen de la revisión de irregularidades estructurales en altura

Irregularidad Estructural en Altura Ia			
Descripción de Ia	Sí	No	Ia
Irregularidad de Rigidez-Piso blando		X	1
Irregularidad de Resistencia-Piso débil		X	1
Irregularidad Extrema de Rigidez		X	1
Irregularidad Extrema de Resistencia		X	1
Irregularidad de Masa o Peso		X	1
Irregularidad Geométrica Vertical		X	1
Discontinuidad de Sistemas Resistentes		X	1
Discontinuidad extrema de Sistemas Resistentes		X	1

Nota: Elaboración propia

La Tabla 35 resume la revisión de irregularidades estructurales en altura. Según la Norma E.030, se verifica la presencia de irregularidades de rigidez, resistencia, masa, geométrica vertical y discontinuidades en los sistemas resistentes. Este resumen sirve para tener una visión general de las posibles debilidades estructurales en altura. En este caso, no se presenta

ninguna irregularidad estructural en altura, por consiguiente, se excluye dicha irregularidad.

Tabla 36

Resumen de la revisión de irregularidades estructurales en planta

Irregularidad Estructural en Planta Ip			
Descripción de Ip	Sí	No	Ip
Irregularidad Torsional		X	1
Irregularidad Torsional Extrema		X	1
Esquinas entrantes		X	1
Discontinuidad del diafragma		X	1
Sistemas no paralelos		X	1

Nota: Elaboración propia

La Tabla 36 resume la revisión de irregularidades estructurales en planta. La norma evalúa irregularidades torsionales, torsionales extremas, esquinas entrantes, discontinuidades del diafragma y sistemas no paralelos. Este resumen proporciona una visión completa de las irregularidades estructurales en planta, permitiendo tomar decisiones informadas para el refuerzo y diseño sismorresistente del edificio. En este caso, la estructura analizada no se presenta ninguna irregularidad estructural en planta, por consiguiente, se excluye dicha irregularidad.

4.2.1.7.2. Porcentaje de masa participativa

La norma E.030 en su Art. 29.1 “*Modos de vibración*”, indica que la sumatoria de un determinado número de modos dentro de los 30 para el presente edificio, deberá cumplir con la participación de mínimo el 90% de la masa total del edificio. A continuación, se presenta los valores extraídos del software Etabs.

Tabla 37*Modos periodos y masa participativa del edificio*

Modo	Periodo (s)	UX	UY	SumUX	SumUY	RZ
1	1.005	1.00E-04	0.7842	1.00E-04	0.7842	5.00E-04
2	0.979	0.7008	0.0003	0.7009	0.7845	0.0732
3	0.882	0.0739	3.00E-04	0.7748	0.7848	0.7125
4	0.376	3.37E-05	0.1218	0.7748	0.9067	1.00E-04
5	0.366	0.1147	1.00E-04	0.8895	0.9067	0.0168
6	0.336	0.0171	1.00E-04	0.9066	0.9068	0.1051
7	0.21	1.34E-05	0.0391	0.9067	0.9458	3.05E-05
8	0.202	0.0333	3.07E-05	0.94	0.9459	0.006
9	0.188	0.0064	1.21E-05	0.9463	0.9459	0.0329
10	0.155	2.19E-05	0.02	0.9464	0.9659	1.73E-05
11	0.151	0.0173	3.29E-05	0.9637	0.9659	0.0033
12	0.14	3.00E-03	4.96E-06	0.9666	0.966	1.68E-02

Nota: Elaboración propia con el Software de Etabs V.21.1.0

De la Tabla 37 se aprecia que en el eje X se cumple la condición de superar el 90% de la suma de los modos en el modo 6. En el eje Y, se cumple en el modo 4, superando también el 90% requerido.

Se extraen los periodos naturales de vibración reales a partir del análisis dinámico que se realiza en el Etabs.

$$T_x = 0.979 \text{ seg}$$

$$T_y = 1.005 \text{ seg}$$

4.2.1.7.3. Verificación de sistema estructural predominante en cada dirección

Se realiza con la finalidad de identificar el sistema estructural predominante del edificio (ver Tabla 38), que puede ser de entre los siguientes: muros estructurales, sistemas de pórticos, sistemas de marcos, sistemas de muros de corte, entre otros.

Tabla 38*Verificación de sistema estructural predominante en cada dirección*

Tipo de Análisis	Cortante basal total (tn)	Cortante basal en columna (tn)	Cortante basal en Muros (tn)	Pórticos %	Muros o Placas %	Sistema Estructural Predominante	Ro a utilizar
Estático							
Sx	370.63	370.63	0.00	100%	0%	Pórticos	8
Sy	402.81	402.81	0.00	100%	0%	Pórticos	8
Dinámico							
Din x	293.07	293.07	0.00	100%	0%	Pórticos	8
Din y	330.55	330.55	0.00	100%	0%	Pórticos	8

Nota: Elaboración propia

La norma E.030-2018 de Diseño Sismorresistente en el artículo 16.1 “*Estructuras de concreto armado*” considera como sistema de pórticos, cuando si por lo menos el 80% de la fuerza cortantes es absorbida por las columnas. Entonces de la Tabla 38 se observa que el 100% de la cortante basal es tomada por columnas, entonces el cual es considerado como un sistema estructural de pórticos.

4.2.1.7.4. Verificación de fuerza cortante mínima

Esta verificación se realiza para asegurar que la estructura tenga la resistencia suficiente para soportar las fuerzas sísmicas esperadas. De acuerdo al Art. 29.4 “*Fuerza cortante mínima*” de la norma E.030 de Diseño Sismorresistente, para cada una de las direcciones consideradas en análisis, la relación de la fuerza cortante se debe dar de la siguiente manera:

$$\text{Estructuras regulares: } V_{\text{dinámica}} > 80\% V_{\text{estática}}$$

Si fuera necesario incrementar el valor de la fuerza cortante para cumplir los mínimos indicados, se debe realizar el escalamiento de la siguiente forma:

$$\text{Factor de escala} = Fe = \frac{80\%V_{\text{estática}}}{V_{\text{dinámica}}}$$

- Dirección X-X

$$\frac{V_{\text{dinámicaX}}}{V_{\text{estáticaX}}} = \frac{295.06tn}{373.62tn} = 0.79 < 0.80$$

No cumple aplicar factor de escalamiento

Entonces se aplica el factor de escalamiento de la siguiente forma:

$$Fe_x = \frac{0.80V_{\text{estáticaX}}}{V_{\text{dinámicaX}}} = \frac{(0.80)(373.62tn)}{295.06tn} = 1.013$$

- Dirección Y-Y

$$\frac{V_{\text{dinámicaX}}}{V_{\text{estáticaX}}} = \frac{333.23tn}{406.05tn} = 0.82 > 0.80 \text{ OK!}$$

4.2.1.7.5. Control de derivas

Una vez que se cuenta con el análisis dinámico modal espectral completamente desarrollado se procede como última etapa evaluar las derivas elásticas en las dos direcciones ortogonales de análisis.

$$Delástica = \frac{\Delta_i - (\Delta_{i-1})}{H_i}$$

Para pasar las derivas elásticas en derivas inelásticas teniendo una estructura regular, se amplifican las derivas elásticas multiplicándolas por el 75% de R. Según el Art. 31 “*Determinación de desplazamientos*

laterales” de la norma E.030-2018, las derivas inelásticas deben ser de hasta un máximo de 0.007 para edificaciones de concreto armado.

$$D_{inelástica} = D_{elástico} 0.75R$$

Inicialmente, en un inicio se determinó que no se cumplían las derivas establecidas en ninguna dirección de análisis. Para resolver esta situación, fue necesario incrementar las dimensiones de los elementos estructurales, como vigas y columnas, y, finalmente, cumplir o estar por debajo del límite de 0.007, límite de distorsión que establece la norma E.030 de Diseño Sismorresistente en su Art.32 “*Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles*”. Como resultado, se logró cumplir que la deriva del modelo estuviera por debajo del límite establecido en ambas direcciones, así como se detalla para la dirección X en la Tabla 39 y para la dirección Y en la Tabla 40.

Tabla 39

Control de derivas del análisis dinámico lineal modal espectral en la dirección X

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	Alt. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
10	D10	Dinámico X	0.024948	0.00157	3	0.000525	0.003148	Cumple
9	D9	Dinámico X	0.023374	0.00212	3	0.000705	0.004230	Cumple
8	D8	Dinámico X	0.021259	0.00283	3	0.000943	0.005656	Cumple
7	D7	Dinámico X	0.018431	0.00323	3	0.001078	0.006466	Cumple
6	D6	Dinámico X	0.015198	0.00225	3	0.000750	0.004502	Cumple
5	D5	Dinámico X	0.012947	0.00248	3	0.000826	0.004956	Cumple
4	D4	Dinámico X	0.010469	0.00267	3	0.000889	0.005334	Cumple
3	D3	Dinámico X	0.007802	0.00280	3	0.000932	0.005590	Cumple
2	D2	Dinámico X	0.005007	0.00283	3	0.000944	0.005662	Cumple
1	D1	Dinámico X	0.002176	0.00218	3	0.000725	0.004352	Cumple

Nota: Elaboración propia

Tabla 40*Control de derivas del análisis dinámico modal espectral en la dirección Y*

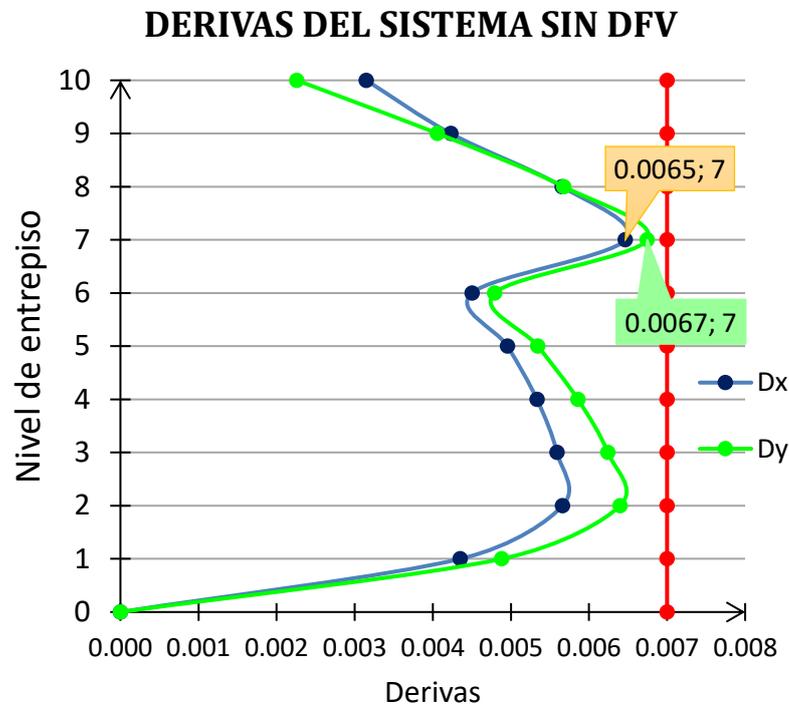
Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	Alt. entrepiso (m)	Derivas Elásticas	Derivas Inelásticas	Control E-030 ≤ 0.007
10	D10	Dinámico Y	0.026131	0.00113	3	0.000377	0.002260	Cumple
9	D9	Dinámico Y	0.025001	0.00203	3	0.000677	0.004060	Cumple
8	D8	Dinámico Y	0.022971	0.00284	3	0.000946	0.005678	Cumple
7	D7	Dinámico Y	0.020132	0.00337	3	0.001124	0.006746	Cumple
6	D6	Dinámico Y	0.016759	0.00240	3	0.000799	0.004792	Cumple
5	D5	Dinámico Y	0.014363	0.00267	3	0.000891	0.005346	Cumple
4	D4	Dinámico Y	0.01169	0.00293	3	0.000976	0.005858	Cumple
3	D3	Dinámico Y	0.008761	0.00312	3	0.001040	0.006242	Cumple
2	D2	Dinámico Y	0.00564	0.00320	3	0.001066	0.006398	Cumple
1	D1	Dinámico Y	0.002441	0.00244	3	0.000814	0.004882	Cumple

Nota: Elaboración propia

En la Figura 43, se muestra de manera gráfica los resultados de las derivas de entrepiso obtenidos a través del análisis dinámico lineal modal espectral.

Figura 43

Derivas de entrepiso del modelo sin DFV-convencional obtenidos por análisis dinámico lineal modal espectral



Nota: Elaboración propia

De la Figura 43 se observa que en el séptimo nivel la deriva máxima para la dirección X es de 0.0065 y la deriva de entrepiso para la dirección Y es de 0.0067, esto significa que para el modelo convencional se ha cumplido con optimizar las derivas, ya que son inferiores al límite admisible de 0.007 que establece la norma E.030 de Diseño sísmorresistente, norma que se basa en el sismo de diseño base DBE (con una probabilidad del 10% de ser superado en un período de 50 años y un período de retorno de 475 años), el cual prioriza la protección de vidas, aunque puedan presentarse daños significativos en el sistema estructural. Por lo tanto, se controlará el comportamiento estructural a través de la deriva objetivo de la metodología Hazus, para garantizar la seguridad de



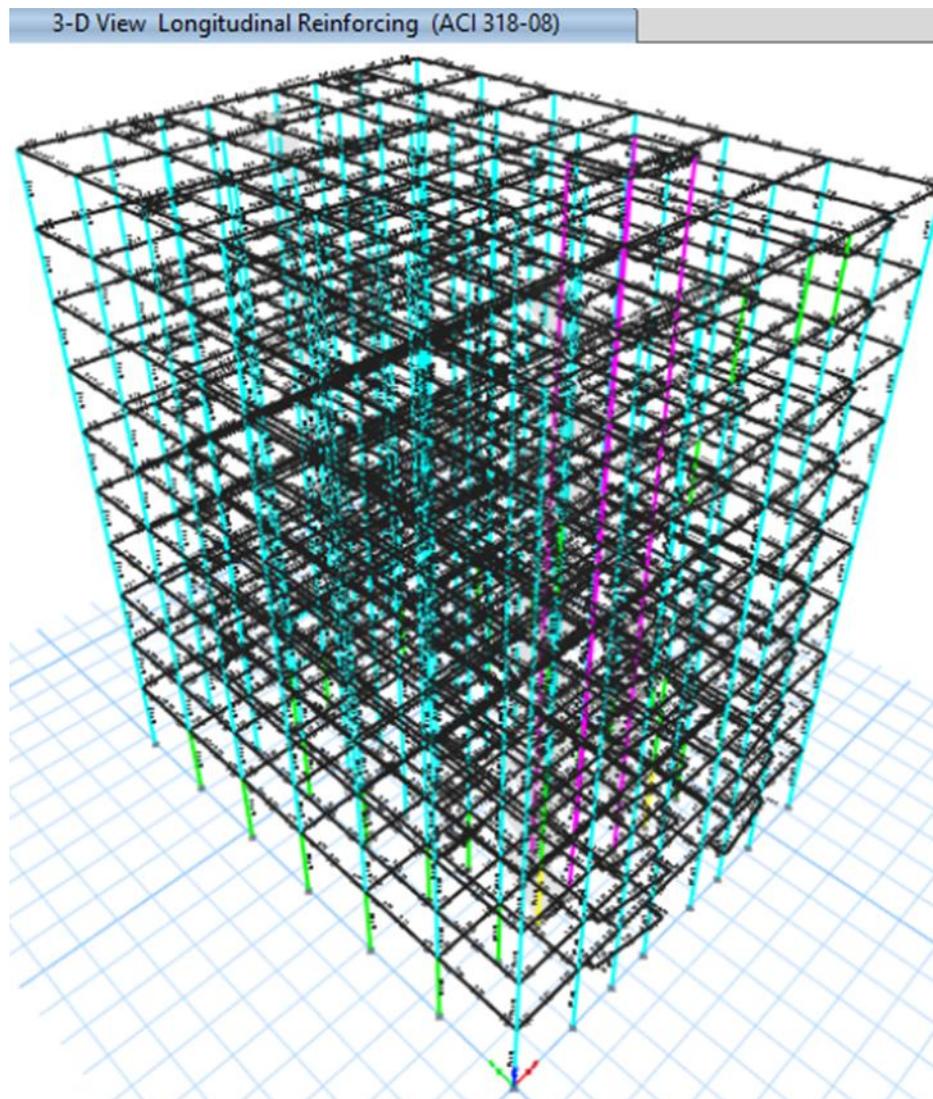
los ocupantes del edificio y la funcionalidad del edificio después de los sismos severos del MCE (con una probabilidad del 2% de ser superado en un período de 50 años y un período de retorno de 2475 años). Siguiendo los códigos correspondientes, se llevará a cabo un análisis sísmico dinámico lineal de tiempo historia para el modelo sin disipadores y el análisis tiempo historia no lineal rápido (FNA) para el modelo con disipadores, finalmente las comparaciones serán realizadas con los métodos mencionados que usan registros sísmicos.

4.2.1.7.6. Verificación de demanda-capacidad de elementos de concreto armado en Etabs

Se realizó también una verificación de demanda-capacidad de los elementos estructurales en ETABS V.21.1.0, empleando las combinaciones de carga de la norma E.060 y la norma ACI 318-08, ya que nuestra norma E.060 está basada en el ACI-2005, sin embargo, como el software no cuenta con esa opción, y como la norma peruana está basada en el más antiguo, se optó verificar con la norma del ACI 318-08 para que los resultados sean similares a la norma E.060 (véase Figura 44).

Figura 44

Verificación de demanda-capacidad de elementos estructurales en Etabs



Nota: Elaboración propia con el software Etabs V.21.1.0.

Para el proceso de diseño de elementos de concreto armado, es posible hacer una evaluación previa con Etabs, para ver si la capacidad resistente de los elementos de concreto armado es suficiente para resistir las demandas de carga. Según la Figura 44 para el edificio de 10 niveles considerado en la presente investigación se aprecia que los elementos estructurales pueden resistir las sollicitaciones de cargas.

4.2.1.7.7. Secciones finales de los elementos estructurales

Se muestra las secciones finales de los elementos estructurales como losas y vigas en la Tabla 41 y las secciones finales de las columnas y escaleras en la Tabla 42, luego del análisis y optimización según lo estipulado en la norma resultaron de las siguientes características:

Tabla 41

Secciones finales de losas y vigas

ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIMENSIONES FINALES
LOSAS ALIGERADAS	$h_l = 20 \text{ cm}$
VIGAS PRINCIPALES	<ul style="list-style-type: none"> - Vigas de los ejes A-A, B-B, H-H, I-I $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 70 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes C-C, G-G $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 60 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes D3-D4, D5-D7, D3-D4 y F5-F7 $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 40 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes D1-D2' y F1-F2' $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$
VIGAS SECUNDARIAS	<ul style="list-style-type: none"> -Vigas de los ejes 1A – 1B, 1H – 1I, 2A -2B, 2H -2I, 3A-3B, 3H -3I, 3C-3D, 3F-3G, 4A – 4B, 4H – 4I, 4C-4D, 4F-4G, 5A -5B, 5H-5I , 6A-6B, 6H- 6I, 7A -7B, 7H- 7I $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 70 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes 1D-1F, 3D-3F, 4D-4F, 5D-5F,6D-6F, 7D-7F $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 60 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes 3C-3D, 3F-3G, 4C-4D, 4F-4G $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 40 \text{ cm}$ - Vigas de los ejes 1B-1D, 1F-1H, 2B-2H, 3B-3C, 3G-3H, 4B-4C, 4G-4H, 5B-5D, 5F-5H, 6B-6D, 6F-6H, 7B-7D, 7F-7H $b = 30 \text{ cm}$ y $h = 50 \text{ cm}$
VIGAS DEL VOLADO	15X40

Nota: Elaboración propia



Tabla 42

Secciones finales de las columnas y escalera

ELEMENTO ESTRUCTURAL	DIMENSIONES FINALES
COLUMNAS	Del 1er-6to nivel
	30x30
	40x40
	Del 7mo-10mo nivel
	30x30
	50x50
ESCALERA	40x40
	$P = 30 \text{ cm}$
	$C = 17.5 \text{ cm}$
	$t = 0.15 \text{ cm}$

Nota: Elaboración propia



4.2.2. Análisis y evaluación del comportamiento estructural de la edificación con DFV

La edificación convencional analizada por el método de análisis dinámico lineal modal-espectral ha cumplido las derivas de la norma E.030 que toma en cuenta el Sismo Básico de Diseño DBE de 475 años con un 10% de probabilidad de ser excedida en 50 años, sin embargo como la norma peruana indica que los sistemas con disipación de energía deben ser diseñados de acuerdo al código ASCE/ SEI 7-22, esto implica aplicar códigos norteamericanos que se basan en un Sismo Máximo Considerado MCE de 2475 años con un 2% de probabilidad de ser excedida en 50 años, entonces la estructura analizada anteriormente es muy probable que no cumpla con las derivas estipuladas por el código norteamericano, por ende también es muy probable que va a colapsar, es entonces por ello se contempla la aplicación de disipadores de fluido viscoso DFV, se procede con el análisis lineal tiempo historia para el modelo sin DFV y el análisis tiempo historia no lineal rápido FNA para el modelo con DFV a fin de evitar daños críticos durante sismos muy severos del MCE.

Para comenzar con el análisis sísmico tiempo-historia, la norma peruana E.030 requiere que se realice un nuevo análisis de la estructura utilizando el método dinámico modal espectral con un coeficiente de reducción sísmica igual a 1 ($R=1$). El análisis dinámico lleva a cabo al edificio a un comportamiento no lineal durante un terremoto severo. Las derivas obtenidas en este análisis se compararán con el análisis de tiempo historia posterior para determinar el sismo de diseño severo a utilizar.

Los detalles del proceso de modelado en Etabs se encuentran en la sección de anexos en el ANEXO 6.

4.2.2.1. Análisis dinámico modal espectral con $R=1$

Para dicho análisis se emplean los mismos parámetros empleados en el análisis dinámico modal-espectral que se hace normalmente, con la única variación de que el valor de $R = 1$ así como se detalla en la Tabla 43, en ambas direcciones ortogonales de análisis.

Tabla 43

Parámetros sísmicos para el análisis dinámico modal espectral con $R=1$

Parámetros sísmicos	Símbolo	Valor
Zona (Z)	3	0.35
Categoría (U)	Común - C	1.00
Factor de suelo (S)	S2	1.15
Periodo que define la plataforma del factor C	T_p	0.6
Periodo que define el inicio de la zona del factor C	T_l	2.0
Sistema estructural	C.A., Pórticos	
Coefficiente básico de reducción	R_o	1
Irregularidad en Altura	I_a	1.00
Irregularidad en Planta	I_p	1.00
Coefficiente de reducción de las fuerzas sísmicas	$R=(R_o)(I_a)(I_p)$	1

Nota: Elaboración propia

En base con los parámetros de la Tabla 43 anterior se genera los valores para un nuevo espectro de pseudo-aceleraciones, denominado espectro objetivo (ver Tabla 44).

Tabla 44*Valores del espectro de pseudo aceleraciones con $R=1$*

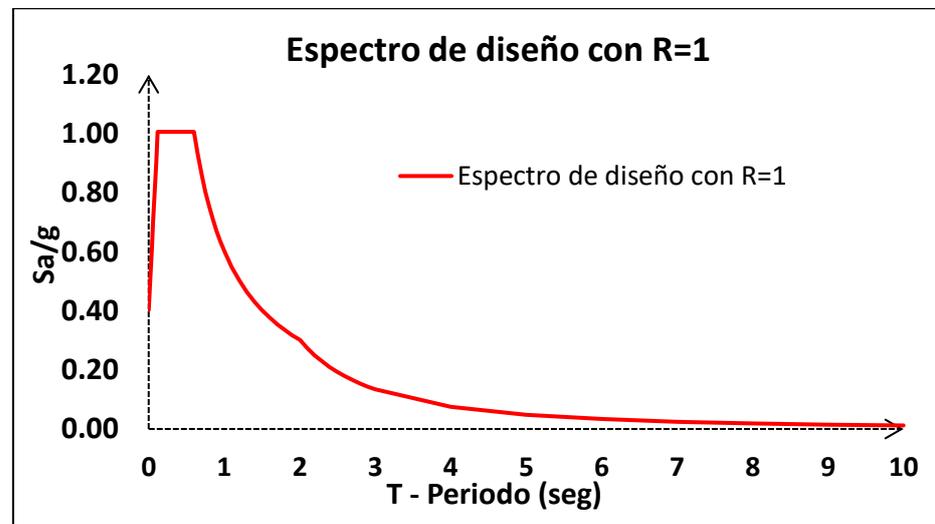
T (s)	C_{xy}	(ZUCS/R)_{xy}	T (s)	C_{xy}	(ZUCS/R)_{xy}
0.00	1.00000	0.4025000	1.10	1.36364	0.5488636
0.02	1.25000	0.5031250	1.20	1.25000	0.5031250
0.04	1.50000	0.6037500	1.30	1.15385	0.4644231
0.06	1.75000	0.7043750	1.40	1.07143	0.4312500
0.08	2.00000	0.8050000	1.50	1.00000	0.4025000
0.10	2.25000	0.9056250	1.60	0.93750	0.3773438
0.12	2.50000	1.0062500	1.70	0.88235	0.3551471
0.14	2.50000	1.0062500	1.80	0.83333	0.3354167
0.16	2.50000	1.0062500	1.90	0.78947	0.3177632
0.18	2.50000	1.0062500	2.00	0.75000	0.3018750
0.20	2.50000	1.0062500	2.10	0.68027	0.2738095
0.25	2.50000	1.0062500	2.20	0.61983	0.2494835
0.30	2.50000	1.0062500	2.30	0.56711	0.2282609
0.35	2.50000	1.0062500	2.40	0.52083	0.2096354
0.40	2.50000	1.0062500	2.50	0.48000	0.1932000
0.45	2.50000	1.0062500	2.60	0.44379	0.1786243
0.50	2.50000	1.0062500	2.70	0.41152	0.1656379
0.55	2.50000	1.0062500	2.80	0.38265	0.1540179
0.60	2.50000	1.0062500	2.90	0.35672	0.1435791
0.65	2.30769	0.9288462	3.00	0.33333	0.1341667
0.70	2.14286	0.8625000	4.00	0.18750	0.0754687
0.75	2.00000	0.8050000	5.00	0.12000	0.0483000
0.80	1.87500	0.7546875	6.00	0.08333	0.0335417
0.85	1.76471	0.7102941	7.00	0.06122	0.0246429
0.90	1.66667	0.6708333	8.00	0.04688	0.0188672
0.95	1.57895	0.6355263	9.00	0.03704	0.0149074
1.00	1.50000	0.6037500	10.00	0.03000	0.0120750

Nota: Elaboración propia

A continuación, en la Figura 45, se muestra el espectro objetivo de diseño con $R=1$, el cual se usa para realizar el análisis dinámico lineal.

Figura 45

Espectro de diseño con $R=1$



Nota: Elaboración propia

Teniendo ya definido el espectro objetivo con valor de $R=1$ se ingresa al software y se obtiene las derivas, se muestra con mayor detalle en la Tabla 45 para el eje de análisis X y en la Tabla 46 para el eje de análisis Y.

Tabla 45

Control de derivas del análisis dinámico modal espectral con $R=1$ en la dirección X

Piso	Dfg	Sismo $R=1$	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entre piso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030
10	D10	DIN XX $R=1$	0.202181	0.01276	3.0	0.004252	Cumple
9	D9	DIN XX $R=1$	0.189424	0.01714	3.0	0.005713	Cumple
8	D8	DIN XX $R=1$	0.172284	0.02292	3.0	0.007639	No cumple
7	D7	DIN XX $R=1$	0.149366	0.02620	3.0	0.008735	No cumple
6	D6	DIN XX $R=1$	0.123162	0.01824	3.0	0.006081	Cumple
5	D5	DIN XX $R=1$	0.104918	0.02008	3.0	0.006692	Cumple
4	D4	DIN XX $R=1$	0.084843	0.02162	3.0	0.007205	No cumple
3	D3	DIN XX $R=1$	0.063227	0.02265	3.0	0.007550	No cumple
2	D2	DIN XX $R=1$	0.040577	0.02294	3.0	0.007647	No cumple
1	D1	DIN XX $R=1$	0.017636	0.01764	3.0	0.005879	Cumple

Nota: Fuente propia

Tabla 46*Control de derivas del análisis dinámico modal espectral con $R=1$ en la dirección Y*

Piso	Dfg	Sismo R=1	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control E-030
10	D10	DIN YY R=1	0.208984	0.00904	3.0	0.003012	Cumple
9	D9	DIN YY R=1	0.199949	0.01624	3.0	0.005412	Cumple
8	D8	DIN YY R=1	0.183713	0.02271	3.0	0.007570	No cumple
7	D7	DIN YY R=1	0.161003	0.02698	3.0	0.008992	No cumple
6	D6	DIN YY R=1	0.134027	0.01916	3.0	0.006386	Cumple
5	D5	DIN YY R=1	0.114869	0.02138	3.0	0.007125	No cumple
4	D4	DIN YY R=1	0.093493	0.02343	3.0	0.007809	No cumple
3	D3	DIN YY R=1	0.070065	0.02496	3.0	0.008318	No cumple
2	D2	DIN YY R=1	0.04511	0.02558	3.0	0.008528	No cumple
1	D1	DIN YY R=1	0.019526	0.01953	3.0	0.006509	Cumple

Nota: Fuente propia

A partir de los cuadros anteriores Tabla 45 y Tabla 46 se observa que reaparecieron varias derivas que no cumplen con los requisitos normativos establecidos por la norma E.030. Esto indica que la estructura presenta deficiencias en términos de deformaciones laterales permitidas, lo cual puede comprometer su integridad y seguridad durante eventos sísmicos severos. Para abordar estas inconsistencias y mejorar el desempeño sísmico de la edificación, se decide implementar disipadores de fluido viscoso. Estos dispositivos ayudan a disipar la energía sísmica, reduciendo las derivas y mejorando la estabilidad de la estructura, garantizando así que las deformaciones permanezcan dentro de los límites aceptables.

4.2.2.2. Tratamiento de acelerogramas

Los registros sísmicos obtenidos de los sismógrafos están expresados en unidades Gal (cm/s^2), por consiguiente, al escalar el espectro objetivo, es necesario ajustarlo convirtiendo la aceleración de la gravedad de m/s^2 a cm/s^2 .

Corrección de registros sísmicos

1ro: Se extrae las columnas de intervalo de tiempo vs aceleración (Figura 46).

Figura 46

Extracción de datos de la aceleración a partir de los registros sísmicos

The image shows two Notepad windows side-by-side. The left window, titled '1 LIMA 1966_.txt: Bloc de notas', contains a table of seismic acceleration data. The right window, titled '1 LIMA 66 E-W...', shows a single column of data extracted from the left window. A red arrow points from the right side of the first window to the left side of the second window, indicating the source of the data.

DT	E-W	N-S	U-D
0	-11.409	-14.254	4.153
0.02	-2.687	-7.775	-5.003
0.04	-3.08	-6.297	-4.567
0.06	-4.994	1.489	0.903
0.08	0.266	2.995	9.031
0.1	3.592	-1.747	6.917
0.12	-10.103	1.733	-3.048
0.14	-18.254	5.061	-9.283
0.16	0.34	0.138	-10.091
0.18	8.475	-4.577	-0.999
0.2	-2.286	0.267	5.885
0.22	-0.784	6.339	2.836
0.24	4.281	3.437	-3.012
0.26	-0.865	1.713	-8.846
0.28	-1.69	-2.35	-9.434
0.3	8.085	-4.162	-0.13
0.32	11.22	-0.101	6.755
0.34	3.176	-4.356	4.644
0.36	-1.468	-3.77	6.332
0.38	0.224	3.12	7.18
0.4	3.244	0.358	3.93
0.42	5.666	2.894	2.201
0.44	3.55	8.304	0.127
0.46	0.613	-0.832	-4.628
0.48	2.127	-6.087	-7.45
0.5	1.521	-2.19	-6.208
0.52	-5.014	-3.509	-5.395
0.54	-1.41	-6.27	-6.052

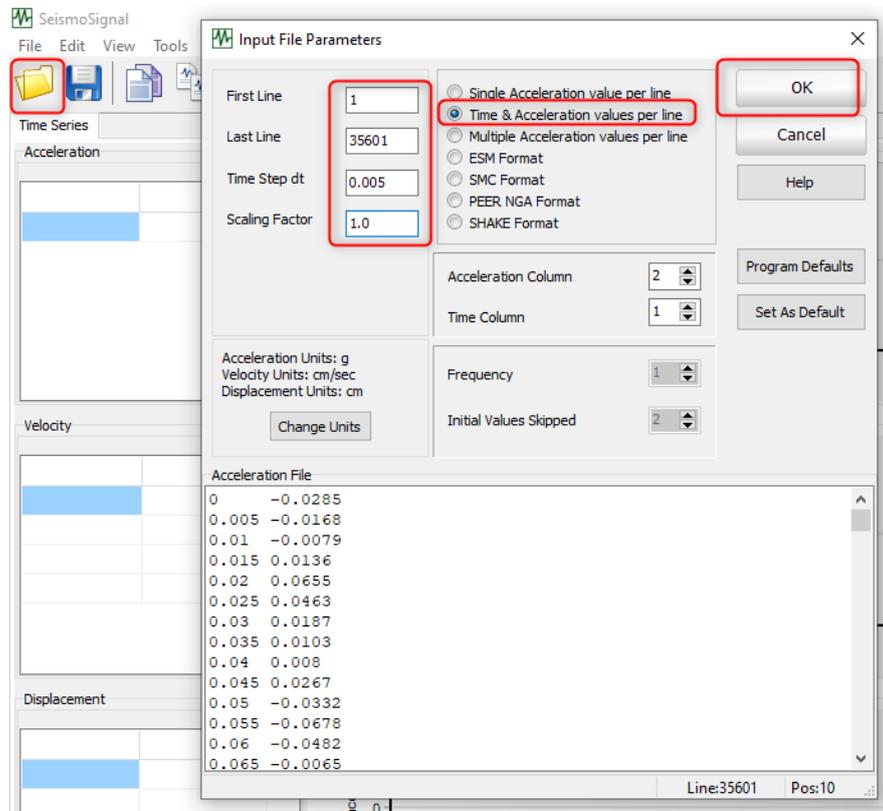
0	-11.409
0.02	-2.687
0.04	-3.08
0.06	-4.994
0.08	0.266
0.1	3.592
0.12	-10.103
0.14	-18.254
0.16	0.34
0.18	8.475
0.2	-2.286
0.22	-0.784
0.24	4.281
0.26	-0.865
0.28	-1.69
0.3	8.085
0.32	11.22
0.34	3.176
0.36	-1.468
0.38	0.224
0.4	3.244
0.42	5.666
0.44	3.55
0.46	0.613
0.48	2.127
0.5	1.521
0.52	-5.014
0.54	-1.41
0.56	0.781
0.58	-5.261
0.6	-4.003

Nota: Elaboración propia

2do: Se abre el software SeismoSignal V.2022 y se cargan los acelerogramas individuales correspondientes a cada dirección de análisis (Figura 47).

Figura 47

Cargado de acelerogramas al SeismoSignal V.2022

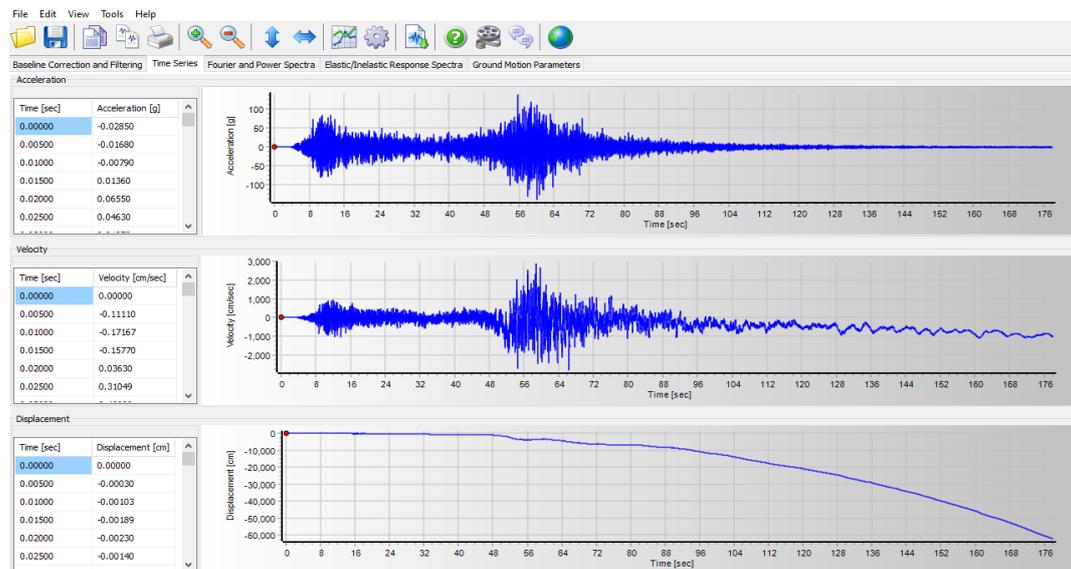


Nota: Elaboración propia

3ro: Se visualiza el acelerograma sin correcciones (Figura 48).

Figura 48

Acelerograma sin correcciones

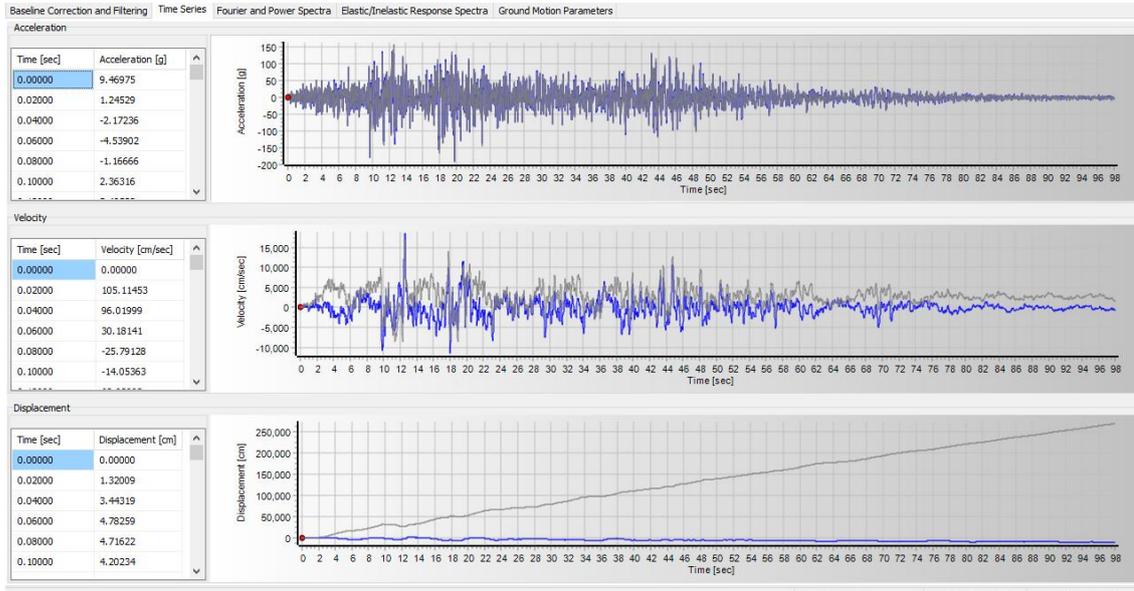


Nota: Elaboración propia

4to: Se realiza la corrección por línea base y filtrado con la opción “Baseline correction and filtering” (Figura 49).

Figura 49

Acelerograma corregido

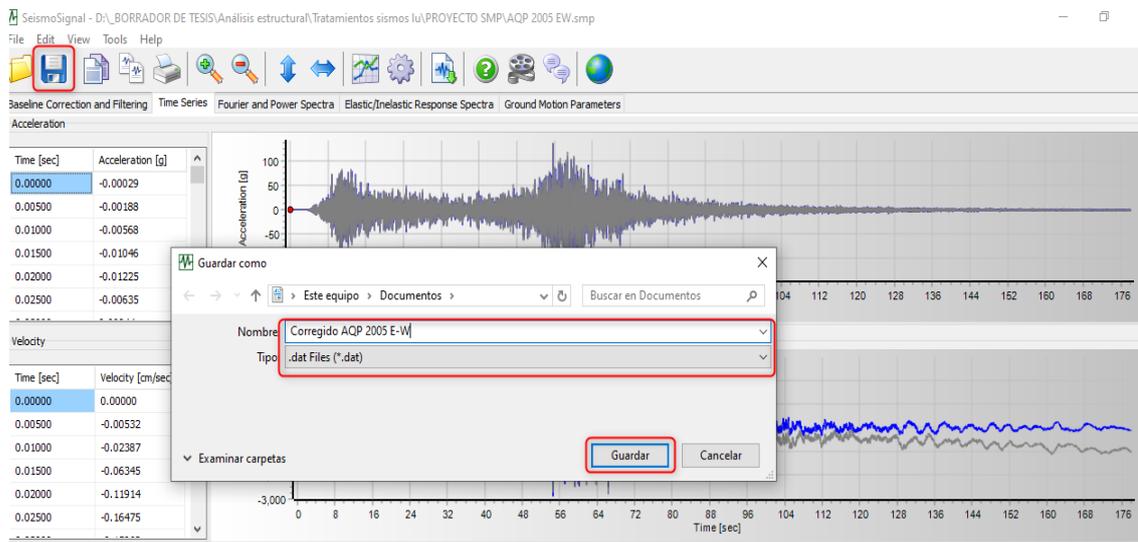


Nota: Elaboración propia

5to: Se realiza el guardado del acelerograma corregido en formato dat (veáse Figura 50).

Figura 50

Guardado del acelerograma corregido



Nota: Elaboración propia



Espectro objetivo con R=1 para SeismoMatch

A los mismos parámetros con el que se realizó el análisis dinámico modal espectral con R=1, se le multiplica por el valor de la aceleración de la gravedad de 981 cm/s² con el cual se genera el espectro objetivo R=1 para realizar el escalamiento de registros sísmicos en el software SeismoMatch V.2022 (ver Tabla 47).

Tabla 47

Valores del espectro objetivo de pseudo-aceleraciones con $R=1$ para SeismoMatch

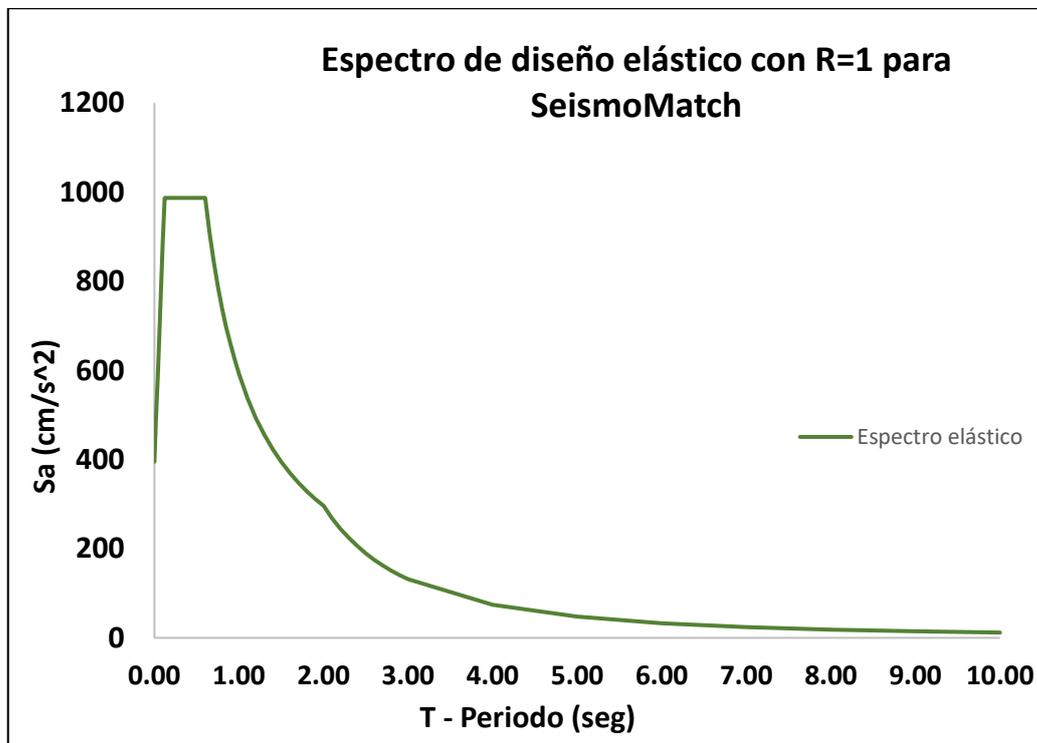
T (s)	C	(ZUCS/R)yg (cm/s ²)	T (s)	C	(ZUCS/R)yg (cm/s ²)
0.00	1.00000	394.85250	1.10	1.36364	538.43523
0.02	1.25000	493.56563	1.20	1.25000	493.56563
0.04	1.50000	592.27875	1.30	1.15385	455.59904
0.06	1.75000	690.99188	1.40	1.07143	423.05625
0.08	2.00000	789.70500	1.50	1.00000	394.85250
0.10	2.25000	888.41813	1.60	0.93750	370.17422
0.12	2.50000	987.13125	1.70	0.88235	348.39926
0.14	2.50000	987.13125	1.80	0.83333	329.04375
0.16	2.50000	987.13125	1.90	0.78947	311.72566
0.18	2.50000	987.13125	2.00	0.75000	296.13938
0.20	2.50000	987.13125	2.10	0.68027	268.60714
0.25	2.50000	987.13125	2.20	0.61983	244.74329
0.30	2.50000	987.13125	2.30	0.56711	223.92391
0.35	2.50000	987.13125	2.40	0.52083	205.65234
0.40	2.50000	987.13125	2.50	0.48000	189.52920
0.45	2.50000	987.13125	2.60	0.44379	175.23040
0.50	2.50000	987.13125	2.70	0.41152	162.49074
0.55	2.50000	987.13125	2.80	0.38265	151.09152
0.60	2.50000	987.13125	2.90	0.35672	140.85107
0.65	2.30769	911.19808	3.00	0.33333	131.61750
0.70	2.14286	846.11250	4.00	0.18750	74.03484
0.75	2.00000	789.70500	5.00	0.12000	47.38230
0.80	1.87500	740.34844	6.00	0.08333	32.90438
0.85	1.76471	696.79853	7.00	0.06122	24.17464
0.90	1.66667	658.08750	8.00	0.04688	18.50871
0.95	1.57895	623.45132	9.00	0.03704	14.62417
1.00	1.50000	592.27875	10.00	0.03000	11.84558

Nota: elaboración propia

En base con los parámetros de la tabla anterior se genera los valores para un nuevo espectro de pseudo-aceleraciones con $R=1$ para el software SeismoMatch, denominado objetivo (ver Figura 51).

Figura 51

Espectro de diseño con $R=1$ para SeismoMatch



Nota: Elaboración propia

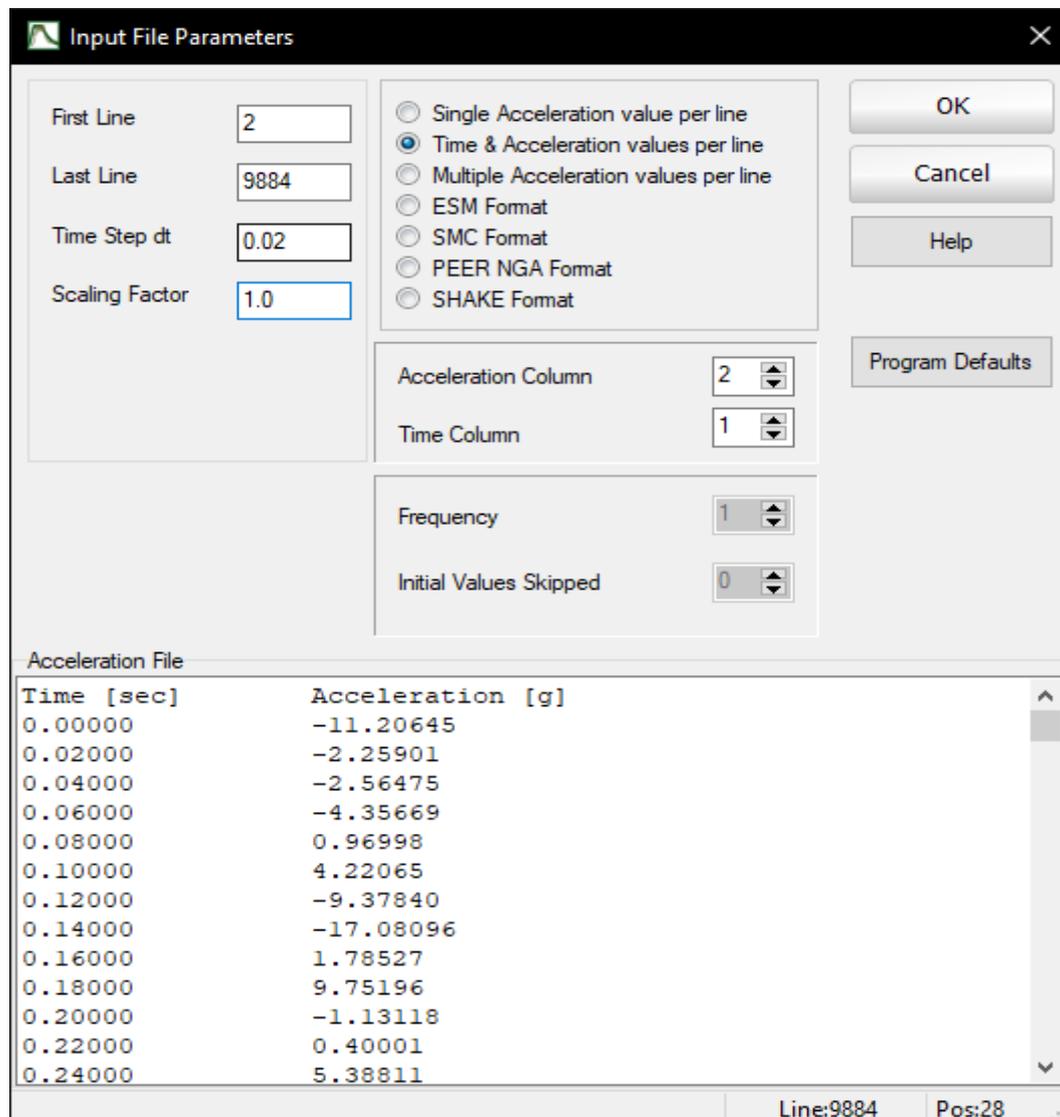
Escalamiento de registros sísmicos

Ya teniendo los 3 pares de registros sísmicos corregidos, se procede a escalar los acelerogramas al espectro objetivo que se generó previamente.

1ro: Se abre el software SeismoMatch para introducir el acelerograma ya corregido en el SeismoSignal (Véase Figura 52).

Figura 52

Ingreso del acelerograma que ya fue corregido por línea base y filtrado

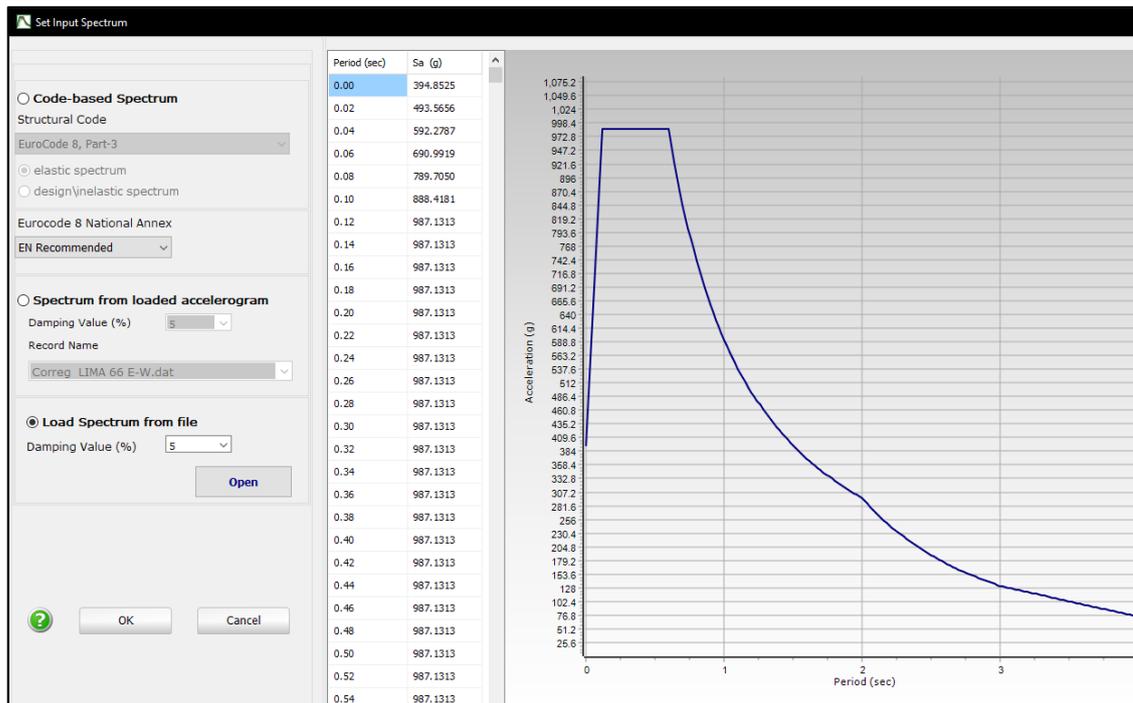


Nota: Elaboración propia con el software SeismoMatch

2do: A través de la opción “Define Target Spectrum” y “Load spectrum from file”, se realiza el cargado del espectro objetivo con $R=1$ para SeismoMatch que se generó anteriormente (véase Figura 53).

Figura 53

Cargado del espectro objetivo con $R=1$ AL SeismoMatch

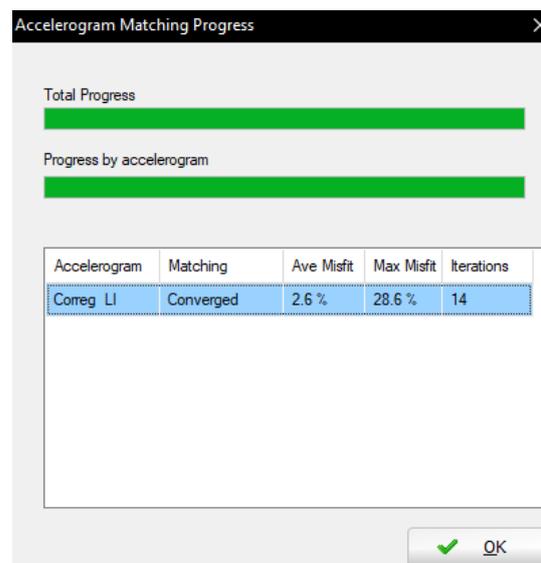


Nota: Elaboración propia con el software SeismoMatch V.2022

3ro: Se realiza la ejecución del escalado y verificación del escalamiento seleccionado, así como se muestra en la Figura 54.

Figura 54

Ejecución del escalamiento del acelerograma

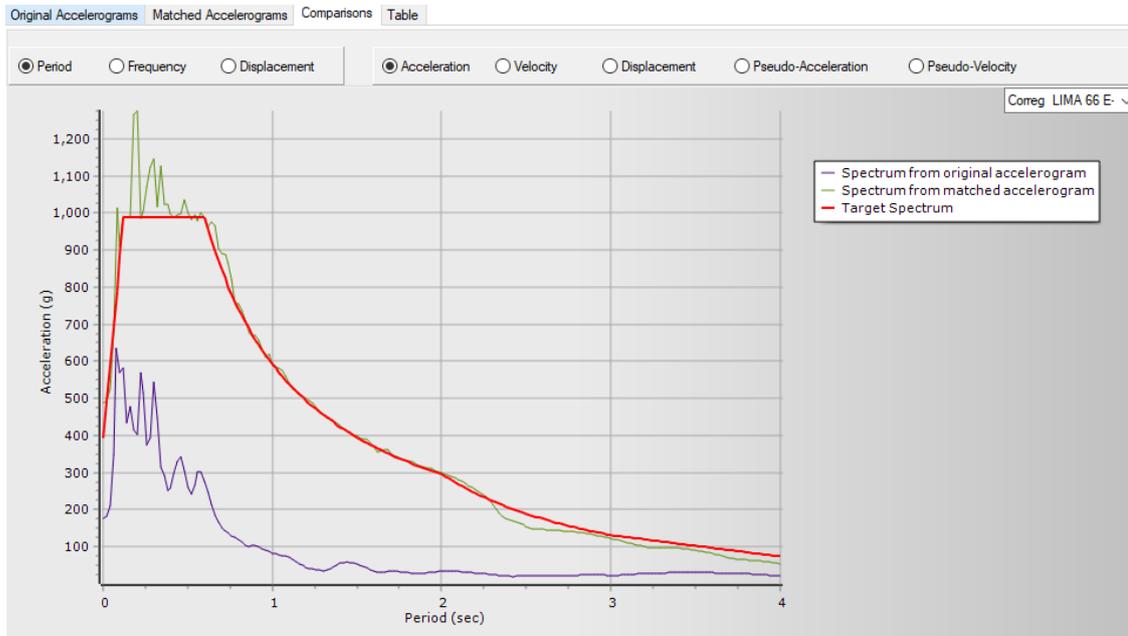


Nota: Elaboración propia con el software SeismoMatch V.2022

4to: Generación del espectro sin escalar y registro escalado al espectro objetivo (véase Figura 55).

Figura 55

Espectro sin escalar y registro escalado al espectro objetivo

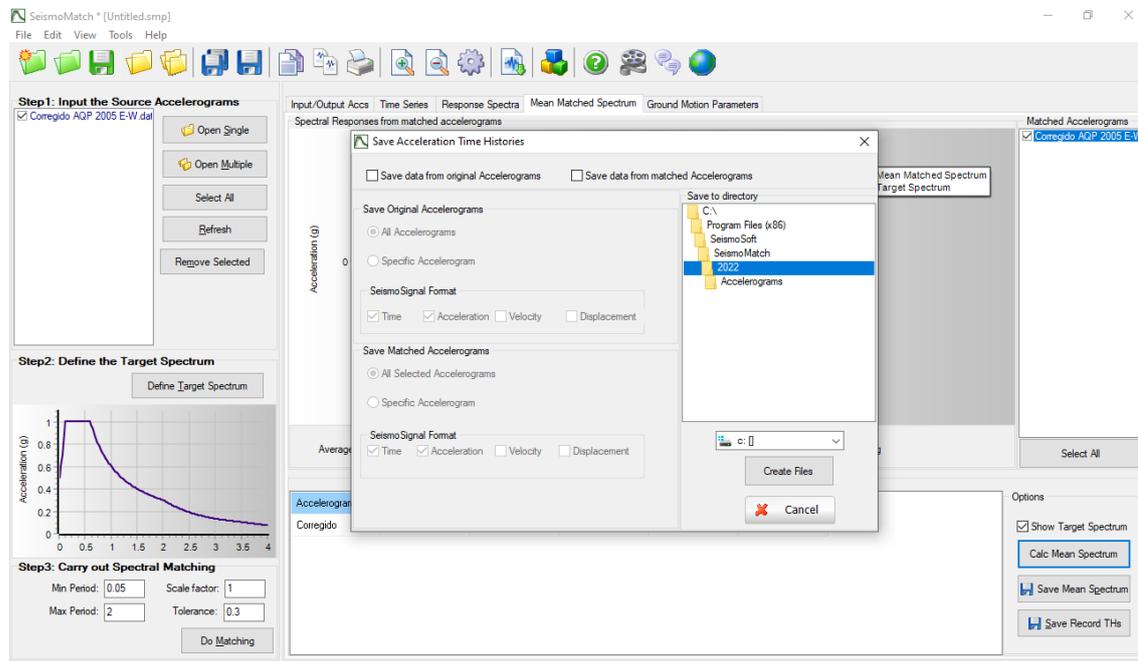


Nota: Elaboración propia con el software SeismoMatch V.2022

5to: Por último, se guarda el acelerograma escalado seleccionando la opción "Cal Mean Spectrum" (ver Figura 56).

Figura 56

Guardado del acelerograma escalado



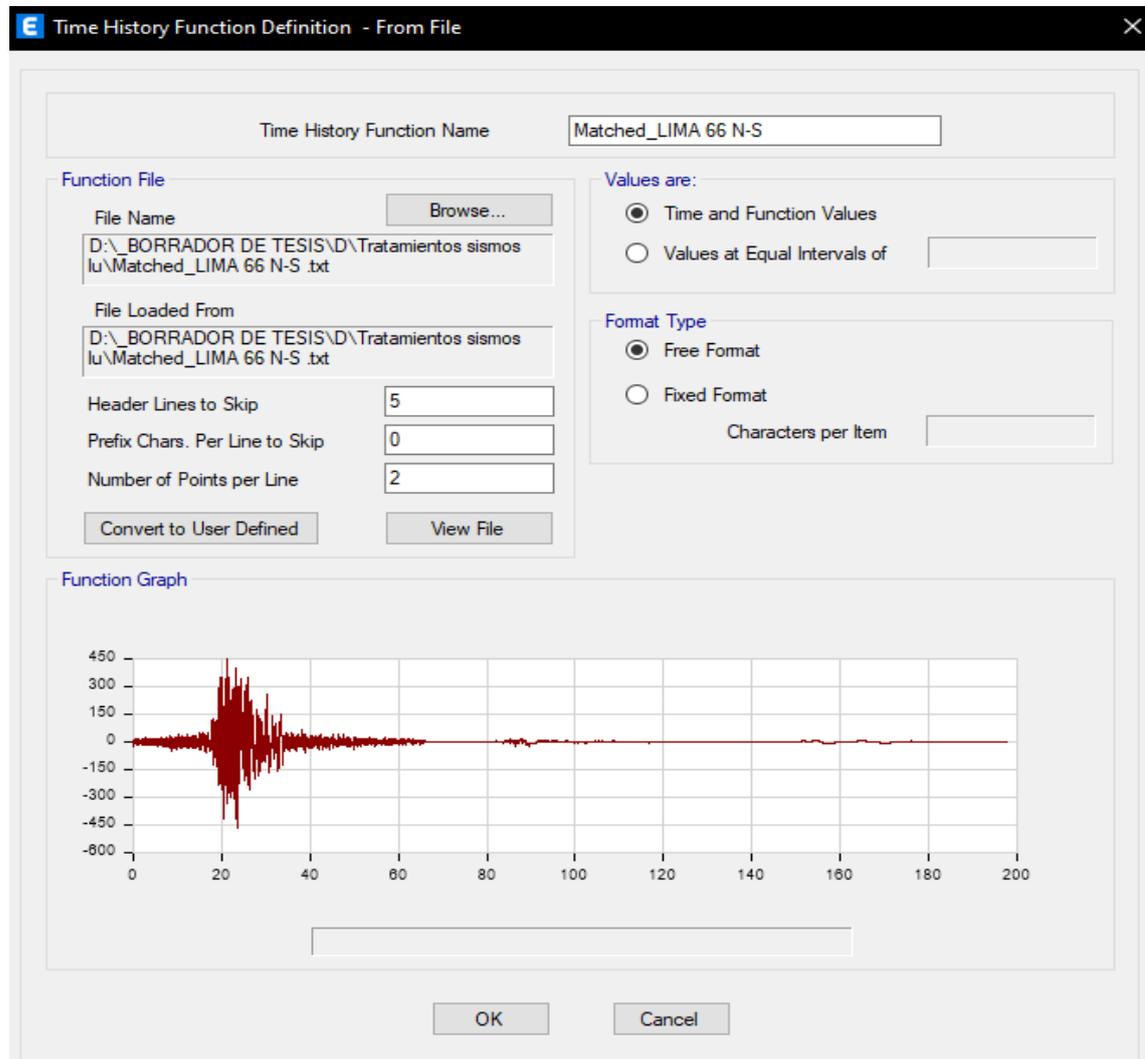
Nota: Elaboración propia con el software SeismoMatch V.2022

4.2.2.3. Análisis dinámico tiempo historia lineal (ATHL)

Se procede a ingresar al software Etabs V.21.1.0 los acelerogramas corregidos y escalados al espectro objetivo ante sismo severos, así como se ilustra en la Figura 57, determinando con ellos las derivas máximas en los dos casos de análisis por acelerograma.

Figura 57

Ingreso de acelerogramas escalados al software Etabs

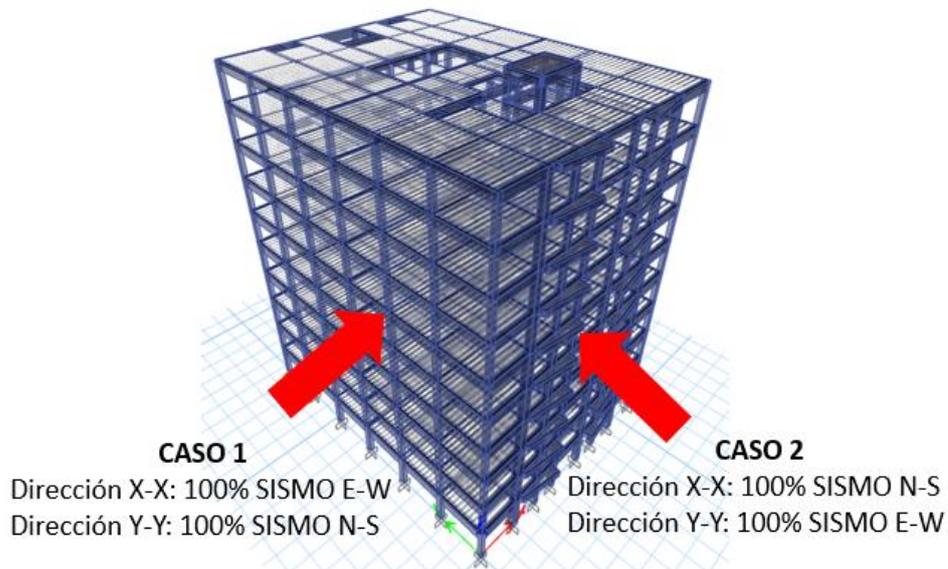


Nota: Fuente propia (Software Etabs V.21.1.0)

Se definen los casos de análisis, los acelerogramas actúan en dos casos de análisis según la Figura 58. El caso 1 de análisis consiste en que la componente Este (E)-Oeste (W) afecta la dirección X-X, mientras que la componente Norte (N)-Sur (S) afecta la dirección Y-Y. El caso 2 de análisis es lo opuesto del caso 1.

Figura 58

Casos de análisis con registros sísmicos



Nota: Elaboración propia

A continuación, se muestran los desplazamientos y las derivas máximas para el análisis tiempo historia lineal por cada caso de análisis para los registros sísmicos de Lima 1966, Lima 1974, Arequipa 2005 y Collao-Puno 2010.

- Dirección X**Tabla 48***Derivas en X con el caso 1-Lima 1966- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - LIMA 1966	0.18959	0.010812	3.00	0.003604
9	D9	CASO 1 - LIMA 1966	0.17878	0.012308	3.00	0.004103
8	D8	CASO 1 - LIMA 1966	0.16647	0.014768	3.00	0.004923
7	D7	CASO 1 - LIMA 1966	0.15170	0.021008	3.00	0.007003
6	D6	CASO 1 - LIMA 1966	0.13069	0.017183	3.00	0.005728
5	D5	CASO 1 - LIMA 1966	0.11351	0.020740	3.00	0.006913
4	D4	CASO 1 - LIMA 1966	0.09277	0.023539	3.00	0.007846
3	D3	CASO 1 - LIMA 1966	0.06923	0.025061	3.00	0.008354
2	D2	CASO 1 - LIMA 1966	0.04417	0.025111	3.00	0.008370
1	D1	CASO 1 - LIMA 1966	0.01906	0.019057	3.00	0.006352

Nota: Fuente propia

Tabla 49*Derivas en X con el caso 2-Lima 1966- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 2 - LIMA 1966	0.219825	0.01385	3.00	0.004616
9	D9	CASO 2 -LIMA 1966	0.205978	0.01862	3.00	0.006206
8	D8	CASO 2 -LIMA 1966	0.187359	0.0251	3.00	0.008365
7	D7	CASO 2 - LIMA 1966	0.162264	0.02918	3.00	0.009725
6	D6	CASO 2 -LIMA 1966	0.133089	0.02042	3.00	0.006808
5	D5	CASO 2 -LIMA 1966	0.112666	0.02225	3.00	0.007417
4	D4	CASO 2 - LIMA 1966	0.090415	0.02355	3.00	0.007849
3	D3	CASO 2 -LIMA 1966	0.066867	0.02424	3.00	0.008078
2	D2	CASO 2 -LIMA 1966	0.042632	0.02421	3.00	0.008068
1	D1	CASO 2 -LIMA 1966	1.84E-02	0.01843	3.00	0.006142

Nota: Fuente propia

Tabla 50*Derivas en X con el caso 1-Lima 1974- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - LIMA 1974	0.188262	0.01066	3.00	0.003553
9	D9	CASO 1 - LIMA 1974	0.177602	0.014397	3.00	0.004799
8	D8	CASO 1 - LIMA 1974	0.163205	0.019431	3.00	0.006477
7	D7	CASO 1 - LIMA 1974	0.143774	0.023405	3.00	0.007802
6	D6	CASO 1 - LIMA 1974	0.120369	0.01717	3.00	0.005723
5	D5	CASO 1 - LIMA 1974	0.103199	0.019653	3.00	0.006551
4	D4	CASO 1 - LIMA 1974	0.083546	0.021452	3.00	0.007151
3	D3	CASO 1 - LIMA 1974	0.062094	0.022598	3.00	0.007533
2	D2	CASO 1 - LIMA 1974	0.039496	0.022496	3.00	0.007499
1	D1	CASO 1 - LIMA 1974	0.017	0.017	3.00	0.005667

Nota: Fuente propia

Tabla 51*Derivas en X con el caso 2-Lima 1974- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 2 - LIMA 1974	0.185397	0.0114	3.00	0.003799
9	D9	CASO 2 - LIMA 1974	0.173999	0.01765	3.00	0.005882
8	D8	CASO 2 - LIMA 1974	0.156354	0.02174	3.00	0.007246
7	D7	CASO 2 - LIMA 1974	0.134617	0.02387	3.00	0.007956
6	D6	CASO 2 - LIMA 1974	0.110749	0.01712	3.00	0.005706
5	D5	CASO 2 - LIMA 1974	0.093632	0.01882	3.00	0.006273
4	D4	CASO 2 - LIMA 1974	0.074813	0.01954	3.00	0.006512
3	D3	CASO 2 - LIMA 1974	0.055277	0.01986	3.00	0.006620
2	D2	CASO 2 - LIMA 1974	0.035417	0.02004	3.00	0.006679
1	D1	CASO 2 - LIMA 1974	1.54E-02	0.01538	3.00	0.005127

Nota: Fuente propia.

Tabla 52*Derivas en X con el caso 1-Arequipa 2005- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - AQP 2005	0.216518	0.013246	3.00	0.004415
9	D9	CASO 1 - AQP 2005	0.203272	0.018294	3.00	0.006098
8	D8	CASO 1 - AQP 2005	0.184978	0.024962	3.00	0.008321
7	D7	CASO 1 - AQP 2005	0.160016	0.02893	3.00	0.009643
6	D6	CASO 1 - AQP 2005	0.131086	0.020111	3.00	0.006704
5	D5	CASO 1 - AQP 2005	0.110975	0.021902	3.00	0.007301
4	D4	CASO 1 - AQP 2005	0.089073	0.02321	3.00	0.007737
3	D3	CASO 1 - AQP 2005	0.065863	0.023907	3.00	0.007969
2	D2	CASO 1 - AQP 2005	0.041956	0.023831	3.00	0.007944
1	D1	CASO 1 - AQP 2005	0.018125	0.018125	3.00	0.006042

Nota: Fuente propia

Tabla 53*Derivas en X con el caso 2-Arequipa 2005- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
14	D14	CASO 2 - AQP 2005	0.209750	0.01144	3.00	0.003813
13	D13	CASO 2 - AQP 2005	0.198312	0.0179	3.00	0.005966
12	D12	CASO 2 - AQP 2005	0.180415	0.02446	3.00	0.008155
11	D11	CASO 2 - AQP 2005	0.155951	0.02853	3.00	0.009510
10	D10	CASO 2 - AQP 2005	0.127421	0.01979	3.00	0.006597
9	D9	CASO 2 - AQP 2005	0.107631	0.0215	3.00	0.007165
8	D8	CASO 2 - AQP 2005	0.086136	0.02268	3.00	0.007558
7	D7	CASO 2 - AQP 2005	0.063461	0.02319	3.00	0.007728
6	D6	CASO 2 - AQP 2005	0.040276	0.02291	3.00	0.007638
5	D5	CASO 2 - AQP 2005	0.017363	0.01736	3.00	0.005788

Nota: Fuente propia

Tabla 54*Derivas en X con el caso 2-Collao 2010- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	Caso 1 - Collao2010	0.239063	0.013563	3.00	0.004521
9	D9	Caso 1 - Collao2010	0.2255	0.020479	3.00	0.006826
8	D8	Caso 1 - Collao2010	0.205021	0.027829	3.00	0.009276
7	D7	Caso 1 - Collao2010	0.177192	0.032253	3.00	0.010751
6	D6	Caso 1 - Collao2010	0.144939	0.022432	3.00	0.007477
5	D5	Caso 1 - Collao2010	0.122507	0.02442	3.00	0.008140
4	D4	Caso 1 - Collao2010	0.098087	0.025813	3.00	0.008604
3	D3	Caso 1 - Collao2010	0.072274	0.026403	3.00	0.008801
2	D2	Caso 1 - Collao2010	0.045871	0.026103	3.00	0.008701
1	D1	Caso 1 - Collao2010	0.019768	0.019768	3.00	0.006589

Nota: Fuente propia

Tabla 55*Derivas en X con el caso 2-Collao 2010- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
14	D14	Caso 2- Collao2010	0.174482	0.011585	3.00	0.003862
13	D13	Caso 2- Collao2010	0.162897	0.014721	3.00	0.004907
12	D12	Caso 2- Collao2010	0.148176	0.01667	3.00	0.005557
11	D11	Caso 2- Collao2010	0.131506	0.01841	3.00	0.006137
10	D10	Caso 2- Collao2010	0.113096	0.014374	3.00	0.004791
9	D9	Caso 2- Collao2010	0.098722	0.017154	3.00	0.005718
8	D8	Caso 2- Collao2010	0.081568	0.019631	3.00	0.006544
7	D7	Caso 2- Collao2010	0.061937	0.021605	3.00	0.007202
6	D6	Caso 2- Collao2010	0.040332	0.022639	3.00	0.007546
5	D5	Caso 2- Collao2010	0.017693	0.017693	3.00	0.005898

Nota: Fuente propia

De la Tabla 48, Tabla 49, Tabla 50, Tabla 51, Tabla 52, Tabla 53, Tabla 54 y Tabla 55 se observa que las derivas o distorsiones obtenidas para la dirección X con el caso 1 y caso 2, son superiores a los límites

establecidos por la norma peruana E.030 que tiene como límite 0.007 y metodología HAZUS con límite de 0.0043.

- Dirección Y

Tabla 56

Derivas en Y con el caso 1-Lima 1966- componente N-S

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - LIMA 1966	0.23703	0.010012	3.00	0.003337
9	D9	CASO 1 - LIMA 1966	0.22702	0.018171	3.00	0.006057
8	D8	CASO 1 - LIMA 1966	0.20885	0.025994	3.00	0.008665
7	D7	CASO 1 - LIMA 1966	0.18286	0.031401	3.00	0.010467
6	D6	CASO 1 - LIMA 1966	0.15145	0.022257	3.00	0.007419
5	D5	CASO 1 - LIMA 1966	0.12920	0.024586	3.00	0.008195
4	D4	CASO 1 - LIMA 1966	0.10461	0.026650	3.00	0.008883
3	D3	CASO 1 - LIMA 1966	0.07796	0.028060	3.00	0.009353
2	D2	CASO 1 - LIMA 1966	0.04990	0.028418	3.00	0.009473
1	D1	CASO 1 - LIMA 1966	0.02148	0.021483	3.00	0.007161

Nota: Fuente propia

Tabla 57

Derivas en Y con el caso 2-Lima 1966- componente E-W

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 2 - LIMA 1966	0.197553	0.00709	3.00	0.002363
9	D9	CASO 2 -LIMA 1966	0.190464	0.01376	3.00	0.004586
8	D8	CASO 2 -LIMA 1966	0.176706	0.01595	3.00	0.005316
7	D7	CASO 2 - LIMA 1966	0.160757	0.02213	3.00	0.007378
6	D6	CASO 2 -LIMA 1966	0.138624	0.0172	3.00	0.005734
5	D5	CASO 2 -LIMA 1966	0.121423	0.01932	3.00	0.006439
4	D4	CASO 2 - LIMA 1966	0.102107	0.02304	3.00	0.007681
3	D3	CASO 2 -LIMA 1966	0.079064	0.02674	3.00	0.008914
2	D2	CASO 2 -LIMA 1966	0.052323	0.02928	3.00	0.009758
1	D1	CASO 2 -LIMA 1966	0.023048	0.02305	3.00	0.007683

Nota: Fuente propia

Tabla 58*Derivas en Y con el caso 1-Lima 1974- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - LIMA 1974	0.210291	0.008909	3.00	0.002970
9	D9	CASO 1 - LIMA 1974	0.201382	0.017229	3.00	0.005743
8	D8	CASO 1 - LIMA 1974	0.184153	0.024615	3.00	0.008205
7	D7	CASO 1 - LIMA 1974	0.159538	0.029946	3.00	0.009982
6	D6	CASO 1 - LIMA 1974	0.129592	0.020563	3.00	0.006854
5	D5	CASO 1 - LIMA 1974	0.109029	0.021847	3.00	0.007282
4	D4	CASO 1 - LIMA 1974	0.087182	0.022401	3.00	0.007467
3	D3	CASO 1 - LIMA 1974	0.064781	0.023716	3.00	0.007905
2	D2	CASO 1 - LIMA 1974	0.041065	0.023548	3.00	0.007849
1	D1	CASO 1 - LIMA 1974	1.75E-02	0.017517	3.00	0.005839

Nota: Fuente propia

Tabla 59*Derivas en Y con el caso 2-Lima 1974- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 2 - LIMA 1974	0.20633	0.00802	3.00	0.002674
9	D9	CASO 2 - LIMA 1974	0.198308	0.01561	3.00	0.005203
8	D8	CASO 2 - LIMA 1974	0.182699	0.02107	3.00	0.007022
7	D7	CASO 2 - LIMA 1974	0.161633	0.02579	3.00	0.008595
6	D6	CASO 2 - LIMA 1974	0.135848	0.01879	3.00	0.006264
5	D5	CASO 2 - LIMA 1974	0.117057	0.02138	3.00	0.007125
4	D4	CASO 2 - LIMA 1974	0.095681	0.02388	3.00	0.007961
3	D3	CASO 2 - LIMA 1974	0.071797	0.02568	3.00	0.008561
2	D2	CASO 2 - LIMA 1974	0.046113	0.02624	3.00	0.008746
1	D1	CASO 2 - LIMA 1974	0.019875	0.01988	3.00	0.006625

Nota: Fuente propia

Tabla 60*Derivas en Y con el caso 1-Arequipa 2005- componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 1 - AQP 2005	0.2147	0.009169	3.00	0.003056
9	D9	CASO 1 - AQP 2005	0.205531	0.016577	3.00	0.005526
8	D8	CASO 1 - AQP 2005	0.188954	0.023787	3.00	0.007929
7	D7	CASO 1 - AQP 2005	0.165167	0.028755	3.00	0.009585
6	D6	CASO 1 - AQP 2005	0.136412	0.020373	3.00	0.006791
5	D5	CASO 1 - AQP 2005	0.116039	0.02248	3.00	0.007493
4	D4	CASO 1 - AQP 2005	0.093559	0.024218	3.00	0.008073
3	D3	CASO 1 - AQP 2005	0.069341	0.025213	3.00	0.008404
2	D2	CASO 1 - AQP 2005	0.044128	0.02522	3.00	0.008407
1	D1	CASO 1 - AQP 2005	1.89E-02	0.018908	3.00	0.006303

Nota: Fuente propia

Tabla 61*Derivas en Y con el caso 2-Arequipa 2005- componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	CASO 2 - AQP 2005	0.232469	0.01009	3.00	0.003365
9	D9	CASO 2 - AQP 2005	0.222375	0.01817	3.00	0.006057
8	D8	CASO 2 - AQP 2005	0.204204	0.02592	3.00	0.008639
7	D7	CASO 2 - AQP 2005	0.178286	0.03124	3.00	0.010413
6	D6	CASO 2 - AQP 2005	0.147047	0.02209	3.00	0.007364
5	D5	CASO 2 - AQP 2005	0.124955	0.02428	3.00	0.008093
4	D4	CASO 2 - AQP 2005	0.100677	0.02616	3.00	0.008721
3	D3	CASO 2 - AQP 2005	0.074514	0.02715	3.00	0.009050
2	D2	CASO 2 - AQP 2005	0.047365	0.02705	3.00	0.009016
1	D1	CASO 2 - AQP 2005	0.020318	0.02032	3.00	0.006773

Nota: Elaboración propia

Tabla 62*Derivas en Y con el caso 1-Collao-Puno 2010-componente E-W*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	Caso 1 - Collao2010	0.198616	0.008399	3.00	0.002800
9	D9	Caso 1 - Collao2010	0.190217	0.015225	3.00	0.005075
8	D8	Caso 1 - Collao2010	0.174992	0.021432	3.00	0.007144
7	D7	Caso 1 - Collao2010	0.15356	0.020769	3.00	0.006923
6	D6	Caso 1 - Collao2010	0.132791	0.016392	3.00	0.005464
5	D5	Caso 1 - Collao2010	0.116399	0.019805	3.00	0.006602
4	D4	Caso 1 - Collao2010	0.096594	0.023053	3.00	0.007684
3	D3	Caso 1 - Collao2010	0.073541	0.025585	3.00	0.008528
2	D2	Caso 1 - Collao2010	0.047956	0.027014	3.00	0.009005
1	D1	Caso 1 - Collao2010	2.09E-02	0.020942	3.00	0.006981

Nota: Elaboración propia

Tabla 63*Derivas en Y con el caso 2-Collao-Puno 2010-componente N-S*

Piso	Dfg	Sismo	UY (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas
10	D10	Caso 2- Collao2010	0.238131	0.010476	3.00	0.003492
9	D9	Caso 2- Collao2010	0.227655	0.019027	3.00	0.006342
8	D8	Caso 2- Collao2010	0.208628	0.027021	3.00	0.009007
7	D7	Caso 2- Collao2010	0.181607	0.03228	3.00	0.010760
6	D6	Caso 2- Collao2010	0.149327	0.022647	3.00	0.007549
5	D5	Caso 2- Collao2010	0.12668	0.024794	3.00	0.008265
4	D4	Caso 2- Collao2010	0.101886	0.026559	3.00	0.008853
3	D3	Caso 2- Collao2010	0.075327	0.027498	3.00	0.009166
2	D2	Caso 2- Collao2010	0.047829	0.027363	3.00	0.009121
1	D1	Caso 2- Collao2010	0.020466	0.020466	3.00	0.006822

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 56, Tabla 57, Tabla 58, Tabla 59, Tabla 60, Tabla 61, Tabla 62 y Tabla 63, se observa que las derivas o distorsiones obtenidas para la dirección X con el caso 1 y caso 2, son superiores a los límites establecidos por la norma peruana E.030 que tiene como límite 0.007 y metodología HAZUS con límite de 0.0043.

De los 4 pares de registros sísmicos se han obtenido los desplazamientos y derivas en el centro de masa para las direcciones de análisis en el eje X y en el eje Y, los cuales son evaluados y optimizados con disipadores de energía de fluido viscosos, a continuación, en la Tabla 64 se muestra el resumen de derivas del ATHL obtenidas para la dirección de análisis en X y en la Tabla 65 el resumen de derivas del ATHL para la dirección de análisis en Y.

Tabla 64

Resumen de las derivas del análisis modal tiempo historia lineal en X

Nivel	Lima 1966		Lima 1974		AQP 2005		COLLAO 2010	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
10	0.003604	0.004616	0.003553	0.003799	0.004415	0.003813	0.004521	0.003862
9	0.004103	0.006206	0.004799	0.005882	0.006098	0.005966	0.006826	0.004907
8	0.004923	0.008365	0.006477	0.007246	0.008321	0.008155	0.009276	0.005557
7	0.007003	0.009725	0.007802	0.007956	0.009643	0.009510	0.010751	0.006137
6	0.005728	0.006808	0.005723	0.005706	0.006704	0.006597	0.007477	0.004791
5	0.006913	0.007417	0.006551	0.006273	0.007301	0.007165	0.008140	0.005718
4	0.007846	0.007849	0.007151	0.006512	0.007737	0.007558	0.008604	0.006544
3	0.008354	0.008078	0.007533	0.006620	0.007969	0.007728	0.008801	0.007202
2	0.008370	0.008068	0.007499	0.006679	0.007944	0.007638	0.008701	0.007546
1	0.006352	0.006142	0.005667	0.005127	0.006042	0.005788	0.006589	0.005898

Nota: Elaboración propia

Tabla 65

Resumen de las derivas del análisis modal tiempo historia lineal en X

Nivel	Lima 1966		Lima 1974		AQP 2005		COLLAO 2010	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
10	0.003337	0.002363	0.002970	0.002674	0.003056	0.003365	0.002800	0.003492
9	0.006057	0.004586	0.005743	0.005203	0.005526	0.006057	0.005075	0.006342
8	0.008665	0.005316	0.008205	0.007022	0.007929	0.008639	0.007144	0.009007
7	0.010467	0.007378	0.009982	0.008595	0.009585	0.010413	0.006923	0.010760
6	0.007419	0.005734	0.006854	0.006264	0.006791	0.007364	0.005464	0.007549
5	0.008195	0.006439	0.007282	0.007125	0.007493	0.008093	0.006602	0.008265
4	0.008883	0.007681	0.007467	0.007961	0.008073	0.008721	0.007684	0.008853
3	0.009353	0.008914	0.007905	0.008561	0.008404	0.009050	0.008528	0.009166
2	0.009473	0.009758	0.007849	0.008746	0.008407	0.009016	0.009005	0.009121
1	0.007161	0.007683	0.005839	0.006625	0.006303	0.006773	0.006981	0.006822

Nota: Elaboración propia

De las Tabla 64 y Tabla 65, se observa que las derivas obtenidas a partir del análisis tiempo-historia en cada caso de análisis son similares a las distorsiones obtenidas en el análisis dinámico espectral con $R=1$, lo cual indica que el escalamiento de los registros sísmicos en sus dos componentes fue realizado de manera correcta.

Elección del sismo de diseño

Antes de proceder a elegir el sismo de diseño, se debe encontrar una relación entre las derivas del análisis tiempo historia lineal y el análisis dinámico modal espectral con $R=1$.

$$r = \frac{\textit{Derivas del analisis tiempo historia lineal}}{\textit{Derivas del análisis dinámico modalespectral con R = 1}}$$

Respecto a la elección de los sismos de diseño según Chavez 2017, señala que son los ingenieros estructurales quienes deben tomar una decisión para dicha elección, de todas maneras, recomienda descartar los valores que estén con variaciones menores del 20% y los que sobrepasen por encima del 50%.

- Para la dirección X

Al efectuar los cálculos para la dirección X, en una hoja excel se obtiene los siguientes valores:

Tabla 66

Relación entre las derivas del análisis tiempo historia lineal y el análisis dinámico modal espectral con $R=1$, en la dirección X

Nivel	Lima1966		Lima 1974		AQP 2005		Collao 2010	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
10	0.84753	1.08544	0.83562	0.89347	1.03833	0.89661	1.06318	0.90813
9	0.71809	1.08629	0.83996	1.02946	1.06733	1.04417	1.19481	0.85887
8	0.64438	1.09499	0.84785	0.94847	1.08919	1.06746	1.21429	0.72738
7	0.80171	1.11338	0.89318	0.91085	1.10403	1.08877	1.23084	0.70256
6	0.94184	1.11944	0.94113	0.93823	1.10234	1.08474	1.22955	0.78788
5	1.03313	1.10839	0.97898	0.93743	1.09101	1.07073	1.21644	0.85450
4	1.08896	1.08938	0.99241	0.90377	1.07374	1.04899	1.19416	0.90817
3	1.10645	1.06998	0.99770	0.87682	1.05550	1.02362	1.16570	0.95386
2	1.09459	1.05510	0.98060	0.87337	1.03880	0.99878	1.13783	0.98684
1	1.08057	1.04485	0.96394	0.87214	1.02773	0.98452	1.12089	1.00323

Nota: Elaboración propia

Analizando la Tabla 66 se elige el como sismo de diseño el Caso 1- AQP 2005 de Arequipa para la dirección X ya que tiene mayor grado de similitud con el sismo objetivo $R=1$ y se verifica con la norma E.030 y la Metodología Hazus.

Tabla 67

Sismo de diseño elegido Caso 1-Arequipa 2005-componente E-W, en la dirección X

Nivel	Derivas en X Caso 1 -AQP 2005	$E-030 \leq 0.007$	$Hazus \leq 0.0043$
10	0.004415333	Cumple	No cumple
9	0.006098000	Cumple	No cumple
8	0.008320667	No cumple	No cumple
7	0.009643333	No cumple	No cumple
6	0.006703667	Cumple	No cumple
5	0.007300667	No cumple	No cumple
4	0.007736667	No cumple	No cumple
3	0.007969000	No cumple	No cumple
2	0.007943667	No cumple	No cumple
1	0.006041667	Cumple	No cumple

Nota: Elaboración propia

- Para la dirección Y

Al efectuar los cálculos con respecto a la dirección Y en una hoja excel se obtiene los siguientes valores:

Tabla 68

Relación entre las derivas del análisis tiempo historia lineal y el análisis dinámico modal espectral con $R=1$, en la dirección Y

Nivel	Lima1966		Lima 1974		AQP 2005		Collao 2010	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
10	1.10814	0.78462	0.98605	0.88788	1.01483	1.11721	0.92961	0.92961
9	1.11918	0.84738	1.06116	0.96138	1.02100	1.11918	0.93773	0.93773
8	1.14461	0.70229	1.08388	0.92761	1.04742	1.14126	0.94373	0.94373
7	1.16403	0.82047	1.11010	0.95585	1.06595	1.15803	0.76991	0.76991
6	1.16176	0.89785	1.07334	0.98084	1.06342	1.15315	0.85562	0.85562
5	1.15017	0.90363	1.02203	1.00000	1.05165	1.13576	0.92651	0.92651
4	1.13753	0.98357	0.95616	1.01946	1.03372	1.11674	0.98399	0.98399
3	1.12442	1.07157	0.95035	1.02921	1.01034	1.08792	1.02525	1.02525
2	1.11077	1.14427	0.92042	1.02556	0.98577	1.05718	1.05589	1.05589
1	1.10023	1.18037	0.89711	1.01787	0.96835	1.04056	1.07252	1.07252

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 68 observa que el sismo de mayor grado de similitud es del caso 2 de AQP 2005, sin embargo, como se trata de una edificación común se puede optar por un sismo que no sea muy conservador ya que si se elige sismos conservadores la edificación requeriría de muchos DFVs lo cual elevaría el costo de ejecución, entonces es por ello que se elige como sismo de diseño el Caso 2-Lima 1974 para la dirección Y.

Tabla 69*Sismo de diseño elegido Caso 2- Lima 74 -componente N-S, en la dirección Y*

Nivel	Derivas en Y Caso -2 Lima 1974	E-030 \leq 0.007	Hazus \leq 0.0043
10	0.002674000	Cumple	Cumple
9	0.005203000	Cumple	No cumple
8	0.007022000	No cumple	No cumple
7	0.008595000	No cumple	No cumple
6	0.006263667	Cumple	No cumple
5	0.007125333	No cumple	No cumple
4	0.007961333	No cumple	No cumple
3	0.008561333	No cumple	No cumple
2	0.008746000	No cumple	No cumple
1	0.006625000	Cumple	No cumple

Nota: Elaboración propia

Al realizarse una previa verificación de derivas con el sismo de diseño se observa según la Tabla 69 que tanto para la norma E.030 y la metodología HAZUS las derivas sobrepasan el límite establecido.

4.2.2.4. Desempeño de los disipadores de fluido viscoso

En vista de que hasta el momento las derivas obtenidas con el sismo severo no cumplen la norma E.030 y la metodología HAZUS, se tiene que acoplar DFVs, ya que estos tienen una alta capacidad para absorber la energía sísmica en la estructura del edificio.

Nivel de amenaza sísmica

Se elige el nivel de amenaza sísmica para el sismo de diseño severo según lo que indica el comité VISION 2000 el cual servirá para encontrar el nivel de desempeño sísmico de la edificación (ver Tabla 70).

Tabla 70

Elección del nivel de amenaza sísmica según el Comité VISION 2000

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)
Sismos frecuentes	43	50% en 30 años
Sismos ocasionales	72	50% en 50 años
Sismos raros	475	10% en 50 años
Sismos muy raros	970	10% en 100 años

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC

comité Vision 2000, 1995.

Se eligió el sismo raro de 475 años de retorno, siendo este el sismo que afrontó la edificación convencional.

Nivel de desempeño sísmico de la estructura sin DFV

El nivel de desempeño sísmico de la estructura sin DFV que ya se había evaluado corresponde a seguridad de vida, sin embargo, con sistemas de protección como los DFV que son evaluados en el rango de la no linealidad, siempre se busca que la estructura pueda tener un nivel de desempeño operacional, por lo queda considerado que el edificio tenga un desempeño pseudo-operacional (ver Tabla 71).

Tabla 71

Nivel de desempeño esperado de la estructura en función al sismo de análisis

Sismo de análisis	Totalmente operacional	Operacional	Seguridad de vida	Prevención de colapso
Frecuente	1			
Ocasional	2	1		
Raro	3	2	1	
Muy raro	0	3	2	1

0. Desempeño inaceptable

1. Edificaciones básicas (residenciales y oficinas)

2. Edificaciones esenciales

3. Edificaciones seguridad crítica

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC comité Vision 2000, 1995.

Nivel de desempeño esperado de la estructura con DFV

Los códigos del FEMA 273 y el comité VISION 2000, tienen fijado cinco niveles de desempeño y daño. El nivel de desempeño óptimo alcanzable mediante el uso de los disipadores de energía es el operacional, con un estado de daño ligero, lo que permite continuar con las actividades esenciales tras un evento sísmico. Por consiguiente, el nivel de desempeño objetivo de la presente estructura al cual se pretende acoplar DFV, será el operativo (Tabla 72).

Tabla 72

Elección del nivel de desempeño sísmico

Estado de daño	Nivel de desempeño	Descripción
Despreciable	Totalmente operacional	El daño es despreciable o nulo, la estructura se mantiene segura y estable para sus ocupantes. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones permanecen operativos.
Ligero	Funcional	Daños menores en elementos estructurales. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan operando sin interrupciones. Se necesitan reparaciones menores.
Moderado	Resguardo de vida	Daños severos en elementos estructurales, lo que provoca una significativa degradación de la rigidez lateral y de la capacidad resistente del sistema. La seguridad de los ocupantes está comprometida y los costos de reparación pueden no ser económicamente viables.
Severo	Próximo al colapso	Daños severos en elementos estructurales. Gran degradación de la rigidez lateral y capacidad resistente del sistema. Inseguridad para los ocupantes y el costo de reparación puede ser no factible económicamente.
Completo	Colapso	Pérdida parcial o colapso total de la estructura. Es imposible la reparación.

Nota: Tomado de *Performance Based Seismic Engineering of Buildings* por SEAOC comité Vision 2000, 1995.

Clasificación estructural según HAZUS

Debido a que la edificación del presente estudio cuenta con 10 pisos, se determina que corresponde a una clasificación C1H (véase Tabla 73).

Tabla 73

Clasificación de la edificación según tipo de estructura de la metodología HAZUS

Descripción	Tipo de estructura	Altura			
		Rango		Típico	
		Nombre	Pisos	Piso	Altura (m)
Sistemas aportricados	C1L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C1M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C1H	Gran altura	8+	12	37
Sistemas con muros de corte	C2L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C2M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C2H	Gran altura	8+	12	37
Sistemas aportricados con muros de albañilería	C2L	Baja altura	1 - 3	2	6
	C1M	Mediana altura	4 - 7	5	15
	C1H	Gran altura	8+	12	37

Nota: Tomado de *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Technical Manual* por FEMA, 2003

Deriva objetivo

Las derivas objetivo para el diseño de los dispositivos variarán según el nivel de desempeño y el estado de daño al que se pretenda llegar después de un Sismo Máximo Considerado MCE (véase Tabla 74).

Tabla 74

Deriva para definir el estado de daño de la estructura de la estructura

Tipo de estructura	Derivas de entrepiso para un MCE de acuerdo al HAZUS			
	Daño leve	Daño moderado	Daño severo	Daño completo
C1L	0.005	0.0087	0.0233	0.06
C1M	0.0033	0.0058	0.0156	0.04
C1H	0.0025	0.0043	0.0117	0.03
C2L	0.004	0.0084	0.0232	0.06
C2M	0.0027	0.0056	0.0154	0.04
C2H	0.002	0.0042	0.0116	0.03

Nota: Tomado de “*Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Technical Manual*” por FEMA, 2003



Por la tanto la deriva objetivo, elegida para esta investigación es la siguiente:

$$D_{objetivo} = 0.0043$$

4.2.2.5. Propiedades del disipador

Antes de proceder con el modelado y análisis de la estructura en el software ETABS por el método FNA, no hay que olvidar el cálculo de las propiedades de los DFV. Estas características son necesarias para calcular las respuestas de la estructura cuando se emplean disipadores de fluido viscoso en el software mencionado. Las propiedades que se calculan incluyen el exponente de velocidad, el coeficiente de amortiguamiento del disipador y la rigidez del brazo metálico que mantiene el dispositivo.

Exponente velocidad y parámetro lambda

El exponente de velocidad es un parámetro que indica la linealidad o no linealidad del dispositivo. Cuando el valor de este coeficiente $\alpha = 1$, el dispositivo se considera lineal, mientras que, si es distinto de 1, se considera no lineal. En el caso de los dispositivos utilizados para la estructura en estudio, se espera un comportamiento no lineal, por lo que el valor de α será diferente de 1. De acuerdo con recomendaciones bibliográficas, se optará por un valor de $\alpha = 0.5$ para este parámetro.

Tabla 75

Parámetro lambda en función al exponente de velocidad

Coefficiente de velocidad α	Valores del parámetro lambda λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3
1.50	2.9
1.75	2.8
2.00	2.7

Nota: Extraído de FEMA 273-274 (1977)

Respecto al valor del parámetro lambda, según la Tabla 75 para un exponente de velocidad $\alpha = 0.5$ le corresponde un valor de $\lambda = 3.5$.

Factor de reducción de respuesta sísmica (B)

Con las máximas derivas obtenidas a consecuencia del análisis sísmico TH lineal y la deriva objetivo estipulado por HAZUS, se procede con el cálculo de B .

Antes del cálculo, se define un cuadro con las derivas obtenidas del análisis tiempo historia lineal y la deriva objetivo (véase Tabla 76 y Tabla 77).

- En X

Tabla 76

Derivas en X Caso 01 - AQP 2005 y la deriva objetivo

Derivas en X con Caso 1 AQP - 2005	Deriva objetivo (HAZUS)
0.004415333	
0.006098	
0.008320667	
0.009643333	
0.006703667	0.0043
0.007300667	
0.007736667	
0.007969	
0.007943667	
0.006041667	

Nota: Elaboración propia

$$B_X = \frac{D_{\text{máx en X}}}{D_{\text{objetivo}}} = \frac{0.009643}{0.0043} = 2.243$$

- En Y

Tabla 77

Derivas en Y Caso 02 – Lima 1974 y la deriva objetivo

Derivas en Y con caso 2 Lima-1974	Deriva objetivo (HAZUS)
0.002674	
0.005203	
0.007022	
0.008595	
0.006263667	0.0043
0.007125333	
0.007961333	
0.008561333	
0.008746	
0.006625	

Nota: Elaboración propia



$$B_Y = \frac{D_{\text{máx en Y}}}{D_{\text{objetivo}}} = \frac{0.008746}{0.0043} = 2.034$$

Amortiguamiento efectivo (B_{eff})

Se obtuvo despejando de la siguiente ecuación para ambos sentidos en X y Y.

$$B_X = \frac{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_o)}{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_{\text{effX}})} \quad B_Y = \frac{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_o)}{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_{\text{effY}})}$$

$$2.243 = \frac{2.31 + 0.41 \text{Ln}(5)}{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_{\text{effX}})} \quad 2.034 = \frac{2.31 + 0.41 \text{Ln}(5)}{2.31 + 0.41 \text{Ln}(B_{\text{effY}})}$$

$$B_{\text{effX}} = 46.516\% \quad B_Y = 38.684\%$$

Amortiguamiento viscoso (β_H)

Para hallar dicho amortiguamiento se procedió a descontar el amortiguamiento inherente de la estructura del 5%.

$$\beta_{HX} = \beta_{\text{effX}} - \beta_o = 46.516\% - 5\% = 41.516\%$$

$$\beta_{HY} = \beta_{\text{effY}} - \beta_o = 38.684\% - 5\% = 33.684\%$$

Los fabricantes de disipadores recomiendan que el valor de aporte de amortiguamiento debería estar entre 20% y 40%, siendo también aceptable con un porcentaje incrementado de 1.25, es decir, también es aceptable que esté en el rango de 20%-50%.

Por consiguiente, se continuó con el proceso de cálculo de las características de los DFV.

Rigidez de brazo metálico (K)

Los brazos metálicos para los DFV que se tomó es la disposición diagonal, empleando un perfil metálico HSS 20.00 x 0.375 para “X” y el HSS 20.00 x 0.500 para “Y”, para su cálculo de rigidez se tuvo que extraer sus respectivas características del AISC Steel Construction 15th, sus características se muestran en la siguiente Tabla 78:

Tabla 78

Dimensiones del brazo metálico Round HSS 20.00 x 0.500

Dimensiones del ROUND HSS 20.0 x 0.500				
D ext. (in)	D int. (in)	Espesor (in)	Área (in ²)	Inercia (in ⁴)
20	19.535	0.465	28.5	1360

Nota: Adaptado de AISC Steel Construction 15th

La rigidez de brazo metálico se determinó con la siguiente fórmula:

$$K_x = \frac{EA}{L_x} = \frac{20400000 \text{tn/m}^2 \times 0.018387 \text{m}^2}{\sqrt{3.5^2 + 3^2} \text{m}} = 81370 \text{ton / m}$$
$$K_y = \frac{EA}{L_y} = \frac{20400000 \text{tn/m}^2 \times 0.018387 \text{m}^2}{\sqrt{4.3^2 + 3^2} \text{m}} = 71541 \text{ton / m}$$

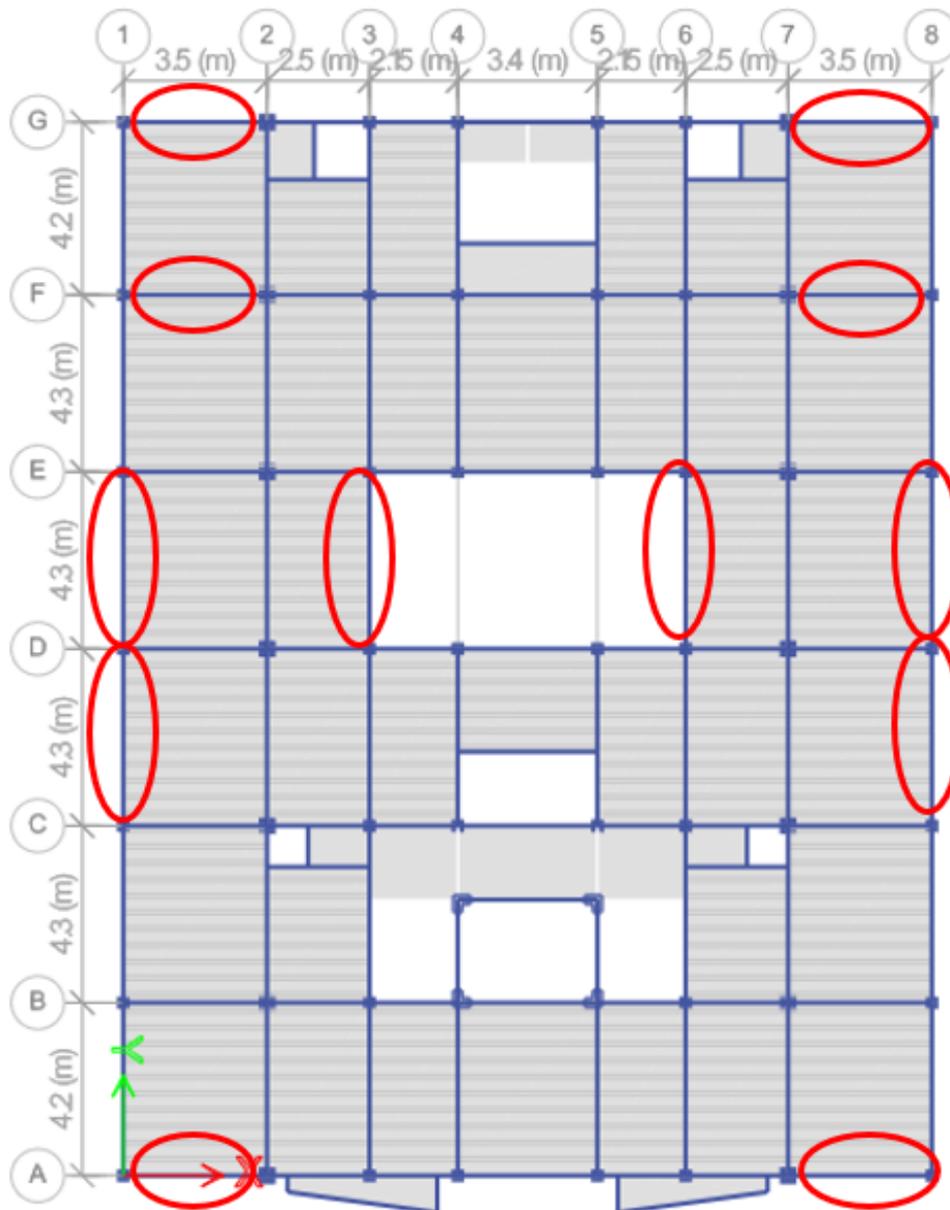
Ubicación de los disipadores

Considerando la influencia del comportamiento del dispositivo y las características del fluido, de acuerdo con al código FEMA 274, la instalación de los disipadores (véase Figura 59) se realizó en la dirección X en los ejes A, F y G (entre 1 y 2; entre 7 y 8), en cuanto a la dirección Y, la colocación se efectuará en los ejes 1 (entre C y D; entre D y E) y 3 (entre C y D; entre D y E), 3 (entre D y E) y 6 (entre D y E) en todos los

niveles, sin embargo, al final se buscó optimizar el cual está definido más adelante.

Figura 59

Ubicación de los DFV en los ejes X y Y



Nota: Elaboración propia

Desplazamientos de los modos principales en pórtico

Para obtener los desplazamientos en el primer modo vibración para la dirección X, se extrajo los datos del modelo convencional analizado por

el método de análisis dinámico tiempo historia lineal con software Etabs V.21.1.0, tomando en consideración el sismo de diseño Caso 1 de Arequipa 2005 de componente E-W (véase Tabla 79).

Tabla 79

Desplazamientos del modo 1 para el pórtico en X

Piso	Modo	Desplazamiento modal pórtico (m)
10	1	0.282647
9	1	0.26794
8	1	0.24379
7	1	0.210699
6	1	0.172434
5	1	0.145976
4	1	0.117201
3	1	0.086626
2	1	0.055147
1	1	0.023738

Nota: Elaboración propia

De la misma manera que la anterior para obtener los desplazamientos en el primer modo vibración para la dirección Y, para este caso se tomó en cuenta el sismo de diseño del Caso 2 de Lima 1974 de componente N-S (véase Tabla 80).

Tabla 80*Desplazamientos del modo 1 para el pórtico en Y*

Piso	Modo	Desplazamiento modal pórtico (m)
10	1	0.220937
9	1	0.209854
8	1	0.188446
7	1	0.158469
6	1	0.131469
5	1	0.112615
4	1	0.091568
3	1	0.068416
2	1	0.043799
1	1	0.01883

Nota: Elaboración propia

Desplazamientos en ambos extremos del pórtico y desplazamiento modal relativo

El desplazamiento modal relativo de la estructura se define como la diferencia de desplazamiento que un dissipador debe reducir. Para su cálculo, se puede considerar la diferencia entre el desplazamiento de un nivel y el desplazamiento del nivel inmediatamente inferior (Turpo y Paredes, 2022).

Los desplazamientos absolutos en los extremos del pórtico en “X” son determinados con el registro sísmico de diseño Caso 1 de Arequipa 2005 de componente E-W son obtenidos del software Etabs y los desplazamientos modales relativos en “X” son calculados en Excel (véase Tabla 81).

Tabla 81

Desplazamientos relativos en ambos extremos del pórtico que alberga el disipador en X

Piso	Modo	Nudo 5	Nudo 6	Φ_{rj}
10	1		0.282647	0.0147
9	1	0.26794	0.26794	0.0242
8	1	0.24379	0.24379	0.0331
7	1	0.210699	0.210699	0.0383
6	1	0.172434	0.172434	0.0265
5	1	0.145976	0.145976	0.0288
4	1	0.117201	0.117201	0.0306
3	1	0.086626	0.086626	0.0315
2	1	0.055147	0.055147	0.0314
1	1	0.023738		0.0000

Nota: Elaboración propia

Los desplazamientos absolutos en los extremos del pórtico en “Y” son determinados con el registro sísmico de diseño Caso 2 de Lima 1974 de componente N-S son obtenidos del software Etabs y los desplazamientos modales relativos en “Y” son calculados en Excel (véase Tabla 82).

Tabla 82

Desplazamientos relativos en ambos extremos del pórtico que alberga el disipador en Y

Nivel	Modo	Nudo 50	Nudo 63	Φ_{rj}
10	1		0.220937	0.0111
9	1	0.209854	0.209854	0.0214
8	1	0.188446	0.188446	0.0300
7	1	0.158469	0.158469	0.0270
6	1	0.131469	0.131469	0.0189
5	1	0.112615	0.112615	0.0210
4	1	0.091568	0.091568	0.0232
3	1	0.068416	0.068416	0.0246
2	1	0.043799	0.043799	0.0250
1	1	0.01883	0	0

Nota: Elaboración propia

Amplitud (A)

- **En X**

Los vectores propios o el desplazamiento del modo fundamental en X extraídos del Etabs, son normalizados (ver Tabla 83).

Tabla 83

Desplazamiento del modo fundamental en X

Desplazamiento del modo fundamental en X		
Nivel	Vectores propios	Normalizado Φ_i
10	0.000029505	1.00000
9	0.000027990	0.94864
8	0.000025509	0.86454
7	0.000022102	0.74910
6	0.000018138	0.61473
5	0.000015385	0.52144
4	0.000012375	0.41943
3	0.000009162	0.31053
2	0.000005837	0.19783
1	0.000002514	0.08521

Nota: Elaboración propia

Y se realizan los cálculos necesarios en la Tabla 84 para determinar el factor de participación modal.

Tabla 84

Cálculos para el factor de participación modal en X

Nivel	Masa (tn.s²/m)	m*Φ_i (tn.s²/m)
10	40.67	40.66552
9	55.17	52.34067
8	55.17	47.70013
7	55.17	41.33070
6	57.64	35.43313
5	58.88	30.70268
4	58.88	24.69639
3	58.88	18.28408
2	58.88	11.64874
1	58.87	5.01642
	558.23	307.81845

Se determina el factor de participación modal

$$\Gamma_x = \frac{\bar{W}_l}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{il}} = \frac{558.23 \text{tn.s}^2 / m}{307.8185 \text{tn.s}^2 / m} = 1.813$$

Aceleración espectral Sd

$$Sd_x = \frac{SUCS}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.5322 \times 1.15}{1} = 0.616711$$

Amplitud de desplazamiento del modo 1 en X

$$A_x = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma \frac{S_D T_D}{B_D} = \left(\frac{981}{4\pi^2} \right) (1.813) \left(\frac{0.616711 \times 0.979}{2.15} \right)$$

$$A_x = 12.7 \text{cm} = 0.127 \text{m}$$

• **En Y**

Los vectores propios o el desplazamiento del modo fundamental en Y, extraídos del Etabs, son normalizados (ver Tabla 85).

Tabla 85*Desplazamiento del modo fundamental en Y*

Desplazamiento del modo fundamental en Y		
Nivel	Vectores propios	Normalizado Φ_i
10	0.000021496	1.00000
9	0.000020594	0.95803
8	0.000018952	0.88165
7	0.000016605	0.77246
6	0.000013764	0.64031
5	0.000011739	0.54607
4	0.000009492	0.44158
3	0.000007061	0.32847
2	0.000004512	0.20988
1	0.000001940	0.09023

Nota: Elaboración propia

Y se realizan los cálculos necesarios en la Tabla 86 para determinar el factor de participación modal.

Tabla 86*Cálculos para el factor de participación modal en Y*

Nivel	Masa (Tn.Seg²/m)	m * Φ_i
10	40.67	40.66552
9	55.17	52.85831
8	55.17	48.64440
7	55.17	42.61959
6	57.64	36.90745
5	58.88	32.15334
4	58.88	26.00081
3	58.88	19.34086
2	58.88	12.35788
1	58.87	5.31203
	558.23	316.86019

Se determina el factor de participación modal en Y

$$\Gamma_Y = \frac{\bar{W}_i}{\sum_{i=1}^n w_i \phi_{il}} = \frac{558.23 \text{tn.s}^2 / m}{316.86019 \text{tn.s}^2 / m} = 1.762$$

Aceleración espectral S_d

$$S_{d_Y} = \frac{SUCS}{R} = \frac{0.35 \times 1 \times 1.4925 \times 1.15}{1} = 0.600731$$

Amplitud de desplazamiento del modo 1 en Y

$$A_Y = \left(\frac{g}{4\pi^2} \right) \Gamma \frac{S_D T_D}{B_D} = \left(\frac{981}{4\pi^2} \right) (1.762) \left(\frac{0.600731 \times 1.005}{1.91} \right)$$
$$A_Y = 13.8 \text{cm} = 0.138 \text{m}$$

Frecuencia angular (ω)

Ya habiendo obtenido datos sobre periodos correspondientes a la dirección principal de la estructura en “X” y “Y” en el análisis convencional, se procedió a determinar la frecuencia angular con la siguiente ecuación:

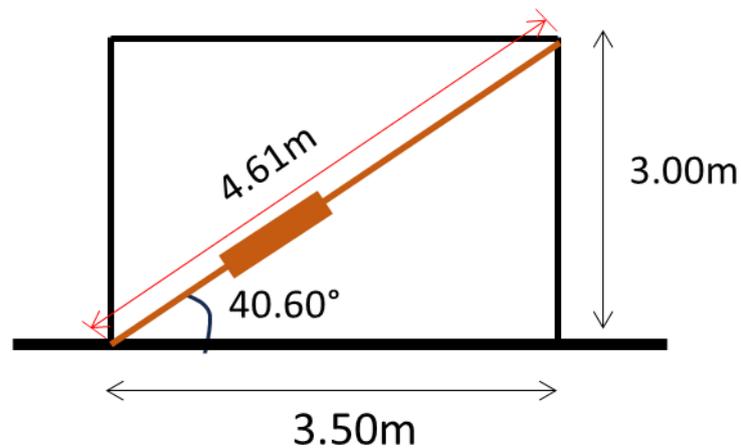
$$\omega_x = \frac{2\pi}{T_x} = \frac{2\pi}{0.979} = 6.4180 \text{rad / seg}$$
$$\omega_y = \frac{2\pi}{T_y} = \frac{2\pi}{1.005} = 6.2519 \text{rad / seg}$$

Ángulo del disipador (θ)

Como se optó por acoplar disipadores en forma diagonal de acuerdo con la Figura 60 para la dirección X y Figura 61 para la dirección Y, el ángulo de la inclinación del dispositivo se determinó de la siguiente manera:

Figura 60

Ángulo del disipador en disposición diagonal para el eje X

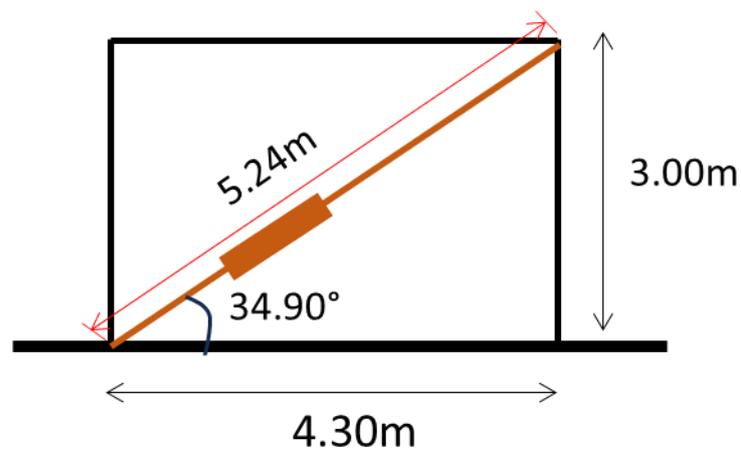


Nota: Elaboración propia

$$\theta_x = \frac{3m}{3.5m} = 0.85714rad = 40.60^\circ$$

Figura 61

Ángulo del disipador en disposición diagonal para el eje Y



Nota: Elaboración propia

$$\theta_y = \frac{3m}{4.3m} = 0.69767rad = 34.90^\circ$$

Coefficiente de amortiguamiento no lineal

Los valores que integran la fórmula fueron calculados individualmente antes de ser ensamblados a la siguiente fórmula:

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

Se realizaron los cálculos necesarios en la hoja Excel, así como se muestra en la Tabla 87 y Tabla 88.

Tabla 87

Cálculos generales para el amortiguamiento no lineal del disipador en X

Nivel	Masa (Tn.Seg ² /m)	COS θ	cosθ ^(1+α) * Φ _{rj} ^(1+α)	m * Φ _i ²
10	40.67	0.759	0.0012	3.249
9	55.17	0.759	0.0025	3.961
8	55.17	0.759	0.0040	3.279
7	55.17	0.759	0.0050	2.449
6	57.64	0.759	0.0028	1.714
5	58.88	0.759	0.0032	1.255
4	58.88	0.759	0.0035	0.809
3	58.88	0.759	0.0037	0.442
2	58.88	0.759	0.0037	0.179
1	58.87	0.759	0.0000	0.033
			0.029588484	17.36982

Nota: Elaboración propia

$$\sum C_{jX} = \frac{\beta_{HX} 2\pi A^{1-\alpha} \omega_X^{2-\alpha} \left(\sum_{iX} m_i \phi_{iX}^2 \right)}{\lambda \left(\sum \phi_{rjX}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_{jX} \right)}$$

$$\sum C_{jX} = \frac{0.41516 \times 2\pi \times 0.127 \times 6.4180^{2-0.5} \times 17.36982}{3.5 \times 0.029588484}$$

$$\sum C_{jX} = 2535.12 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}$$

Tabla 88

Cálculos generales para el amortiguamiento no lineal del disipador en Y

Nivel	Masa (Tn.Seg ² /m)	COS θ	cosθ ^(1+α) * Φrj ^(1+α)	m * Φi ²
10	40.67	0.820	0.0009	1.985
9	55.17	0.820	0.0023	2.430
8	55.17	0.820	0.0039	1.959
7	55.17	0.820	0.0033	1.386
6	57.64	0.820	0.0019	0.996
5	58.88	0.820	0.0023	0.747
4	58.88	0.820	0.0026	0.494
3	58.88	0.820	0.0029	0.276
2	58.88	0.820	0.0029	0.113
1	58.87	0.820	0.0000	0.021
			0.022948879	10.40584

Nota: Elaboración propia

$$\sum C_{jY} = \frac{\beta_{HY} 2\pi A^{1-\alpha} \omega_Y^{2-\alpha} \left(\sum_{iY} m_i \phi_{iY}^2 \right)}{\lambda \left(\sum \phi_{rjY}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_{jY} \right)}$$

$$\sum C_{jY} = \frac{0.36864 \times 2\pi \times 0.138 \times 6.2519^{2-0.5} \times 10.40584}{3.5 \times 0.022948879}$$

$$\sum C_{jY} = 1592.25 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}$$

Luego se procedió con el cálculo del **coeficiente no lineal unitario**

En vista de que se optó por emplear 6 DFV por piso, el coeficiente resulta de la siguiente manera:

$$C_{jX} = \frac{\sum C_{jX}}{N_{\text{disipadoresX}}} = \frac{2535.12 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}}{6} = 423 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}$$

$$C_{jY} = \frac{\sum C_{jY}}{N_{\text{disipadoresY}}} = \frac{1592.25 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}}{6} = 266 \text{tn} \cdot \text{s} / \text{m}$$

El resumen de las propiedades del DFV es como se muestra a continuación en la Tabla 89:

Tabla 89*Resumen de propiedades de los DFVs en arreglo diagonal*

Propiedad del DFV	Para eje X	Para eje Y
K (tn/m)	81370	71541
C_j (tn.s/m)	423	266
α	0.5	0.5

Nota: Elaboración propia

4.2.2.6. Análisis tiempo historia no lineal rápido (FNA)

Se realiza el análisis dinámico no lineal en el tiempo utilizando disipadores de fluido viscoso, optimizando al máximo las respuestas de la edificación acoplada con estos disipadores de energía y empleando acelerogramas ajustados al espectro del sismo máximo considerado. La verificación de estas respuestas y la optimización se llevó a cabo mediante la evaluación de las derivas calculadas para la estructura utilizando los sismos de diseño Caso 1 de Arequipa 2005 para la dirección X y Caso 2 de Lima 1974 para la dirección Y. De modo que estas derivas se encuentren dentro del rango establecido para un nivel de desempeño funcional, según la metodología Hazus, el cual varía entre 0.0025 y 0.0043. Finalmente se llegó a los siguientes resultados, así como se detalla en la Tabla 90 y Tabla 91.

Tabla 90*Control de derivas de análisis dinámico - tiempo historia no lineal con DFV en X*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control HAZUS ≤ 0.0043
10	D10	Caso 1 - AQP 2005	0.110113	0.00789	3.0	0.00263	Cumple
9	D9	Caso 1 - AQP 2005	0.102226	0.01030	3.0	0.00343	Cumple
8	D8	Caso 1 - AQP 2005	0.091927	0.01135	3.0	0.00378	Cumple
7	D7	Caso 1 - AQP 2005	0.080575	0.01291	3.0	0.00430	Cumple
6	D6	Caso 1 - AQP 2005	0.067662	0.00989	3.0	0.00330	Cumple
5	D5	Caso 1 - AQP 2005	0.057772	0.01129	3.0	0.00376	Cumple
4	D4	Caso 1 - AQP 2005	0.04648	0.01200	3.0	0.00400	Cumple
3	D3	Caso 1 - AQP 2005	0.034476	0.01230	3.0	0.00410	Cumple
2	D2	Caso 1 - AQP 2005	0.022176	0.01247	3.0	0.00416	Cumple
1	D1	Caso 1 - AQP 2005	0.009705	0.00971	3.0	0.00324	Cumple

Nota: Elaboración propia

Tabla 91*Control de derivas de análisis dinámico - tiempo historia no lineal con DFV en Y*

Piso	Dfg	Sismo	UX (m)	D. Relativo (m)	A. entrepiso (m)	Derivas Inelásticas	Control HAZUS ≤ 0.0043
10	D10	Caso 2 - Lima 1974	0.105392	0.00450	3.0	0.00150	Cumple
9	D9	Caso 2 - Lima 1974	0.100891	0.00931	3.0	0.00310	Cumple
8	D8	Caso 2 - Lima 1974	0.091582	0.01217	3.0	0.00406	Cumple
7	D7	Caso 2 - Lima 1974	0.079413	0.01255	3.0	0.00418	Cumple
6	D6	Caso 2 - Lima 1974	0.066859	0.00895	3.0	0.00298	Cumple
5	D5	Caso 2 - Lima 1974	0.057912	0.01067	3.0	0.00356	Cumple
4	D4	Caso 2 - Lima 1974	0.047238	0.01208	3.0	0.00403	Cumple
3	D3	Caso 2 - Lima 1974	0.035158	0.01274	3.0	0.00425	Cumple
2	D2	Caso 2 - Lima 1974	0.022422	0.01272	3.0	0.00424	Cumple
1	D1	Caso 2 - Lima 1974	0.009702	0.00970	3.0	0.00323	Cumple

Nota: Elaboración propia

Con la Tabla 90 y Tabla 91 se verificó que las derivas en las direcciones X y Y disminuyeron significativamente, y ninguna de ellas superó la deriva objetivo de 0.0043 establecida por la metodología Hazus para edificaciones aporricadas, lo que indica que los disipadores de fluido

viscoso cumplieron con su función en mejorar el comportamiento de la edificación.

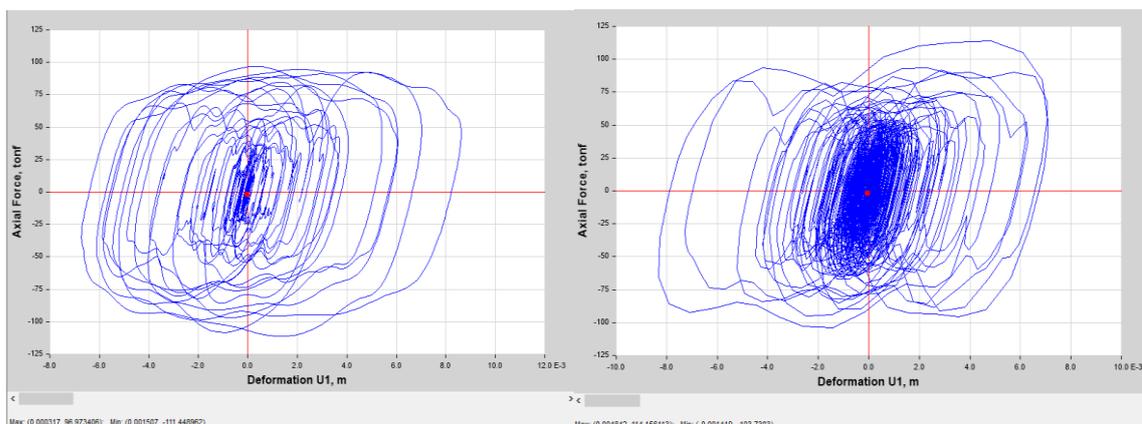
4.2.2.7. Verificaciones estructurales de la edificación con DFV

Verificación del comportamiento histerético

Se realizó la evaluación del comportamiento histerético de cada uno de los DFV sí como se muestra en la Figura 62, considerando que los lazos histeréticos de la relación entre la fuerza y la deformación deben ser elípticos y estar alineados paralelamente al eje de las abscisas, lo que indica un comportamiento ideal de los dispositivos. Por otro lado, cualquier desviación significativa de esta forma y posición deseada podría indicar un mal funcionamiento de los DFV y la necesidad de una revisión y ajuste adecuado para garantizar su correcto desempeño ante futuros eventos sísmicos.

Figura 62

Comportamiento histerético de los disipadores K1 y K2 del 1er nivel



Nota: Elaboración propia



En la Figura 62 se muestra solamente el comportamiento histerético de los disipadores K1 y K2 correspondiente al 1er nivel, la verificación completa de bucles histeréticos se muestra en el ANEXO 7.

Cuando se obtiene como resultado que las curvas son casi elípticas, se procede a la siguiente comprobación, dado que esto indica que el comportamiento del disipador es óptimo; de lo contrario, se estaría realizando una inversión innecesaria en los disipadores.

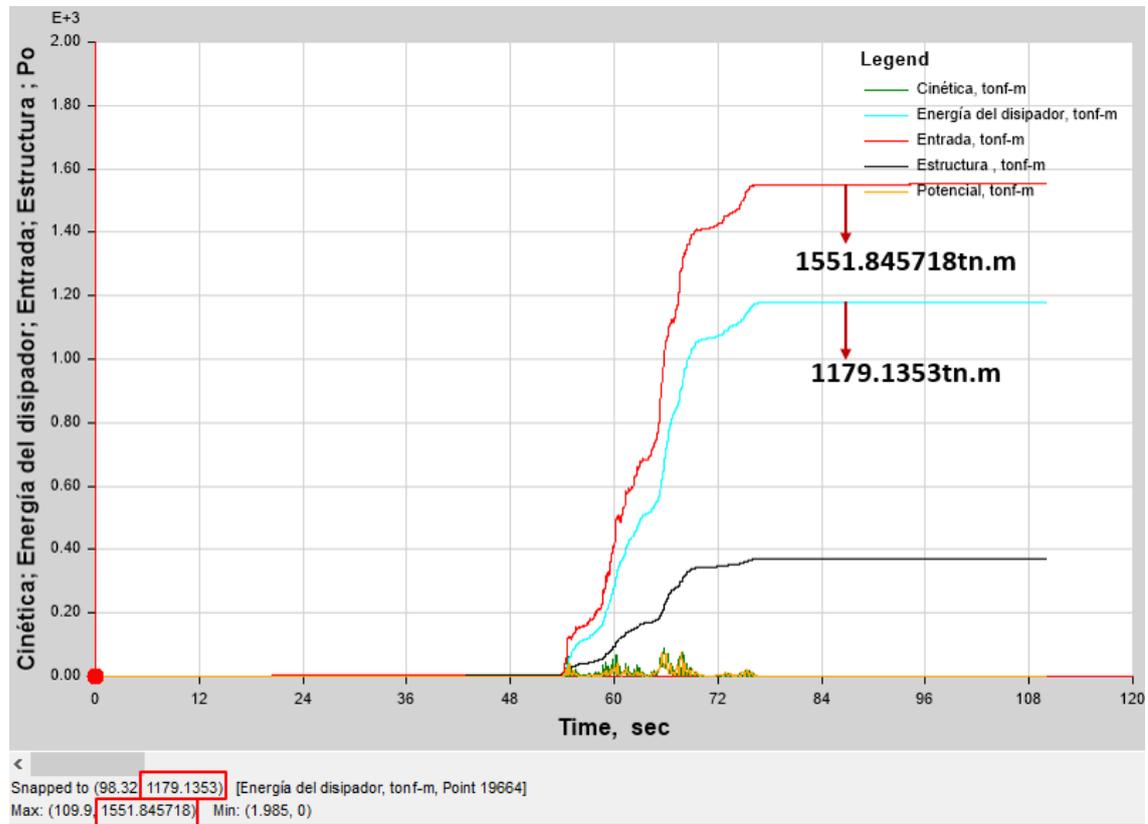
Verificación de balance energético

En esta etapa del análisis, se realizó el cálculo y verificación del porcentaje de energía sísmica severa que es absorbida por los DFV en conjunto, mediante la comparación entre la energía total del sismo incidente y la cantidad de energía que el sistema de amortiguamiento de fluido viscoso es capaz de disipar.

La energía presente en la estructura será la suma de la energía total de ingreso, la energía cinética y potencial, así como la energía proveniente de los DFVs y la energía de amortiguamiento inherente a la estructura de concreto armado.

Figura 63

Balance energético estructural en la dirección X



Nota: Elaboración propia

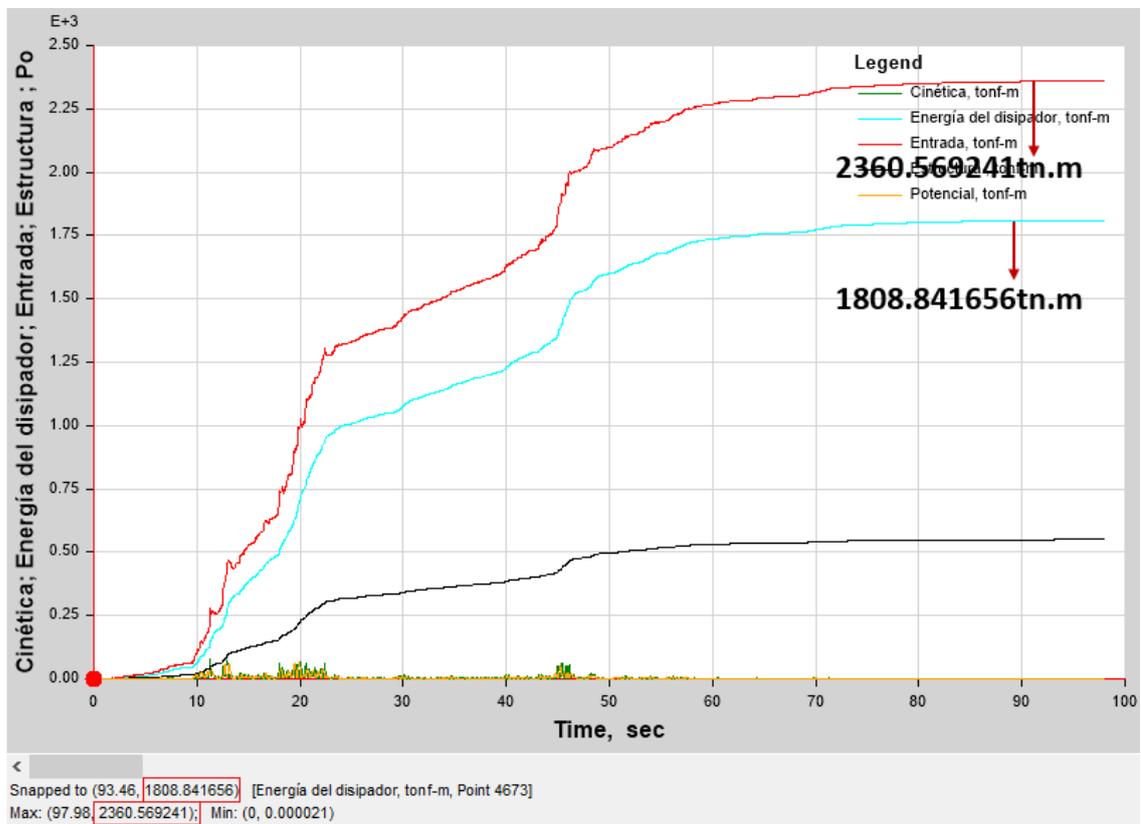
$$\% \text{Disipación de energía}_x = \% D_x = \frac{\text{Energía disipada por los amortiguadores}_x}{\text{Energía de entrada del sismo severo}_x}$$

$$\% D_x = \frac{1179.1353}{1551.845718} \times 100 = 75.98\%$$

Según la Figura 63, el 75.98% de la energía total del sismo severo que ingresa en X será absorbida y disipada por los DFVs, mientras que el resto será transferido a la estructura de concreto armado.

Figura 64

Balance energético estructural en la dirección Y



Nota: Elaboración propia

$$\% \text{Disipación de energía}_Y = \% D_Y = \frac{\text{Energía disipada por los amortiguadores}_Y}{\text{Energía de entrada del sismo severo}_Y}$$

$$\% D_Y = \frac{1808.841656 \text{ Tn.m}}{2360.569241 \text{ Tn.m}} \times 100 = 76.63\%$$

Así también, de la Figura 64 se puede observar que aproximadamente que en el eje Y el 76.63% de la energía generada por el sismo severo será absorbida y disipada por los DFV, mientras que el porcentaje restante afectará a la estructura.

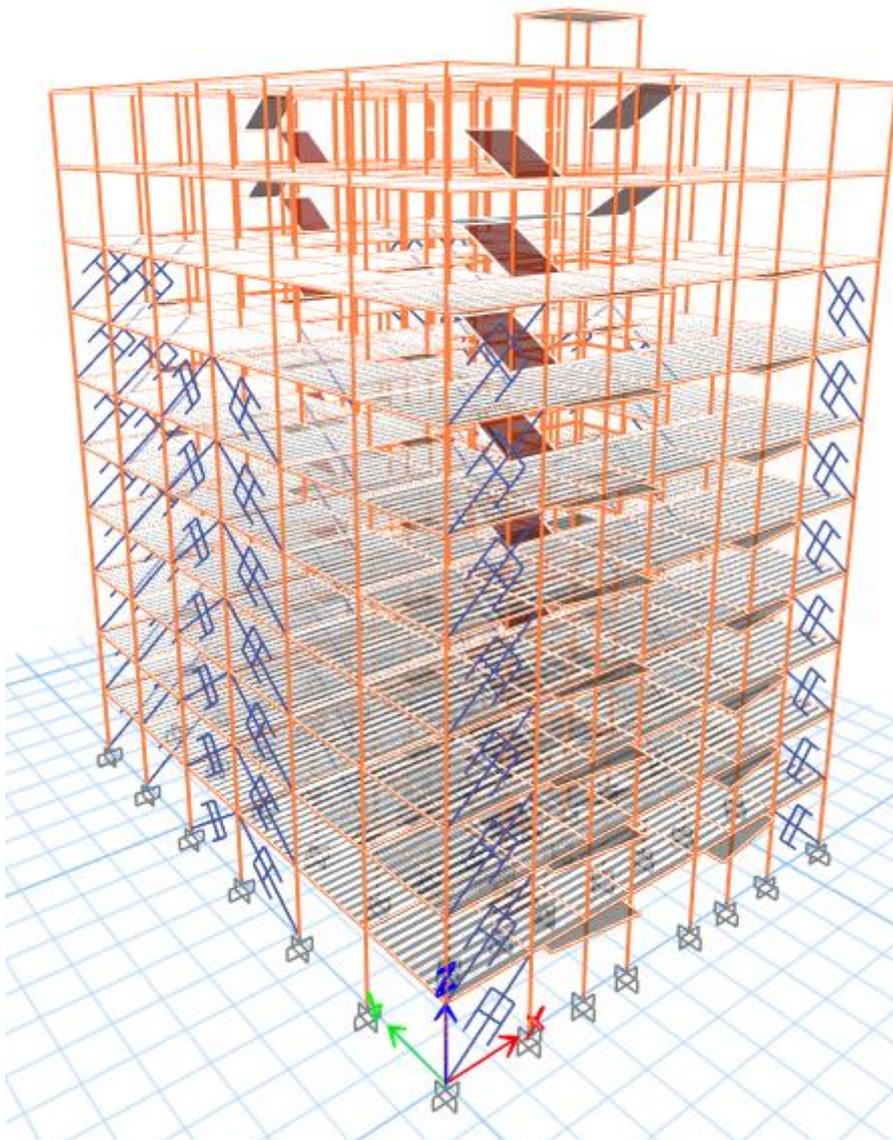
Ubicación final de los disipadores

Considerando la influencia del comportamiento del dispositivo, la arquitectura de la edificación y las características del fluido, la disposición

final de los dispositivos DFV es así como se muestra en la Figura 65, Figura 66, Figura 67, Figura 68, Figura 69, Figura 70, Figura 71, Figura 72 y Figura 73. En la dirección X se dispuso en los ejes 1 y 7 (entre A y B; entre H y I) del 1er nivel al 8vo nivel, en cuanto a la dirección Y, la colocación se efectuó en los ejes A y I (entre 3 y 5; entre 4 y 5) del 1er nivel al 7mo nivel.

Figura 65

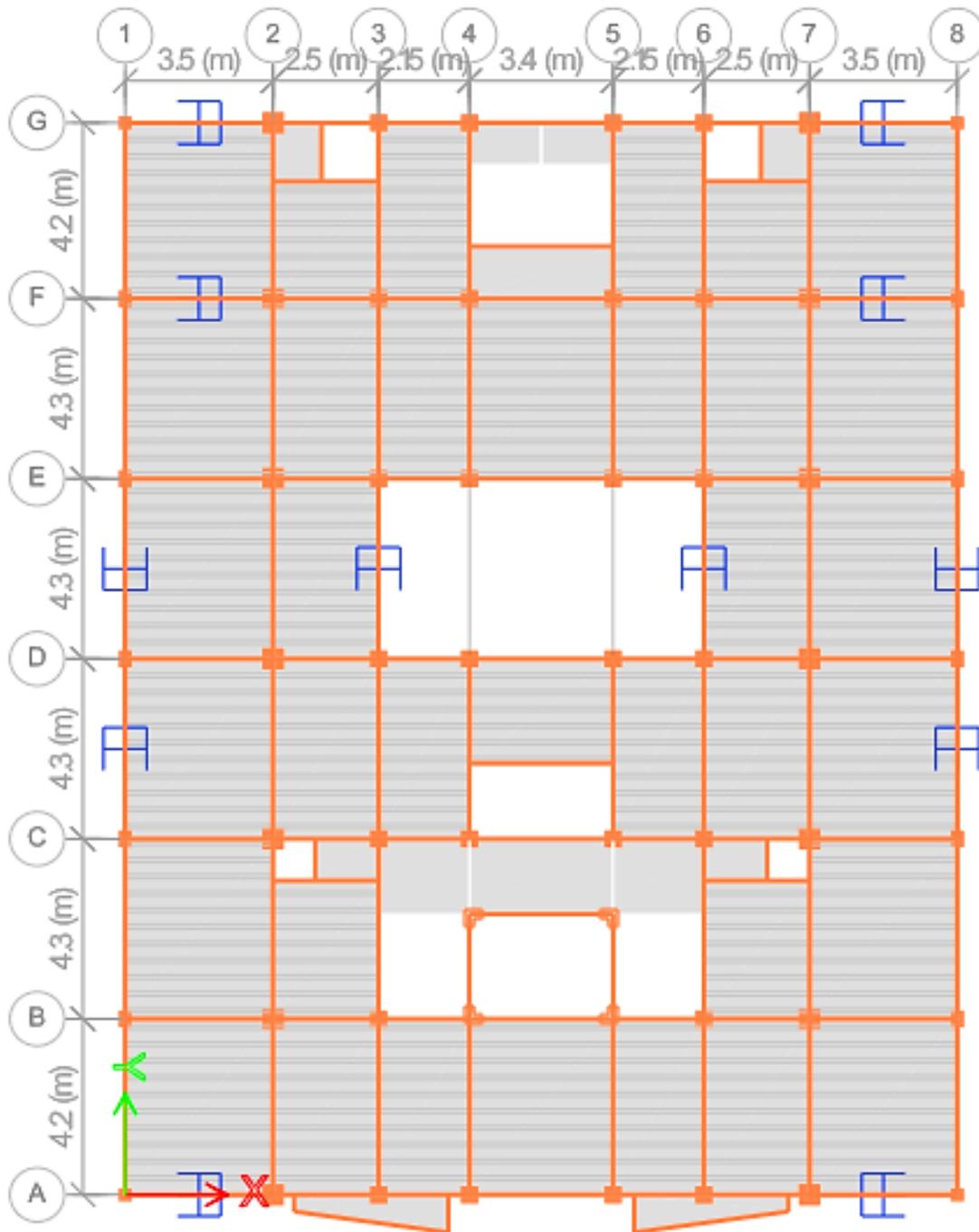
Modelo 3D de la disposición final de los disipadores



Nota: Elaboración propia

Figura 66

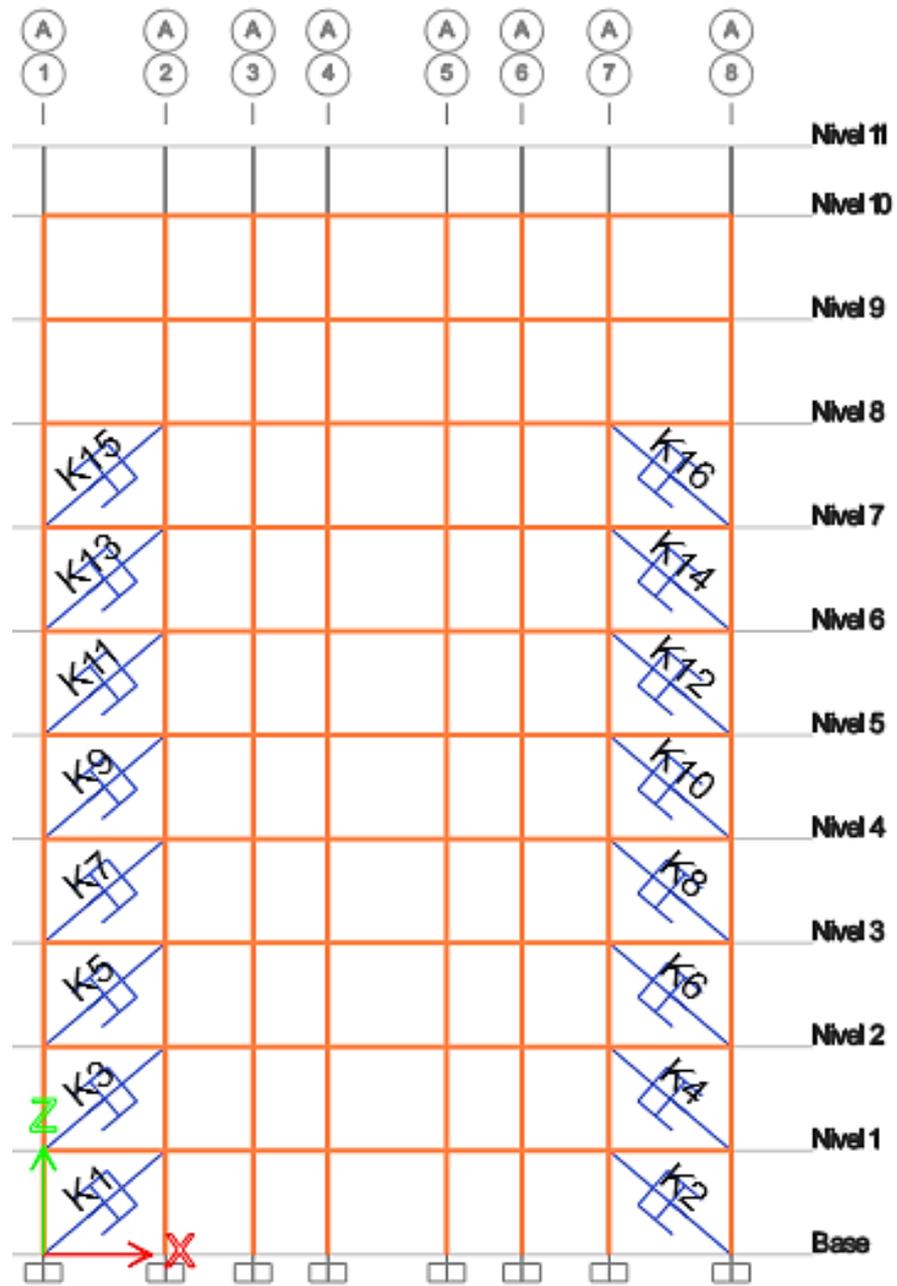
Disposición final de los disipadores en planta



Nota: Elaboración propia

Figura 67

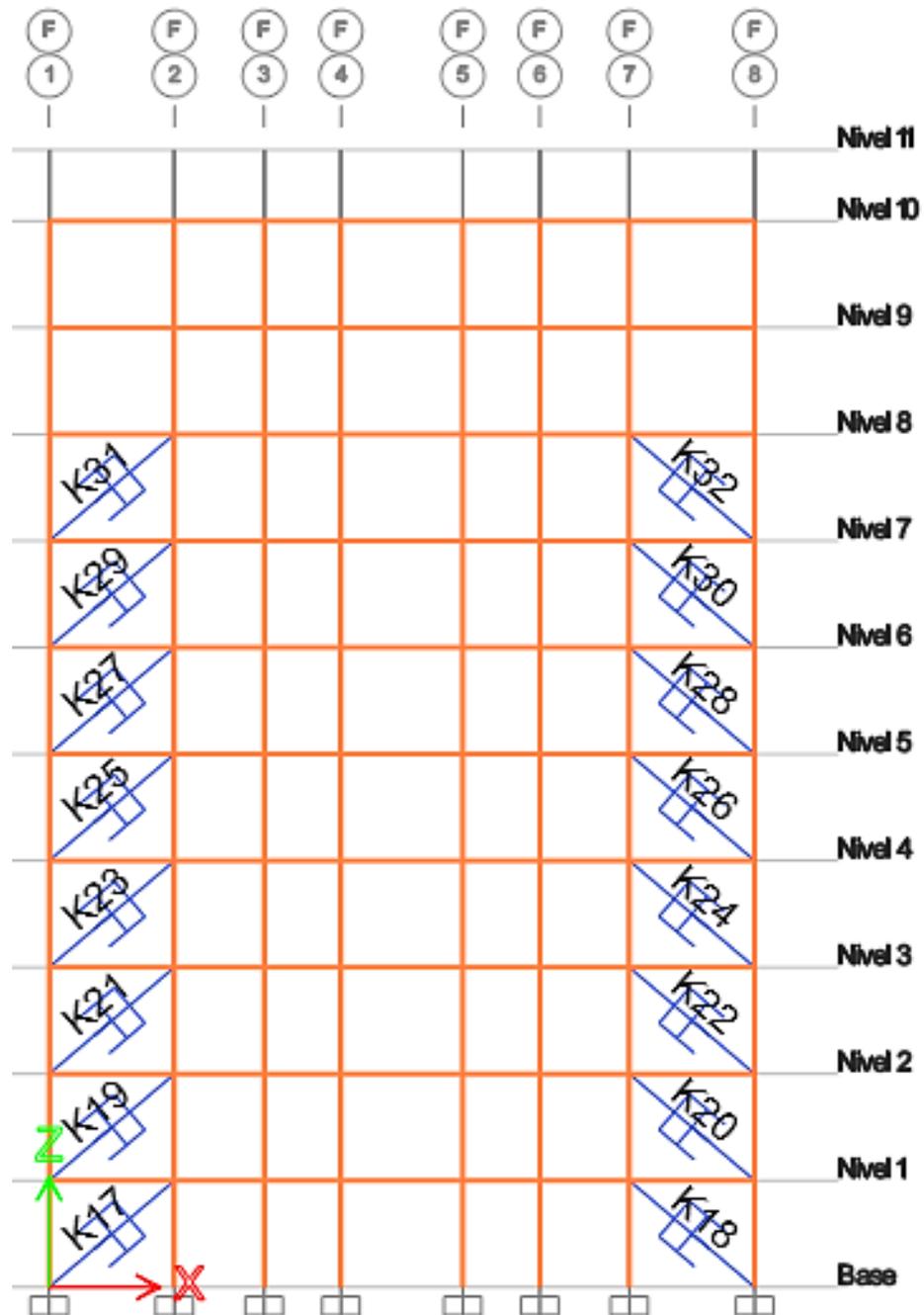
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje A-A



Nota: Elaboración propia

Figura 68

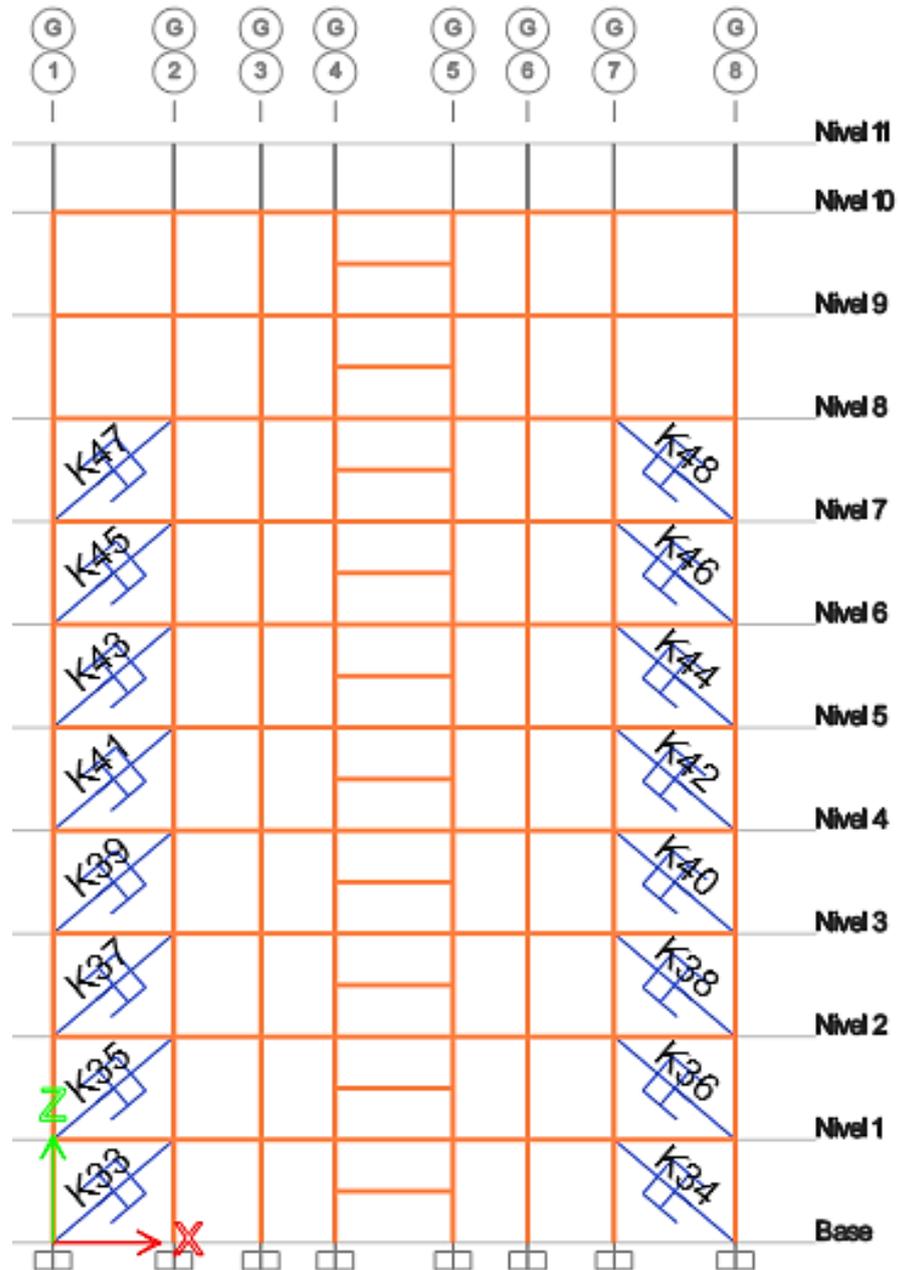
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje F-F



Nota: Elaboración propia

Figura 69

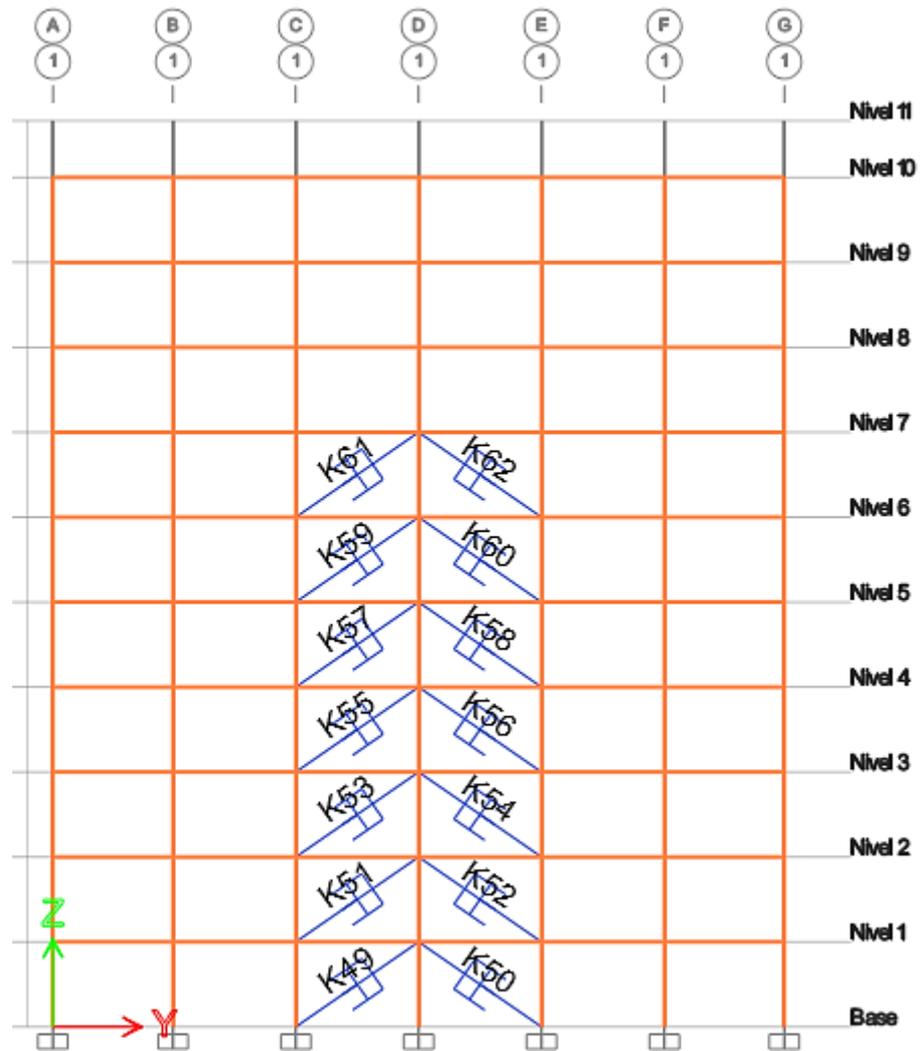
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje G-G



Nota: Elaboración propia

Figura 70

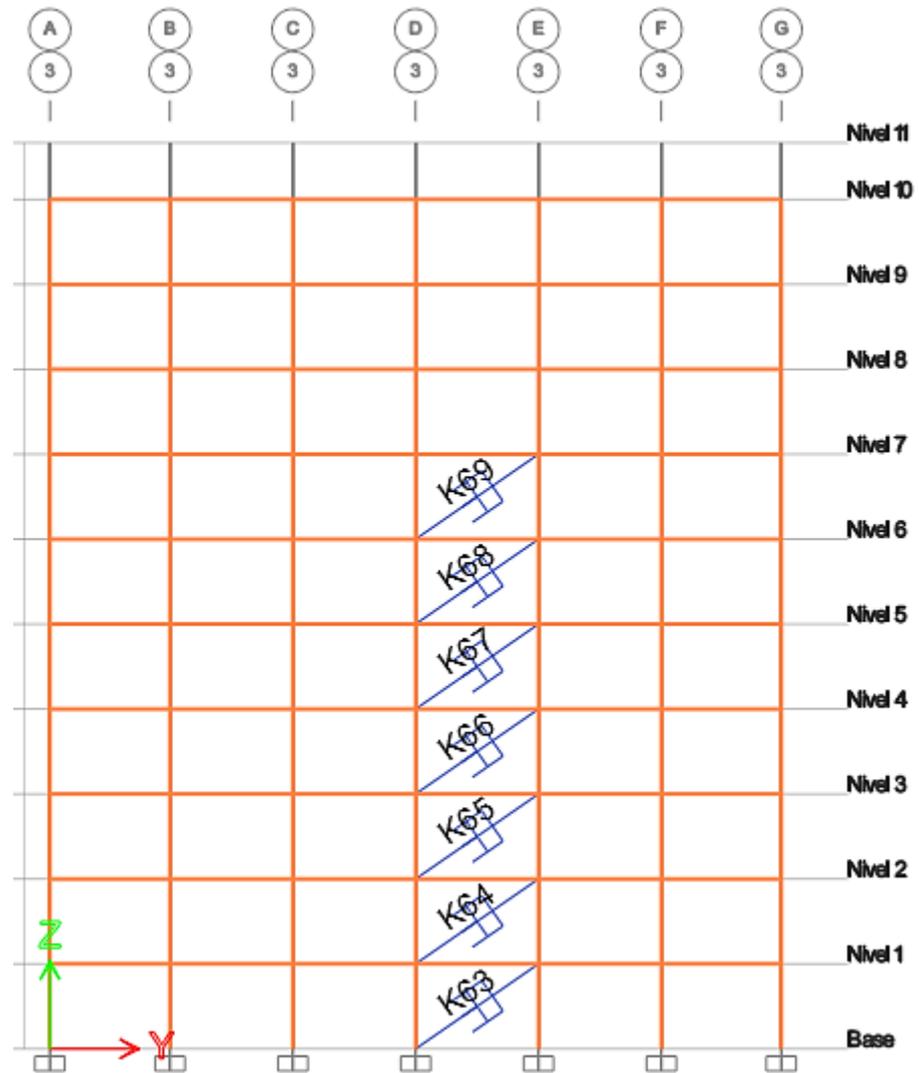
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje 1-1



Nota: Elaboración propia

Figura 71

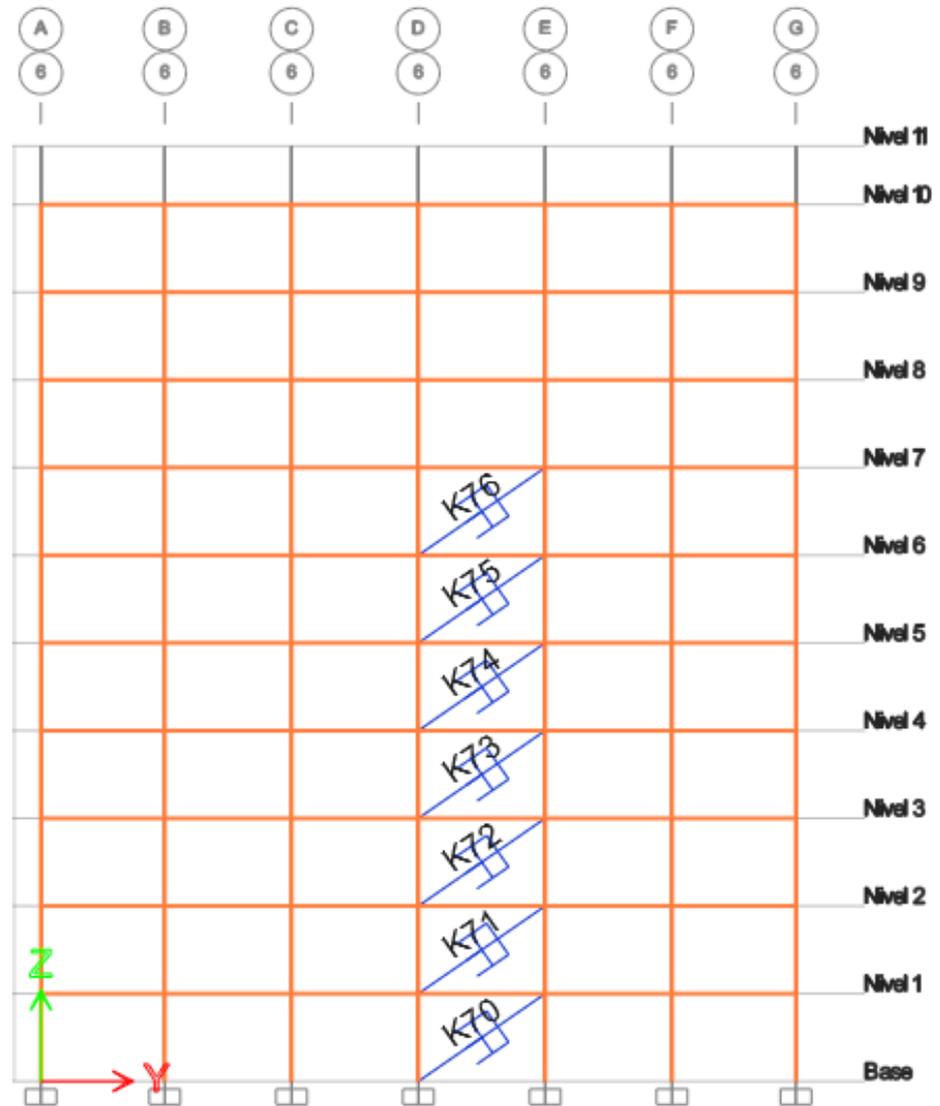
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje 3-3



Nota: Elaboración propia

Figura 72

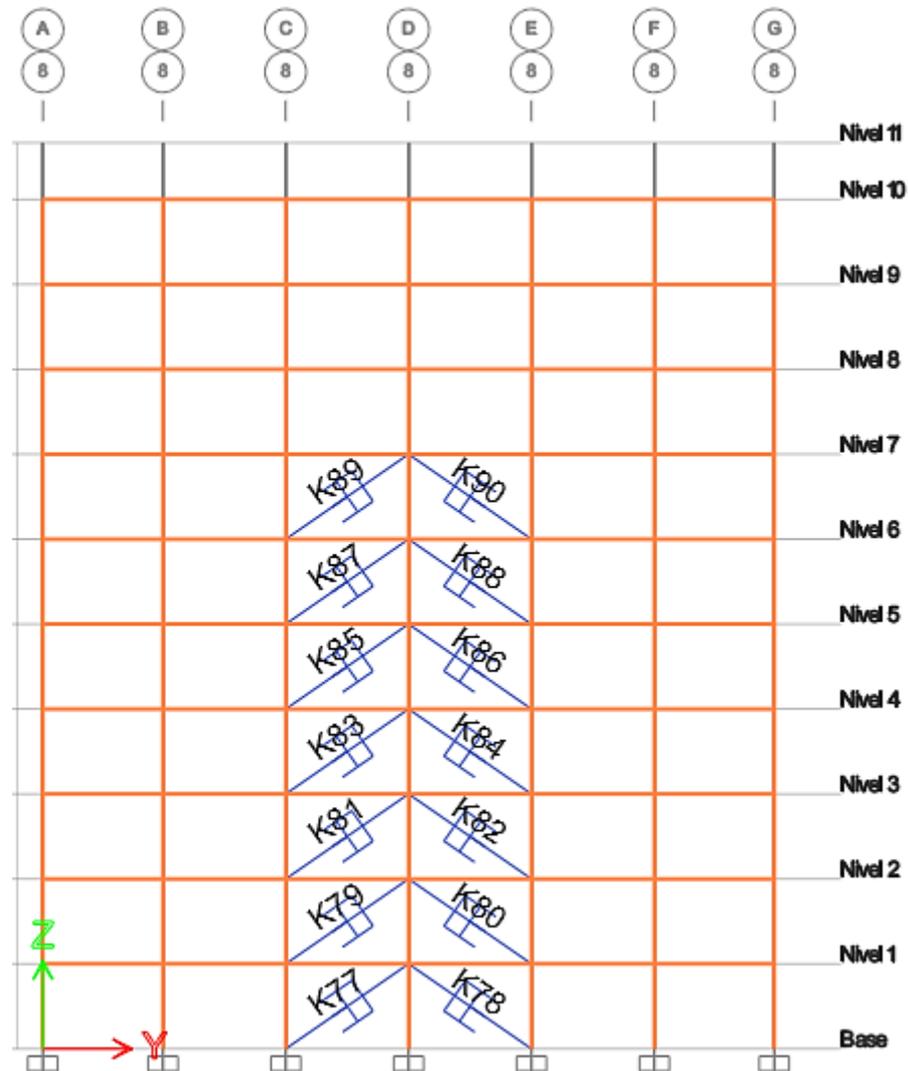
Distribución final de los disipadores en elevación en el eje 6-6



Nota: Elaboración propia

Figura 73

Distribución final de los disipadores en elevación en el eje 8-8



Nota: Elaboración propia

Fuerza de los disipadores

Una vez que la estructura del edificio ha sido optimizada y las derivas en ambos ejes se encuentran por debajo del límite máximo permitido por la normativa peruana y la metodología HAZUS, después de verificar el comportamiento histerético de todos los disipadores y el porcentaje de absorción de energía sísmica, se procede a determinar la fuerza axial en tracción y compresión generada en cada disipador viscoso.

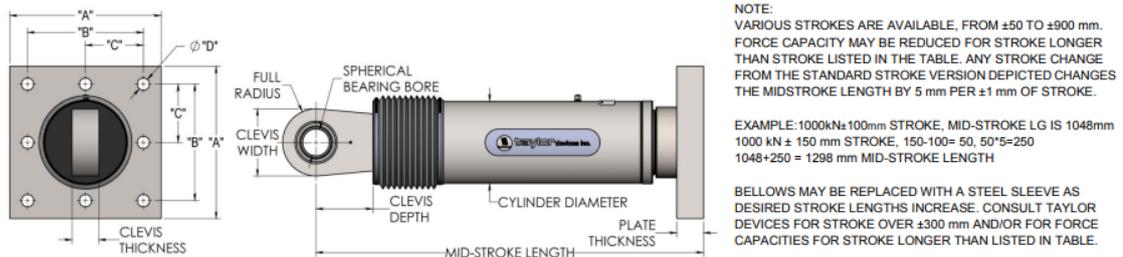
Es importante mencionar que para la elección de los dispositivos se tomó en cuenta el catálogo de la empresa Taylor, quienes proporcionan una tabla con valores de fuerzas preestablecidos. Por lo tanto, las fuerzas calculadas en cada disipador serán aproximadas al valor máximo especificado en el catálogo Figura 74.

Figura 74

Dimensiones del DFV y de la placa base correspondiente



**FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES
CLEVIS – BASE PLATE CONFIGURATION, METRIC UNITS**



FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250	17120	38.10	787	±75	43	102	83	33	114	44	178±3	127±25	†	20.6±25	38±76
500	17130	50.80	997	±100	55	127	102	44	146	98	282±3	203±25	†	31.8±25	38±76
750	17140	57.15	1016	±100	59	152	129	50	184	168	343±3	254±25	127±25	28.7±25	61±76
1000	17150	69.85	1048	±100	71	184	150	61	210	254	419±3	318±25	159±25	31.8±25	76±1.5
1500	17160	76.20	1105	±100	77	203	162	67	241	306	432±3	330±25	165±25	34.9±25	76±1.5
2000	17170	88.90	1346	±125	91	235	191	78	292	503	457±3	343±25	171.5±25	38.1±25	102±1.5
3000	17180	101.60	1441	±125	117	286	203	89	350	805	508±3	406±25	203±25	41.4±25	102±1.5
4000	17190	127.00	1645	±125	142	324	273	111	425	1088	**	**	**	**	**
6500	17200	152.40	1752	±125	152	350	305	121	515	1930	**	**	**	**	**
8000	17210	177.80	1867	±125	178	415	343	135	565	2625	**	**	**	**	**

† DENOTES 4 HOLE PATTERN, MEANING NO CENTER HOLES.
** CONSULT FACTORY FOR DIMENSIONS.

Nota: Tomado de Taylor Devices, s.f.

En la Tabla 92, Tabla 93 y Tabla 94, se muestran las fuerzas axiales máximas de cada disipador de energía de fluido viscoso en la dirección X-X extraído del Etabs V.21.0.0 en Tn y convertido a kN, debido a que el catálogo maneja las fuerzas en kN, y en la última columna de las tablas se indica el valor de fuerza de desempeño de los dispositivos según el catálogo de la empresa Taylor.



Tabla 92

Fuerza de los DFV en el eje A-A de la dirección X-X

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (kN)	Fuerza TAYLOR (kN)
8	K15	109.8436	1077.20	1500
8	K16	108.0181	1059.30	1500
7	K13	115.8122	1135.74	1500
7	K14	113.3889	1111.97	1500
6	K11	90.9207	891.63	1000
6	K12	88.0233	863.22	1000
5	K9	99.5578	976.33	1000
5	K10	98.7516	968.43	1000
4	K7	103.0907	1010.98	1500
4	K8	104.1580	1021.45	1500
3	K5	102.7885	1008.02	1500
3	K6	107.4208	1053.44	1500
2	K3	103.8356	1018.28	1500
2	K4	116.3584	1141.09	1500
1	K1	96.9736	950.99	1000
1	K2	109.2361	1071.25	1000

Nota: Elaboración propia



Tabla 93

Fuerza de los DFV en el eje F-F de la dirección X-X

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
8	K31	83.312	817.02	1000
8	K32	81.549	799.73	1000
7	K29	104.357	1023.40	1000
7	K30	94.726	928.95	1000
6	K27	85.371	837.21	1000
6	K28	79.717	781.76	1000
5	K25	94.467	926.41	1000
5	K26	89.553	878.21	1000
4	K23	100.531	985.87	1000
4	K24	95.944	940.89	1000
3	K21	101.153	991.98	1000
3	K22	99.280	973.61	1000
2	K19	102.393	1004.14	1500
2	K20	107.739	1056.56	1500
1	K17	95.665	938.16	1000
1	K18	103.864	1018.56	1000

Nota: Elaboración propia

Tabla 94*Fuerza de los DFV en el eje G-G de la dirección X-X*

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
8	K47	75.714	742.50	1000
8	K48	74.312	728.76	1000
7	K45	100.207	982.70	1000
7	K46	88.507	867.96	1000
6	K43	82.420	808.27	1000
6	K44	75.760	742.96	1000
5	K41	92.047	902.68	1000
5	K42	86.717	850.40	1000
4	K39	98.790	968.81	1000
4	K40	93.770	919.57	1000
3	K37	99.888	979.58	1000
3	K38	96.806	949.35	1000
2	K35	101.640	996.75	1500
2	K36	105.047	1030.16	1500
1	K33	95.398	935.54	1000
1	K34	101.901	999.31	1000

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 95, Tabla 96, Tabla 97 y Tabla 98 se muestran las fuerzas axiales máximas de cada disipador de energía de fluido viscoso en la dirección Y-Y extraído del Etabs V.21.0.0 en Tn y convertido a kN, debido a que el catálogo maneja las fuerzas en kN, y en la última columna de las tablas se indica el valor de fuerza de desempeño de los dispositivos según el catálogo de la empresa Taylor.

Tabla 95*Fuerza de los DFV en el eje 1-1 de la dirección Y-Y*

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
7	K61	87.2544	855.68	1000
7	K62	85.9751	843.13	1000
6	K59	74.7939	733.48	1000
6	K60	67.9012	665.89	1000
5	K57	75.4147	739.57	1000
5	K58	71.3563	699.77	1000
4	K55	74.6540	732.11	1000
4	K56	75.3599	739.03	1000
3	K53	79.6446	781.05	1000
3	K54	75.6816	742.19	1000
2	K51	80.4060	788.52	1000
2	K52	75.8769	744.10	1000
1	K49	70.4305	690.69	750
1	K50	71.8452	704.56	750

Nota: Elaboración propia

Tabla 96*Fuerza de los DFV en el eje 3-3 de la dirección Y-Y*

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
7	K69	87.861	861.62	1000
6	K68	76.628	751.47	1000
5	K67	76.745	752.61	1000
4	K66	75.082	736.30	1000
3	K65	79.378	778.44	1000
2	K64	79.495	779.58	1000
1	K63	69.160	678.23	750

Nota: Elaboración propia

Tabla 97*Fuerza de los DFV en el eje 6-6 de la dirección Y-Y*

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
7	K76	85.007	833.64	1000
6	K75	74.197	727.63	1000
5	K74	74.578	731.37	1000
4	K73	74.796	733.50	1000
3	K72	78.763	772.41	1000
2	K71	78.336	768.22	1000
1	K70	68.721	673.93	750

Nota: Elaboración propia

Tabla 98*Fuerza de los DFV en el eje 6-6 de la dirección Y-Y*

Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Fuerza (KN)	Fuerza TAYLOR (KN)
7	K89	85.9668	843.05	1000
7	K90	75.9906	745.22	1000
6	K87	73.2273	718.12	750
6	K88	63.2289	620.07	750
5	K85	76.4515	749.74	750
5	K86	65.7650	644.94	750
4	K83	78.1998	766.88	750
4	K84	68.0798	667.64	750
3	K81	78.2992	767.86	750
3	K82	69.8358	684.86	750
2	K79	76.9453	754.58	750
2	K80	70.3778	690.17	750
1	K77	66.2816	650.00	750
1	K78	62.0375	608.38	750

Nota: Elaboración propia

En resumen, se determinó que para lograr la deriva límite de 0.0043 establecida por la metodología HAZUS, se deben emplear 16 disipadores de fluido viscoso de 750kN, 26 disipadores de fluido viscoso de 1000kN, 34 disipadores de fluido viscoso 1000kN y 14 disipadores de fluido viscoso de 1500 kN, así como se muestra en la Tabla 99.

Tabla 99

Cantidad de disipadores por fuerza axial

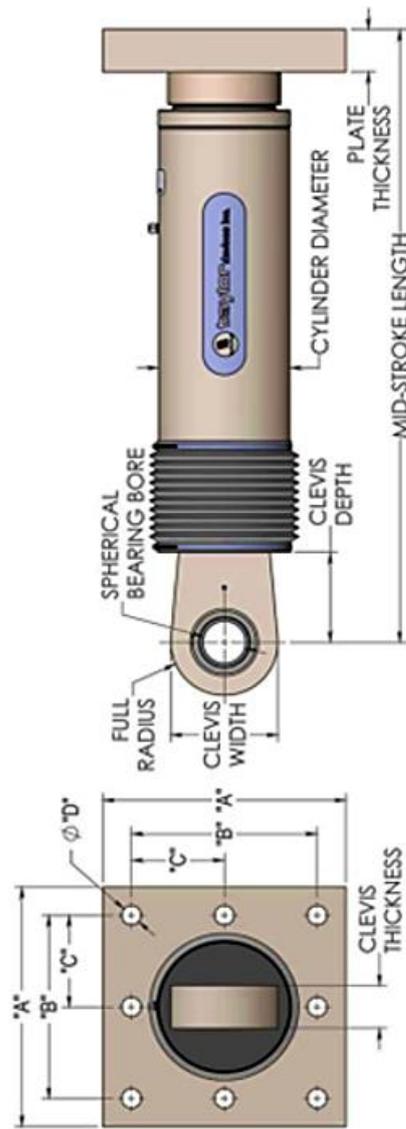
Fuerza (KN)	Número de dispositivos		Total por tipo	Configuración o arreglo
	X	Y		
750	0	16	16	Diagonal
1000	34	26	60	Diagonal
1500	14	0	14	Diagonal
Total	48	42	90	

Nota: Elaboración propia.

Posteriormente se determinó las características de los DFV y de la placa base correspondiente según la fuerza de desempeño de la empresa proveedora de dispositivos TAYLOR que se muestra en la Figura 75.

Figura 75

Características del dispositivo de acuerdo al catálogo TAYLOR



NOTE:
VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ± 50 TO ± 900 mm.
FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER
THAN STROKE LISTED IN THE TABLE. ANY STROKE CHANGE
FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES
THE MID-STROKE LENGTH BY 5 mm PER ± 1 mm OF STROKE.
EXAMPLE: 1000kN \pm 100mm STROKE, MID-STROKE LG IS 1048mm
1000 kN \pm 150 mm STROKE, 150-100 = 50, 50*5=250
1048+250 = 1298 mm MID-STROKE LENGTH

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS
DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR
DEVICES FOR STROKE OVER ± 300 mm AND/OR FOR FORCE
CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.

FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250	17120	38.10	787	± 75	43	102	83	33	114	44	178 ± 3	127 ± 25	†	20.6 ± 25	38 ± 76
500	17130	50.80	997	± 100	55	127	102	44	146	98	282 ± 3	203 ± 25	†	31.8 ± 25	38 ± 76
750	17140	57.15	1016	± 100	59	152	129	50	184	168	343 ± 3	254 ± 25	127 ± 25	28.7 ± 25	61 ± 76
1000	17150	69.85	1048	± 100	71	184	150	61	210	254	419 ± 3	318 ± 25	159 ± 25	31.8 ± 25	76 ± 1.5
1500	17160	76.20	1105	± 100	77	203	162	67	241	306	432 ± 3	330 ± 25	165 ± 25	34.9 ± 25	76 ± 1.5
2000	17170	88.90	1346	± 125	91	235	191	78	292	503	457 ± 3	343 ± 25	171.5 ± 25	38.1 ± 25	102 ± 1.5
3000	17180	101.60	1441	± 125	117	286	203	89	350	805	508 ± 3	408 ± 25	203 ± 25	41.4 ± 25	102 ± 1.5
4000	17190	127.00	1645	± 125	142	324	273	111	425	1088	**	**	**	**	**
6500	17200	152.40	1752	± 125	152	350	305	121	515	1930	**	**	**	**	**
8000	17210	177.80	1867	± 125	178	415	343	135	565	2625	**	**	**	**	**

† DENOTES 4 HOLE PATTERN, MEANING NO CENTER HOLES.

** CONSULT FACTORY FOR DIMENSIONS.

Nota: Adaptado de Taylor Devices Inc

Verificación de periodos y masa participativa

A partir del análisis no lineal rápido FNA, se verifica el porcentaje de masa participativa y los periodos de vibración Tabla 100.

Tabla 100

Verificación de porcentaje de masa participativa y periodos de vibración a partir del análisis FNA

Mode	Periodo (s)	UX	UY	SumUX	SumUY
1	1.005	1.00E-04	0.7837	1.00E-04	0.7837
2	0.979	0.7001	0.0003	0.7002	0.784
3	0.883	0.0732	3.00E-04	0.7734	0.7843
4	0.377	3.34E-05	0.122	0.7734	0.9063
5	0.367	0.1161	1.00E-04	0.8895	0.9064
6	0.336	0.0168	1.00E-04	0.9063	0.9064
7	0.21	1.16E-05	0.0389	0.9063	0.9453
8	0.203	0.0332	2.79E-05	0.9395	0.9453
9	0.188	0.0064	1.25E-05	0.9458	0.9453
10	0.156	2.33E-05	0.0199	0.9458	0.9652
11	0.152	0.0173	3.52E-05	0.9631	0.9653
12	0.141	0.0027	6.24E-06	0.9658	0.9653

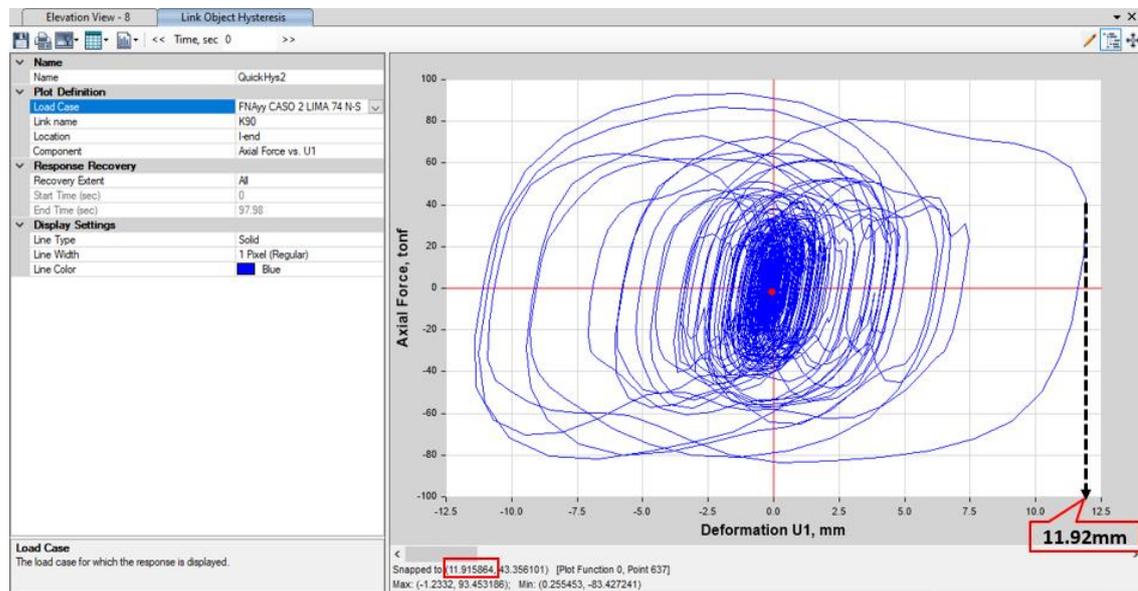
Nota: Elaboración propia

Verificación de Máximo Stroke

En este ítem se realiza una verificación de la deformación máxima del dispositivo, esta no debe ser superior a 50mm (5cm), según Chavez (2017) “el máximo stroke es un requisito indispensable para la fabricación de la cámara de acumulación silicónico y requisito para adquirir mencionados dispositivos”.

Figura 76

Valor del Máximo Stroke del dissipador K90



Nota: Elaboración propia

La Figura 76 muestra un máximo stroke de casi 12mm, el cual es inferior a 50mm, por lo tanto, el edificio aporricado de 10 niveles trabaja en óptimas condiciones estructurales en conjunto con el dissipador durante sismos severos.

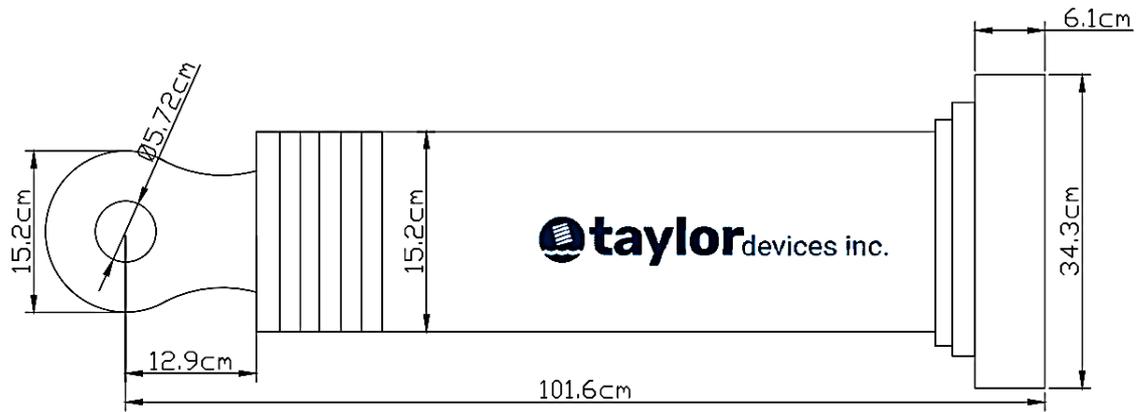
4.2.2.8. Características de los dissipadores elegidos

De acuerdo a los datos de la Tabla 99, se emplearán 2 tipos de dissipador según fuerza axial de desempeño indicado en el catálogo de la empresa proveedora TAYLOR, se necesita acoplar de 40 dissipadores de 2000 KN y otros 20 dissipadores de 3000KN. Las características de cada una de ellas se muestran en la Figura 77, Figura 78, Figura 79 y Figura 80.

- Características del disipador de 750KN

Figura 77

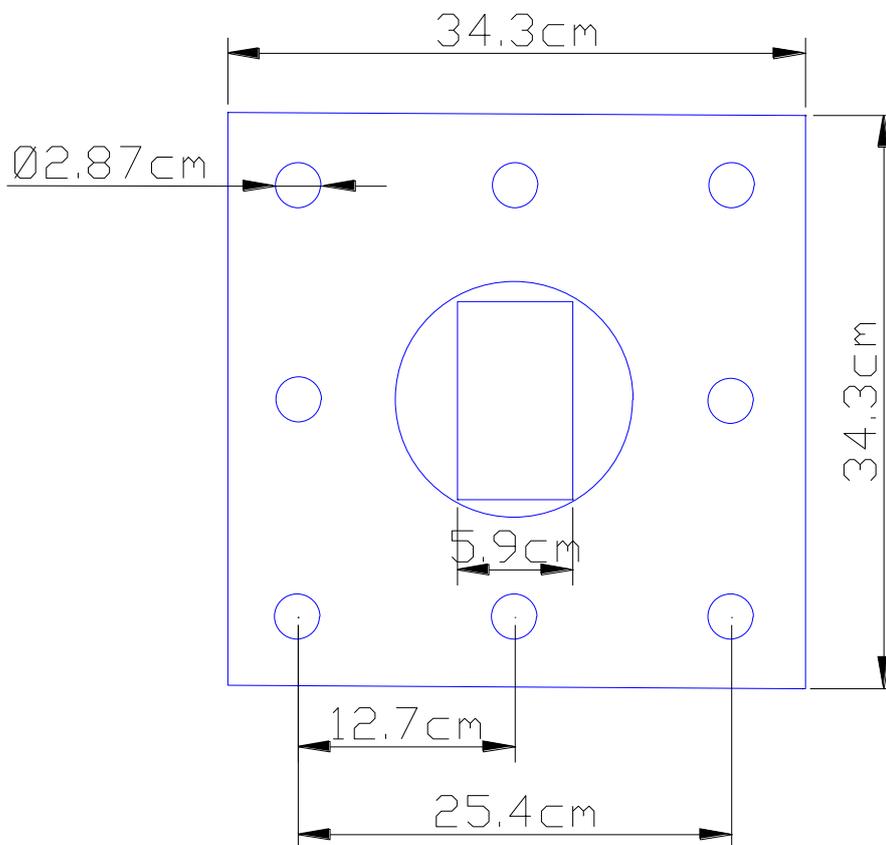
Dimensiones del DFV de 750KN



Nota: Elaboración propia

Figura 78

Dimensiones de la placa base del DFV de 750KN

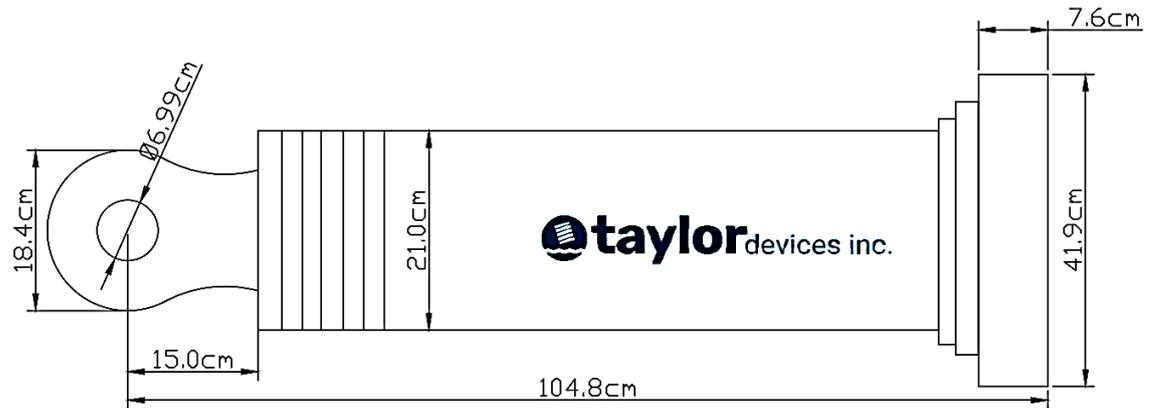


Nota: Elaboración propia

- **Características del dissipador de 1000KN**

Figura 79

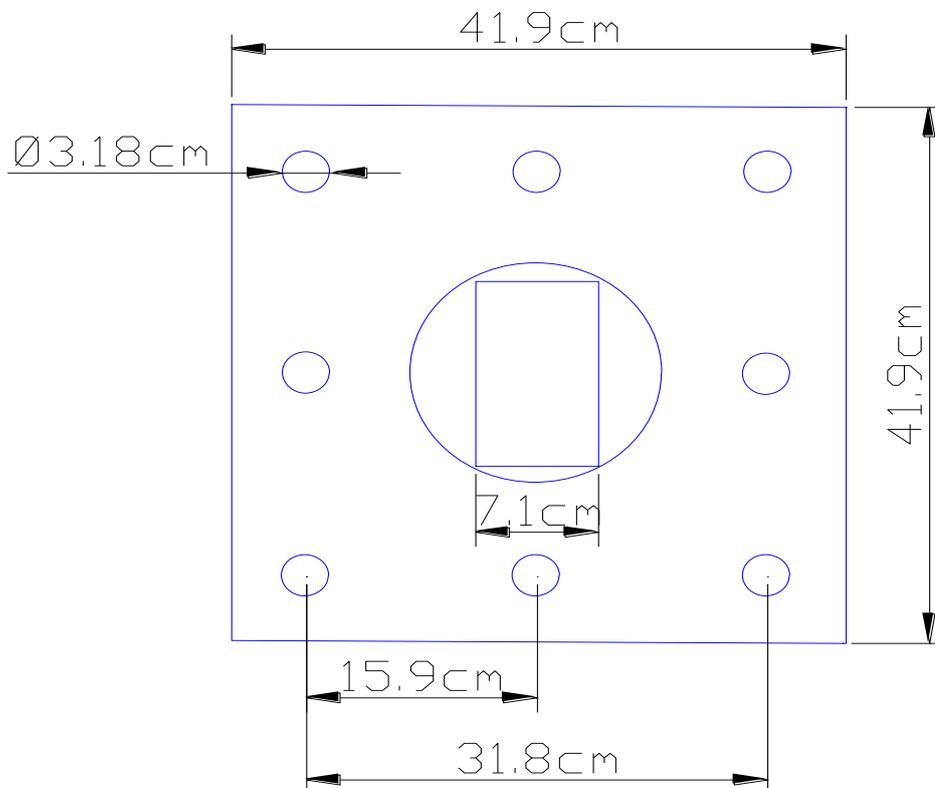
Dimensiones del DFV de 1000KN



Nota: Elaboración propia

Figura 80

Dimensiones de la placa base del DFV de 1000KN

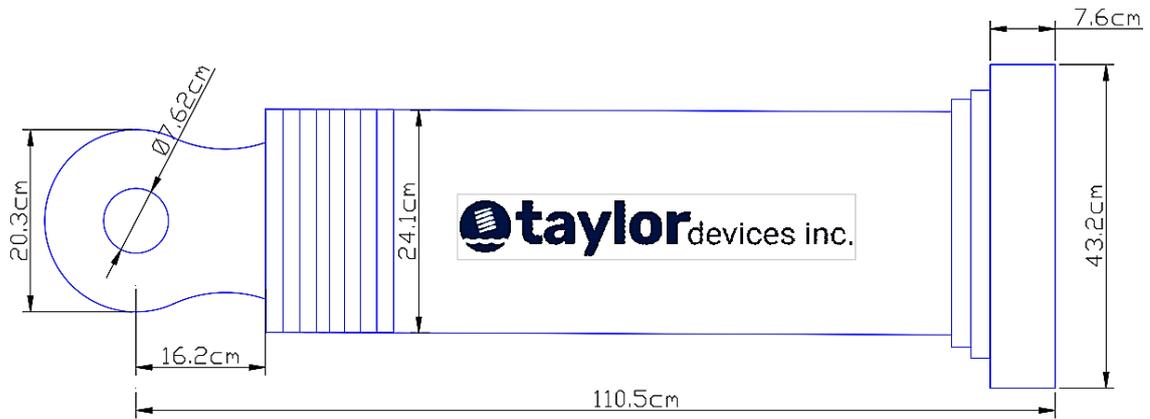


Nota: Elaboración propia

- **Características del dissipador de 1500KN**

Figura 81

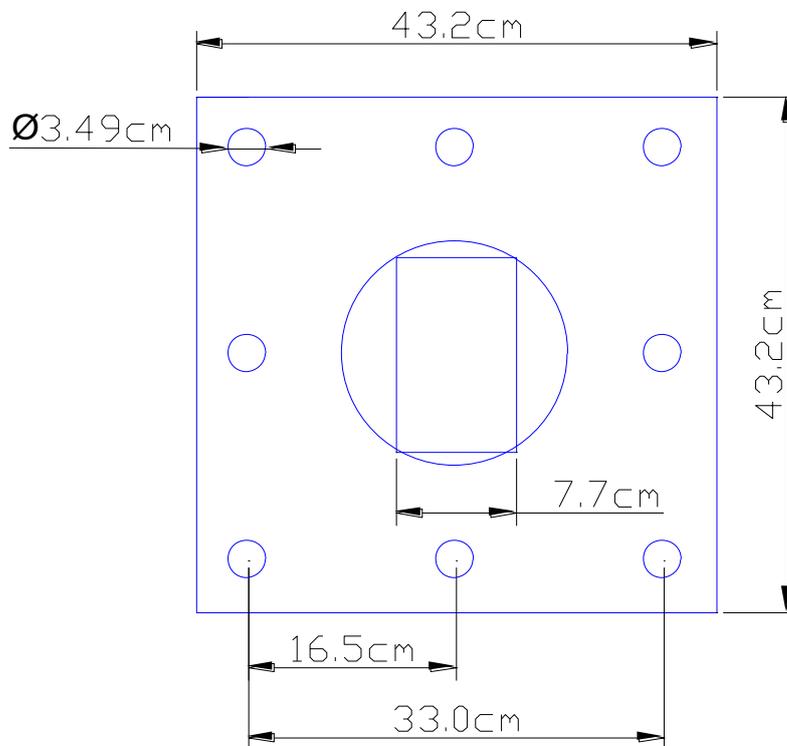
Dimensiones del DFV de 1500KN



Nota: Elaboración propia

Figura 82

Dimensiones de la placa base del DFV de 1500KN



Nota: Elaboración propia



4.2.2.10. Diseño de brazos metálicos

Se procede a diseñar los brazos metálicos del arreglo diagonal, estos brazos deben ser diseñados para soportar la fuerza axial de tracción y compresión generada en el dissipador por un sismo máximo esperado. Es decir, el diseño de los brazos metálicos de acero, siguiendo la recomendación del ASCE 7-22, se realiza con el sismo máximo esperado, es decir se vuelve a analizar la edificación en el software Etabs con el 1.5 del sismo de diseño del Caso 1 de Arequipa 2005 para la dirección X y Caso 2 de Lima 1974 para la dirección Y.

Las fuerzas de los dissipadores con sismo máximo esperados obtenidas del nuevo análisis se muestran en la Tabla 101 y Tabla 102.

Tabla 101*Fuerza de los disipadores con sismo máximo esperado en dirección X-X*

Dirección X-X					
Nivel	Disipador	Fuerza (Tnf)	Nivel	Disipador	Fuerza (Tnf)
8	K15	138.6431	4	K7	126.4362
8	K16	136.7580	4	K8	129.8100
8	K31	108.5993	4	K23	125.2717
8	K32	109.7569	4	K24	121.4750
8	K47	103.2001	4	K39	123.4906
8	K48	101.3372	4	K40	119.1391
7	K13	147.1177	3	K5	125.6425
7	K14	145.4706	3	K6	138.2680
7	K29	134.9663	3	K21	125.5875
7	K30	124.6817	3	K22	126.6887
7	K45	130.3347	3	K37	124.3970
7	K46	117.3749	3	K38	124.0660
6	K11	113.9788	2	K3	126.2427
6	K12	111.8023	2	K4	146.7854
6	K27	108.8103	2	K19	126.2669
6	K28	102.5638	2	K20	135.4876
6	K43	105.4775	2	K35	125.7209
6	K44	97.9538	2	K36	132.0310
5	K9	122.4959	1	K1	117.4000
5	K10	122.6685	1	K2	137.2244
5	K25	118.3956	1	K17	117.4640
5	K26	113.6814	1	K18	130.3290
5	K41	115.8055	1	K33	117.5175
5	K42	110.5136	1	K34	127.9587

Nota: Elaboración propia

Tabla 102*Fuerza de los disipadores con sismo máximo esperado en dirección Y-Y*

Dirección Y-Y					
Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)	Nivel	Disipador	Fuerza (Tn)
7	K61	111.1557	4	K73	95.3113
7	K62	110.2161	4	K83	94.0872
7	K69	112.0593	4	K84	89.4842
7	K76	108.9864	3	K53	101.644
7	K89	106.7645	3	K54	97.1259
7	K90	120.7661	3	K65	101.271
6	K59	94.7621	3	K72	100.4837
6	K60	85.9061	3	K81	98.6291
6	K68	97.16	3	K82	92.8711
6	K75	94.5842	2	K51	101.6082
6	K87	92.5143	2	K52	97.0943
6	K88	91.2442	2	K64	100.6158
5	K57	95.8426	2	K71	99.3705
5	K58	91.6048	2	K79	99.7753
5	K67	97.613	2	K80	95.1897
5	K74	95.2939	1	K49	89.1314
5	K85	93.1465	1	K50	91.2335
5	K86	84.56	1	K63	87.6998
4	K55	95.4733	1	K70	87.2403
4	K56	96.6663	1	K77	89.8951
4	K66	95.8261	1	K78	85.8855

Nota: Elaboración propia

A partir de los valores presentados en la Tabla 101 y Tabla 102, se extrae la fuerza axial máxima.

$$Pa = Ta = 147.1177Tnf = 147.12Tnf$$

Se emplea el perfil tubular metálico Round HSS 20x0.500, el cual se evalúa para verificar y diseñar sus características siguientes:

$$A = 28.5\text{pulg}^2 \text{ (Área del perfil metálico)}$$

$$r = 6.91\text{pulg} \text{ (Radio del perfil metálico)}$$

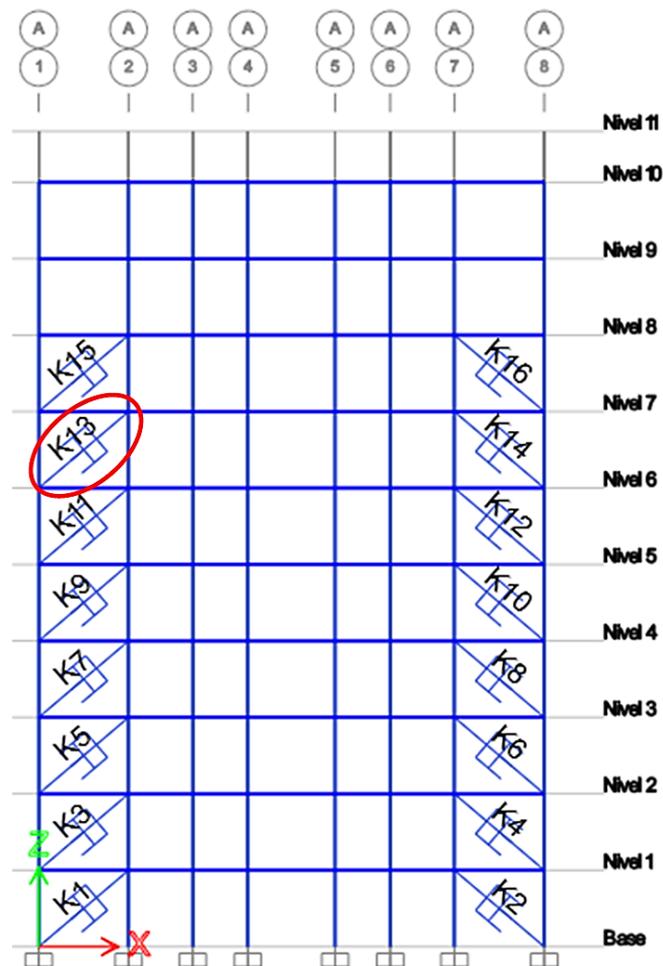
$$E = 29000\text{KSI} \text{ (Módulo de elasticidad del acero)}$$

$$F_y = 42\text{KSI} \text{ (Esfuerzo de fluencia)}$$

El brazo metálico se diseña según estándares, considerando el caso más desfavorable, que es el disipador K13 del piso 7 (véase Figura 83) con una máxima axial a vencer de 147.12 Tnf.

Figura 83

Brazo metálico diagonal a diseñar del disipador K13 del piso 7



Nota: Elaboración propia



Se calcula la longitud del brazo descontando en su medida la longitud del disipador viscoso:

$$L_{total} = 4.61\text{m}$$

$$L_{brazo} = L_{eff} = 4.61\text{m} - 1.105\text{m}$$

$$L_{brazo} = L_{eff} = 3.505\text{m} = 138.9\text{pulg}$$

Se determina el esfuerzo de pandeo crítico:

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{L_{eff}}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 29000}{\left(\frac{138.19}{6.91}\right)^2} = 715.65\text{KSI}$$

$F_e = 715.65\text{KSI} > 42\text{KSI} \rightarrow$ El perfil trabaja en el rango de pandeo inelástico

Considerando el escenario más desfavorable de rotación y traslación, se adopta un valor de diseño de $K=2.1$

Si:

$$\frac{KL}{r} < 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$$

$$\frac{2.1 \times 138.19}{6.91} < 4.71 \sqrt{\frac{29000}{42}}$$

$$42 \leq 123.76$$

En consecuencia, se determina el esfuerzo de pandeo por flexión en el perfil HSS empleando la fórmula siguiente:

$$F_{rc} = \left(0.658^{\frac{F_y}{F_e}}\right) F_y = 0.658^{\frac{42}{715.65}} \times 42 = 40.98\text{KSI}$$

Resistencia nominal a compresión del brazo metálico, utilizando el método LRFD se tiene:

$$\phi P_n = \phi F_{rc} A_g = 0.9 \times 40.98\text{KSI} \times 28.5\text{pulg} = 1051.14\text{kip}$$

$$\phi P_n = 1051.14\text{kip} \times \frac{1\text{Tnf}}{2.02046\text{kip}} = 476.79\text{Tnf}$$

Resistencia nominal a compresión del brazo metálico, que se da cuando hay fluencia del acero y empleando las fórmulas del LRFD se tiene:

$$\phi T_n = \phi F_y A_g = 0.9 \times 42 \times 28.5$$
$$\phi T_n = 1077.3 \text{ kip} \times \frac{1 \text{ Tnf}}{2.2046} = 488.7 \text{ Tnf}$$

Se verifica si cumple las condiciones:

$$\phi P_n = \phi F_{cr} A_g > P_a$$
$$\phi P_n = 476.79 \text{ Tnf} > 147.12 \text{ Tnf} \text{ (OK!)}$$

$$\phi T_n = \phi F_y A_g > T_a$$
$$\phi P_n = 488.7 \text{ Tnf} > 147.12 \text{ Tnf} \text{ (OK!)}$$

4.2.3. Resumen de resultados por modelo analizado

En este apartado se desarrollan el resumen de los modelos analizados sin y con disipadores de fluido viscoso, es importante aclarar que ambos análisis se realizaron tomando en cuenta el sismo de diseño caso 1 de Arequipa 2007 para la dirección X y caso 2 de Lima 1974 para la dirección Y.

4.2.3.1. Resumen de resultados del modelo sin DFV

La Tabla 103 muestra un resumen de resultados del modelo sin DFV para la variable dependiente (V2) y sus dimensiones e indicadores definidos en la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 103

Cuadro de resumen de resultados del modelo sin DFV

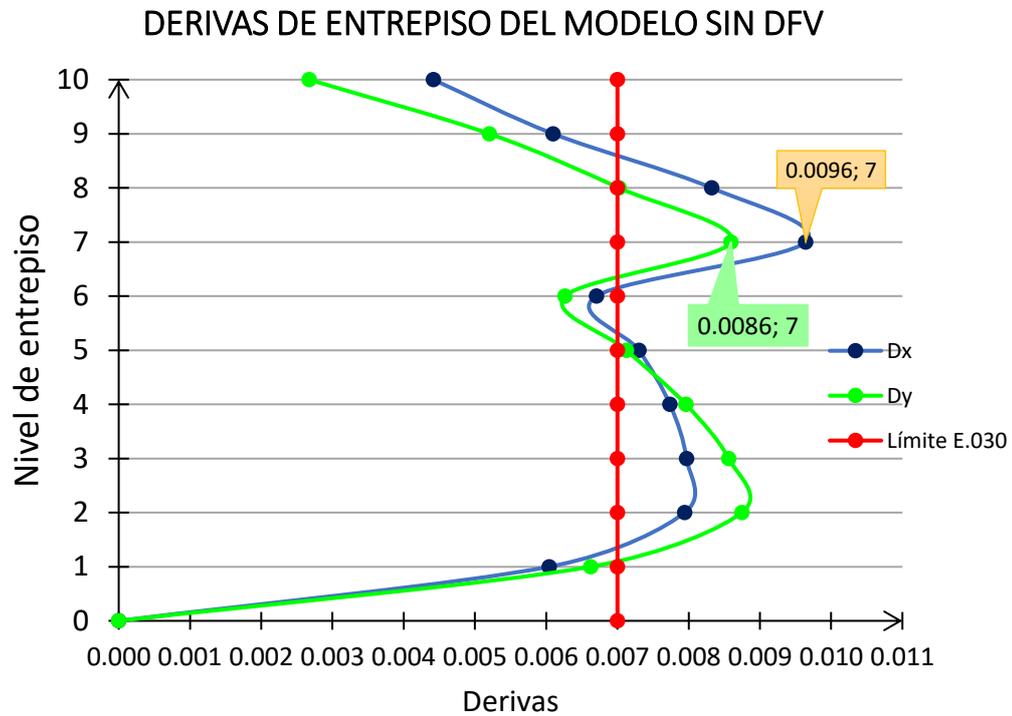
V. dependiente (V2)		Derivas de entrepiso		Fuerzas cortantes		Periodos de vibración	
Nivel de entrepiso	Altura (m)	V2-D1-I1/V1-D1	V2-D1-I2/V1-D1	V2-D2-I1/V1-D1	V2-D2-I2/V1-D1	V2-D3-I1/V1-D1	V2-D3-I2/V1-D1
		Dx_sd	Dy_sd	Vx_sd(Tn)	Vy_sd(Tn)	Tx_sd (seg)	Ty_sd (seg)
10	30	0.0044	0.0027	482.10	496.7133		
9	27	0.0061	0.0052	1010.53	1025.9122		
8	24	0.0083	0.0070	1397.13	1465.1975		
7	21	0.0096	0.0086	1652.47	1691.805		
6	18	0.0067	0.0063	1962.66	1863.61		
5	15	0.0073	0.0071	2225.90	2074.68	0.979	1.005
4	12	0.0077	0.0080	2437.56	2363.68		
3	9	0.0080	0.0086	2596.33	2577.52		
2	6	0.0079	0.0087	2701.67	2706.45		
1	3	0.0060	0.0066	2753.78	2760.94		
0	0	0.0000	0.0000	0.00	0.00		

Nota: Elaboración propia

Asimismo, también se muestra los gráficos correspondientes a las derivas de entrepiso (ver Figura 84) y gráficas de fuerzas cortantes (ver Figura 85) para el modelo sin DFV-convencional.

Figura 84

Gráfica de derivas de entrepiso del modelo sin DFV

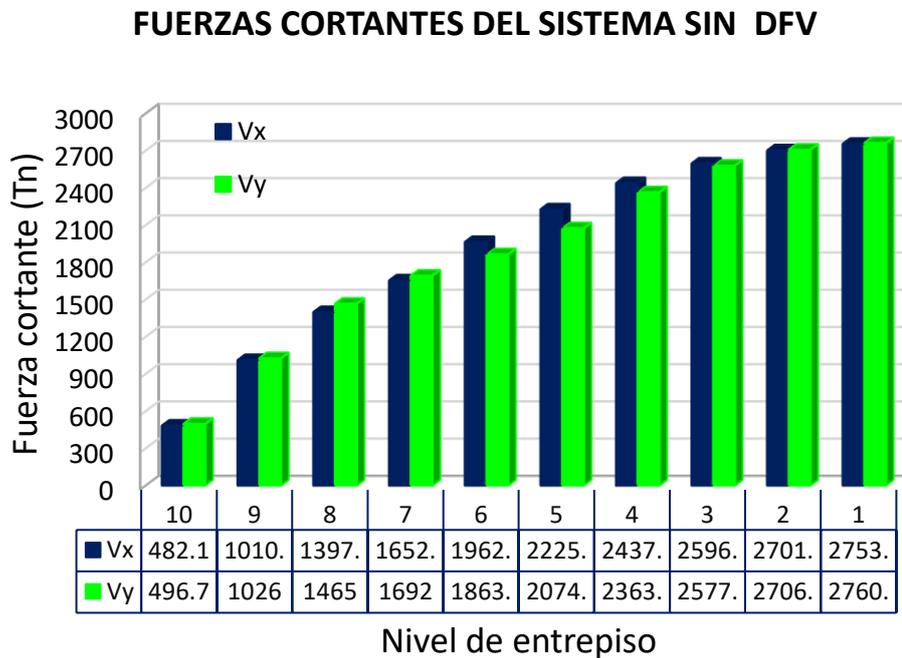


Nota: Elaboración propia

De la Figura 84, se observa que el modelo sin DFV analizado por el método de análisis dinámico lineal modal-espectral anteriormente basado en el sismo DBE, ahora este mismo analizado por el método de análisis tiempo historia lineal considerando el sismo MCE, las derivas de entrepiso $D_x = 0.0096$ y $D_y = 0.0086$, sobrepasan el límite de deriva de 0.007 establecido por la norma E.030-2018, entonces es por ello que se ha procedido acoplar DFVs con el fin de controlar el comportamiento estructural a través de la deriva objetivo.

Figura 85

Gráfica de fuerzas cortantes del modelo sin DFV



Nota: Elaboración propia

De la Figura 85 se observa que el nivel 10, las fuerzas cortantes son menores, con 482.1 ton en X y 496.7 ton en Y, reflejando las menores demandas sísmicas en los pisos superiores. En contraste, en el nivel 1, las fuerzas cortantes alcanzan su máximo con 2753 ton en X y 2760 ton en Y, mostrando cómo las demandas sísmicas se concentran en la base del edificio. Se puede notar que las fuerzas cortantes aumentan progresivamente desde el nivel 10 hasta el nivel 1 tanto en la dirección X como en la dirección Y. Este incremento es consistente con el comportamiento esperado en edificaciones sometidas a análisis dinámico modal espectral, donde las fuerzas sísmicas se distribuyen a lo largo de la altura del edificio, siendo mayores en los niveles inferiores debido a la acumulación de masa y rigidez. En

4.2.3.2. Resumen de resultados del modelo con DFV

La Tabla 104 muestra un resumen de resultados del modelo con DFV para la variable dependiente (V2) y sus dimensiones e indicadores definidos en la matriz de operacionalización de variables.

Tabla 104

Cuadro de resumen de resultados del modelo con DFV

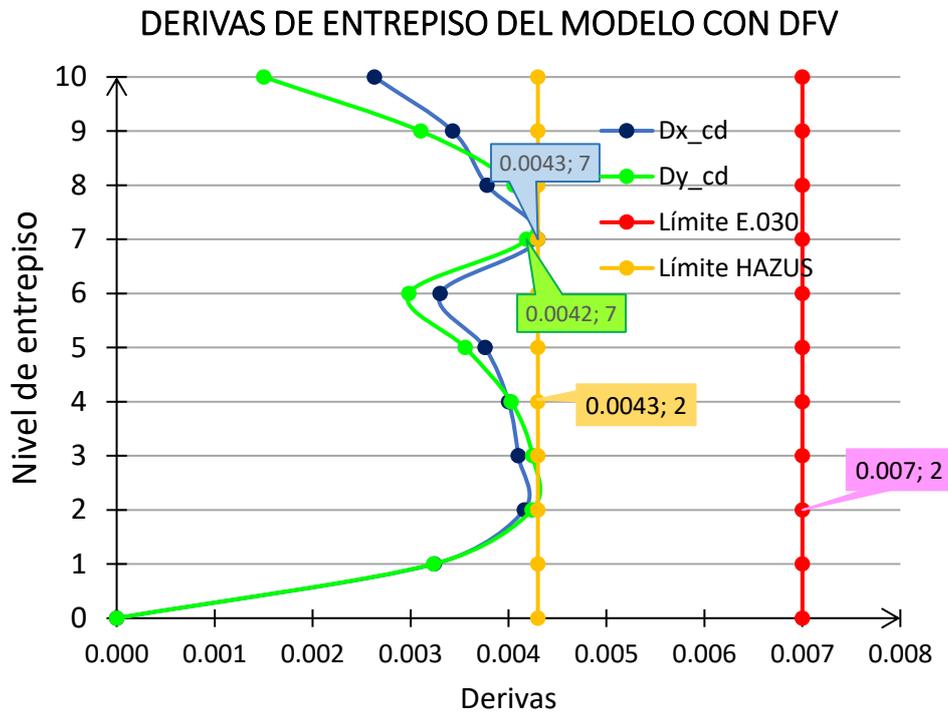
V. dependiente (V2)		Derivas de entrepiso		Fuerzas cortantes		Periodos de vibración	
Nivel de entrepiso	Altura (m)	V2-D1-I1/V1-D1	V2-D1-I2/V1-D1	V2-D2-I1/V1-D1	V2-D2-I2/V1-D1	V2-D3-I1/V1-D1	V2-D3-I2/V1-D1
		Dx_cd	Dy_cd	Vx_cd(Tn)	Vy_cd(Tn)	Tx_cd (seg)	Ty_cd (seg)
10	30	0.0026	0.0015	345.29	288.85		
9	27	0.0034	0.0031	530.14	620.09		
8	24	0.0038	0.0041	845.80	797.48		
7	21	0.0043	0.0042	987.01	1049.68		
6	18	0.0033	0.0030	1155.33	1118.81		
5	15	0.0038	0.0036	1360.94	1305.19	0.979	1.005
4	12	0.0040	0.0040	1468.97	1425.68		
3	9	0.0041	0.0042	1549.09	1461.20		
2	6	0.0042	0.0042	1645.39	1513.59		
1	3	0.0032	0.0032	1697.77	1523.95		
0	0	0.0000	0.0000	0.00	0.00		

Nota: Elaboración propia

Asimismo, también se muestra los gráficos correspondientes a las derivas de entrepiso (ver Figura 86) y gráficas de fuerzas cortantes (Figura 85) para el modelo con DFV.

Figura 86

Gráfica de derivas de entepiso del modelo con DFV

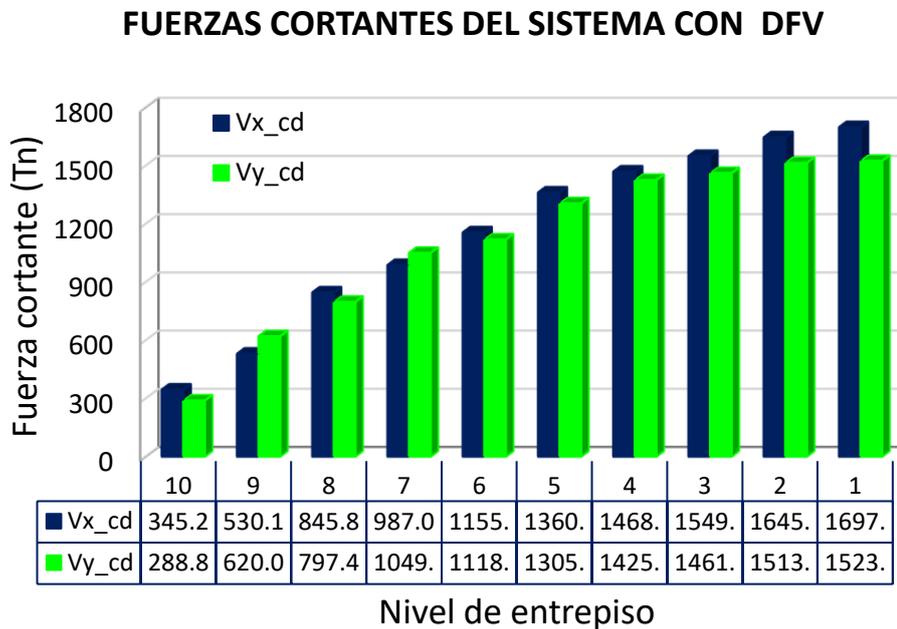


Nota: Elaboración propia

De la Figura 86, se observa que con el modelo incorporado con DFVs analizado por el método de análisis tiempo historia no lineal rápido FNA, se han logrado reducir y controlar las derivas en ambas direcciones para el eje X con un valor de 0.0041 y para el eje Y con un valor de 0.0042, esto quiere decir que con la incorporación de DFVs se controlan las derivas según los límites establecidos por la normativa peruana E.030-2018 y el código norteamericano HAZUS, que son de 0.007 y 0.0043 respectivamente.

Figura 87

Gráfica de fuerzas cortantes del modelo con DFV



Nota: Elaboración propia

De la Figura 87 se observa que en el nivel 10, las fuerzas cortantes son de 345.2 ton en X y 288.8 ton en Y, reflejando menores demandas sísmicas en los pisos superiores. En el nivel 1, las fuerzas cortantes alcanzan 1697 ton en X y 1523 ton en Y. Se puede notar que las fuerzas cortantes aumentan progresivamente desde el nivel 10 hasta el nivel 1 tanto en la dirección X como en la dirección Y, similar al comportamiento en el modelo sin disipadores de energía. Sin embargo, se compara con la Figura 75, se puede notar que las fuerzas cortantes en el modelo con disipadores de energía son significativamente menores, lo cual demuestra la efectividad de los disipadores de energía de fluido viscoso en la reducción de las demandas sísmicas.



4.3. RESULTADOS POR OBJETIVOS

A continuación, se presentan los resultados de la investigación que compara la efectividad de los disipadores de energía de fluido viscoso frente a la edificación sin DFV-convencional en la ciudad de Puno en el año 2022. En este capítulo, se exponen los resultados a través de tablas y figuras, de acuerdo con los objetivos específicos, obtenidos tanto del análisis como de la revisión de las fichas de observación y reportes de resultados. Los resultados se detallan conforme a lo mencionado anteriormente.

4.3.1. Resultados al objetivo específico 1-Aplicación normativa

La metodología de aplicación de las normativas para evaluar el comportamiento estructural de una edificación convencional (sin DFV) y una edificación con DFV es un aspecto fundamental en la investigación. Para la primera, se han considerado diversas normas peruanas y para la segunda se han tomado en cuenta códigos internacionales, así como se detalla en la siguiente Tabla 105:

Tabla 105

Cuadro comparativo sobre metodologías de aplicación normativa

Aspectos	Metodología de aplicación normativa para edificaciones sin DFV	Metodología de aplicación normativa para edificaciones con DFV
Normas	<ul style="list-style-type: none"> - E.020-2006 Cargas del R.N.E. -E.030 (2018) Diseño sismorresistente del R.N.E. - E.060-2009 Concreto armado del R.N.E. 	<ul style="list-style-type: none"> - ASCE SEI 7-22 (2022): Cap. 18: Requisitos de diseño sísmico para estructuras con sistemas de amortiguamiento - FEMA-HAZUS 99 (2003) -SEAOC-COMITÉ VISION 2000 (1999) -AISC Steel Construction 15th
Consideraciones generales	<ul style="list-style-type: none"> - Se basa en el Sismo de Diseño Base DBE, es decir se considera un $R=8$, sin embargo, para usar registros sísmicos, estos deben ser escalados a espectro con $R=1$. - Uso de factores de irregularidad. -Porcentaje de masa participativa. -Verificaciones del sistema estructural. -Verificación de resistencia de elementos estructurales -La distorsión límite para edificaciones de concreto armado es de 0.007. - No es obligatorio trabajar con registros de aceleración, pero es necesario cuando ya se pretende acoplar DFVs a las estructuras. 	<ul style="list-style-type: none"> - Para el análisis estructural se tiene que generar un espectro elástico para Sismo Máximo Considerado MCE, es decir un se considera un $R=1$. - No considera factores de irregularidad. -La deriva límite para edificaciones de concreto armado mayores a 8 pisos es de 0.0043. - Se tiene que trabajar con registros de aceleración

Nota: Elaboración propia



En cuanto a la metodología de aplicación de las normativas para evaluar el comportamiento estructural de una edificación convencional (sin DFV) se tomó en cuenta la norma **E.020-2006 Cargas del R.N.E.** para la asignación de cargas de modo que la edificación pueda soportar su peso propio peso y las cargas vivas correspondientes según su función destinada; norma **E.030 (2018) Diseño sismorresistente del R.N.E.** y sus modificatorias, el cual se empleó para realizar el análisis lineal estático, análisis dinámico lineal modal espectral y análisis lineal tiempo historia y **la norma E.060-2009 Concreto armado del R.N.E** para definición de materiales de la estructura de concreto armado y la verificación de resistencia de elementos estructurales en el software Etabs.V.21.1.0..

Y respecto a la metodología de aplicación de las normativas para evaluar el comportamiento estructural de una edificación con DFV se tomó en cuenta los siguientes códigos: **ASCE SEI 7-22 (2022)**; norma norteamericana de la Sociedad Americana de Ingenieros Civiles, que permite realizar el análisis y diseño con DFV, en su **Cap.18** (Requisitos de diseño sísmico para estructuras con sistemas de amortiguamiento), este código nos brinda los requisitos mínimos, conceptos y definiciones para el diseño de estructuras, así mismo nos permite clasificar el tipo de análisis a emplear con sistemas DFV (ADNLTH-FNA); **FEMA-HAZUS 99 (2003)**; Norma norteamericana de la Agencia Federal para el Manejo de Emergencia, que permite a través de la norma HAZUS (Metodología de estimación de pérdidas para peligros múltiples de modelos de terremotos), la definición de daño-deriva para un determinado desempeño y altura de la edificación, y también explica los factores que influyen para el cálculo de las propiedades del disipador; **SEAOC-COMITÉ VISION 2000 (1999)** código norteamericano de la Asociación de Ingenieros Estructurales de California, que



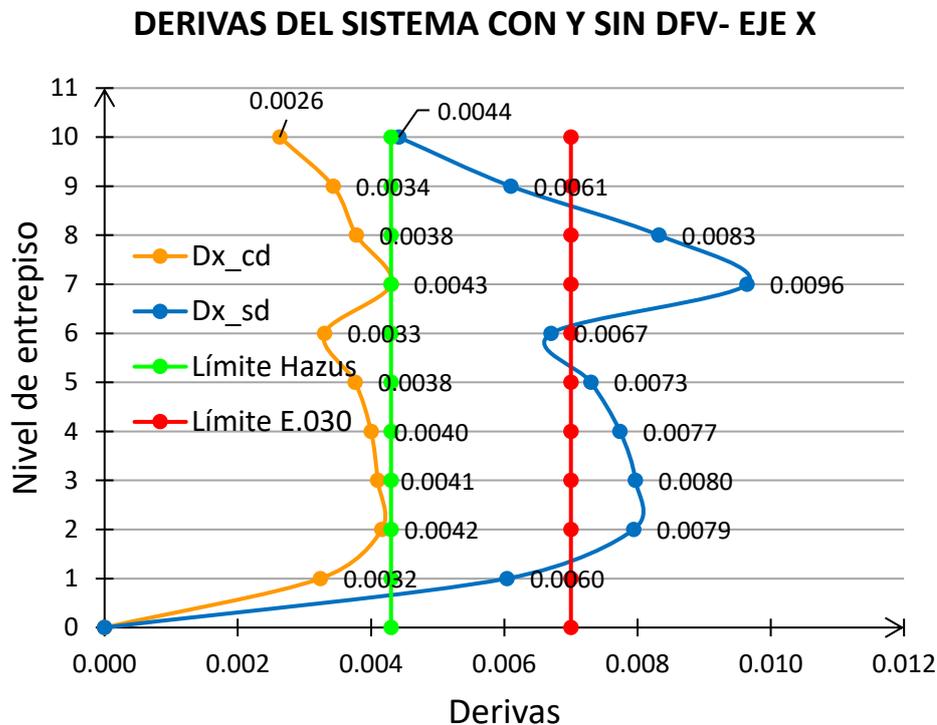
encargo a su comité “visión 2000” crear la norma “Recomendaciones, comentarios y requisitos de fuerza lateral”, norma que contempla el enfoque de diseño por desempeño, esta norma nos permite establecer y definir los objetivos de desempeño para lograr el nivel de desempeño optado y finalmente el código **AISC Steel Construction 15th** es empleado para extraer los datos sobre propiedades y características del brazo metálico donde se sostiene el dissipador de fluido viscoso.

4.3.2. Resultados al objetivo específico 2-Derivas de entrepiso

Al comparar los resultados de derivas de entrepisos en el centro de masa de una estructura de 10 niveles sin dissipadores y otra con dissipadores de fluido viscoso, utilizando al sismo de diseño caso 1 de Arequipa 2007 en el sentido X y caso 2 de Lima 1974 en el sentido Y, las derivas se redujeron, manteniéndose por debajo del límite de deriva de 0.007 establecido por la norma E.030-2018. Además, las distorsiones se encuentran por debajo de 0.0043 de acuerdo con la metodología HAZUS para garantizar que la edificación tenga un comportamiento en el rango funcional con daño moderado. Los resultados se detallan en la Figura 88 y Figura 89.

Figura 88

Derivas de entrepiso en X del sistema con y sin disipadores

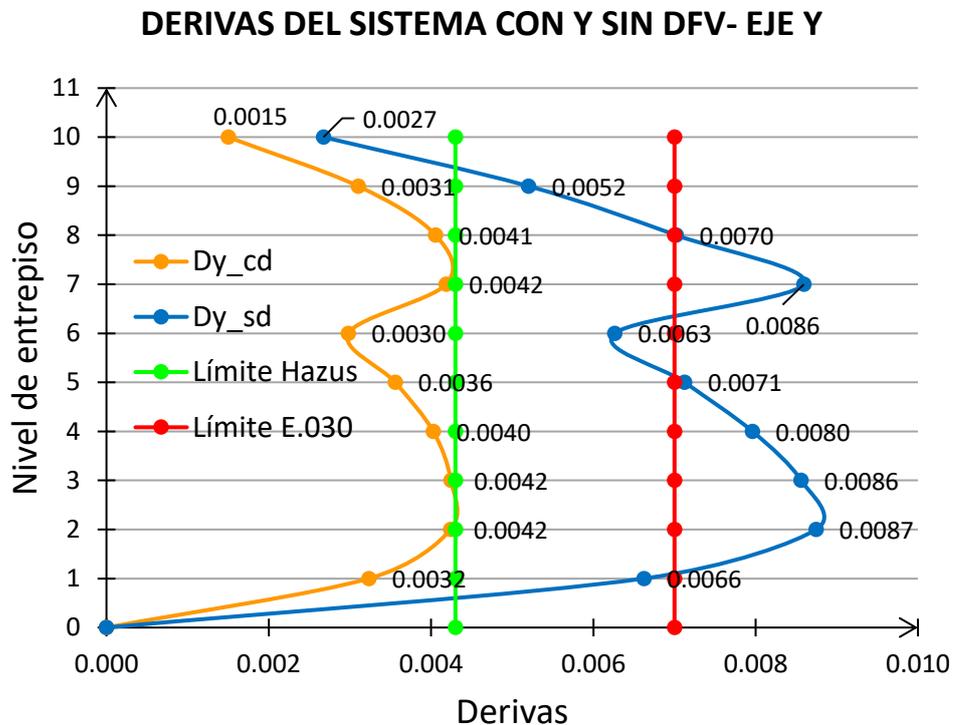


Nota: Elaboración propia

De la Figura 88 la máxima deriva con disipadores es 0.0043 en el nivel 7, mientras que la máxima deriva sin disipadores alcanza 0.0096 en el mismo nivel. Asimismo, que cuando una estructura está acoplada con disipadores de energía de fluido viscoso en la dirección X, se reduce notablemente las derivas de entrepiso en todos los niveles del edificio. Las derivas del modelo con disipadores permanecen dentro de los límites establecidos por la Metodología HAZUS y la norma E.030, mientras que las derivas del modelo sin disipadores exceden estos límites. Esto confirma que los disipadores de energía de fluido viscoso al reducir las derivas de todos los niveles del edificio son efectivos para mejorar el comportamiento estructural del edificio asegurando una respuesta estructural más segura y controlada.

Figura 89

Derivas de entrepiso en Y del sistema con y sin disipadores



Nota: Elaboración propia

De la Figura 89 se observa que la máxima deriva con disipadores es 0.0042 en el nivel 2 y 7, mientras que la máxima deriva sin disipadores alcanza 0.0087 en el nivel 2. Las derivas del modelo con disipadores (Dy_{cd}) se mantienen por debajo de la deriva límite establecida por la Metodología Hazus (0.0043) y la norma E.030 (0.007) en todos los niveles. Las derivas del modelo sin disipadores (Dy_{sd}) superan la deriva límite de la Metodología Hazus en varios niveles y, en algunos casos, se acercan o superan la deriva límite de la norma E.030, particularmente en los niveles intermedios. Esto indica que implementación de disipadores de energía de fluido viscoso reduce significativamente las derivas de entrepiso en la dirección Y, mejorando el comportamiento estructural frente a sismos severos.

En la Tabla 106 se pueden observar las derivas de entrepiso y la variación porcentual según la dirección de análisis obtenidas para ambos sistemas.

Tabla 106

Variación porcentual de las derivas de entrepiso en la dirección X e Y

V. dependiente (V2)	Modelo sin disipadores		Modelo con disipadores		Variación porcentual	
	V2-D1-II/V1-D1	V2-D1-I2/V1-D1	V2-D1-II/V1-D2	V2-D1-I2/V1-D3	V2-D1-I3	
Piso	Dx_sd	Dy_sd	Dx_cd	Dy_cd	X (%)	Y (%)
10	0.0044	0.0027	0.0026	0.0015	40.43	43.89
9	0.0061	0.0052	0.0034	0.0031	43.75	40.36
8	0.0083	0.0070	0.0038	0.0041	54.57	42.23
7	0.0096	0.0086	0.0043	0.0042	55.41	51.31
6	0.0067	0.0063	0.0033	0.0030	50.77	52.39
5	0.0073	0.0071	0.0038	0.0036	48.50	50.07
4	0.0077	0.0080	0.0040	0.0040	48.30	49.42
3	0.0080	0.0086	0.0041	0.0042	48.55	50.41
2	0.0079	0.0087	0.0042	0.0042	47.63	51.52
1	0.0060	0.0066	0.0032	0.0032	46.37	51.18
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.00	0.00
		PROMEDIO			48.43	48.28

Nota: Elaboración propia

De la Tabla 106 se observa que, con la incorporación de DFVs, la disminución de la deriva máxima en la dirección X ocurre en el séptimo piso, con un valor de 55.41%. Esto se produce cuando la máxima deriva de la estructura de 10 niveles sin disipadores de fluido viscoso alcanza 0.0096, mientras que con estos dispositivos la máxima distorsión es de 0.0043.

De la Tabla 106 se observa que, con la incorporación de DFVs, la disminución de la deriva máxima en la dirección X ocurre en el sexto piso, con un valor de 52.39%. Esto se produce cuando la máxima deriva de la estructura de 10 niveles sin disipadores de fluido viscoso alcanza 0.0063, mientras que con estos dispositivos la máxima distorsión es de 0.0030.

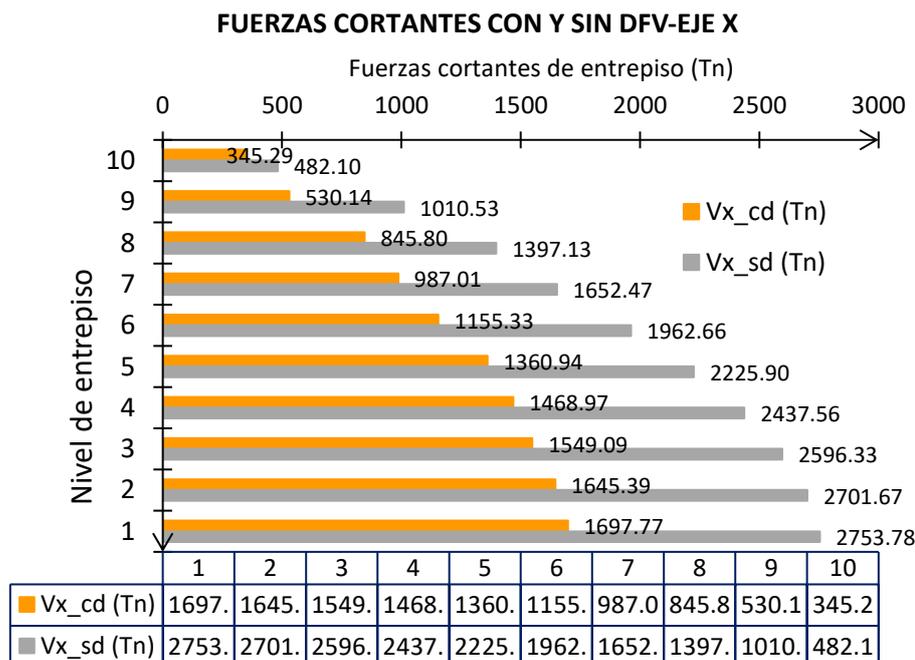
En la Tabla 106 se observa una disminución de la deriva en ambos ejes en todos los pisos. En promedio, las derivas iniciales disminuyen un 48.43% en el eje X y un 48.28% en el eje Y, lo que evidencia el efecto de los disipadores de fluido viscoso y confirma su impacto positivo en el control de derivas ante un sismo severo.

4.3.3. Resultados al objetivo específico 3- Fuerzas cortantes

Al comparar los resultados sobre las fuerzas cortantes basales de una estructura de 10 niveles sin disipadores y otra con disipadores de fluido viscoso, utilizando al sismo de diseño caso 1 de Arequipa 2007 en el sentido X y caso 2 de Lima 1974 en el sentido Y, las fuerzas cortantes se redujeron, así como se detalla en la Figura 90 y Figura 91.

Figura 90

Diagrama de fuerzas cortantes basales en la dirección X de la estructura con y sin disipadores

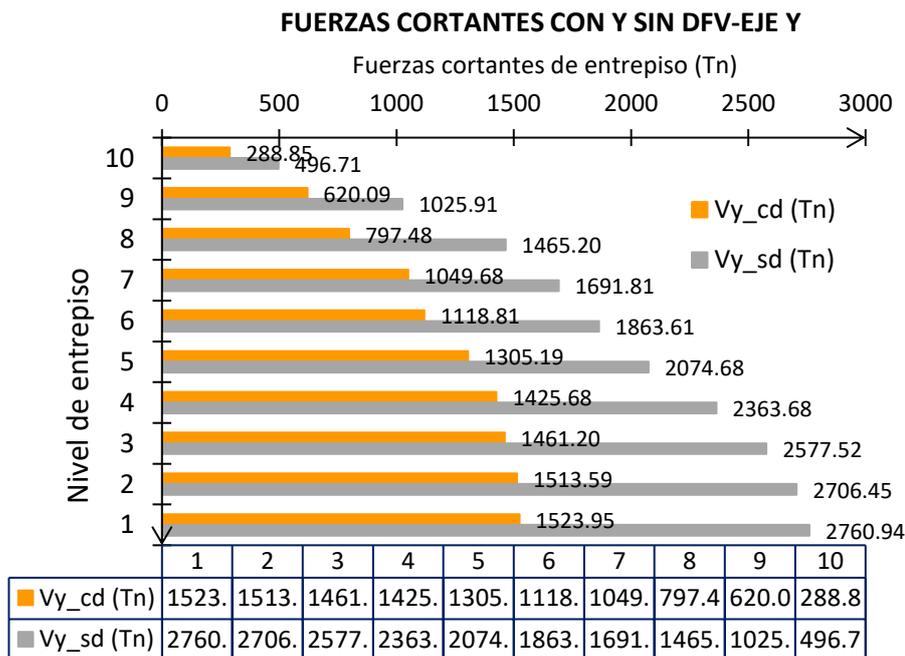


Nota: Elaboración propia

La Figura 90 indica que cuando al edificio se aplica disipadores muestra una notable reducción en las fuerzas cortantes basales en todos los niveles. La máxima fuerza cortante en la dirección X con disipadores es 1697.77 ton, mientras que sin disipadores es 2753.78 ton, lo que representa una reducción significativa. De forma general se observa que las fuerzas cortantes basales para el modelo sin disipadores (V_{x_sd}) son consistentemente mayores en todos los niveles comparadas con las del modelo con disipadores (V_{x_cd}).

Figura 91

Diagrama de fuerzas cortantes basales en la dirección Y de la estructura con y sin disipadores



Nota: Elaboración propia

La Figura 91 indica que la implementación de disipadores de energía de fluido viscoso muestra una notable reducción en las fuerzas cortantes basales en todos los niveles. La máxima fuerza cortante en la dirección Y con disipadores es 1523.95 ton, mientras que sin disipadores es 2760.94 ton, lo que representa una

reducción significativa. De manera general se observa que las fuerzas cortantes basales para el modelo sin disipadores (V_{y_sd}) son consistentemente mayores en todos los niveles comparadas con las del modelo con disipadores (V_{y_cd}).

La fuerza cortante es una fuerza de reacción del cuerpo que se opone al movimiento, de lo observado un sistema con disipación tendrá una fuerza cortante menor que un sistema convencional, esto nos permite tener una idea general el nivel de daño que podrían experimentar.

Tabla 107

Variación de fuerzas cortantes para la estructura con y sin disipadores

V. dependiente (V2)	Modelo sin disipadores		Modelo con disipadores		Variación porcentual	
	V2-D2-I1/V1-D1	V2-D2-I2/V1-D1	V2-D2-I1/V1-D2	V2-D2-I2/V1-D3	V2-D2-I3	
Piso	V_{x_sd} (Tn)	V_{y_sd} (Tn)	V_{x_cd} (Tn)	V_{y_cd} (Tn)	X (%)	Y (%)
10	482.10	496.71	345.29	288.85	28.38	41.85
9	1010.53	1025.91	530.14	620.09	47.54	39.56
8	1397.13	1465.20	845.80	797.48	39.46	45.57
7	1652.47	1691.81	987.01	1049.68	40.27	37.96
6	1962.66	1863.61	1155.33	1118.81	41.13	39.97
5	2225.90	2074.68	1360.94	1305.19	38.86	37.09
4	2437.56	2363.68	1468.97	1425.68	39.74	39.68
3	2596.33	2577.52	1549.09	1461.20	40.34	43.31
2	2701.67	2706.45	1645.39	1513.59	39.10	44.07
1	2753.78	2760.94	1697.77	1523.95	38.35	44.80
PROMEDIO					39.32	41.39

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 107 al comparar la estructura convencional con la estructura con DFV, se observa una reducción de fuerza cortante basal en todos los niveles en un intervalo del 28.38% al 47.54% en la dirección X, mientras que en la dirección Y la reducción está en un intervalo del 37.09% al 45.57%. Todos estos resultados indican el impacto de la aplicación de disipadores porque en el sistema inicial sin disipadores las fuerzas cortantes siempre han sido mayores ya que muestra un valor de fuerza cortante basal más alto, alcanzando 2681.52 toneladas en el eje X y 2360.72 toneladas en el eje Y.

En la Tabla 107 también se observa que en todos los pisos aparece una disminución de la fuerza cortante basal en ambos ejes, señalando que en promedio existe una disminución del 39.32% de las fuerzas cortantes basales en la dirección del eje x, y de 41.39% de las fuerzas cortantes basales en la dirección del eje y, mostrando así un el efecto de reducción de fuerzas cortantes basales por la aplicación de disipadores de fluido viscoso, confirmado un impacto positivo en la reducción de las fuerzas cortantes basales que indica una menor sollicitación de fuerzas que se opongan a las fuerzas sísmicas.

4.3.4. Resultados al objetivo específico 4-Periodos de vibración

Al comparar los resultados obtenidos de la estructura sin disipadores evaluada con el análisis tiempo historia lineal y la estructura con disipadores evaluado con el análisis tiempo historia no lineal FNA, los periodos coincidieron. A continuación, se presenta la tabla de periodos Tabla 108 y su respectiva variación en porcentajes correspondiente al análisis tiempo historia no lineal:

Tabla 108

Periodos y variación porcentual de la estructura con y sin disipadores

V. dependiente (V2)	Modelo sin disipadores	Modelo con disipadores	Variación porcentual % V2-D3-I3
Periodo en X (seg)	0.979	0.979	0.00
Periodo en Y (seg)	1.005	1.005	0.00

Nota: Elaboración propia

En la Tabla 108 se aprecia que tanto el modelo con disipadores y sin disipadores presentan casi el mismo periodo, para la dirección X se tiene un valor de $T_{x_sd} = 0.979$ segundos cuando es sin disipadores y de $T_{x_cd} = 0.0979$ segundos para el modelo con disipadores siendo la variación de +0.00% que es



despreciable. para la dirección Y un valor de $Ty_{sd} = 1.005$ segundos para el modelo sin disipadores y de $Ty_{cd} = 1.005$ segundos para el modelo con disipadores de fluido viscoso siendo la variación de +0.00% que es despreciable. Esto permitió comprobar que los disipadores únicamente contribuyen con amortiguamiento, y que no afectan la rigidez (como se sabe el periodo depende de la masa de la estructura y la rigidez de la estructura), ya que no alteran el periodo de la estructura.

4.4. SÍNTESIS DE RESULTADOS

Después de haber analizado, comparado y determinado las características de cada modelo, siendo el modelo sin disipadores considerado como el grupo de control o línea base, cual se considera como el 100% es que se puede sintetizar todos los resultados en las siguientes tablas que muestran los aspectos más importantes para el objetivo 1, y los mínimos, máximos y las variaciones de las respuestas a los objetivos 2, 3 y 4.

4.4.1. Síntesis de metodología de aplicación normativa

Tabla 109

Cuadro de síntesis de resultados de metodologías de aplicación normativa para el modelo sin DFV y el modelo con DFV

Aspectos	Metodología de aplicación normativa para edificaciones sin DFV	Metodología de aplicación normativa para edificaciones con DFV
Normas	<ul style="list-style-type: none">- E.020-2006 Cargas del R.N.E.- E.030 (2018) Diseño sismorresistente del R.N.E.- E.060-2009 Concreto armado del R.N.E.	<ul style="list-style-type: none">- ASCE SEI 7-22 (2022): Cap. 18: Requisitos de diseño sísmico para estructuras con sistemas de amortiguamiento- FEMA-HAZUS 99 (2003)- SEAOC-COMITÉ VISION 2000 (1999)- AISC Steel Construction 15th

Nota: Elaboración propia

4.4.2. Síntesis de derivas de entrepiso

Tabla 110

Cuadro de síntesis de resultados de derivas de entrepiso del modelo sin y con disipadores

Eje de análisis	Detalle	Modelo sin DFV	Modelo con DFV	Disminuye en	Disminución porcentual	Piso
D_X	Mínimo	0.0044	0.0026	0.0018	40.43%	10
	Máximo	0.0096	0.0043	0.0053	55.41%	7
	Promedio				48.43%	
D_Y	Mínimo	0.0052	0.0031	0.0021	40.36%	9
	Máximo	0.0063	0.0030	0.0033	52.39%	6
	Promedio				48.28%	

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 110 se observa lo siguiente:

- Deriva de entrepiso en X (D_x):** Con la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso (DFVs), la deriva máxima en el eje X se reduce de 0.0096 a 0.0043, lo que representa una disminución del 55.41% en el séptimo piso. En promedio, la deriva de entrepiso en el eje X disminuye un 48.43%.
- Deriva de entrepiso en Y (D_y):** La incorporación de DFVs en el eje Y reduce la deriva máxima de 0.0063 a 0.0030, lo que equivale a una disminución del 52.39% en el sexto piso. En promedio, la deriva de entrepiso en el eje Y disminuye un 48.28%.

4.4.3. Síntesis de fuerzas cortantes

Tabla 111

Cuadro de síntesis de resultados de fuerzas cortantes del modelo sin y con disipadores

Eje de análisis	Detalle	Modelo sin DFV	Modelo con DFV	Disminución en Tn	Disminución porcentual	Piso
V_X	Mínimo	482.10 Tn	345.29 Tn	136.81 Tn	28.38%	10
	Máximo	1010.53 Tn	530.14 Tn	480.40 Tn	47.54%	9
	Promedio				39.32%	
V_Y	Mínimo	2074.68 Tn	1305.19 Tn	769.49 Tn	37.09%	5
	Máximo	1465.20 Tn	797.48 Tn	667.72 Tn	45.57%	8
	Promedio				41.39%	

Nota: Elaboración propia

De acuerdo a la Tabla 111 se observa lo siguiente:

- **Fuerza cortante basal en X (V_X):** La fuerza cortante máxima disminuyó en el noveno piso de 1010.53 Tn a 530.14 Tn, lo que representa una disminución del 47.54%. En promedio, las fuerzas cortantes basales en la dirección X se redujeron un 39.32%.
- **Fuerza cortante basal en Y (V_Y):** La fuerza cortante máxima en el octavo piso se redujo de 1465.20 Tn a 797.48 Tn, indicando una reducción del 45.57%. En promedio, las fuerzas cortantes basales en la dirección Y disminuyeron un 41.39%.



4.4.4. Síntesis de periodos de vibración

Tabla 112

Cuadro de síntesis de periodos de vibración

Periodo	Modelo sin disipadores	Modelo con disipadores	Variación porcentual % V2-D3-I3
Periodo en X (seg)	0.979	0.979	0.00
Periodo en Y (seg)	1.005	1.005	0.00

Nota: Elaboración propia

La Tabla 112 expone para la dirección X, el periodo sin disipadores es $T_{x_sd} = 0.979$ seg y con disipadores es $T_{x_cd} = 0.979$ seg, con una variación despreciable de +0.00%. De similar manera para la dirección Y, el periodo sin disipadores es $T_{y_sd} = 1.005$ segundos y con disipadores es $T_{y_cd} = 1.005$ segundos, también con una variación despreciable de +0.00%.

4.4.5. Síntesis de ventajas y desventajas

Tabla 113

Cuadro de síntesis de ventajas y desventajas

Aspecto	Sistema sin DFV	Sistema con DFV
Ventajas	- Simplicidad en el diseño y construcción. - Menores costos iniciales.	- Reducción de derivas de entrepiso en un promedio de 48.43% en X y 48.23% en Y. - Reducción de fuerzas cortantes un promedio de 39.32% en X y 41.39% en Y. - Mejor comportamiento frente a sismos máximos consideras MCE. -Ahorro en costos de reparación tras un sismo severo del MCE.
	Desventajas	-Incremento en costos debido a la implementación de disipadores. -Complejidad adicional en el diseño y construcción. -Como la variación en los periodos de vibración es del 0.00%, los DFV no incrementan la rigidez del edificio solo amortiguamiento.
	- Derivas de entrepiso superiores en un 48.43% en X y 48.28% en Y comparado con el modelo con DFV, aumenta la probabilidad de fallos estructurales en caso de MCE. -Fuerzas cortantes superiores en un 39.32% en X y un 41.39% en Y comparado con el modelo con DFV, existe mayor susceptibilidad a daños en caso de MCE. - Mayor riesgo de daño estructural y costos de reparación tras un sismo severo.	

4.5. COMPROBACIÓN DE HIPÓTESIS

Se verifica la validez de las suposiciones o hipótesis propuestas inicialmente en esta investigación, para llevar a cabo esta comprobación, se utilizan datos empíricos observados y recolectados durante la investigación realizada.

4.5.1. Comprobación de hipótesis específica 1

He1: La metodología de aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso presenta diferencias significativas respecto a la metodología de un sistema sin protección sísmica, en el análisis del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

Los resultados de la investigación confirman la hipótesis específica 1, el sustento de la comprobación de la hipótesis se basa en el análisis comparativo entre dos metodologías de evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022: una metodología sin protección sísmica y otra con la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso (DFV). Para la evaluación del comportamiento estructural del edificio de 10 niveles sin DFV, se emplearon las normativas R.N.E E.020-2006 y R.N.E E.030 (2018), que definen los criterios de diseño estructural convencional en términos de cargas gravitatorias y los análisis sismorresistentes siendo el análisis lineal estático, dinámicos modal-espectral y tiempo historia para evaluar el comportamiento estructural ante cargas gravitatorias y sísmicas. Por otro lado, para la evaluación del comportamiento estructural del mismo edificio con DFV, se consideraron los códigos ASCE SEI 7-22, FEMA-HAZUS 99, SEAOC-COMITÉ VISION 2000 y el AISC Steel Construction 15th. Estas normativas establecen los requisitos y criterios para el diseño sísmico de

estructuras con sistemas disipación DFV. Se realizaron análisis más detallados, considerando aspectos como los niveles de desempeño, propiedades de los DFVs, tratamiento de registros sísmicos sísmico, etc.

4.5.2. Comprobación de hipótesis específica 2

He2: Las derivas de entrepiso resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso son significativamente menores que las derivas de entrepiso de un sistema sin protección sísmica en la evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022

Los resultados de la investigación confirman la hipótesis específica 2, cuales se evidencian en la Tabla 110, que confirman que las derivas de entrepiso en un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022 presentan una reducción significativa de hasta 48.43% en el eje X, y hasta en 48.28% en el eje Y en promedio, al implementarse disipadores de fluido viscoso. Así según los resultados se evidencia que el uso de estos dispositivos efectivamente disminuye de manera notable en más de 48.28% en promedio las distorsiones entrepisos causadas por un evento sísmico. Esta comprobación de hipótesis también se puede acreditar con síntesis de derivas desarrollado anteriormente. Estos hallazgos respaldan la eficacia de los DFV como una opción de protección sísmica eficiente en estructuras donde se desea que tenga un nivel de desempeño funcional lo que tiene implicaciones significativas para la seguridad de las edificaciones y la protección de la vida humanas en zonas sísmicas. Por lo tanto, se confirma la validez de la hipótesis específica propuesta.

4.5.4. Comprobación de hipótesis específica 3

He3: Las fuerzas cortantes basales resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso son significativamente menores que las fuerzas cortantes basales de un sistema sin protección sísmica en la evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

La hipótesis específica 3 ha sido confirmada a través de los resultados obtenidos en esta investigación cuales se muestran en la Tabla 111. Se ha demostrado de manera concluyente que las fuerzas cortantes basales son significativamente menores hasta en un 39.32% en el eje X, y en un 41.39% en el eje Y en promedio, cuando se utilizan los disipadores de energía de fluido viscoso DFV en comparación con la estructura que no tiene incorporada dichos dispositivos, en el contexto de un edificio aporticado de 10 niveles ubicada en la Ciudad de Puno en el año 2022. Estos resultados respaldan la efectividad de los DFV en la reducción de fuerzas cortantes en cualquier dirección cuando se aplican disipadores, por ejemplo al haberse aplicado 48 disipadores en el eje X se logró reducir hasta 39.32% de las fuerzas cortantes basales, y al haberse aplicado 42 disipadores en el eje Y se logró reducir hasta en un 41.39% de las fuerzas cortantes basales, lo que puede traducirse en una mayor seguridad y protección de las personas durante eventos sísmicos que se pudieran dar. Esta comprobación de hipótesis también se puede acreditar con síntesis de fuerzas cortantes desarrollado anteriormente. Por consiguiente, queda confirmado la hipótesis específica 3 establecida en la investigación.

4.5.6. Comprobación de hipótesis específica 4

He4: Los periodos de vibración resultantes de la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso no presentan variación significativa con los periodos resultantes de un sistema sin protección sísmica en la evaluación del comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

La hipótesis específica 4 ha sido confirmada a través de los resultados obtenidos en esta investigación cuales se muestran en la Tabla 112. Se ha demostrado de manera concluyente que los periodos resultantes no presentan variación significativa con los periodos de un sistema sin DFV en la evaluación del comportamiento estructural del edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2023, puesto que para cada dirección no presenta variación del periodo. Esta observación sugiere que la presencia de los disipadores DFV no tuvo un efecto significativo en la rigidez.

4.5.7. Comprobación de hipótesis general

Hg: La aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso mejora significativamente el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022.

En consecuencia, la hipótesis general planteada en la investigación ha sido validada con el cumplimiento de las hipótesis específicas anteriores. El edificio aporticado de 10 niveles incorporada con disipadores de fluido viscoso ha demostrado mejorar de manera significativa al tener una mayor incidencia en el comportamiento estructural frente a sismos severos del MCE en comparación con el edificio sin DFV - convencional. Esta investigación evidencia que la



incorporación de dichos disipadores contribuye notablemente a la reducción de derivas de entrepiso y las fuerzas cortantes basales de la estructura, cumpliendo así con los requisitos establecidos por la Norma E.030 y también los códigos norteamericanos.

4.6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Según los resultados obtenidos de la evaluación del comportamiento estructural, es necesario señalar que se vincula con investigaciones previas mencionadas en la revisión de literatura. Por lo tanto, al comparar con las investigaciones previamente realizadas, se observan similitudes.

4.6.1. Discusión del objetivo específico 1-Aplicación normativa

En función a los resultados desarrollados, se observa que las metodologías empleadas para evaluar el comportamiento estructural de las edificaciones, tanto con y sin disipadores de fluido viscoso (DFV), difieren significativamente. Para las edificaciones convencionales, se sigue la normativa nacional peruana E.020-2006 Cargas del R.N.E., la norma E.030 (2018) Diseño sismorresistente del R.N.E. y la norma E.060-2009 Concreto armado del R.N.E. Por otro lado, la metodología de aplicación de las normativas para evaluar el comportamiento estructural de una edificación con DFV, también descrita por los autores mencionados, incluye códigos mencionados en la Tabla 109 como ASCE SEI 7-22 (2022), FEMA-HAZUS 99 (2003), SEAOC-COMITÉ VISION 2000 (1999) y el AISC Steel Construction 15th. Los autores Valdez (2019), Turpo y Paredes (2022) y otros también siguieron los mismos criterios y metodología, usaron normativas nacionales para evaluar el comportamiento estructural de estructuras convencionales y usaron códigos internacionales norteamericanos específicas

para evaluar el comportamiento estructural de edificaciones con DFVs, de esta manera garantizaron la seguridad y el nivel de desempeño deseado de la estructura frente a sismos severos. Por lo tanto, se ha alcanzado el objetivo específico 1.

4.6.2. Discusión del objetivo específico 2-Derivas de entrepiso

En un antecedente internacional Rosero (2020) en su trabajo de titulación *“Incidencia de la inclusión de dispositivos disipadores de energía en las respuestas estructurales de edificios de hormigón armado de 10 y 15 pisos en la ciudad de Quito”*, la edificación de 10 pisos en la dirección X sin la implementación de disipadores de fluido viscoso presenta una distorsión de entrepiso máxima de 0.0168, superando el límite establecido por la norma E.030 que establece como 0.007 para estructuras de concreto armado. Sin embargo, al incorporar los disipadores, esta distorsión se reduce en un 23.21% a 0.0129. En cuanto a la dirección Y, la distorsión máxima sin disipadores es de 0.0213, pero con su uso se reduce en un 30.99% a 0.0147, aunque no se mantiene dentro de los límites establecidos por nuestra normativa nacional, pero demuestra que puede reducirse las distorsiones. Asimismo, en un antecedente nacional de Chilón (2019) en su tesis *“Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017”*, reporta que su estructura de 4 pisos implementando 12 DFV logró reducir la distorsión hasta un 37%. Por otro lado, en un antecedente local de Turpo y Paredes (2022) en su trabajo de tesis *“Desempeño sísmico de una edificación de 12 niveles en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso”* menciona que su edificación de 12 pisos en la dirección X, sin disipadores, obtuvo un valor de deriva de 0.020 en X por encima del límite de 0.005 q define la norma



para sistema con muros estructurales, y el valor de la deriva con disipadores que tiene es de 0.003, entonces esto presenta una disminución en distorsión máxima en 14.84%; en la dirección Y, la distorsión inicial es de 0.0137, disminuyendo en un 19.13% a 0.0026 con disipadores. En esta investigación en el edificio aporticado de 10 pisos se observa que, según la Tabla 110 la disminución de deriva máxima en el eje X se da en hasta un 55.41% y la disminución de deriva máxima en el eje Y se da hasta un 52.39%, asimismo, de todas las derivas expresado por su promedio, todas las derivas han disminuido en el eje X el 48.43% y en el eje Y el 48.28%. Los autores mencionados llegan a la conclusión de que la incorporación de disipadores DFV resultan efectivos en la reducción de las derivas, lo que implica también que la estructura tenga menos desplazamientos. Estas conclusiones son coherentes con los resultados obtenidos en esta tesis y respaldan el logro del objetivo específico 1 planteado.

4.6.3. Discusión de objetivo específico 3-Fuerzas cortantes

Al respecto Luque y Condo (2021) citado como antecedente nacional describen cómo, en su edificio de 11 pisos con 1 semisótano, la fuerza cortante basal máxima en la dirección X-X, sin el uso de disipadores de fluido viscoso, fue de 933.64tn sin embargo, al incorporar los disipadores el valor resultó ser de 664.73tn, se observa una reducción del 28.8% en la fuerza cortante, mientras que en Y-Y es de 1036.10 tn y para el edificio con disipadores fluido el valor resultó ser de 640.88 tn, habiendo una reducción de la fuerza cortante. considerable que representa un 38.1%, la investigación de Luque y Condo (2021) ha demostrado de manera consistente que los disipadores sísmicos tienen una buena influencia en la reducción de las fuerzas cortantes que actúan sobre una estructura durante un evento sísmico. Esta disminución en las fuerzas sísmicas es importante para



preservar la integridad estructural de los edificios y reducir el riesgo de daños graves o colapso. En esta investigación al comparar la estructura sin DFV y con DFV se ha observado, según la Tabla 111 se observó una reducción de fuerza cortante basal máxima hasta un 39.46% en la dirección X, mientras que en la dirección Y la reducción máxima se dio hasta un 34.83%. El sistema menos favorable resulta ser el sistema sin disipadores, ya que muestra un valor de fuerza cortante basal más alto, asimismo, la disminución de todas las fuerzas cortantes basales expresado por su promedio, es decir todas las fuerzas han disminuido en el eje X el 39.32% y en el eje Y el 41.39%. Los resultados de esta investigación confirman que los disipadores de energía de fluido viscoso contribuyen a esta reducción de fuerzas cortantes ya que es coherente con los resultados obtenidos en la investigación previa y que el desarrollo del objetivo específico 3 proporciona resultados consistentes con los valores obtenidos y antecedentes.

4.6.4. Discusión de objetivo específico 4-Periodos de vibración

En las investigaciones previas, López y Pinzón (2021) en su proyecto de grado “*Respuesta sísmica de una estructura de acero implementando disipadores de energía de fluido viscoso para la Ciudad de Bogotá D.C*”, demostraron que con la implementación de disipadores de fluido viscoso cambia el periodo inicial 5.256s a 5.209s de la estructura, esto representa una variación de 0.89%, lo que verifica que estos dispositivos no alteran de manera representativa el periodo fundamental. Por otro lado, el investigador nacional Valdez (2019) en su tesis “*Análisis y diseño estructural de un edificio utilizando disipadores de energía de fluido viscoso*”, encontró como periodos de vibración de 0.977 segundos en la dirección X y 1.039 segundos en la dirección Y, mencionando que cuando se acoplan disipadores a un edificio no afectan con ninguna variación de periodos de



la estructura. Asimismo, Escobar (2019) en su tesis “*Análisis sísmico comparativo entre el reforzamiento convencional con muros de corte y el reforzamiento con disipador de fluido viscoso para un sismo severo en el edificio hotel ferrocarril filial Puno*” en su edificio ideal de 4 pisos y un sótano con DFV muestran periodos fundamentales de 0.479s en el sentido X y 0.369s en el sentido Y, pero no cambian con respecto al análisis inicial de la estructura cuando no tenía incorporada dichos dispositivos. En esta investigación también de acuerdo a la Tabla 108 se ha comprobado que no hay ninguna variación en los periodos de vibración. Las investigaciones previas han demostrado de manera consistente que los disipadores sísmicos no tienen incidencia en la variación de periodos, esto debido que no brindan rigidez a la estructura per si el amortiguamiento necesario para disipar la energía de los sismos severos. En este contexto, destaco que los resultados obtenidos respaldaron las conclusiones de investigaciones previas y el logro del objetivo específico 4.

La congruencia entre los resultados de esta investigación y las investigaciones anteriores refuerza la idea de que los disipadores de energía de fluido viscoso es un sistema eficaz para disminuir las fuerzas cortantes en la estructura y por ende las derivas de entrepiso, por consiguiente, los desplazamientos, lo que, a su vez, mejora la resistencia y la capacidad de respuesta de las edificaciones ante eventos sísmicos severos.

4.6.5. Discusión del objetivo general-Incidencia de los DFV en el comportamiento estructural

Luego de haber expuesto las discusiones por objetivos específicos, se puede afirmar que una discusión sobre el objetivo general según Pino (2022),



Rosero (2020), López y Pinzón (2021), Luque y Condo (2021), Valdez (2019), Chilón (2019), Turpo y Paredes (2022), Quispe (2022) y Escobar (2019) coinciden en que, al implementar las estructuras con disipadores de fluido viscoso, se logra un mejor comportamiento estructural de las edificaciones frente a sismos severos. Este hecho se evidencia mediante la disminución de derivas de entrepisos, las fuerzas cortantes basales, entre otros aspectos, lo que contribuye a mejorar la respuesta sísmica. Esta investigación arrojó resultados que respaldan esta afirmación, demostrando que los disipadores inciden en la mejora del comportamiento estructural frente a los sismos severos.



V. CONCLUSIONES

PRIMERO: Al evaluar la incidencia de la aplicación de los disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la ciudad de Puno en el año 2022, como conclusión general se demostró que la implementación de disipadores de fluido viscoso tiene una incidencia significativa en la mejora del comportamiento estructural frente a eventos sísmicos severos. Esta incidencia se refleja claramente en la reducción de derivas de entrepiso y fuerzas cortantes en la base del edificio.

SEGUNDO: La metodología de aplicación de disipadores sobre un modelo convencional exige adoptar la norma de diseño norteamericana y considerar diversas normativas peruanas, como la norma E.020-2006 para la asignación de cargas y la norma E.030-2018 para el diseño sismorresistente. Estas normativas permiten realizar análisis estáticos y dinámicos, y verificar la resistencia de los elementos estructurales utilizando software y hojas de cálculo. Para evaluar edificaciones con DFV, se han tomado en cuenta códigos internacionales como el ASCE SEI 7-22, FEMA-HAZUS 99, SEAOC-COMITÉ VISION 2000 y el AISC Steel Construction 15th, que códigos proporcionan criterios específicos para el diseño y establecen objetivos de desempeño para garantizar la seguridad estructural. Se ha realizado un análisis exhaustivo para comprender la influencia de estas normativas y códigos en el comportamiento estructural, especialmente en la reducción de derivas y fuerzas cortantes.



TERCERO: Al comparar las variaciones de las derivas de entrepiso ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en 2022, se observó una reducción significativa. En la dirección X, en el séptimo piso, con la incorporación de DFVs, la deriva máxima disminuye en un 55.41%, pasando de 0.0096 a 0.0043. En la dirección Y, en el sexto piso, la deriva máxima se reduce en un 52.39%, de 0.0063 a 0.0030. Del mismo modo, la disminución de todas las derivas expresado por su promedio, han disminuido en el eje X el 48.43% y en el eje Y el 48.28%. De esta manera se ha observado que los disipadores tienen una incidencia reduciendo las derivas de entrepiso significativamente.

CUARTO: Al comparar las variaciones de las fuerzas cortantes ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022, se observó una reducción de fuerza cortante basal hasta un máximo de 47.54% en la dirección X, mientras que en la dirección Y la reducción máxima fue de 45.57%. Asimismo, la disminución de todas las fuerzas cortantes basales expresado por su promedio, han disminuido en el eje X el 39.32% y en el eje Y el 41.39%. Fue el sistema sin disipadores que resultó ser más desfavorable. De esta manera es notable que los disipadores de fluido viscoso tienen un impacto significativo en la reducción de las fuerzas cortantes en la base de una edificación de 10 pisos.

QUINTO: Al comparar las variaciones de los periodos ante la aplicación de disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de un edificio aporticado de 10 niveles en la Ciudad de Puno en el año 2022, se observó



que tanto el modelo con disipadores y sin disipadores presentan el mismo periodo, para la dirección X se tiene un valor de $T_x = 0.979$ segundos y para la dirección Y un valor de $T_y = 1.005$ segundos. Esto permitió comprobar que los disipadores únicamente contribuyen con amortiguamiento, pero no afectan la rigidez, ya que no alteran el periodo de la estructura.



VI. RECOMENDACIONES

- PRIMERO:** Se recomienda incorporar a nuestra normativa nacional la metodología de diseño y reforzamiento de edificaciones con sistemas de disipación de energía sísmica, con el propósito de ampliar su aplicación a nivel nacional y así garantizar el desempeño funcional de edificaciones y una mayor seguridad para los ocupantes.
- SEGUNDO:** Se recomienda utilizar los disipadores de fluido viscoso para lograr una significativa reducción de las distorsiones entrepisos, para así lograr los límites permitidos por las normativas vigentes.
- TERCERO:** Se recomienda emplear los disipadores de fluido viscoso para lograr disminución significativa de fuerzas cortantes, para ello se debe proveer una cantidad adecuada para absorber la energía sísmica de tal modo que también se logra un efectivo control del amortiguamiento.
- CUARTO:** Por último, se recomienda utilizar disipadores de fluido viscoso tanto para el diseño y reforzamiento de edificaciones, pero donde la estructura no tenga solicitaciones de rigidez adicionales, ya que al comparar las variaciones del periodo de vibración frente a un modelo sin disipadores de fluido viscoso ha sido nulo, lo que indica que estos dispositivos no proveen rigidez, pero si un amortiguamiento.



VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aceros Arequipa. (s. f.). *¿Qué es el diafragma rígido y cuál es su importancia?* Construyendo seguro. <https://www.construyendoseguro.com/que-es-el-diafragma-rigido-y-cual-es-su-importancia/>.
- Aedo, J. & Hurtado, J. (1994). *Peligro sísmico en el Perú*.
https://www.jorgealvahurtado.com/files/redacis15_a.pdf.
- Alvarez, C. (2017). *Análisis y diseño de disipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú].
<http://repositorio.uncp.edu.pe/handle/20.500.12894/4963>
- Ascheri, J., Rubinstein, M., Möller, O., y Poliotti, M. (2014). Diseño Generalizado de Disipadores, por Fluencia de Metal, para Tabiques Sismorresistentes. *Mecánica Computacional*, 33(22), 1443-1457.
- ASCE/SEI 7-22. (2022). *Minimum Design Loads and Associated Criteria for Buildings and Other Structures*. American Society of Civil Engineers.
- ATC-40. (1996). *Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings*. Applied Technology Council.
- Ayala, R. (2022). *Así es el «Anillo de Fuego», la cuna de los terremotos más poderosos que agitan la Tierra*. National Geographic en Español.
<https://www.ngenespanol.com/el-mundo/cinturon-de-fuego-del-pacifico-que-es-y-por-que-genera-tantos-sismos/>.
- Azuncion, L. (2016). *Análisis comparativo de un pórtico convencional con y sin disipadores de fluido viscoso modelado en Sap2000* [Trabajo de titulación, Universidad de Guayaquil]. <http://repositorio.ug.edu.ec/handle/redug/19892>.



- Blanco, A. (1994). *Estructuración y diseño de edificaciones de concreto armado*. Lima: UCSS.
- Burgos, M. (2017). *Reforzamiento de edificios gubernamentales con disipadores de energía de fluido viscoso*. I Congreso Internacional de Estructuras de Edificación COINESED. Lima, Perú.
- Capcha, E. (2017). *Comportamiento estructural*. Eden Capcha Ingeniería.
<https://ceaingenieria.blogspot.com/2017/01/comportamiento-estructural.html>.
- Castro, A., & Pérez, J. (2016). *Espectro de diseño y zonificación sísmica basada en periodos fundamentales de vibración de los suelos, en el área urbana de la ciudad de Mateare* [Monografía de grado, Universidad Nacional Autónoma de Nicaragua]. <https://repositorio.unan.edu.ni/2764/1/21724.pdf>.
- CDV Ingeniería Antisísmica. (2018). *Disipadores sísmicos vivir un terremoto sin daños es posible*. <https://www.cdvperu.com/disipadores-sismicos-taylor/>.
- Chavez, J. (2017). *Diseño sismorresistente de edificios con disipadores de fluido viscoso*. Lima, Perú: Grupo universitario S.A.C.
- Chavez, J. (2021). *Análisis y diseño sismorresistente de edificios con disipadores de energía* [Curso]. Lima, Perú: Instituto CCIP.
- Chilón, E. A. (2019). *Diseño y análisis sísmico comparativo entre un sistema con aisladores de núcleo de plomo y un sistema con disipadores de fluido viscoso en una edificación de 4 niveles, Chiclayo, 2017* [Tesis de pregrado, Universidad Católica Santo Toribio de Mongrovejo, Chiclayo, Perú].
<http://tesis.usat.edu.pe/handle/20.500.12423/1968>.
- Chopra, A. (2014). *Dinámica de estructuras* (4ta ed.). México: Pearson.



- Corbetta, P. (2007). *Metodología y técnicas de investigación social*. México: Mc Graw Hill.
- Corporación de Desarrollo Tecnológico. (2011). *Protección Sísmica de Estructuras. Sistemas de Aislación Sísmica y Disipación de Energía*. Chile: Cámara Chilena de la Construcción.
- CSI. (2016). *Análisis no lineal rápido (FNA). Base de conocimientos técnicos* Computers and Structures, Inc.
<https://wiki.csiamerica.com/pages/viewpage.action?pageId=9536464>.
- E.020 Cargas. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- E.030 Diseño Sismorresistente. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- E.060 Concreto Armado. (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
- Escobar, A. (2019). “*Análisis sísmico comparativo entre el reforzamiento convencional con muros de corte y el reforzamiento con Disipador de fluido Viscoso para un sismo Severo en el Edificio Hotel Ferrocarril Filial Puno*”. [Tesis de pregrado, Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez].
<http://repositorio.uancv.edu.pe/handle/UANCV/4230>
- Estrada, S. S., & Verde, J. K. (2020). *Análisis comparativo del diseño estructural con la aplicación del software Etabs respecto al método tradicional de un edificio de cinco pisos con semisótano ubicado en el distrito de San Martín de Porres-Lima* [Tesis de pregrado, Universidad de San Martín de Porres].
<https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/7712>



- FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Earthquake Model HAZUS-MH MR4. Thecnical Manual*. Federal Emergency Management Agency & National Institute of Building Sciences.
- FEMA 274. (1997). *NEHRP Comentary on the guidelines for the seismic rehabilitation of buldings*. Federal Emergency Management Agency.
- García, R. A. (2009). *Análisis sísmico no lineal de la estructura de soporte de una caldera de potencia usando FNA*. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/1341>
- Guillén, O. R., & Valderrama, S. R. (2013). *Guía para el elaborar una tesis universitaria*. Ando Educado S.A.C.
- HAZUS. (1999). *Departamento de Seguridad Nacional Agencia Federal para el Manejo de Emergencias División de Mitigación Washington, D.C.* Federal Emergency Management Agency.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). *Metodología de la investigación* (6ta ed.). Mc Graw Hill Education.
- Ingeniarc. (2020). *Rigidez de las estructuras y resistencia del concreto*. Misitio. <https://www.ingeniarc.com/post/rigidez-de-las-estructuras-y-resistencia-del-concreto>
- Khan Academy. (s. f.). *¿Qué es centro de masa?* Aprende la definición del centro de masa y aprende cómo calcularlo. <https://es.khanacademy.org/science/physics/linear-momentum/center-of-mass/a/what-is-center-of-mass>
- Kim, J., Ryu, J., & Chung, L. (2006). Seismic performance of structures connected by viscoelastic dampers. *Engineering Structures*, 28(2), 183-195. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2005.05.014>.



Lee, D. A., & Taylor, D. P. (s. f.). *Viscous damper development and future trends*.
<https://www.taylordevices.com/wp-content/uploads/65-Viscous-Damper-Dev.pdf>.

Lleclish (s.f.). *Análisis y diseño estructural de edificaciones* [Curso]. CCI Ingenieros.

Libros Peruanos. (2017). *Como prevenir los desastres de un sismo de gran intensidad* [Youtube]. <https://www.youtube.com/watch?v=3XWdw7rh2P4&t=171s>

López, D., & Pinzón, D. (2021). *Respuesta sísmica de una estructura de acero implementando disipadores de energía de fluido viscoso para la ciudad de Bogotá D.C* [Monografía de grado, Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia]. <http://repository.udistrital.edu.co/handle/11349/28348>.

Luque, D., & Condo, D. (2021). *Diseño estructural de un edificio con disipadores de energía de fluido viscoso frente a un edificio convencional* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, Perú].
<https://repositorio.unsa.edu.pe/items/cf5be070-73bb-42be-afcb-681a4f9903b0>.

Miyamoto, H., & Singh, J. (2002). Performance of structures with passive energy dissipators. *Earthquake Spectra*, 18. <https://doi.org/10.1193/1.1468650>.

Medina, C. & Núñez, A. (2018). *Diseño por desempeño de un edificio de hormigón armado utilizando el método de análisis tiempo-historia* [Tesis de pregrado, Universidad Técnica de Ambato].
<https://repositorio.uta.edu.ec:8443/jspui/handle/123456789/27236>

Morales, L., & Contreras, J. (2012). *Protección de una edificación existente con Disipadores de Energía*. [Tesis de pregrado, Pontificia Universidad Católica del Perú]. <http://hdl.handle.net/20.500.12404/170>.



- Ñaca, W. & Quenaya, J. (2020). *Incidencia de las modificaciones de la norma E.030 en el proyecto de una edificación de diez niveles en la Ciudad de Puno* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú].
<http://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/16287>
- Pino, J. (2022). *Evaluación de las prestaciones de un edificio de categoría especial con disipadores de energía dependientes de la velocidad* [Tesis de máster, Universidad Politécnica de Madrid]. <https://oa.upm.es/70674/>.
- Quispe, C. & García, P. (2019). *Reforzamiento sísmico mediante el uso de disipadores histeréticos tipo Shear Link Bozzo en un edificio de 14 niveles en la ciudad de Lima* [Tesis de pregrado, Universidad Ricardo Palma, Perú].
<https://repositorio.urp.edu.pe/handle/20.500.14138/2782>.
- Quispe, J. (2022). *Evaluación del desempeño estructural del mega laboratorio clínico universitario de salud humana y propuesta de mejora con sistemas de protección sísmica de disipadores de energía sísmica* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/17845>.
- Ruiz, J. (2012). *Teoría y práctica de la investigación cualitativa*. Deusto.
- Rosero, J. (2020). *Incidencia de la inclusión de dispositivos disipadores de energía en las respuestas estructurales de edificios de hormigón armado de 10 y 15 pisos en la ciudad de Quito* [Tesis de pregrado, Universidad Central del Ecuador].
<http://www.dspace.uce.edu.ec/handle/25000/22190>.
- Salinas, R. (s. f.). *Fundamentos del análisis dinámico de estructuras*.
- SEAOC. (1999). *Recommended Lateral Force Requirements and Commentary* (7ma ed.). Structural Engineers Association fo California.



- SEAOC comité Vision 2000. (1995). *Performance Based Seismic Engineering of Buildings*. Structural Engineers Association of California.
- Taylor Devices Inc. (2024). *Fluid Viscous Dampers Can Protect Your Structure*.
<https://www.taylordevices.com/products/fluid-viscous-dampers/>.
- Taylor, D. (1999). *Buildings: Design for Damping*. North Tonawanda: Taylor Devices Inc.
- Turpo, L., & Paredes, B. (2022). *Desempeño sísmico de una edificación de 12 niveles en un sistema convencional, con aisladores elastoméricos y disipadores de energía de fluido viscoso* [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Altiplano Puno, Perú].
<https://repositorio.unap.edu.pe/handle/20.500.14082/18588>
- Valderrama, S. (2002). *Pasos para elaborar proyectos de investigación científica* (2da ed.). San Marcos.
- Valdez, C. (2019). *Análisis y diseño estructural de un edificio utilizando disipadores de energía de fluido viscoso* [Tesis de pregrado, Universidad Católica de Santa María, Arequipa, Perú].
<https://repositorio.ucsm.edu.pe/handle/20.500.12920/9854>
- Villareal, G., & Oviedo, R. (2009). *Edificios con disipadores de energía*. Lima: ANR.
- Villarreal, G., & Díaz, M. (2016). *Edificaciones con disipadores viscosos*. Lima: ANR.
<http://librosdoctorgennervillarrealcastro.blogspot.com/?view=classic>
- Yang, Y., Raman, S., Yuan, B. & Xu, Z. (2022). *Advances in frontier research on engineering structures volume 2*. China: Taylor & Francis Group.



ANEXOS

ANEXO 1: Fichas de validación de instrumentos

ANEXO 2: Instrumentos de la investigación

ANEXO 3: Matriz de consistencia

ANEXO 4: Estudio de mecánica de suelos

ANEXO 5: Predimensionamiento y metrado

ANEXO 6: Aspectos de modelamiento estructural

ANEXO 7: Bucles histeréticos

ANEXO 8: Catálogo y precio de disipadores

ANEXO 9: Planos

LINK DE ANEXOS:

<https://drive.google.com/drive/folders/19cuesKoTTo4qn2k9F1gAV9R34TiZ5S8J?usp=s>
haring



DECLARACIÓN JURADA DE AUTENTICIDAD DE TESIS

Por el presente documento, Yo LUNY YULY ESCOBAR JESUS,
identificado con DNI 75395304 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERÍA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
“INCIDENCIA DE LA APLICACIÓN DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE
FLUIDO VISCOSO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN
EDIFICIO APORTICADO DE 10 NIVELES EN LA CIUDAD DE PUNO EN EL AÑO 2022”

Es un tema original.

Declaro que el presente trabajo de tesis es elaborado por mi persona y **no existe plagio/copia** de ninguna naturaleza, en especial de otro documento de investigación (tesis, revista, texto, congreso, o similar) presentado por persona natural o jurídica alguna ante instituciones académicas, profesionales, de investigación o similares, en el país o en el extranjero.

Dejo constancia que las citas de otros autores han sido debidamente identificadas en el trabajo de investigación, por lo que no asumiré como tuyas las opiniones vertidas por terceros, ya sea de fuentes encontradas en medios escritos, digitales o Internet.

Asimismo, ratifico que soy plenamente consciente de todo el contenido de la tesis y asumo la responsabilidad de cualquier error u omisión en el documento, así como de las connotaciones éticas y legales involucradas.

En caso de incumplimiento de esta declaración, me someto a las disposiciones legales vigentes y a las sanciones correspondientes de igual forma me someto a las sanciones establecidas en las Directivas y otras normas internas, así como las que me alcancen del Código Civil y Normas Legales conexas por el incumplimiento del presente compromiso

Puno 10 de julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella



AUTORIZACIÓN PARA EL DEPÓSITO DE TESIS O TRABAJO DE INVESTIGACIÓN EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL

Por el presente documento, Yo LUNY YULY ESCOBAR JESUS
identificado con DNI 75395304 en mi condición de egresado de:

Escuela Profesional, Programa de Segunda Especialidad, Programa de Maestría o Doctorado
INGENIERIA CIVIL

informo que he elaborado el/la Tesis o Trabajo de Investigación denominada:
"INCIDENCIA DE LA APLICACION DE DISIPADORES DE ENERGÍA DE
FLUIDO VISCOZO EN EL COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DE UN
EDIFICIO APORTICADO DE 10 NIVELES EN LA CIUDAD DE PUNO EN EL AÑO 2022

para la obtención de Grado, Título Profesional o Segunda Especialidad.

Por medio del presente documento, afirmo y garantizo ser el legítimo, único y exclusivo titular de todos los derechos de propiedad intelectual sobre los documentos arriba mencionados, las obras, los contenidos, los productos y/o las creaciones en general (en adelante, los "Contenidos") que serán incluidos en el repositorio institucional de la Universidad Nacional del Altiplano de Puno.

También, doy seguridad de que los contenidos entregados se encuentran libres de toda contraseña, restricción o medida tecnológica de protección, con la finalidad de permitir que se puedan leer, descargar, reproducir, distribuir, imprimir, buscar y enlazar los textos completos, sin limitación alguna.

Autorizo a la Universidad Nacional del Altiplano de Puno a publicar los Contenidos en el Repositorio Institucional y, en consecuencia, en el Repositorio Nacional Digital de Ciencia, Tecnología e Innovación de Acceso Abierto, sobre la base de lo establecido en la Ley N° 30035, sus normas reglamentarias, modificatorias, sustitutorias y conexas, y de acuerdo con las políticas de acceso abierto que la Universidad aplique en relación con sus Repositorios Institucionales. Autorizo expresamente toda consulta y uso de los Contenidos, por parte de cualquier persona, por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales de autor y derechos conexos, a título gratuito y a nivel mundial.

En consecuencia, la Universidad tendrá la posibilidad de divulgar y difundir los Contenidos, de manera total o parcial, sin limitación alguna y sin derecho a pago de contraprestación, remuneración ni regalía alguna a favor mío; en los medios, canales y plataformas que la Universidad y/o el Estado de la República del Perú determinen, a nivel mundial, sin restricción geográfica alguna y de manera indefinida, pudiendo crear y/o extraer los metadatos sobre los Contenidos, e incluir los Contenidos en los índices y buscadores que estimen necesarios para promover su difusión.

Autorizo que los Contenidos sean puestos a disposición del público a través de la siguiente licencia: Creative

Commons Reconocimiento-NoComercial-CompartirIgual 4.0 Internacional. Para ver una copia de esta licencia, visita: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

En señal de conformidad, suscribo el presente documento.

Puno 10 de julio del 2024

FIRMA (obligatoria)



Huella