

FACULTAD DE INGENIERÍA

Carrera de **INGENIERÍA CIVIL**

“INFLUENCIA DE UN SISTEMA DE
REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL MEDIANTE
DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO EN EL
COMPORTAMIENTO SÍSMICO DEL PALACIO
MUNICIPAL EN EL DISTRITO DE OYON, LIMA-
2023”

Tesis para optar al título profesional de:

Ingeniero Civil

Autor:

Enrique Manuel Ibarra Meza

Asesor:

Mg. Lic. Paula Rojas Julian

<https://orcid.org/0000-0003-3649-7728>

Lima - Perú

2023

JURADO EVALUADOR

Jurado 1 Presidente(a)	YVAN HUARICALLO VILCA
	Nombre y Apellidos

Jurado 2	NEICER CAMPOS VASQUEZ
	Nombre y Apellidos

Jurado 3	PAULA ROJAS JULIAN
	Nombre y Apellidos

INFORME DE SIMILITUD

SIMILITUD TESIS E IBARRA

INFORME DE ORIGINALIDAD

17%	17%	1%	4%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	9%
2	repositorio.urp.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	repositorio.ucv.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
5	repositorio.upn.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	Submitted to Universidad San Ignacio de Loyola Trabajo del estudiante	1%
7	Submitted to Universidad Tecnológica Centroamericana UNITEC Trabajo del estudiante	<1%
8	repositorio.unjfsc.edu.pe Fuente de Internet	<1%

DEDICATORIA

Primero a Dios por ser mi apoyo y soporte. A mis padres por su amor infinito y apoyo constante, porque ellos son partícipes de los logros en mi vida.

A mi tías y abuelita por sus ánimos y consejos en los momentos difíciles.

AGRADECIMIENTO

A Dios porque todos mis logros son gracias a él. A mis padres por su dedicación, sacrificio y aliento para que alcance mis objetivos fijados en mi vida. A mi tías y abuelita que siempre están alentándome a mejorar cada día.

Tabla de contenido

JURADO EVALUADOR	2
INFORME DE SIMILITUD	3
DEDICATORIA.....	4
AGRADECIMIENTO	5
ÍNDICE DE TABLAS.....	8
ÍNDICE DE FIGURAS.....	12
RESUMEN.....	15
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN	17
1.1. Realidad problemática	17
1.2. Formulación del problema	21
1.2.1. Problema General.....	21
1.2.2. Problemas Específicos.....	21
1.3. Marco teórico	21
1.4. Antecedentes.....	40
1.5. Objetivos.....	52
1.5.1. Objetivo general	52
1.5.2. Objetivos específicos.....	52
1.6. Hipótesis	52
1.6.1. Hipótesis general	53
1.6.2. Hipótesis específicas	53
1.7. Importancia y Justificación del Estudio.....	53
1.8. Limitación del Estudio	54
CAPÍTULO II: METODOLOGÍA.....	55
2.1 Tipo de investigación.....	55
2.2 Población y muestra	56
2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos	56

2.3.1 Técnicas de recolección y análisis de datos	56
2.3.2 Instrumentos	57
2.3.3 Aspectos éticos.....	58
2.4 Desarrollo de la investigación.....	58
2.4.1 Objetivo específico 1.....	60
2.4.2 Objetivo específico 2.....	76
2.4.3 Objetivo específico 3.....	85
CAPÍTULO III: RESULTADOS	126
3.1 Resultados de objetivo específico 1:	126
3.2 Resultados de objetivo específico 2:	128
3.3 Resultados de objetivo específico 3:	135
CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES.....	145
4.1 Discusión.....	145
4.2 Conclusiones	147
REFERENCIAS	149
ANEXOS.....	152

Índice de tablas

Tabla 1	18
Tabla 2	20
Tabla 3	23
Tabla 4	24
Tabla 5	24
Tabla 6	28
Tabla 7	28
Tabla 8	31
Tabla 9	59
Tabla 10	60
Tabla 11	60
Tabla 12	67
Tabla 13	67
Tabla 14	68
Tabla 15	68
Tabla 16	68
Tabla 17	74
Tabla 18	74
Tabla 19	75
Tabla 20	75
Tabla 21	76
Tabla 22	78
Tabla 23	79
Tabla 24	81
Tabla 25	82
Tabla 26	85
Tabla 27	86
Tabla 28	87

Tabla 29	88
Tabla 30	88
Tabla 31	94
Tabla 32	98
Tabla 33	98
Tabla 34	98
Tabla 35	98
Tabla 36	99
Tabla 37	99
Tabla 38	100
Tabla 39	100
Tabla 40	101
Tabla 41	101
Tabla 42	103
Tabla 43	103
Tabla 44	104
Tabla 45	105
Tabla 46	105
Tabla 47	105
Tabla 48	105
Tabla 49	106
Tabla 50	106
Tabla 51	106
Tabla 52	107
Tabla 53	107
Tabla 54	107
Tabla 55	107
Tabla 56	108
Tabla 57	108
Tabla 58	108

Tabla 59	109
Tabla 60	109
Tabla 61	111
Tabla 62	111
Tabla 63	116
Tabla 64	118
Tabla 65	120
Tabla 66	121
Tabla 67	122
Tabla 68	124
Tabla 69	124
Tabla 70	127
Tabla 71	127
Tabla 72	127
Tabla 73	128
Tabla 74	130
Tabla 75	131
Tabla 76	132
Tabla 77	132
Tabla 78	135
Tabla 79	136
Tabla 80	136
Tabla 81	136
Tabla 82	137
Tabla 83	137
Tabla 84	137
Tabla 85	138
Tabla 86	139
Tabla 87	140
Tabla 88	141

Tabla 89	141
Tabla 90	142
Tabla 91	142
Tabla 92	143
Tabla 93	143
Tabla 94	143
Tabla 95	143

Índice de figuras

Figura 1	17
Figura 2	19
Figura 3	22
Figura 4	24
Figura 5	26
Figura 6	27
Figura 7	32
Figura 8	34
Figura 9	34
Figura 10	36
Figura 11	37
Figura 12	43
Figura 13	45
Figura 14	46
Figura 15	47
Figura 16	48
Figura 17	48
Figura 18	49
Figura 19	59
Figura 20	61
Figura 21	61
Figura 22	62
Figura 23	62
Figura 24	63
Figura 25	64
Figura 26	64
Figura 27	65
Figura 28	65

Figura 29	66
Figura 30	66
Figura 31	70
Figura 32	70
Figura 33	71
Figura 34	71
Figura 35	72
Figura 36	72
Figura 37	73
Figura 38	73
Figura 39	75
Figura 40	81
Figura 41	87
Figura 42	89
Figura 43	90
Figura 44	90
Figura 45	91
Figura 46	91
Figura 47	92
Figura 48	92
Figura 49	93
Figura 50	93
Figura 51	94
Figura 52	95
Figura 53	95
Figura 54	96
Figura 55	96
Figura 56	97
Figura 57	97
Figura 58	103

Figura 59	104
Figura 60	109
Figura 61	110
Figura 62	110
Figura 63	112
Figura 64	112
Figura 65	113
Figura 66	113
Figura 67	114
Figura 68	114
Figura 69	115
Figura 70	115
Figura 71	116
Figura 72	117
Figura 73	117
Figura 74	118
Figura 75	118
Figura 76	119
Figura 77	120
Figura 78	120
Figura 79	121
Figura 80	122
Figura 81	126
Figura 82	126
Figura 83	138
Figura 84	139

RESUMEN

El propósito de esta investigación es determinar la influencia de un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del municipio del distrito de Oyon, Lima. Se determinó el comportamiento sísmico actual de la estructura obteniendo distorsiones que superan el límite permisible por el reglamento, E.030 Diseño Sismorresistente, lo que implica que se debe aplicar un sistema de reforzamiento estructural a la edificación. Como alternativa de solución se plantea un sistema de reforzamiento estructural basado en disipadores de fluido viscoso con el propósito de mejorar la respuesta sísmica de la estructura ante acciones sísmicas. La estructura se evaluó mediante un análisis tiempo-historia incorporando disipadores sísmicos y utilizando tres registros sísmicos, el resultado demostró una mejora significativa en la respuesta frente a eventos sísmicos. Como consecuencia de esto, se observa una disminución al 54.26% de la distorsión máxima en la dirección Y y 56.71% en la dirección X; además, se registra una reducción en los esfuerzos a los que están expuestos los componentes de la estructura. Los resultados obtenidos comprueban que el sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso mejora la capacidad de respuesta a sismos de la edificación en estudio.

PALABRAS CLAVES: Disipadores de fluido viscoso, Sistema de reforzamiento estructural, comportamiento sísmico, Distorsión máxima, Análisis tiempo-historia.

ABSTRACT

The purpose of this research is to determine the influence of a structural reinforcement system using viscous fluid dissipators on the seismic behavior of the municipality of the Oyon district, Lima. The current seismic behavior of the structure was determined, obtaining distortions that exceed the limit permissible by the regulation, E.030 Seismic Resistant Design, which implies that a structural reinforcement system must be applied to the building. As an alternative solution, a structural reinforcement system based on viscous fluid dissipators is proposed with the purpose of improving the seismic response of the structure to seismic actions. The structure was evaluated through a time-history analysis incorporating seismic dissipators and using three seismic records, the result demonstrated a significant improvement in the response to seismic events. As a consequence of this, a decrease to 56.71% of the maximum distortion in the X direction and 54.26% in the Y direction is observed; In addition, there is a reduction in the stresses to which the components of the structure are exposed. The results obtained prove that the reinforcement system using viscous fluid dissipators improves the seismic response capacity of the building under study.

PALABRAS CLAVES: Seismic behavior, Structural reinforcement system, Fluid viscous damper, Maximum drift, Time-history analysis.

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

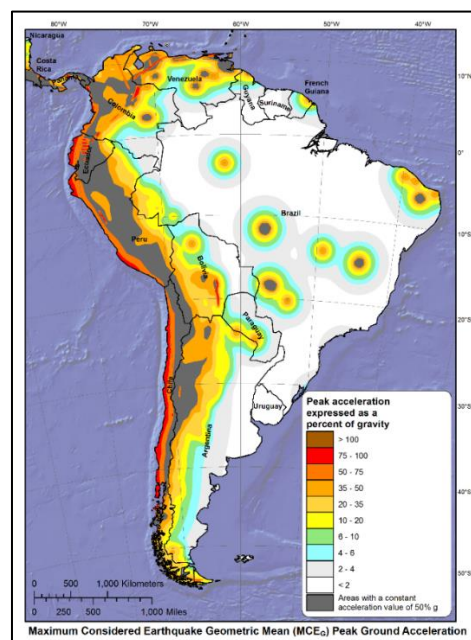
1.1. Realidad problemática

Los movimientos telúricos son fenómenos naturales que siempre han sido y serán objeto de estudio, en el campo de la ingeniería sismorresistente, debido a los efectos que estos ejercen en las estructuras; en este ámbito, estas investigaciones se basan en acrecentar el desempeño de las edificaciones ante movimientos telúricos, con el objetivo de minimizar las pérdidas económicas y humanas ocasionadas en estos eventos.

Según BBC News Mundo (2010) en su revista denominada “¿Por qué tantos terremotos?” señala que cada vez los fenómenos sísmicos son más devastadores debido a que la densidad de la población que vive en las zonas de riesgo está en aumento. Estos fenómenos son cada vez más perceptibles debido a que la gente se entera de la destrucción que este genera en zonas pobladas como Haití y Chile, sin embargo, el Centro Nacional de Información de Terremotos del USGS detecta anualmente entre 12 000 y 14 000 sismos, muchos de estos son de gran magnitud.

Figura 1

Aceleración máxima expresada en porcentaje de gravedad



Nota: Obtenido de USGS (United States Geological Survey).

Según Luccioni (2006) en su tesis de Magister denominada “Vulnerabilidad Sísmica de Edificios Vitales de la Red de Emergencias” en la Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, destaca que anualmente, en diversas naciones alrededor del mundo, ocurren desastres naturales, entre los cuales están los terremotos, dichos fenómenos provocan significativas pérdidas humanas, daños y perjuicios en la infraestructura; dañando la economía y sociedad.

Según BBC NEWS MUNDO (2017) señala que los sismos más devastadores en América Latina no se deben solamente a su gran magnitud sino a otros factores como: la cercanía del epicentro a núcleos de población, la densidad de los habitantes, los recursos que posee el país afectado, la existencia de protocolos de emergencia, la existencia de sistemas de protección sísmica en estructuras, etc. La tabla N°1 nos indica los sismos más devastadores ocurridos en América Latina.

Tabla 1

Los sismos más devastadores en América Latina

Fecha	Epicentro	Magnitud
22 de Mayo de 1960	Chile	9.5
13 de Agosto de 1868	Chile	8.6
27 de Febrero de 2010	Chile	8.8
31 de Enero de 1906	Ecuador	8.8
8 de Julio de 1730	Chile	8.7
12 de Enero de 2010	Haití	7
31 de Mayo de 1970	Perú	7.8
25 de Enero de 1939	Chile	7.8
4 de Febrero de 1976	Guatemala	7.5
23 de Diciembre de 1972	Nicaragua	6.2

Nota: La tabla indica las magnitudes de los sismos en escala de Richter. Elaboración propia

Al analizar la actividad sísmica mundial, se nota claramente que los terremotos no se manifiestan con la misma frecuencia e intensidad en todas las regiones. El 80% de los sismos

además de reducirse significativamente o incluso eliminarse los gastos de reparación. Por lo tanto, es de gran importancia la elaboración de un plan nacional de protección sísmica con el fin de reducir los gastos post sismo.

Según INDECI (2017) en su revista denominada: “Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao” señala que una serie de estudios determinó los distritos de mayor vulnerabilidad de la ciudad de Lima entre los cuales se encuentra el distrito de Los Olivos; el estudio afirma que es una de las zonas más propensas si llegara a ocurrir un evento sísmico de gran magnitud. Este análisis revela áreas con un grado significativamente elevado de vulnerabilidad. La mayoría de los distritos de Lima y Callao exhiben algún nivel de vulnerabilidad alta y distritos como Surco, San Borja, entre otros, presentan un grado medio de vulnerabilidad. Solo un pequeño porcentaje de viviendas muestra una vulnerabilidad baja. Así mismo, en los últimos años Lima no ha presentado un sismo de gran magnitud, esto conlleva a una gran acumulación de energía que no ha podido ser liberada por lo cual se espera que este se libera en cualquier momento produciendo un sismo de gran magnitud.

Tabla 2

Registros sísmicos importantes

	Lima 1746	Arica 1868	Lima 1974	Arequipa 2001	Pisco 2007
Magnitud (Grados Richter)	8.1	8.2	7.9	8.2	7.9
Máxima Intensidad (mm)	X-XI	XI	VIII-IX	VIII	VII
Tsunami altura de ola (m)	15-20	20	1.6	-	-

Nota: Obtenido de INDECI, 2017.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema General

¿De qué manera el sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?

1.2.2. Problemas Específicos

¿Cuál es el comportamiento sísmico actual de acuerdo a la normativa vigente del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?

¿Cuál es la metodología para la seleccionar y aplicar los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?

¿De qué manera el sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?

1.3. Marco teórico

Según Reglamento Nacional de Edificaciones (2019) en la “NORMA TÉCNICA E.030 DISEÑO SISMORRESISTENTE” detalla el enfoque del diseño sismorresistente parte de la filosofía de preservar vidas humanas, garantizando que los servicios básicos mantengan su funcionalidad y minorar los daños estructurales. No obstante, es conocido que no se puede proteger de manera completa a una estructura, por ende, el diseño debe prever, en caso de un terremoto severo, la estructura no sufra colapsos o cause daños significativos. Por ello, decreta variables fundamentales para el análisis de una estructura.

PARÁMETROS SÍSMICOS

A. Zonificación:

En la normativa peruana se divide al territorio nacional en cuatro zonas tal como se evidencia en la figura N°3. Las áreas sugeridas están fundamentadas en la repartición espacial de la actividad sísmica visualizada, las propiedades fundamentales de los movimientos sísmicos y la atenuación a medida que se aleja del epicentro, junto con los datos neotectónicos existentes.

Figura 3

Zonificación debido a la sismicidad del Perú



Nota: Obtenido de NTE E-030, 2019.

Los factores asignados a cada zona es la representación de aquella aceleración máxima horizontal actuante sobre un suelo rígido. A continuación, se muestran los factores de zona de acuerdo a la norma peruana.

Tabla 3

Factores de zonificación

Tabla N° 1 FACTORES DE ZONA "Z"	
ZONA	Z
4	0,45
3	0,35
2	0,25
1	0,10

Nota: Obtenido de NTE E-030, 2019.

B. Condiciones geotécnicas

La normativa peruana clasifica a los perfiles de suelos basándose en la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte, estos son los siguientes:

- Tipo de perfil S_0
- Tipo de perfil S_1
- Tipo de perfil S_2
- Tipo de perfil S_3
- Tipo de perfil S_4

C. Parámetros de Sitio

El perfil de suelo identificado posibilita la obtención del coeficiente de amplificación del suelo "S" de acuerdo a la tabla N°4, así como los valores de TL y TP de la tabla N°5 de manera similar.

Tabla 4

Factor de suelo S

Tabla N° 3 FACTOR DE SUELO "S"				
SUELO ZONA	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,80	2,00

Nota: Obtenido de NTE E-030, 2019.

Tabla 5

Periodos T_P y T_L

Tabla N° 4 PERÍODOS "T _P " Y "T _L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,8

Nota: Obtenido de NTE E-030, 2019.

D. Coeficiente de amplificación sísmica (C)

El factor se comprende como el acrecentamiento de la aceleración de la estructura en comparación con el aceleramiento del suelo.

El coeficiente de amplificación sísmica (C) es determinado de acuerdo a la figura N°4 basado en las propiedades anteriormente mencionadas:

Figura 4

Coeficiente de amplificación sísmica (C)

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

Nota: En base a estas ecuaciones se obtiene el coeficiente de amplificación sísmica. Obtenido de NTE E-030, 2019.

Donde T representa el periodo fundamental calculado según la ecuación que sigue a continuación:

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

Ecuación 1: Periodo de vibración fundamental.

Donde:

CT = 35 Estructuras de concreto armado basado en pórticos que no presentan muros de corte y pórticos dúctiles de acero sin arriostres

CT = 45 Sistemas de pórticos de concreto armado que presentan muros de corte y pórticos de acero con arriostres.

CT = 60 Sistemas estructurales duales, albañilería, muros estructurales y MDL.

E. Clasificación de la edificaciones y coeficiente de uso (U)

La normativa cataloga a toda estructura de acuerdo a su uso o importancia según lo observado en la figura N°5

Figura 5

Factores de uso "U" de acuerdo a su clasificación

Tabla N° 5 CATEGORÍA DE LAS EDIFICACIONES Y FACTOR "U"		
CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado. 	1,5
B Edificaciones Importantes	Edificaciones donde se reúnen gran cantidad de personas tales como cines, teatros, estadios, coliseos, centros comerciales, terminales de buses de pasajeros, establecimientos penitenciarios, o que guardan patrimonios valiosos como museos y bibliotecas. También se consideran depósitos de granos y otros almacenes importantes para el abastecimiento.	1,3
C Edificaciones Comunes	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas de contaminantes.	1,0
D Edificaciones Temporales	Construcciones provisionales para depósitos, casetas y otras similares.	Ver nota 2

Nota: Factores de uso que corresponden a cada categoría. Obtenido de NTE E-030, 2019.

F. Sistemas estructurales

La normativa clasifica a los sistemas estructurales en base a sus materiales empleados, estos pueden ser de concreto armado, acero, entre otros. De todos estos el sistema más común en el Perú es el concreto armado el cual se subdivide en 4 tipos, los cuales son:

- **Pórticos:** Las acciones sísmicas actúan principalmente en las columnas de los pórticos, representando un porcentaje no menor a 80% de los esfuerzos cortantes en la base.

- Muros estructurales: La resistencia sísmica de este sistema está en base de muros estructurales, en estos actúan un mínimo de 70% del esfuerzo de corte en la base.
- Dual: Compuesto por pórticos y muros estructurales, los cuales soportan las fuerzas producto de sismos. Sobre los muros se actúa a una sollicitación mayor de 20% y menor de 70% del corte completo ejercida en la base de la estructura.
- Edificaciones de muros de ductilidad limitada (EMDL): Son aquellas en las que la capacidad de resistir acciones sísmicas se fundamenta en muros de concreto armado de espesores pequeños, los cuales no requieren confinamiento en sus extremos.

G. Sistemas estructurales y coeficiente básico de reducción (R0)

La categorización de los sistemas estructurales basada en los lineamientos de la normativa peruana se presenta en la figura N°6, esto basado principalmente en los materiales empleados y la estructuración:

Figura 6
Sistemas estructurales

Tabla N° 7 SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

Nota: En la figura se visualiza los coeficientes de reducción R0. Obtenido de NTE E-030, 2019.

H. Coeficientes de irregularidad (Ia, Ip)

Los coeficientes de irregularidad en planta (Ip) e irregularidad en altura (Ia) se determinan como el mínimo, según lo indicado en las tablas N°6 y N°7 respectivamente.

Tabla 6

Coefficiente de irregularidad en altura

Irregularidad en altura	Factor (Ia)
Rigidez - Piso blando	0.75
Resistencia - Piso débil	
Extrema de rigidez	0.50
Extrema de resistencia	
Masa o peso	0.90
Geométrica vertical	0.90
Sistemas Resistentes	0.80
Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	0.60

Nota: En el cuadro se observa los factores de irregularidad en altura basado en la normativa peruana. Obtenido de NTE E-030, 2019.

Tabla 7

Coefficiente de irregularidad en planta

Irregularidad en planta	Factor (Ip)
Torsional	0.75
Torsional extrema	0.60
Esquinas entrantes	0.90
Discontinuidad del diafragma	0.85
Sistemas no paralelos	0.90

Nota: En el cuadro se observa los factores de irregularidad en planta basado en la normativa peruana. Obtenido de NTE E-030, 2019.

I. Factor de reducción de las fuerzas sísmicas (R)

Este coeficiente se obtiene en base a la multiplicación de los factores de irregularidad y el coeficiente básico R_0 :

$$R = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

Ecuación 2: Factor de minoración de las fuerzas sísmicas

J. Evaluación del peso (P)

El cálculo del peso implica sumar la sobrecarga o carga viva, en un porcentaje según las normativas, a la carga permanente y total de la edificación.

- En edificaciones catalogadas como A y B, se considera el 50% de la carga viva en el cálculo.

- En edificios tipos C, será el 25% de la carga viva.
- En el caso de depósitos, será el 80% de la totalidad del almacenamiento posible.
- El 25% de la carga viva se asigna en azoteas y techos.
- La totalidad de la carga que puede soportar se destina a tanques, silos y estructuras similares.

K. Esfuerzo de Corte en la Base

La siguiente ecuación permite determinar los esfuerzos cortantes que se ejerce en el nivel inferior de la estructura en las dos direcciones analizadas:

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

Ecuación 3: Fuerza de corte basal.

El valor de C/R presenta la siguiente condición:

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

Ecuación 4: Relación C/R.

L. Fuerza Sísmica en Altura

Según las ecuaciones presentadas permiten repartir las sollicitaciones sísmicas en cada nivel i según la dirección de análisis:

$$F_i = \alpha_i \times V$$

Ecuación 5: Fuerza sísmica en altura.

$$\alpha_i = \frac{P_i(h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j(h_j)^k}$$

Ecuación 6: Factor de distribución en altura.

En la expresión mencionada, “n” denota el número de pisos de la edificación, “k” es la potencia relacionada con el periodo de vibración de la estructura (T) para cada dirección de análisis y es calculado conforme a:

a) Para valores de T iguales o inferiores a 0,5s: $k = 1,0$.

b) Cuando el valor de T es superior a 0,5 segundos, el coeficiente “k” se determina mediante la expresión $(0,75 + 0,5 T)$ y se asegura que este no exceda 2,0

M. Aceleración del Espectro

En función de las direcciones horizontales estudiadas, se empleará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones que está determinado según:

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

Ecuación 7: Aceleración espectral.

N. Fuerza Cortante Mínima

Según las disposiciones normativas, en cada dirección estudiada, el esfuerzo de corte mínimo para estructura regulares no debe de ser inferior al 80% del esfuerzo de corte estático; por otro lado, el 90% para irregulares.

O. Desplazamientos Laterales

En el caso de la estructura regulares, se aplica el factor 0.75R para determinar los desplazamientos laterales; por otro lado, en estructuras irregulares, se hace uso del factor 0.85R.

P. Desplazamientos Laterales Relativos Admisibles

$$\delta_i = \left(\frac{U_i - U_{i-1}}{h} \right) \times 0.75R$$

Ecuación 8: Distorsión del entrepiso.

La normativa establece que las distorsiones de entrepiso tienen como límite máximo los señalados en la tabla N°8.

Tabla 8

Límites de distorsión entrepiso

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

Nota: Obtenido de NTE E-030, 2019.

Para que una estructura presente un rendimiento sísmico óptimo se evalúan dos alternativas a la hora de realizar un diseño estructural.

La primera es la metodología de diseño tradicional, esta implica la creación de estructuras rígidas, así como dúctiles para introducirse en el rango inelástico; esto es importante porque durante eventos sísmicos, las estructuras están dentro de este rango. Este enfoque de diseño está implementado en diversos sistemas estructurales estandarizados por normativas internacionales; como el sistema de pórticos, muros estructurales, dual, entre otros, que actualmente son los más utilizados.

Es importante resaltar que el diseño convencional abarca numerosas consideraciones igualmente cruciales, como es la selección de materiales, las características de fundación del suelo, la configuración estructural, entre otros. No obstante, el diseño de estructuras para adentrarse en el rango inelástico, crea la posibilidad de ocasionar daños estructurales, cuya aceptabilidad dependerá del uso de la edificación.

Figura 7

Daños estructurales en edificación ubicada en Tacna



Nota: En la imagen se visualiza los efectos en los elementos estructurales posteriores a un evento sísmico. Obtenido de DRM, 2001, CC BY 2.0.

Se tiene una segunda opción, diseño de protección sísmica, la cual está fundamentada en la inclusión de dispositivos que ayudan en la liberación de energía de las estructuras resistentes a sismos. Este enfoque tiene como fin la disminución significativa de la respuesta dinámica ante fuerzas sísmicas en las estructuras, de esta manera reducir las aceleraciones, velocidades y por último los desplazamientos laterales.

Elección del sistema de diseño mediante el equilibrio energético

El contexto de equilibrio energético de una estructura ante sismos hace referencia a la conservación de la energía durante la respuesta sísmica. Las fuerzas actuantes de un sismo a la estructura generan y transfieren diversas formas de energía a través de la misma. La energía en el sistema permanecerá constante si no existe un agente externo que permita su disipación. Dicho agente debe tener la capacidad de aumentar alguna de las energías, amortiguamiento o inelástica, para mejorar el rendimiento estructural de la edificación.

$$E_T = E_K + E_S + E_I + E_\xi$$

Ecuación 9: Balance energético

Donde:

- E_T : Energía de entrante.
- E_s : Energía elástica de deformación.
- E_k : Energía cinética.
- E_ξ : Energía de amortiguamiento.
- E_I : Energía inelástica.

Estas estrategias para mejorar el rendimiento estructural están vinculadas a los sistemas con enfoque sismorresistente mencionados; en otras palabras, incrementar la energía inelástica en busca de mejora de la ductilidad y rigidez de las estructuras, se puede lograr al aumentar las secciones de los elementos ya existentes o incorporando elementos nuevos a la estructura.

Por otro lado, para incrementar la energía de amortiguamiento, se debe incorporar un sistema de reforzamiento estructural. Este sistema posibilita la reducción de la energía que ingresa en las estructuras mediante dispositivos diseñados para liberar energía, generando un aumento significativo del amortiguamiento en la estructura.

Métodos pasivos de control

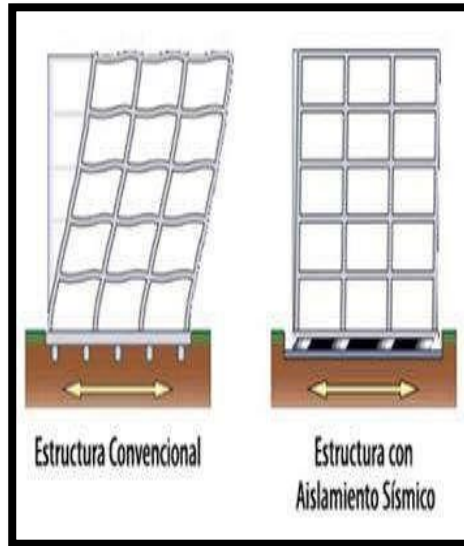
Los métodos pasivos de control son conexiones empleadas en las estructuras con la finalidad de liberar o reducir la energía sísmica. Son conocidos por su capacidad de operar sin necesidad de energía externa para su mantenimiento y demuestran su eficacia en situaciones sísmicas cuando se diseñan adecuadamente.

Se conoce que los sistemas convencionales ante un evento sísmico desarrollan rótulas plásticas, lo que potencialmente amenaza la integridad de los componentes de la estructura; por otro lado, las estructuras que incorporan estos sistemas de control logran que esta funcione dentro del rango lineal elástico frente al surgimiento de un evento sísmico evitando daños de gran envergadura.

Estos sistemas de liberación de energía se dividen en las categorías: amortiguadores de masa, disipadores de energía y aislamiento sísmico.

Figura 8

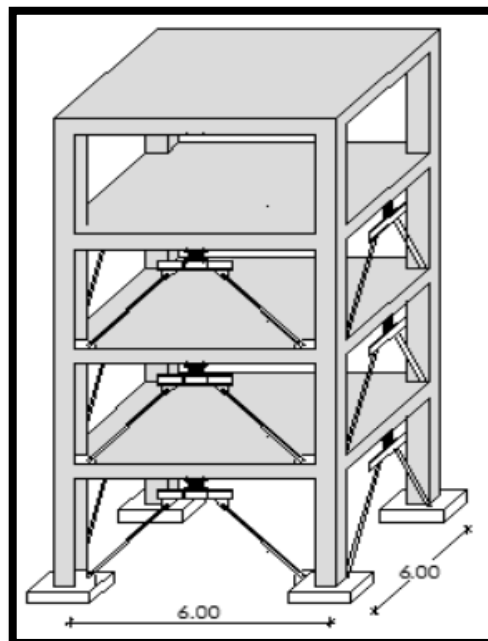
Estructura sin y con aislamiento sísmico



Nota: Se presenta una comparativa entre una estructura convencional y otra que cuenta con aislamiento en la base. Obtenido de: Detek Internacional, S.A, s.f. CC BY 2.0.

Figura 9

Sistema con disipadores de energía



Nota: Edificio conformado por disipadores en disposición diagonal. Tomado de Aguiar, 2016, CC BY 2.0.

Mecanismos de Disipación de energía

Mecanismos pasivos de control que se destacan por asimilar una considerable cantidad de la energía proveniente de sismos ejercidas sobre la estructura, liberando dicha energía transformándola en calor mediante la transmisión de energía. Dichos mecanismos se dividen en tres categorías:

i. Histerético

Estos dispositivos se apoyan en los desplazamientos de la estructura, lo que implica que su notable capacidad de amortiguar se deriva a partir de la plasticidad del acero; provocando fuerzas de torsión, flexión, extrusión o corte.

ii. Dispositivos viscoelásticos

Fueron pioneros en ser utilizados en edificaciones con el fin de mitigar las vibraciones causados por el viento, se caracterizan por tener un material viscoelástico compuesto por láminas metálicas unidas.

Durante las últimas tres décadas, estos dispositivos se han aplicado en diversos desarrollos a nivel global para reducir las respuestas a las fuerzas del viento, en especial en edificaciones de gran altura. Cabe destacar que presentan ciclos histéreticos con forma elíptica.

iii. Fluido Viscoso

El dispositivo se activa cuando el fluido viaja a través de compartimientos que se oponen por orificios reducidos. El fabricante desarrolla las propiedades del disipador de acuerdo a los requerimientos establecidos en el proyecto.

Disipadores de fluido viscoso

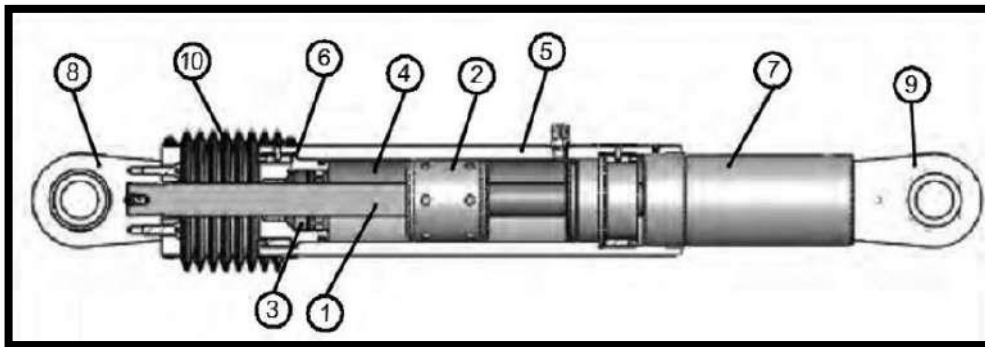
Los dispositivos de fluido viscoso poseen la función de absorber y disipar energía producto de una excitación externa, estos utilizan el fundamento de flujo de fluido convirtiendo

la energía cinética en calor. El dispositivo consta de un cilindro que contiene un fluido viscoso, en su interior se ubica un pistón que se desplaza cuando la estructura presenta acciones sísmicas logrando que la respuesta a sismos de la edificación mejore.

Los disipadores de fluido viscoso presentan la siguiente composición:

Figura 10

Componentes de los disipadores Viscosos



Nota: En la figura se visualiza la conformación de un disipador. Tomado de Tafur, 2018.

Principales objetivos para diseñar un disipador

Amortiguamiento objetivo:

La siguiente expresión evalúa la relación entre la distorsión máxima derivada del análisis y la distorsión objetivo:

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

Ecuación 10: Factor de reducción

Este factor representa la reducción de la respuesta requerida para alcanzar la distorsión planeada. Mediante este cociente B, se puede calcular el amortiguamiento efectivo requerido “Beff” que la edificación debe exhibir para cumplir con la distorsión fijada.

$$B = \frac{2.31 - 0.41\text{Ln}(\beta_0)}{2.31 - 0.41\text{Ln}(\beta_{eff})}$$

Ecuación 11: Amortiguamiento efectivo

El factor “ β_{eff} ” representa el amortiguamiento objetivo que la edificación debe alcanzar con la implementación de los dispositivos de liberación de energía. Dicho amortiguamiento β_{visc} se calcula restando el amortiguamiento intrínseco de la estructura, del valor β_{eff} .

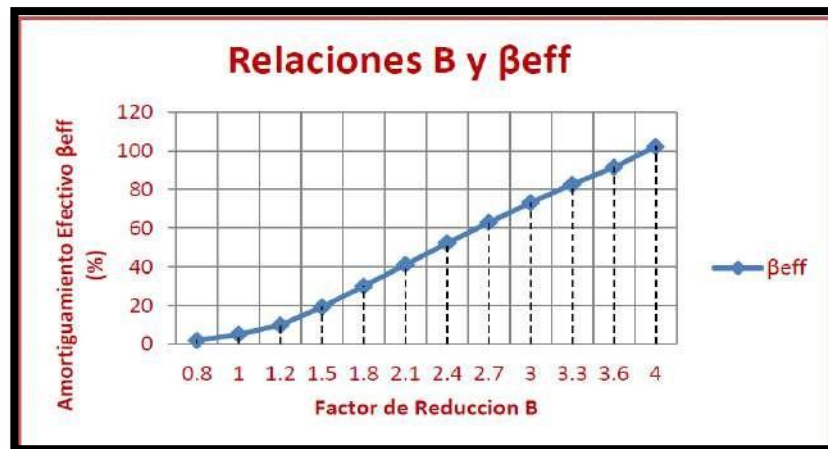
$$\beta_{visc} = \beta_{eff} - 5\%$$

Ecuación 12: Amortiguamiento viscoso

En la siguiente figura se presenta la relación entre factores de reducción B y sus respectivos “ β_{eff} ”.

Figura 11

Relaciones de Factor B y β_{eff}



Nota: Imagen tomada de MLE – HAZUS, s.f.

Propiedades definidas para el dispositivo

Estos dispositivos consisten básicamente en contenedores colmados de un fluido que requieren operar a lo largo de la vida útil de la estructura que están sirviendo. A lo contrario de otras clases de mecanismos, no aumentan significativamente la resistencia del sistema o la rigidez. Asimismo, no introducen fuerzas adicionales al sistema gracias a su comportamiento que está fuera de fase con la estructura.

Fórmula común para dispositivos que involucran fluidos viscosos

La ecuación siguiente expresa la relación que existe entre la velocidad y fuerzas en estos dispositivos:

$$F = CV^\alpha$$

Ecuación 13: Ecuación general

Donde:

α : Coeficiente variable entre 0.4 y 0.6 para edificios.

F: Fuerza de salida

V: Velocidad relativa a través del disipador

C: Factor de amortiguamiento

i. Rigidez del brazo metálico “K”

El conjunto brazo-disipador presenta una rigidez axial que se calcula mediante la siguiente fórmula:

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

Ecuación 14: Rigidez del brazo metálico

Donde:

L: Longitud del brazo metálico

E: Factor de Elasticidad del material

A: Superficie de la sección del brazo metálico

ii. Factor de Amortiguamiento “C”

Suponiendo que, en la estructura, todos los disipadores poseen propiedades idénticas, el cálculo del factor “C” se realiza a través de una aproximación del coeficiente en las fórmulas mencionadas anteriormente.

Amortiguadores lineales:

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

Ecuación 15: Amortiguamiento lineal

Amortiguadores no lineales:

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

Ecuación 16: Amortiguamiento no lineal

El FEMA 273 tiene tabulado valores para λ que responden a la siguiente expresión:

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

Ecuación 17: Valor de λ

iii. Factor de Velocidad “ α ”

La velocidad es una potencia “ α ” que refleja la respuesta del disipador frente a los impactos de velocidad y este factor define el comportamiento histerético de estos.

El dispositivo con $\alpha = 1$, denominado viscoso lineal, exhibe una fuerza de amortiguamiento relacionada a la velocidad relativa. En contraste, los dispositivos viscosos no lineales, con $\alpha < 1$, son eficaces para mitigar impactos de velocidades altas.

Los dispositivos viscosos no lineales suelen tener un valor α en el intervalo de 0.3 a 1.0; no obstante, empresas especialistas en el tema sugieren preferiblemente un intervalo entre 0.4 y 0.5 para edificios con historiales sísmicos.

La siguiente fórmula proporciona el factor de amortiguamiento invariable aplicable a todos los disipadores:

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

Ecuación 18: Factor de amortiguamiento constante

Donde:

β_H : Representa el amortiguamiento viscoso que posee la estructura

El significado de β_H está vinculado al amortiguamiento deseado y se determina a través de los pasos dados:

- Coeficiente de reducción de respuesta (B)

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

Ecuación 19: Factor de reducción

Este valor se obtiene al analizar, tiempo-historia, la estructura

- Amortiguamiento efectivo

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

Ecuación 20: Amortiguamiento efectivo

- Amortiguamiento viscoso de la estructura

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

Ecuación 21: Amortiguamiento viscoso

El amortiguamiento viscoso de la estructura se compone del amortiguamiento efectivo “ β_{eff} ” junto con el amortiguamiento inherente “ β_0 ” de la estructura, que se asume no supera el 5%.

1.4. Antecedentes

- Según Chakraborty & Kumar (2020) en su indagación “Reduction of seismic vibration in multistorey structures retrofitted with nonlinear viscous dampers using mode summation

method” tiene como objetivo ver el efecto de los dispositivos de fluido viscoso no lineales en diversas edificaciones, para eso se compara la respuesta de la estructura con y sin disipadores. Los resultados comprueban que los dispositivos utilizados disipan significativamente la energía de vibración.

- Según De Domenico, Ricciardi, & Takewaki (2019) en su artículo “Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: A review”, indica que los amortiguadores de fluido viscoso son dispositivos de energía suplementaria utilizados para la protección de estructuras ante terremotos; experimentando un creciente interés en las últimas décadas, fundamentalmente debido a su capacidad para mejorar la resistencia sísmica mediante la liberación de energía; la capacidad de desfase fuerzas con los desplazamientos; la posibilidad de incrementar la relación de amortiguación de una estructura sin modificar significativamente las características de rigidez inherentes.

- Según Aguilar & Arias (2019) propone un sistema de reforzamiento de estructuras mediante dispositivos de fluido viscoso para una edificación que ha sido afectado por un sismo en el año 2016, obteniendo una reducción de la deriva máxima de 4.68% a 1.56%. El promedio de la reducción de las derivas obtenidas es 56%, todos los valores están por debajo del límite permitido por la norma NEC15 esto significa que la estructura tendrá un mejor comportamiento antes sismos severos. Por otro lado, se obtuvo un amortiguamiento de 14.88%, valor cercano al utilizado como diseño; esto hace indicio de un incremento de 10% respecto a la estructura original. Por último, se estimó el costo que implica el reforzamiento en la estructura, dando un valor de 206.02\$/m², este valor se debe a las características de los disipadores requeridos siendo la dirección Y la más solicitada con una fuerza de 261.03tn para los disipadores.

- Según Chupica & Ramírez (2022) incorporó en su tesis “Desempeño de un edificio teórico aporticado de 5 pisos con disipadores de fluido viscoso”, un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso a un edificio aporticado de concreto armado

de 5 pisos. Los resultados indican que los disipadores de fluido viscoso no evitan que los elementos estructurales de concreto armado entren en el rango inelástico; sin embargo, estos dispositivos reducen la deriva máxima a 0.005 asegurando una reducción en el daño estructural debido a un sismo severo.

- Según Fernández (2022) analizó una estructura sin y con la adición de disipadores de fluido viscoso con la finalidad de definir la efectividad de los dispositivos en la reacción dinámica de la edificación. Se adicionó un reforzamiento con dispositivos de fluido viscoso debido a que la estructura no cumplía con las derivas máximas permitidas por la norma E.030, resultando en una reducción de 40% de las distorsiones, 33% de reducción en los desplazamientos y 45% en las aceleraciones de cada nivel.

- Según Condo & Luque (2021) hace una comparativa del diseño y análisis de una edificación convencional frente a un edificio con disipadores de fluido viscoso. Considerando que ambas estructuras fueron diseñadas con una deriva máxima de 0.0069, se obtuvo como resultados una reducción de la fuerza cortante basal en 28.8% y 38.1% en la dirección X e Y respectivamente. Así mismo, se evaluó los costos de cada estructura obteniendo que el presupuesto total para la edificación con disipadores de fluido viscoso representa un 22.33% frente al edificio convencional, además se concluye que el edificio con disipadores no va necesitar reparaciones después de un sismo severo. Por último, se estimó el tiempo de ejecución de obra de ambas estructuras, siendo un total de 288 días calendario para el edificio convencional y 221 días calendario para la edificación con disipadores de fluido viscoso.

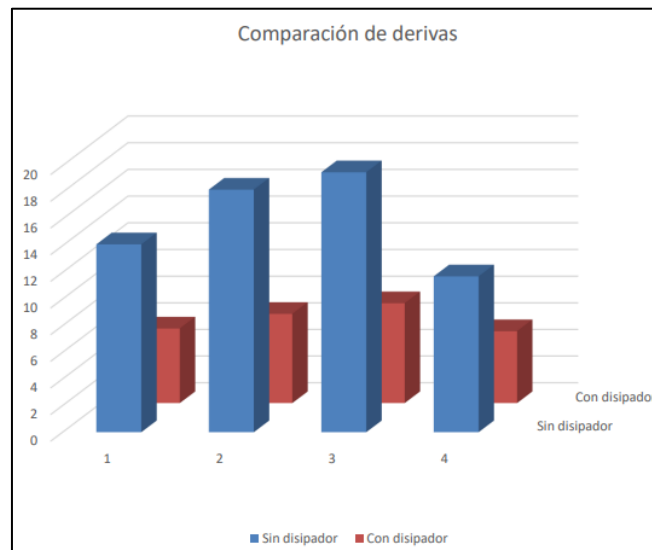
- Según Moreno (2021) evalúa el comportamiento no lineal de una estructura esencial con la integración de disipadores de fluido viscoso con la finalidad de aminorar las distorsiones máximas y así mejorar el desempeño sísmico. Se logró reducir las distorsiones un 74% y 75% en las direcciones X, Y respectivamente, la mayor distorsión obtenida fue 3.36%. Esto

evidencia la eficiencia de los disipadores para disipar la energía de la estructura frente a acciones sísmicas severas.

- Según Apaza (2021) menciona que la actividad sísmica ha ido en crecimiento en los últimos años provocando daños estructurales en las edificaciones debido a que estas entran en el rango inelástico. Con el fin de disminuir los daños a las estructuras se busca aplicar un reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso al Palacio Municipal en el departamento de Arequipa. Se observa que la estructura presenta una deriva de entrepiso que excede lo determinado por el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE). En los resultados se observa una disminución de los desplazamientos provocados por las solicitaciones sísmicas y una reducción en la deriva máxima en la dirección Y disminuye de 0.0186 a 0.0075; además resalta que el costo de la incorporación de este tipo de reforzamiento será 95.32 \$/m².

Figura 12

Cuadro de barras de las derivas del palacio municipal con y sin disipador



Nota: Obtenido de Apaza, 2021.

Se deduce que la aplicación de los disipadores de fluido viscoso fue el correcto ya que mejoró el comportamiento estructural del Palacio Municipal minimizando esfuerzo de corte y el momento flector máximo en los pórticos donde se decidió colocar los disipadores.

- Cieza (2020) evaluó el desempeño sísmico de una edificación multifamiliar de 15 niveles con la incorporación de disipadores de fluido viscoso en dos disposiciones diferentes: Diagonal y Chevron. Se obtuvieron resultados favorables para el desempeño sísmico, se redujeron los desplazamientos laterales, fuerzas cortantes y momentos flectores de los elementos estructurales; así como las distorsiones de entrepiso. Para la disposición diagonal se obtuvo una reducción en las derivas de 50% para la dirección X y 69% para la dirección Y; por otro lado, para la disposición Chevron se redujo la deriva en 54% en la dirección X y en la dirección Y una reducción de 73%.

- Miranda & Ontiveros (2020) realiza una comparación en términos de rendimiento sísmico de una estructura de viviendas multifamiliar al integrar disipadores Taylor y Shear Link Bozzo, obteniendo los siguientes resultados: Los disipadores Shear Link Bozzo obtuvieron una máxima deriva de 0.0061 para la dirección X correspondiente a una disminución del 36.85% respecto a la inicial; para la dirección Y, una máxima distorsión de 0.00577 correspondiente a una reducción del 23.98% de la estructura original. Así mismo, el presupuesto total para este sistema es S/ 268,681.03. Los disipadores Taylor obtuvieron una máxima deriva de 0.00649 para la dirección X correspondiente a una disminución del 21.14% de la inicial, para la dirección Y una máxima deriva de 0.00675 correspondiente a una reducción del 14.45% de la estructura original. Así mismo, el presupuesto total para este sistema es S/ 1,162,866.00.

- Tiese & Zevillanos (2019) evalúa un edificio asimétrico de 12 niveles el cual presenta irregularidad torsional, con el propósito de mejorar su comportamiento sísmico se busca un control de respuesta con la inclusión de disipadores de fluido viscoso. Los resultados finales muestran una reducción en la derivas, desplazamientos y aceleraciones; en el caso de las derivas una reducción promedio de 52.51% en X y 19.97% en Y. La incorporación de disipadores eliminó la irregularidad torsional sin la necesidad de aumentar la rigidez a la

estructura, sino basándose en la reducción de desplazamientos en determinados puntos que permitan minimizar la torsión.

- Según Otiniano (2019) seleccionó una edificación de concreto armado de 9 niveles con una deriva máxima de 0.00911, la cual supera el límite permisible por la norma E.030. Se incorpora disipadores con la finalidad de mejorar el desempeño sísmico obteniendo una disminución de la máxima deriva en la dirección X a 0.0041 y en la dirección Y a 0.0038, términos generales se aminora un promedio de 55.8% a 58.4% las distorsiones de entrepiso; así mismo, estos dispositivos logran liberar hasta un 74.45% la energía producto de un sismo severo.

- Según Rojas (2019) tiene como propósito realizar el análisis del comportamiento estructural de una edificación de 5 pisos debido a un cambio de uso aplicando disipadores de fluido viscoso; para ello se realizó un análisis tiempo – historia de la estructura con disipadores viscosos obteniendo una reducción en los máximos desplazamientos tanto en el eje X-X con un 55.80% y en el eje Y-Y con un 58.78%; así mismo, las derivas de entrepiso también presentaron una reducción en la dirección X-X de 6.44% y en el eje Y-Y de 53.69% en el último piso.

Figura 13

Distorsiones en el eje X con y sin disipadores

Eje X-X						
Piso	Altura (m)	Aporticado	%	Disipador	%	Diferencia %
Piso 5	16.5	0.00466	100%	0.004360	93.56%	6.44%
Piso 4	13.5	0.01134	100%	0.005420	47.80%	52.20%
Piso 3	10.5	0.01260	100%	0.005140	40.79%	59.21%
Piso 2	7.5	0.01506	100%	0.005460	36.25%	63.75%
Piso 1	4.5	0.01656	100%	0.006600	39.86%	60.14%
Base	0	-	-	0.0000	-	-

Nota: Obtenido de Rojas, 2019.

Figura 14

Distorsiones en el eje Y con y sin disipadores

Eje Y-Y						
Piso	Altura (m)	Aporticado	%	Disipador	%	Diferencia %
Piso 5	16.5	0.009220	100%	0.004270	46.31%	53.69%
Piso 4	13.5	0.003340	100%	0.001733	51.87%	48.13%
Piso 3	10.5	0.003240	100%	0.002923	90.20%	9.80%
Piso 2	7.5	0.011800	100%	0.004183	35.44%	64.56%
Piso 1	4.5	0.015400	100%	0.003453	22.42%	77.58%
Base	-	-	-	-	-	-

Nota: Obtenido de Rojas, 2019.

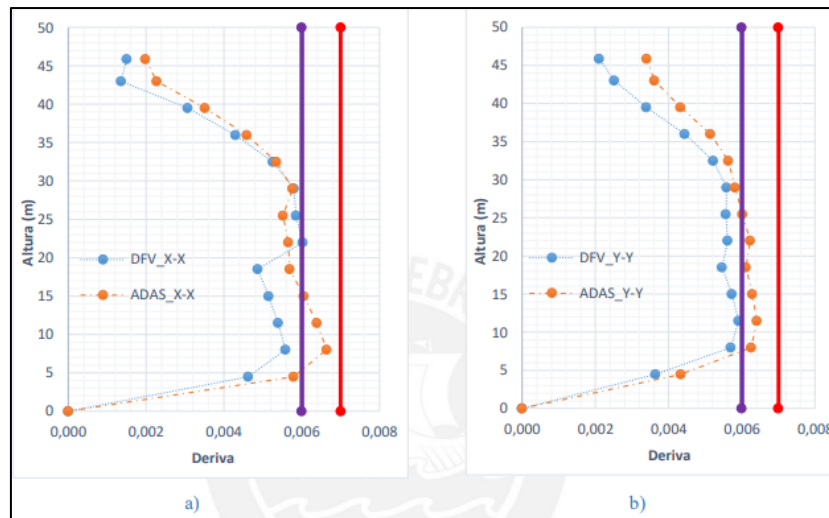
El empleo de los disipadores viscosos resolvió los problemas estructurales potenciales que se pueden derivar de la nueva carga adicional; así mismo ayudó a cumplir con las derivas determinadas por la normativa E.030 RNE, lo cual garantiza que la edificación presente un correcto comportamiento estructural.

Por último, se recomienda tener los datos de los sismos de acuerdo al tipo de suelo de la fundación para realizar un análisis tiempo - historia, adicionalmente se debe instalar los disipadores en aquellas áreas donde la estructura experimenta los desplazamientos más importantes con la finalidad de obtener resultados más efectivos.

- Según Narváez (2019) muestra las ventajas de emplear los disipadores histeréticos y de fluido viscoso en una edificación de 12 niveles. Se realizó la evaluación de las propiedades mecánicas y principios de cada disipador; así como el comportamiento estructural de la edificación con la aplicación de estos bajo solicitaciones sísmicas con periodos de retorno de 2475 años, se busca lograr con las aplicaciones de los disipadores una deriva objetivo de 6%. Se obtuvo que la edificación con disipadores de fluido viscoso alcanza la deriva objetivo, con una reducción del 50%. Por otro lado, la aplicación de disipadores histeréticos aumentó las secciones de los elementos estructurales cumpliendo con la normativa E.030 mas no con la deriva objetivo.

Figura 15

Distorsiones comparadas entre DFV Vs ADAS en el a) sentido X-X y b) sentido Y-Y



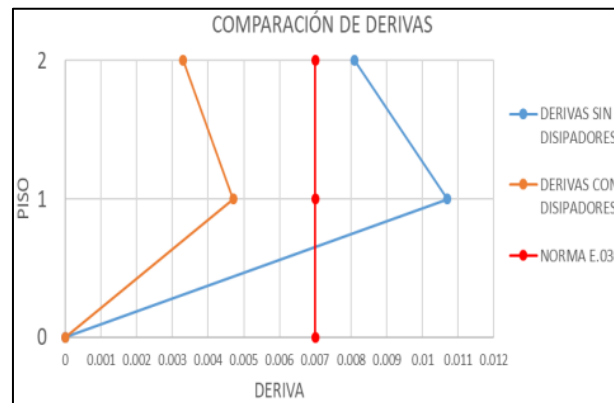
Nota: Obtenido de Narváez, 2019.

Se concluye que los disipadores de fluido viscoso demuestran un mejor control de derivas, un mayor amortiguamiento y una mejor disipación de energía respecto a los histeréticos; por otro lado, se observa que los disipadores histeréticos resulta ser una alternativa más económica frente a los de fluido viscoso.

- Según Hernández & Montesinos (2019) analiza la estructura de un centro educativo con y sin el uso de disipadores de fluido viscoso con la finalidad de usarlo como sistema de protección sísmica. Se plantea la implementación de disipadores viscosos para reducir las derivas, los desplazamientos laterales, los momentos flectores y las fuerzas cortantes de la estructura buscando así cumplir con la norma peruana actual.

Figura 16

Comparativa de derivas antes y después de la incorporación de disipadores de energía



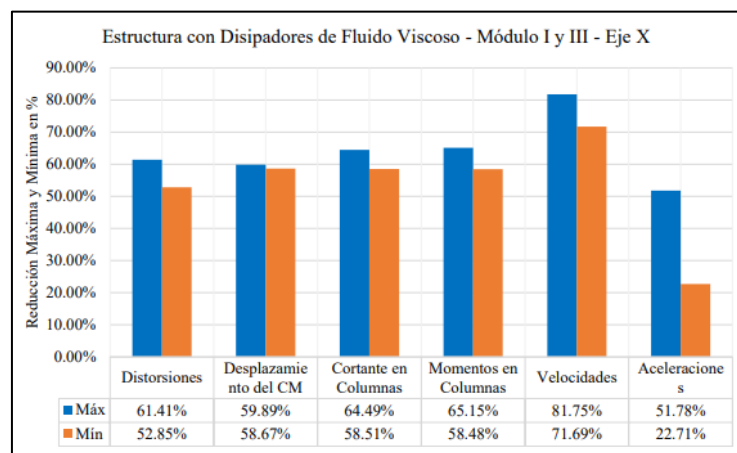
Nota: Obtenido de Hernández & Montesinos, 2019.

Se observó una reducción en las derivas del 59% para el segundo piso y del 56% para el primero.

- Según Cuyán (2020) centró su evaluación en el comportamiento estructural y sísmico del edificio, inicialmente conforme a la normativa vigente y luego tras la introducción de disipadores de fluido viscoso, midiendo su eficacia según los estándares de la normativa ASCE 7-10. Los hallazgos indicaron una reducción significativa, entre un 52.85% y 81.49%, en los desplazamientos laterales con la adición de los disipadores de fluido viscoso, destacando además la relativa rapidez en su instalación.

Figura 17

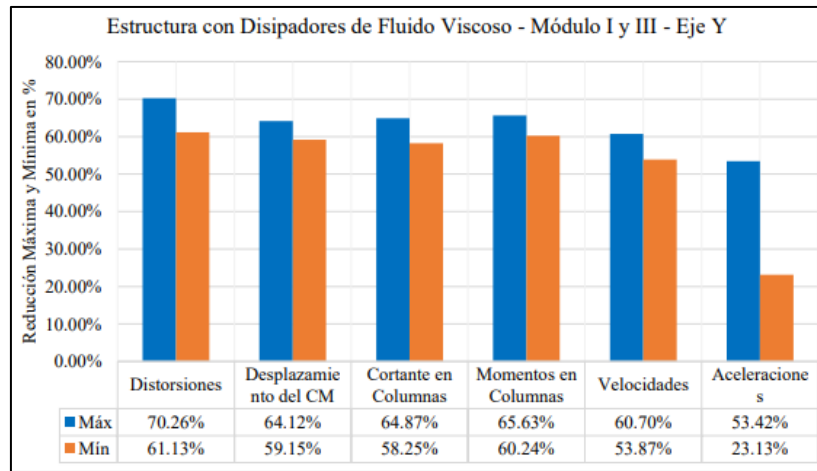
Estructura con dispositivos de fluido viscoso en dirección X



Nota: Obtenido de Cuyán, 2020.

Figura 18

Estructura con dispositivos de fluido viscoso en dirección Y



Nota: Obtenido de Cuyán, 2020.

Se deduce que al incorporar los disipadores de fluido viscoso se ofrecen resultados altamente beneficiosos; lo que los convierte en una opción completamente adecuada para el refuerzo estructural. Además, su sencilla implementación aumenta su viabilidad

- Según Casana (2018) implementa disipadores de fluido viscoso en un hotel de 14 niveles con la finalidad de mejorar su respuesta sísmica. Se logra satisfacer los requerimientos estructurales, el desempeño sísmico cumple con los límites permisibles de la normativa E.030 y los elementos estructurales presentan una reducción de las fuerzas actuantes sobre los mismos.

- Según Navarro (2017) compara las respuestas dinámicas de una edificación con disipadores de fluido viscoso incorporados y sin los mismos. La incorporación de estos dispositivos disminuye los desplazamientos máximos de la estructura en un 44%, la reducción de las distorsiones de entrepiso desde un 43% hasta un 45% y una reducción de las fuerzas cortantes en los elementos estructurales.

- Según Huerta (2017) evalúa la influencia de los disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico de la edificación, esta estructura presenta una deriva máxima de

entrepiso inicial de 0.0085. Los disipadores incorporados disminuyen la deriva máxima de entrepiso en el eje X hasta un 33.35% y en el eje Y del 6.54%. La investigación concluye que el sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico, produciendo una mejora frente a un sismo severo; además, esta solución reduce los costos en reparación ya que se reduce el daño a la estructura proveniente de sollicitaciones sísmicas.

- Según Alvarez (2017) evaluó tres edificaciones con la adición de disipadores de fluido viscoso para el control de la respuesta sísmica. Se logró controlar las distorsiones máximas de cada edificación manteniéndolas por debajo del límite permisible por la norma E.030; así mismo, se disminuyó los esfuerzos de corte y momentos flectores en las columnas y vigas. Existe tres parámetros principales que definen el comportamiento de los disipadores; el primero es el exponente de no linealidad, el segundo es el amortiguamiento requerido por los dispositivos y tercero la rigidez del brazo metálico. Finalmente, se concluye que una adecuada metodología permite realizar el análisis y diseño óptimo de los disipadores.

Definiciones

Análisis Sísmico Estático: Representa todas aquellas acciones sísmicas por medio de un grupo de fuerzas horizontales que operan en cada nivel.

Análisis Sísmico Dinámico: Engloba el análisis de los desplazamientos, fuerzas, aceleraciones y velocidades que surgen en una estructura.

Análisis modal: Según (Departamento de Ingeniería mecánica, 2015) es el proceso que consiste en identificar las propiedades dinámicas propias de un sistema mecánico, este paso es primordial para luego crear un modelo matemático que defina el comportamiento dinámico de dicho sistema.

Comportamiento Estructural: Es el estudio de la estructura de una edificación con el fin de determinar la susceptibilidad a posibles daños funcionales.

Cortante Basal: Se trata de aquella fuerza de respuesta que surge en todos los marcos que comprende la estructura y se localiza en la base.

Colapso: La estructura experimenta una pérdida significativa o total de su rigidez y resistencia original.

Ductilidad: Capacidad que posee una estructura para experimentar deformaciones plásticas en respuesta a una sollicitación. Esta es una propiedad propia de los materiales de la estructura, ya que liberan energía de manera inelástica bajo cargas severas.

Deriva de entrepiso: Resultante de la división de la discrepancia entre los desplazamientos laterales totales de dos pisos adyacentes por la distancia vertical o altura libre.

Desplazamiento de diseño: Desplazamiento lateral ante un sismo de diseño excluyendo el desplazamiento por torsión, empleado en el diseño del sistema de aislamiento.

Fallo/a: Representa la pérdida de la capacidad de un componente o de las estructuras para cumplir una función requerida.

Frecuencia: Cantidad que indica un número de repeticiones por unidad de tiempo de un fenómeno o suceso periódico.

Grados de libertad: Representa el conjunto mínimo de variables necesarios para definir de manera única la figura deformada de la estructura. Estas variables se relacionan con las rotaciones y traslaciones libres en cada uno de los nodos de la edificación.

Periodo fundamental de vibración: Corresponde al menor intervalo de tiempo en el cual la vibración se reproduce de manera idéntica a su propio patrón.

Rigidez: Capacidad de un componente estructural para resistir fuerzas sin experimentar desplazamiento y/o deformaciones significativas.

Refuerzo estructural: Prácticas y aplicaciones de diversos materiales con el objetivo de mejorar la resistencia de una estructura para prever los posibles efectos causados por un fenómeno.

Sismo: Se refiere a aquellos movimientos abruptos que ocurren en la corteza terrestre como resultado de la liberación súbita de energía en el interior de la Tierra o a la tectónica de placas.

1.5. Objetivos

1.5.1. Objetivo general

Determinar la influencia del sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

1.5.2. Objetivos específicos

Evaluar de acuerdo a la normativa vigente el comportamiento sísmico actual del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

Determinar la metodología para seleccionar y aplicar los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

Determinar la influencia del sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

1.6. Hipótesis

La hipótesis representa las proposiciones que se buscan confirmar y se definen como posibles explicaciones del fenómeno que se está investigando.

1.6.1. Hipótesis general

El sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso mejora el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

1.6.2. Hipótesis específicas

La evaluación de acuerdo a la normativa vigente determina el comportamiento sísmico actual del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

La metodología utilizada influye en la selección y aplicación de los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

El sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023.

1.7. Importancia y Justificación del Estudio

Se conoce que el departamento de Lima lleva varios años sin presentar un sismo de gran magnitud, lo cual implica una acumulación de mucha energía que podría ser liberada en cualquier momento causando daños en la infraestructura y pérdidas de vidas humanas. Lima ha sufrido un aumento en su población respecto al último sismo registrado de gran magnitud, lo cual ha generado construcciones de viviendas en desorden y sin la supervisión de un profesional; esto sumado a la corrosión, el cambio de uso de la edificación o el incremento en las cargas iniciales de diseño y los diversos efectos ambientales produce un diseño estructural o construcción deficiente. Así es como nace la necesidad de buscar alternativas de reforzamiento que permitan acrecentar el desempeño de las estructuras con la finalidad de reducir significativamente los gastos en reparación post sismo y evitar la pérdida de vidas humanas.

Por ello, se propone un sistema de reforzamiento estructural en edificaciones catalogadas, de acuerdo a la norma E.030, como esenciales en una de las zonas de mayor sismicidad en el

Perú, como lo es Lima. Estas edificaciones pueden albergar una gran cantidad de personas por la cual es importante preservar su integridad, además que pueden servir como refugio temporal en una situación post sismo. Por ello, se busca dar a conocer a la población la utilidad de los disipadores de fluido viscoso como refuerzo de estructuras ya que este tiene pocos años siendo aplicado en el país.

El proyecto de investigación busca brindar seguridad a la población ante un evento sísmico, por ello se quiere dar a conocer el comportamiento estructural, debido a este fenómeno, del Palacio Municipal y la aplicación de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento con el fin de reducir las pérdidas de vidas humanas y costos en reparaciones.

De igual manera, lo relevante de este estudio, está basado en la contribución a guiar a las familias y la sociedad en la implementación de medidas adecuadas y prevención; también llegar a conclusiones que puedan aportar a investigaciones futuras.

1.8. Limitación del Estudio

Debido a que no se cuenta con ensayos de suelos para verificar las condiciones de cimentación de la estructura, ni pruebas de esclerometría para verificar la resistencia del estado actual del concreto; se tomará las características iniciales de diseño para el desarrollo de esta investigación.

Se presenta un difícil acceso a laboratorios en óptimas condiciones, con el fin de realizar ensayos en una mesa sísmica, lo que impide observar el desempeño de los disipadores en la estructura.

CAPÍTULO II: METODOLOGÍA

2.1 Tipo de investigación

La investigación aplicada se centra en trasladar a la práctica las teorías, investigaciones, hallazgos y descubrimientos; para solucionar las necesidades o problemas que puedan aquejar a una población. Esta investigación es de naturaleza aplicada dado que se basa en investigaciones que permiten dar fundamento y brindar una solución directa a las hipótesis planteadas.

Los análisis cuantitativos son aquellos que se comprenden a través de la evaluación de las hipótesis iniciales y los estudios teóricos previos. La interpretación de los resultados proporciona una explicación sobre cómo estos se ajustan al conocimiento existente.

Esta investigación tiene un enfoque cuantitativo; siendo este secuencial y probatorio porque es necesario la recopilación de datos para verificar las hipótesis, basado en los instrumentos para la medición de las variables.

El alcance será explicativo; como su nombre lo indica, se centra en la explicación del por qué sucede un fenómeno y en qué situaciones este se presenta o por qué se relacionan dos o más variables; por lo cual se dará medida a los fenómenos y condiciones de la edificación, de acuerdo a los instrumentos de investigación.

El concepto de experimento posee al menos dos significados, uno general y otro específico. En un sentido general, se relaciona con la idea de “elegir o realizar una acción” y luego observar las consecuencias. En su esencia, esta noción de experimento implica la manipulación intencional de una acción con el propósito de analizar sus posibles resultados.

La investigación será de tipo cuasi experimental, con lo resultados obtenidos de los instrumentos utilizados se procede a responder las preguntas de investigación, explicar los fenómenos y condiciones de la edificación y verificar las hipótesis planteadas.

2.2 Población y muestra

Para seleccionar una muestra, el primer paso implica la definición de la unidad de muestreo o análisis, una vez que se ha establecido esta unidad, se procede a delimitar la población.

Población

La población de interés abarca todos los casos que cumplen con un conjunto específico de criterios, está compuesto por las edificaciones identificadas que cumplen los lineamientos de acuerdo a la Normativa Técnica E.030 Diseño Sismorresistente para definir las como esenciales.

Muestra

Se seleccionó la muestra en base a un muestreo no probabilístico de tipo intencional o por conveniencia, donde se eligió un sub grupo de la población basándose no en la probabilidad sino de las propiedades de la investigación, para ello se recurrió al Juicio (Ver anexo) del Ing. Juan Nuñez, experto en el diseño de estructuras con dispositivos de disipación de energía.

La muestra consideró al Palacio Municipal en el distrito de Oyon ya que esta cumple con las condiciones establecidas por el experto.

2.3 Técnicas e instrumentos de recolección y análisis de datos

2.3.1 Técnicas de recolección y análisis de datos

Según Guevara & Torres (2012) utilizó “la observación como método para recopilar y analizar datos, obteniendo información de un edificio de 7 niveles. Durante esta observación, se notó que la estructura superaba el límite de deriva permitido según la norma NTE E.030. A esta estructura cual se aplicó los dispositivos de disipación sísmica con la finalidad de mejorar su comportamiento sísmico para cumplir con los parámetros establecidos en la normativa.”

Según Carranza & Calderon (2015) consideró en su investigación “como una técnica para recolectar y analizar datos a la observación directa. Obtuvo información de una edificación en la ciudad de Trujillo, en la cual se evaluó su comportamiento sísmico observándose una deriva mayor al límite permitido por la norma. La aplicación de disipadores de fluido viscoso muestra que la edificación presenta un mejor comportamiento sísmico ante un sismo severo que una edificación sin este reforzamiento.”

La técnica para recopilar incluye métodos y actividades diseñados para obtener toda la información requerida para contestar a las interrogantes de la investigación.

La técnica de observación son procedimientos utilizados por el investigador para recolectar datos de un fenómeno, esto se realiza presenciando directamente sin intervenir ni modificar el ambiente. De acuerdo a las investigaciones mencionadas y lo definido anteriormente se puede dar por válida el uso de la observación directa como método de recolección y análisis de datos para esta investigación.

2.3.2 Instrumentos

Según Contreras & Morales (2012) utilizó como instrumentos para su investigación el software ETABS para estudiar el desempeño sísmico de la estructura y una ficha técnica para recolectar los datos obtenidos de dicha evaluación.

Según Otiniano (2019) utilizó “el software ETABS como herramienta para analizar la respuesta sísmica de un edificio de concreto armado equipado con disipadores de fluido viscoso. En este proceso, empleó el software SEISMOSIGNAL para corregir los registros sísmicos y SEISMOMATCH para ajustar el espectro de diseño. Además, se apoyó en una ficha técnica para organizar los datos recopilados.”

Los instrumentos se definen como los medios o materiales empleados para recoger y almacenar los datos investigados; estos pueden ser fichas de recolección, guías, opiniones, etc.

De acuerdo a las investigaciones mencionadas y a la definición previa se puede validar como instrumentos al software ETABS, el programa SEISMOSIGNAL, SEISMOMATCH y la ficha de recolección de datos (Ver anexos) para realizar esta investigación.

2.3.3 Aspectos éticos

El propósito de esta investigación es aportar a futuras investigaciones sobre la utilización de disipadores de fluido viscoso como un sistema de reforzamiento estructural, respetando las citas y aportes de diversas fuentes bajo el formato de la normativa APA. Se garantiza que la información brindada se trabajó con total transparencia para evitar modificar o alterar los resultados de los diferentes análisis en beneficio propio; por lo cual los resultados obtenidos serán de total confianza para su aplicación y difusión.

2.4 Desarrollo de la investigación

Se desarrollará las características generales del palacio municipal a continuación:

- Ubicación del proyecto

La edificación a evaluar, construida en el año 2012, está ubicada en el distrito de Oyon en el departamento de Lima como se puede visualizar en la figura N°19 de acuerdo al mapa satelital.

Figura 19

Ubicación del palacio municipal



Nota: En la figura se visualiza la posición por satélite del palacio Municipal el cual se encuentra en el distrito de Oyón. Tomado de Google Maps, 2023, de dominio público.

- Descripción arquitectónica existente

El uso del edificio es palacio municipal, este tiene un área construida de 512 m² aproximadamente además cuenta con 1 sótano y 4 niveles los cuales están destinados para diversos usos. La altura de entre pisos es típica siendo así de 3.00 m de altura. La distribución de la planta se muestra en los planos (véase anexo).

Tabla 9

Datos generales del proyecto

Datos Generales		
Función/Us	Palacio Municipal	
Ubicación	Distrito de Oyon, Lima	
Niveles	1 sótano y 4 niveles	
Área	Sótano	496.7 m ²
	1° Piso	496.7 m ²
	2° Piso	535.14 m ²
	3° Piso	535.14 m ²
	4° Piso	513.88 m ²

Nota: Elaboración propia

Tabla 10

Materiales del proyecto

Materiales		
Concreto	Resistencia a la compresión	$f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
	Peso por unidad de volumen	$\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
	Módulo de elasticidad	$E_c = 218820 \text{ kg/cm}^2$
	Módulo de poisson	$\nu = 0.20$
Acero de refuerzo	Esfuerzo de fluencia	$f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
	Módulo de elasticidad	$E_s = 210000 \text{ kg/cm}^2$

Nota: Elaboración propia

Tabla 11

Cargas consideradas del proyecto

Cargas Consideradas	
Piso Terminado	100 kg/m ²
Tabiquería	100 kg/m ²
Sobre carga (Piso típico)	250 kg/m ²
Sobre carga (Techo)	100 kg/m ²

Nota: Elaboración propia

2.4.1 Objetivo específico 1

La revisión estructural del edificio municipal se hará mediante el programa ETABS, el modelo realizado en dicho programa no consideró el sótano para el modelo puesto que solamente se realizará un análisis y no un diseño de los componentes estructurales, dada la condición de ser una edificación existente.

Agrietamiento para las secciones de concreto armado

La norma NTE E.060 en su artículo 10.11.1 permite usar las siguientes propiedades para un análisis estructural:

Figura 20

Factores de agrietamiento

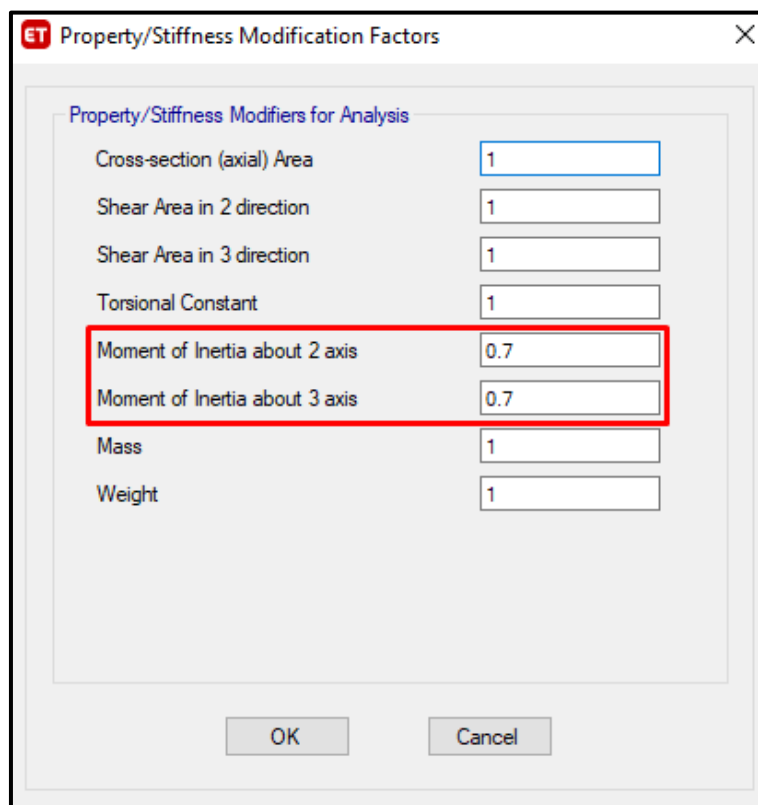
(a)	Módulo de elasticidad	E_c de 8.5.1
(b)	Momentos de inercia, I	
	Vigas	0,35 I_g
	Columnas	0,70 I_g
	Muros no agrietados	0,70 I_g
	Muros agrietados	0,35 I_g
	Losas planas sin vigas.....	0,25 I_g
(c)	Área	A_g

Nota: En la figura se muestran los factores de agrietamiento para elementos estructurales. Obtenido de NTE E-060, 2009.

Se asignó los factores en cada elemento estructural de la edificación.

Figura 21

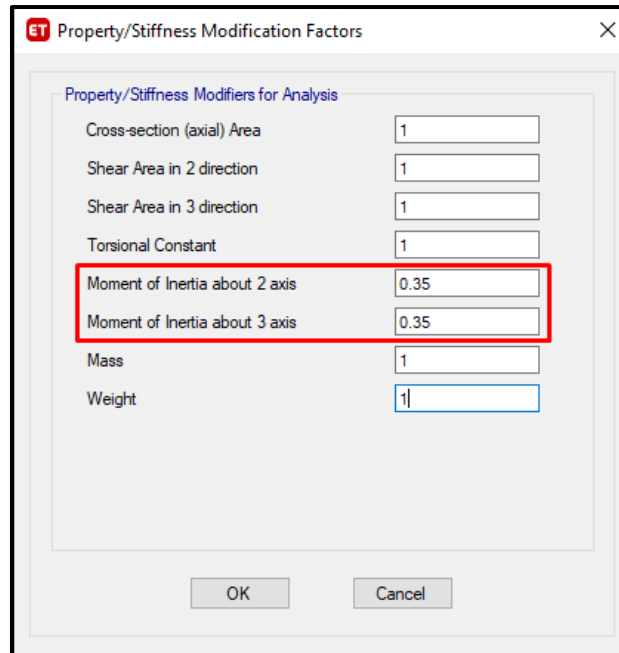
Asignación de agrietamiento para columnas



Nota: En la figura se visualiza la asignación del factor de agrietamiento en las columnas. Elaboración propia.

Figura 22

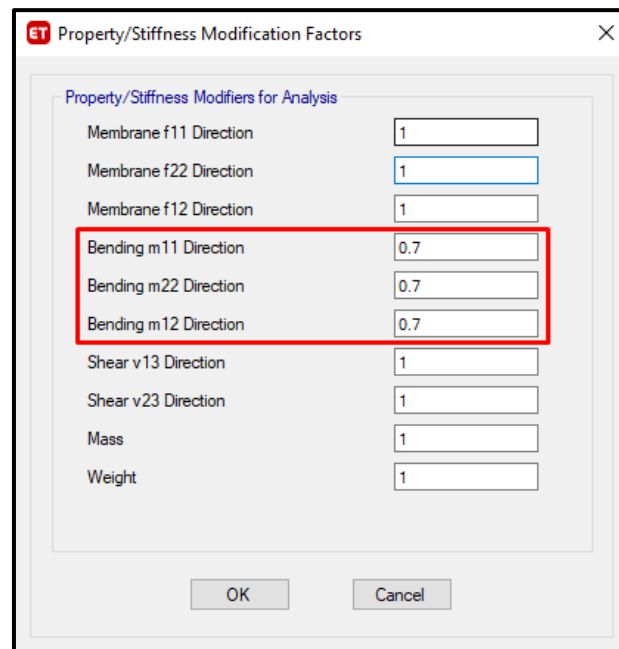
Asignación de agrietamiento para vigas



Nota: En la figura se visualiza la asignación del factor de agrietamiento en las vigas. Elaboración propia.

Figura 23

Asignación de agrietamiento para muros



Nota: En la figura se visualiza la asignación del factor de agrietamiento en los muros de concreto armado. Elaboración propia.

Parámetros sísmicos de acuerdo a la NTE E.030

- Zonificación:

De acuerdo a la normativa el departamento de Lima comprende dos zonas sísmicas, siendo estas: la zona 3 y zona 4. Para este presente estudio, el edificación está situada en la provincia Oyon, distrito de Oyon correspondiendo un factor $Z=0.35$.

Figura 24

Coefficiente de zonificación del palacio municipal

REGIÓN (DPTO.)	PROVINCIA	DISTRITO	ZONA SÍSMICA	ÁMBITO
LIMA	CAJATAMBO	CAJATAMBO	3	CINCO DISTRITOS
		COPA		
		GORGOR		
		HUACAPÓN		
		MANAS		
	OYÓN	ANDAJES	3	TODOS LOS DISTRITOS
		CAUJUL		
		COCHAMARCA		
		NAVÁN		
		OYÓN		
		PACHANGARA		
		ALIS		
		AYAUCA		
		AYAVIRI		
		AZÁNGARO		
		CACRA		
		CARANIA		
		CATAHUASI		
		CHOCOS		
		COCHAS		
	COLONIA			
	HONGOS			
	HUAMPARA			
	HUANCAYA			
	HUANGÁSCAR			

Nota: En la figura se muestra la zona sísmica del palacio Municipal ubicado en el distrito de Oyon, departamento de Lima. Obtenido de NTE E-030, 2019.

- Factor de uso:

El palacio municipal está categorizado como una edificación esencial, por lo que es factor de uso correspondiente es 1.5.

Figura 25

Factor de uso de palacio municipal

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A Edificaciones Esenciales	A1: Establecimientos del sector salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales para el manejo de las emergencias, el funcionamiento del gobierno y en general aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre. Se incluyen las siguientes edificaciones: <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, estaciones ferroviarias de pasajeros, sistemas masivos de transporte, locales municipales, centrales de comunicaciones. - Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. - Instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. - Edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. - Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado. 	1,5

Nota: En la figura se muestra la zona sísmica del palacio Municipal ubicado en el distrito de Oyon, departamento de Lima. Obtenido de NTE E-030, 2019.

- Coeficiente de suelo:

El perfil de suelo para el palacio municipal es intermedio (S₂) y de acuerdo a la zona, le corresponde un factor de suelo 1.15

Figura 26

Factor de suelo de palacio municipal

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

Nota: En la figura se observa el factor de suelo del palacio Municipal ubicado en el distrito de Oyon, departamento de Lima. Obtenido de NTE E-030, 2019.

De acuerdo al tipo de suelo se determina el periodo T_P (este delimita la base del coeficiente C) y T_L (este delimita el principio de la zona del coeficiente C)

Figura 27

Periodos T_P y T_L

Tabla N° 4 PERÍODOS " T_P " Y " T_L "				
	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T_P (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T_L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

Nota: En la figura se muestra los periodos de suelo del palacio Municipal ubicado en el distrito de Oyon, departamento de Lima. Obtenido de NTE E-030, 2019.

- Coeficiente de amplificación sísmica:

Se determina el periodo de vibración con la siguiente expresión

$$T = \frac{hn(\text{altura total})}{C_t(\text{coeficiente})}$$

Ecuación 22: Periodo fundamental de vibración

El valor C_T es 60 de acuerdo a la normativa.

Figura 28

Factor C_T

$C_T = 35$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente: a) Pórticos de concreto armado sin muros de corte. b) Pórticos dúctiles de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramiento.
$C_T = 45$	Para edificios cuyos elementos resistentes en la dirección considerada sean: a) Pórticos de concreto armado con muros en las cajas de ascensores y escaleras. b) Pórticos de acero arriostrados.
$C_T = 60$	Para edificios de albañilería y para todos los edificios de concreto armado duales, de muros estructurales, y muros de ductilidad limitada.

Nota: En la figura se muestra el valor de C_T para edificaciones de muros estructurales. Obtenido de NTE E-030, 2019.

Figura 29

Coefficiente de amplificación sísmica

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

Nota: En la figura se muestra el valor de CT para edificaciones de muros estructurales. Obtenido de NTE E-030, 2019.

De acuerdo a las condiciones de la figura N°25 y los periodos obtenidos anteriormente se define el coeficiente de amplificación sísmica en 2.5.

- Coeficiente básico de reducción

EL sistema estructural de la edificación son muros estructurales de concreto armado, por ello tiene un coeficiente de 6.

Figura 30

Coefficiente básico de reducción

Tabla N° 7	
SISTEMAS ESTRUCTURALES	
Sistema Estructural	Coefficiente Básico de Reducción R_0 (*)
Acero:	
Pórticos Especiales Resistentes a Momentos (SMF)	8
Pórticos Intermedios Resistentes a Momentos (IMF)	5
Pórticos Ordinarios Resistentes a Momentos (OMF)	4
Pórticos Especiales Concéntricamente Arriostrados (SCBF)	7
Pórticos Ordinarios Concéntricamente Arriostrados (OCBF)	4
Pórticos Excéntricamente Arriostrados (EBF)	8
Concreto Armado:	
Pórticos	8
Dual	7
De muros estructurales	6
Muros de ductilidad limitada	4
Albañilería Armada o Confinada	3
Madera	7(**)

Nota: En la figura se observa el valor de R_0 para el sistema estructural de estudio. Obtenido de NTE E-030, 2019.

- Irregularidad en altura

De acuerdo a la normativa se verificó las siguientes irregularidades en altura de la edificación:

Irregularidad en base a la Rigidez-Piso Blando

Se comprueba que la estructura no tiene irregularidad por piso blando, como se puede observar en la tabla N°12 en la cual se observa que no presenta un nivel cuya rigidez no exceda el 70% del entrepiso contiguo.

Tabla 12

Rigidez lateral en la dirección X para el caso sísmico

Rigidez en cada piso				
Nivel	Caso de carga	Corte X	Rigidez X	Límite ≤ 0.70
		kgf	kgf/m	
Nivel 4	SISMO X	137801.19	29233197.18	-
Nivel 3	SISMO X	257415.77	53826424.29	1.84
Nivel 2	SISMO X	323125.63	80773610.93	1.50
Nivel 1	SISMO X	342398.54	187974164.9	2.33

Nota: En la tabla se muestra que todos los niveles cumplen con la condición en la dirección X. Elaboración propia.

Tabla 13

Rigidez lateral en la dirección Y para el caso sísmico

Rigidez en cada piso				
Nivel	Caso de carga	Corte Y	Rigidez Y	Límite ≤ 0.70
		kgf	kgf/m	
Nivel 4	SISMO Y	136852.93	25968896.27	-
Nivel 3	SISMO Y	254296.62	48648465.36	1.87
Nivel 2	SISMO Y	318056.46	72960256.85	1.50
Nivel 1	SISMO Y	336192.58	176996600.82	2.43

Nota: En la tabla se muestra que todos los niveles cumplen con la condición en la dirección Y. Elaboración propia.

Irregularidad de peso o masa

Se verifica que la estructura no presenta irregularidad de peso o masa, como se puede observar en la tabla N° todos los niveles cumplen con la condición de la normativa.

Tabla 14

Masa por cada nivel de la estructura

Masa por piso					
Nivel	Diafragma Rígido	Peso X	Condición	Peso Y	Límite
		kgf-s ² /m	> 1.50	kgf-s ² /m	> 1.50
Nivel 4	D4	32937.85	-	32937.85	-
Nivel 3	D3	41190.35	0.80	41190.35	0.80
Nivel 2	D2	41190.35	1.00	41190.35	1.00
Nivel 1	D1	38564.17	1.07	38564.17	1.07

Nota: En la tabla se visualiza que la estructura cumple con las condiciones de masa por nivel. Elaboración propia.

- Irregularidad en planta

Irregularidad por torsión

Se verifica que la estructura no presenta irregularidad por torsión, como se muestra en la tabla N°15 el desplazamiento relativo máximo no excede 1.3 veces el promedio de los desplazamientos en cada nivel.

Tabla 15

Desplazamiento relativo máximo y promedio de cada piso

Desplazamiento relativo promedio y máximo					
Nivel	Patrón de carga	Item	Max Dist	Prom Dist	Límite > 1.3
Nivel 4	SISMO X	Diafr D4 X	0.007634	0.007120	1.07
Nivel 3	SISMO X	Diafr D3 X	0.007501	0.007295	1.03
Nivel 2	SISMO X	Diafr D2 X	0.006294	0.006211	1.01
Nivel 1	SISMO X	Diafr D1 X	0.002975	0.002892	1.03

Nota: En la tabla se visualiza que la estructura cumple con las condiciones de desplazamiento relativo por nivel.

Elaboración propia.

Tabla 16

Desplazamiento relativo máximo y promedio de cada piso

Desplazamiento relativo máximo y promedio					
Nivel	Patrón de carga	Item	Max Dist	Prom Dist	Límite > 1.3
Nivel 4	SISMO Y	Diafr D4 Y	0.008136	0.007981	1.02
Nivel 3	SISMO Y	Diafr D3 Y	0.008240	0.008050	1.02
Nivel 2	SISMO Y	Diafr D2 Y	0.006958	0.006775	1.03
Nivel 1	SISMO Y	Diafr D1 Y	0.003088	0.003007	1.03

Nota: En la tabla se visualiza que la estructura cumple con las condiciones de desplazamiento relativo por nivel.

Elaboración propia.

Esquinas entrantes

Se verifica las esquinas entrantes de acuerdo a las direcciones analizadas, tal como se muestra a continuación:

Esquina en X > 0.20. Dimensión total en X

$$1.17m > 0.20. (13.70m)$$

$$1.17m > 2.74m$$

Esquina en Y > 0.20. Dimensión total en Y

$$20.27m > 0.20. (37.32m)$$

$$20.27m > 7.46m$$

En la dirección X, la estructura no posee esquinas entrantes mientras que en la dirección Y resulta que la estructura es irregular.

- Factor de reducción de las fuerzas sísmicas

Se obtiene el coeficiente para la dirección de análisis X tal como se muestra a continuación:

$$R_x = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

$$R_x = 6.1.1$$

$$R_x = 6$$

Se obtiene el coeficiente para la dirección de análisis Y tal como se muestra a continuación:

$$R_y = R_0 \cdot I_a \cdot I_p$$

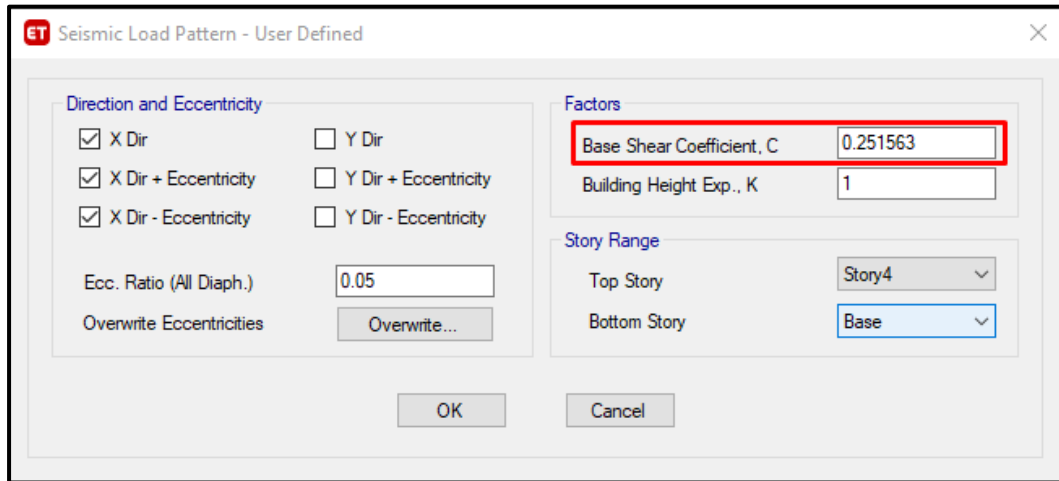
$$R_y = 6.1.0.9$$

$$R_y = 5.4$$

De acuerdo a los valores obtenidos anteriormente, se introduce el coeficiente de cortante basal en el programa ETABS

Figura 31

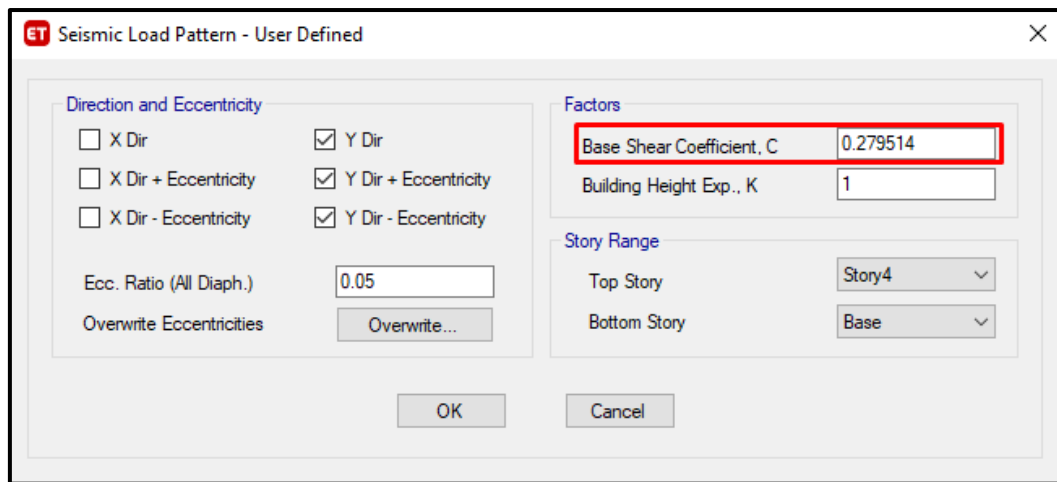
Caso de sismo estático para la dirección X en ETABS



Nota: En la figura se visualiza el coeficiente de cortante basal para la dirección X. Elaboración propia.

Figura 32

Caso de sismo estático para la dirección Y en ETABS



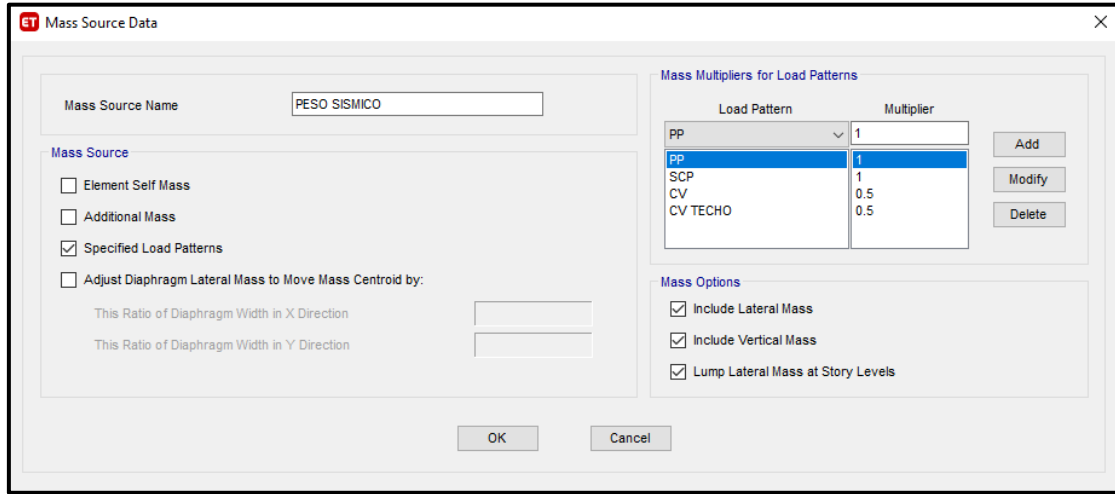
Nota: En la figura se muestra el coeficiente de cortante basal para la dirección X. Elaboración propia.

- Peso sísmico

Se introduce los factores de multiplicación para cada caso de carga creado según la normativa.

Figura 33

Factores definidos de multiplicación de masas en ETABS

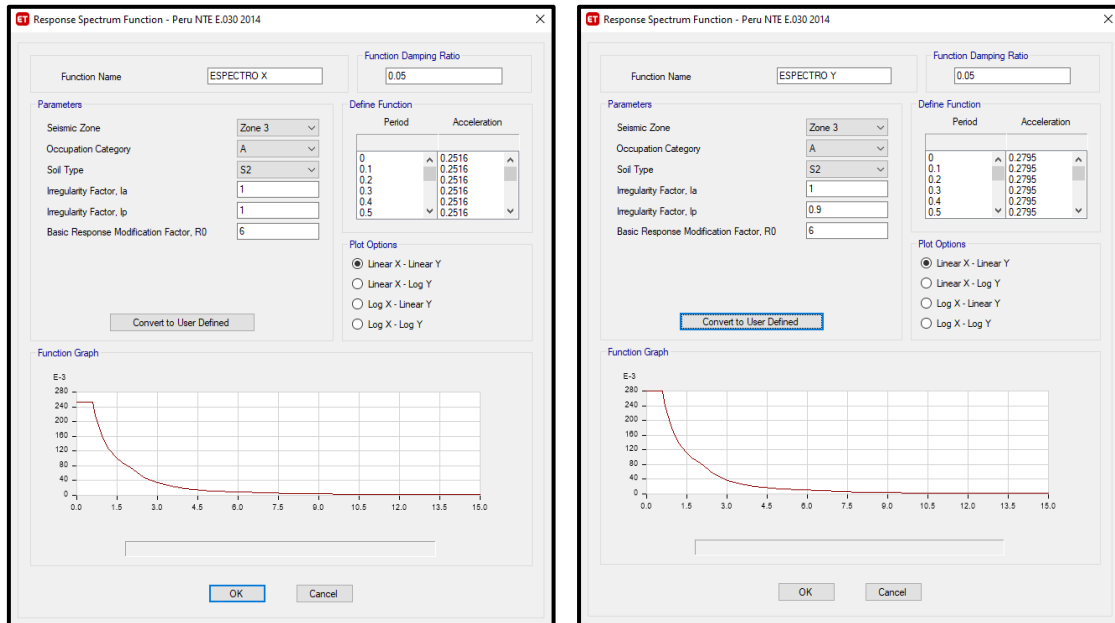


Nota: En la figura se muestra el coeficiente de cortante basal para la dirección X. Elaboración propia.

Se define las funciones del espectro de respuesta en el programa ETABS

Figura 34

Definición de las funciones del espectro de respuesta para cada dirección de análisis

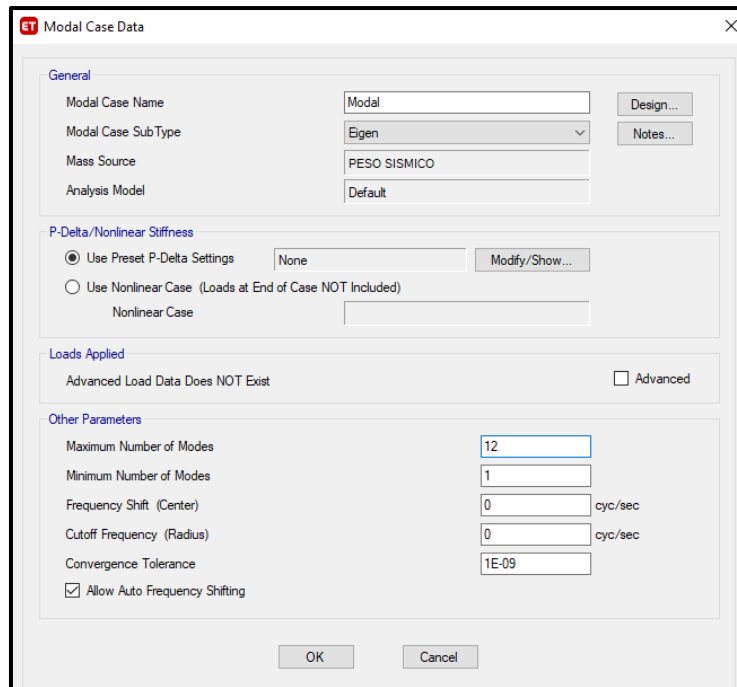


Nota: En la figura se observa los espectros de respuesta para cada dirección de análisis en el programa ETABS. Elaboración propia.

Por último, se define los modos necesarios para la estructura

Figura 35

Caso modal definido

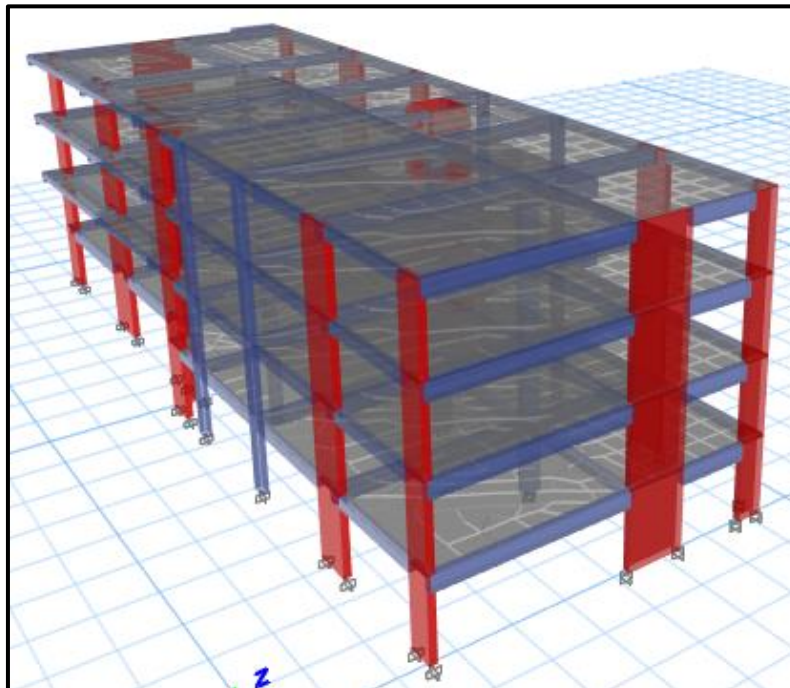


Nota: En la figura se visualiza el caso modal en el programa ETABS. Elaboración propia.

Se puede visualizar la estructura en 3D gracias al programa ETABS

Figura 36

Modelo 3D en ETABS



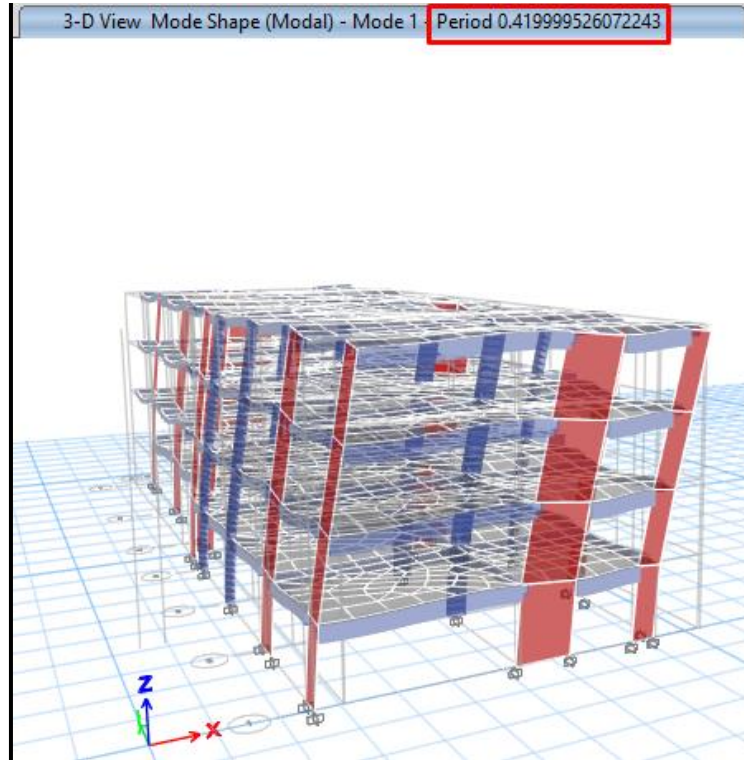
Nota: En la figura se visualiza el modelo 3D en el programa ETABS. Elaboración propia.

Análisis sísmico modal

Se verifica el periodo fundamental de vibración de la edificación.

Figura 37

Periodo fundamental de vibración



Nota: En la figura se visualiza el periodo fundamental de vibración de la estructura. Elaboración propia.

Se verifica que exista traslación en los dos primeros modos y que el tercer modo sea rotacional en la estructura.

Figura 38

Vibración modal

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.42	0.1421	0.5755	4.722E-05	0.1421	0.5755	4.722E-05	0.0174
Modal	2	0.389	0.5846	0.1364	0	0.7267	0.7119	4.723E-05	0.0068
Modal	3	0.31	0.0018	0.0081	0.0004	0.7285	0.7199	0.0004	0.0004
Modal	4	0.195	9.489E-06	4.668E-05	0.0033	0.7285	0.72	0.0037	0.0024
Modal	5	0.194	0.0001	0.0004	0.0186	0.7286	0.7204	0.0223	0.0141

Nota: En la figura se visualiza los tres primeros modos de vibración de la estructura. Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla N°17 se visualiza los resultados tomados del programa ETABS, estas fuerzas cortantes corresponden al caso de carga de sismo estático y sismo dinámico.

Tabla 17

Fuerzas de corte en la base

Cortante en la base		
Caso de carga	FX	FY
	kgf	kgf
SX EST	-411900.38	0
SY EST	0	-457666.36
EEQQ X	281549.41	100982.10
EEQQ Y	112202.33	307070.90

Nota: En la tabla se visualizan las fuerzas cortantes dinámicas y estáticas. Elaboración propia.

La norma E.030 establece que, para las direcciones analizadas, la fuerza de corte mínima debe un valor no menor que el 80% de la fuerza de corte estática para estructuras regulares y no menor que el 90% para estructuras irregulares.

Tabla 18

Cálculo de factor de escala

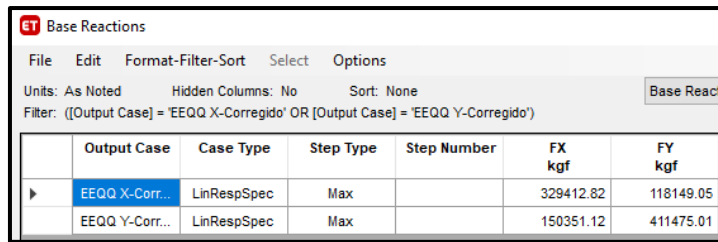
	Dirección X	Dirección Y
V dinámica	281549.41	307070.9
V estática	411900.38	457666.36
Vdin/Vest	0.68	0.67
Cociente min	0.80	0.90
Factor de escala	1.17	1.34

Nota: En la tabla se visualizan las fuerzas cortantes estáticas, dinámicas y el factor de escala para determinar la cortante mínima. Elaboración propia.

Con los coeficientes de escala para cada dirección de análisis, se amplifican los casos de carga dinámicos con la finalidad de obtener la cortante mínima establecida por la normativa.

Figura 39

Fuerza cortante mínima



	Output Case	Case Type	Step Type	Step Number	FX kgf	FY kgf
	EEQQ X-Corr...	LinRespSpec	Max		329412.82	118149.05
	EEQQ Y-Corr...	LinRespSpec	Max		150351.12	411475.01

Nota: En la figura se muestran las fuerzas cortantes mínimas. Elaboración propia.

Se verifica los valores máximos para la distorsión del entrepiso en las dos direcciones estudiadas de acuerdo a la norma E.030.

Tabla 19

Distorsión de entrepiso para la dirección X

Distorsión de entrepiso				
Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Dirección	Drift
Nivel 4	SX DRIFT	LinStatic	X	0.008235
Nivel 3	SX DRIFT	LinStatic	X	0.008092
Nivel 2	SX DRIFT	LinStatic	X	0.006782
Nivel 1	SX DRIFT	LinStatic	X	0.003206

Nota: En la tabla se muestran las derivas de entrepiso. Elaboración propia.

Tabla 20

Distorsión de entrepiso para la dirección Y

Distorsión de entrepiso				
Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Dirección	Drift
Nivel 4	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.009941
Nivel 3	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.010070
Nivel 2	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.008505
Nivel 1	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.003775

Nota: En la tabla se muestran las derivas de entrepiso. Elaboración propia.

En la tabla N°19 se observa una distorsión de 0.008235 en la dirección X; en la tabla N°20, una distorsión de 0.010070 en la dirección Y.

2.4.2 Objetivo específico 2

La metodología para seleccionar y aplicar los dispositivos de fluido viscoso como sistema de reforzamiento para el palacio municipal está basada en los siguientes criterios:

Evaluación Sísmica

Antes de aplicar un sistema de reforzamiento en una estructura, se debe realizar una evaluación sísmica de la edificación para determinar la respuesta de la estructura ante acciones sísmicas. Esta evaluación está basada y verificada en la normativa E.030 y E.060, lo cual permite obtener las fuerzas de corte y distorsiones máximas a la cuales está sometida la estructura.

Selección del Sistema de Reforzamiento Estructural

La selección de un sistema de refuerzo estructural es una decisión crítica que debe basarse en una serie de consideraciones técnicas.

Tabla 21

Cuadro comparativo: Refuerzo Estructural Tradicional, Disipadores de Fluido Viscoso y Aisladores Sísmicos

Característica	Refuerzo Estructural Tradicional	Disipadores de Fluido Viscoso	Aisladores Sísmicos
Descripción	Reforzamiento mediante adición de elementos de concreto, acero u otros materiales a una estructura existente para aumentar su rigidez y resistencia ante acciones sísmicas.	Dispositivos diseñados para asimilar y liberar la energía sísmica, como dispositivos de fluido viscoso o de masa sintonizada.	Separación de la estructura de la cimentación por medio de aisladores de base.
Control de la Respuesta Sísmica	Limitado; no proporciona un control significativo ante acciones sísmicas	Proporciona un control efectivo de la respuesta sísmica al disipar energía	Minimiza la transferencia de fuerzas sísmicas a la estructura, lo cual disminuye en notablemente la respuesta sísmica

Reducción de Desplazamientos	Limitado; no reduce notablemente los desplazamientos de la edificación	Puede aminorar los desplazamientos máximos de la estructura durante eventos sísmicos	Reduce los desplazamientos de la estructura y permite una respuesta más flexible
Impacto en el Peso de la Estructura	Puede aumentar el peso de la estructura, debido a la adición de elementos de refuerzo	El peso que aumenta es despreciable	El peso que aumenta es despreciable
Aplicaciones Comunes	Reforzamiento de estructuras existentes y corrección de deficiencias estructurales	Protección sísmica de estructuras nuevas y existentes, especialmente aquellas sometidas a esfuerzos sísmicos elevados	Protección de estructuras críticas, como hospitales, puentes y edificaciones importantes

Nota: Elaboración propia.

El ingeniero estructural Carlos Casabonne (2015) menciona “que los disipadores de fluido viscoso son aquellos que mejor amortiguan a la estructura en comparación de otros disipadores de energía; estos disipadores reducen los desplazamientos y fuerzas sísmicas sin aumentar la rigidez de la estructura.”

El sistema de reforzamiento estructural, teniendo en cuenta que la estructura es una edificación construida, será mediante disipadores de fluido viscoso; esto considerando que la incorporación de los dispositivos no sobreesfuerzan a la estructura a comparación de un reforzamiento tradicional y posee una instalación más practica a comparación de aisladores sísmicos.

Objetivos de Diseño

- Relación Desempeño-Deriva

El daño en una estructura está sujeto al desplazamiento mas no la fuerza a la cual está sometida por acciones sísmicas; esto significa que cuando la estructura incursiona en el rango inelástico, el incremento del daño se debe al aumento de los desplazamientos aun cuando las fuerzas actuantes sean constantes.

El comité VISION 2000 define las características principales que están asociadas al estado de daño en relación con cada nivel de desempeño.

Tabla 22

Niveles de desempeño y estados de daño

Estado de Daño	Nivel de Desempeño	Descripción de Daño
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño no estructural y estructural que se considera insignificante o inexistente. Las instalaciones seguirán operativas cumpliendo sus funciones después del sismo.
Leve	Operacional	Daños ligeros. Se puede observar agrietamientos en elementos estructurales. Los servicios esenciales permanecen operativos, mientras que los no esenciales pueden experimentar interrupciones que se recuperan rápidamente.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. Reducción en la resistencia y rigidez de los componentes estructurales. Aunque la estructura experimenta daños, mantiene su estabilidad. Se garantiza la seguridad de los ocupantes, aunque es posible que algunos elementos no estructurales sufran daños.
Severo	Pre-colapso	Daño estructural riguroso, muy cerca del colapso. Fallo en los componentes no estructurales y amenaza para la seguridad de los ocupantes.
Completo	Colapso	Colapso total de la estructura. No existe la posibilidad de repararla.

Nota: Obtenido de SEAOC – Comité Visión 2000, 1995.

- Deriva Objetivo

Según (FEMA) en su manual técnico “Multi-hazard Loss Estimation Methodology” establece una relación entre el daño y la deriva de la estructura, este documento presenta las derivas características de los sistemas estructurales para cada estado de daño.

La tabla N°23 muestra la distorsión característica para cada tipo de edificación según su estado de daño; cada estado de daño está relacionado con un nivel de desempeño (ver tabla N°22). Por lo tanto, se puede determinar una deriva determinada para un desempeño objetivo.

Tabla 23

Daño-Deriva factor según el tipo de estructura

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State			
Type	Height (inches)		Slight	Moderate	Extensive	Complete
	Roof	Modal				
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300

Nota: Obtenido de FEMA.

- Amortiguamiento Objetivo

El amortiguamiento objetivo es aquel que desarrolla la estructura con la incorporación de los disipadores de fluido viscoso, la contribución que tienen los dispositivos en el amortiguamiento se obtiene restando el amortiguamiento intrínseco que posee la estructura, 5% en caso de concreto armado.

Para definir el amortiguamiento objetivo, se debe obtener el coeficiente de minoración de respuesta requerido para alcanzar la deriva objetivo.

Ubicación y Configuración

Según el capítulo 18 de la norma ASCE 7-16, se presenta las siguientes contemplaciones para la colocación de los disipadores de fluido viscoso:

- Se debe considerar como mínimo dos disipadores en las direcciones reforzadas.
- La ubicación de los dispositivos no debe generar torsión en la estructura.
- Se debe ubicar los disipadores en cada uno de los pisos de la estructura, sin excepción alguna, para asegurar un perfecto funcionamiento.
- La colocación de los disipadores debe ser simétrico en la estructura.

La disposición y cantidad de disipadores en la estructura influyen en la efectividad del sistema de reforzamiento. Varios estudios sugieren inicialmente ubicar los dispositivos en aquellas zonas donde se presentan las velocidades máximas y en los entresijos cuyos desplazamientos relativos son mayores, este proceso iterativo sigue hasta encontrar la ubicación óptima de los dispositivos.

Es importante señalar que en estructuras existentes los factores principales para la ubicación de los dispositivos serán el uso de la edificación y la arquitectura de la misma, entre los arreglos o disposiciones principales tenemos los siguientes:

- Disposición en Diagonal

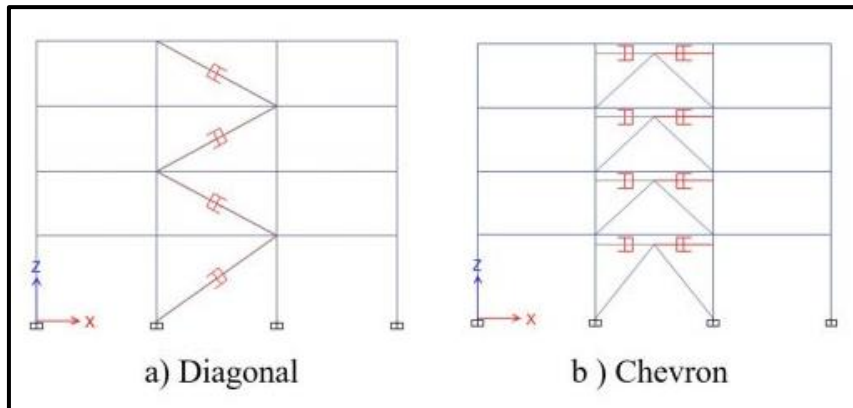
Esta disposición es la más común la cual consta de un brazo metálico que une el disipador a la estructura como se muestra en la figura N°40-a, el factor de amplificación de las derivas entre los extremos del disipador depende del ángulo de la diagonal que tiene el dispositivo

- Disposición Chevron

El dispositivo es colocado en la posición horizontal (ver figura N°40-b) logrando una eficiencia del 100%, esto significa que el desplazamiento relativo entre los disipadores y el entresijo son iguales.

Figura 40

Disposición de disipadores de fluido viscoso



Nota: Obtenido de Burgos, 2022.

A continuación, se presenta una comparativa entre las configuraciones Diagonal y Chevron.

Tabla 24

Cuadro comparativo: Diagonal vs Chevron

Mejora en el Control Distorsiones	Menores Solicitudes de Refuerzo Adicional	Menos Cantidades de Dispositivos
Chevron	Diagonal	Diagonal

Nota: Elaboración propia

Mantenimiento y Accesibilidad

El principal abastecedor de disipadores de fluido viscoso a nivel mundial es Taylor Devices, este cuenta con un exitoso historial de más de 60 años en la industria militar y la NASA. Los disipadores de fluido viscoso no sufren deformaciones permanentes lo que significa que no requieren ser reemplazados después de estar sometidos a un sismo intenso; por lo tanto, la estructura no va estar desprotegida en ningún momento.

En una investigación de (CDV Ingenieria Antisismica) sobre “Evaluación a largo plazo del ciclo de vida útil de los productos Taylor Devices” se estudiaron diversos disipadores, algunos de los cuales tenían más de 35 años de antigüedad; siendo estos encontrados en excelentes condiciones y un óptimo estado de funcionamiento.

En este estudio se comprobó que los disipadores diseñados tienen un tiempo de vida útil por encima de los 30 años sin necesidad de mantenimiento de cualquier tipo, las superficies de acero inoxidable demostraron una casi completa resistencia a la corrosión, los diseños del sello del disipador no muestran ningún deterioro o filtración con el paso de los años y los fluidos de silicona utilizados no presentan desgasificación o descomposición.

De acuerdo a las investigaciones se realizó una comparativa (ver tabla N°22) para el mantenimiento entre refuerzo tradicional, disipadores de fluido viscoso y aisladores sísmicos.

Tabla 25

Cuadro comparativo: Refuerzo Estructural Tradicional, Disipadores de Fluido Viscoso y Aisladores Sísmicos

Aspecto de mantenimiento	Refuerzo Estructural Tradicional	Disipadores de Fluido Viscoso	Aisladores Sísmicos
Inspección Regular	Requiere de inspecciones regulares con la finalidad de detectar daños; por ejemplo, corrosión, grietas y otros problemas.	Requiere de inspecciones periódicas para asegurarse que los dispositivos funcionen correctamente.	Requiere de inspecciones periódicas con la finalidad de verificar la integridad de los aisladores, conexiones y componentes de soporte.
Mantenimiento Rutinario	Requiere reparaciones periódicas; por ejemplo, reparaciones de elementos de concreto, reemplazo de barras corroídas, etc.	El mantenimiento es mínimo, ya que estos dispositivos son sellados por lo cual no requieren lubricación ni reemplazo de componentes.	El mantenimiento es rutinario, esto incluye lubricación de los aisladores, la verificación de las conexiones y la sustitución de las partes desgastadas.
Reparaciones	Requiere reparaciones en caso de daños o desgaste; por ejemplo, trabajos de albañilería, soldadura, reemplazo de elementos estructurales, etc.	Las reparaciones no son comunes debido a que los disipadores son sellados y en caso se dañen, estos son reemplazados mas no reparados.	Las reparaciones se dan en caso de daño en los aisladores o componentes de soporte, esto incluye el reemplazo de los aisladores dañados o piezas en desgaste.

Costo de Mantenimiento	El costo del mantenimiento varía según la extensión del daño o las necesidades de reparación, siendo significativo con el paso del tiempo.	EL costo de mantenimiento es bajo debido a la simplicidad de los dispositivos ya que no presenta partes móviles sujetas a desgaste.	El costo del mantenimiento incluye inspecciones, lubricación y reemplazo de aisladores dañados, esto es moderado en comparación del daño sísmico potencial.
Duración del Mantenimiento	EL mantenimiento se da a lo largo de la vida útil de la estructura, en especial en climas adversos.	El mantenimiento es mínimo y solo se limita a inspecciones periódicas.	El mantenimiento se da en intervalos regulares con la finalidad de garantizar la eficacia de los aisladores.
Impacto en el Uso de la Estructura	Las actividades provenientes del mantenimiento pueden requerir el cierre temporal de zonas de la estructura causando interrupciones en las actividades diarias.	El mantenimiento no requiere cierres significativos, lo cual minimiza la interrupción de las actividades de la estructura.	Las inspecciones y mantenimiento pueden requerir cierres temporales, pero menos invasivos que las reparaciones estructurales significativas.

Nota: Elaboración propia.

Costo y Viabilidad Económica

El costo del análisis, diseño, fabricación e instalación de los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento en una estructura depende de las siguientes consideraciones:

- Tipo de estructura.
- Desempeño deseado de la estructura.
- Número de disipadores a implementar.
- Capacidad de cada disipador en cuestión de fuerzas, desplazamientos y velocidad.
- Reforzar los elementos existentes en la estructura (en caso se requiera) y conexiones.
- Instalación de los dispositivos.
- Interrupción de las actividades de la edificación.

La experiencia de CDV Ingeniería Antisísmica indica una inversión en disipadores de fluido viscoso se ubica en el rango del 1% y 3% del valor total del proyecto. Además, ante un

terremoto los dispositivos no requieren mantenimiento ni reemplazo por lo cual no significará un costo en reconstrucción adicional. Esto da como resultado que el coste de inversión por m² varíe entre 15 y 30 dólares.

Según Guevara & Torres (2012) evaluó lo incidente que son los disipadores de fluido viscoso en el costo total del proyecto dando como resultado un precio estimado de 30 dólares por m² con una incidencia del 6.92% del costo del proyecto; una incidencia cuyo valor es menor que los costos que se obtendrían por reparación (15-20%). Esta incidencia corresponde a un desempeño objetivo bastante ambicioso ante un sismo severo, por lo cual se podrían reducir los costos de inversión mediante de una optimización.

Comportamiento sísmico de la edificación con sistema de reforzamiento estructural de disipadores de fluido viscoso

- Derivas:

Se evalúan las mayores distorsiones obtenidas de entrepiso utilizando el sistema de reforzamiento estructural de disipadores de fluido viscoso, estimados en la primera iteración. En caso no se logre alcanzar los objetivos se procede a recalcular el valor de las constantes “C” y “ α ”, el número de dispositivos considerados e inclusive la posición o disposición de los mismos; este proceso se sigue en ese orden de importancia las veces que sea necesaria.

- Equilibrio Energético:

Se calcula el equilibrio energético de la estructura con la implementación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso. La gráfica del equilibrio energético permite visualizar la participación de los dispositivos y la estructura en la liberación de la energía total; esto permite evaluar la eficacia de la disposición de los mismos.

- Verificación del Amortiguamiento Objetivo:

Se verifica si el amortiguamiento añadido por los disipadores es suficiente para alcanzar el amortiguamiento objetivo, para ello se somete la estructura a una prueba de vibración libre.

El grado de amortiguamiento se evalúa haciendo uso de la fórmula del decaimiento logarítmico:

$$\ln\left(\frac{X_t}{X_{(t+nT)}}\right) \cong \frac{2n\pi\xi}{\sqrt{1-\xi^2}}$$

Ecuación 23: Decaimiento logarítmico

2.4.3 Objetivo específico 3

La metodología de análisis tiempo – historia emplea un modelo matemático de la edificación que incorpora directamente la respuesta histerética de los elementos, facilitando la evaluación de la reacción ante un conjunto de aceleraciones sísmicas.

Para esto primero se define un espectro de diseño, de acuerdo a la norma E.030, considerando los parámetros sísmicos previamente definidos con un coeficiente de reducción sísmica R=1.

Tabla 26

Parámetros para determinar el espectro de diseño

Z	0.35
U	1.5
C	0.00 a 10 seg
S	1.15
R _{X, Y}	1
g	9.81 m/s ²

Nota: Elaboración propia.

En la tabla N°27 se muestra los valores de la tabulación para un intervalo de periodo de vibración de 0 a 10 seg.

Tabla 27

Espectro de aceleración $R=1$

C	T(s)	Sa/g
2.50	0.00	1.509375
2.50	0.02	1.509375
2.50	0.04	1.509375
2.50	0.06	1.509375
2.50	0.08	1.509375
2.50	0.10	1.509375
2.50	0.12	1.509375
2.50	0.14	1.509375
2.50	0.16	1.509375
2.50	0.18	1.509375
2.50	0.20	1.509375
2.50	0.25	1.509375
2.50	0.30	1.509375
2.50	0.35	1.509375
2.50	0.40	1.509375
2.50	0.45	1.509375
2.50	0.50	1.509375
2.50	0.55	1.509375
2.50	0.60	1.509375
2.31	0.65	1.393269
2.14	0.70	1.293750
2.00	0.75	1.207500
1.88	0.80	1.132031
1.76	0.85	1.065441
1.67	0.90	1.006250
1.58	0.95	0.953289
1.50	1.00	0.905625
1.36	1.10	0.823295
1.25	1.20	0.754688
1.15	1.30	0.696635
1.07	1.40	0.646875
1.00	1.50	0.603750
0.94	1.60	0.566016
0.88	1.70	0.532721
0.83	1.80	0.503125
0.79	1.90	0.476645
0.75	2.00	0.452813
0.62	2.20	0.374225
0.52	2.40	0.314453
0.44	2.60	0.267936
0.38	2.80	0.231027

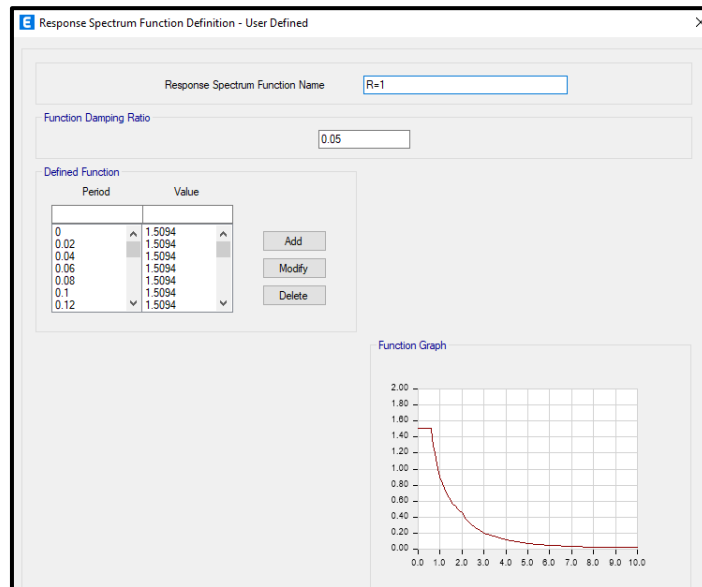
0.33	3.00	0.201250
0.19	4.00	0.113203
0.12	5.00	0.072450
0.08	6.00	0.050313
0.06	7.00	0.036964
0.05	8.00	0.028301
0.04	9.00	0.022361
0.03	10.00	0.018113

Nota: Elaboración propia.

En la figura N°41 se muestra el espectro de diseño (R=1) definido en el software ETABS

Figura 41

Espectro R=1 de diseño en ETABS



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo al espectro introducido se obtienen nuevas distorsiones de entrepiso para las direcciones X, Y para un sismo severo.

Tabla 28

Drift en función del espectro R=1 en la dirección X

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Rx=1	LinRespSpec	Max	X	0.008672
Nivel 3	Rx=1	LinRespSpec	Max	X	0.008466
Nivel 2	Rx=1	LinRespSpec	Max	X	0.006819
Nivel 1	Rx=1	LinRespSpec	Max	X	0.003051

Nota: Elaboración propia.

Tabla 29

Drift en función del espectro $R=1$ en la dirección Y

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Ry=1	LinRespSpec	Max	Y	0.009044
Nivel 3	Ry=1	LinRespSpec	Max	Y	0.009093
Nivel 2	Ry=1	LinRespSpec	Max	Y	0.007562
Nivel 1	Ry=1	LinRespSpec	Max	Y	0.0033

Nota: Elaboración propia.

Se visualiza en las tablas que los drift obtenidos superan el límite establecido por la norma E.030 para estructuras de concreto armado, esto significa que la estructura va fallar ante un sismo severo.

Luego, se procede a realizar el análisis tiempo – historia siguiendo los parámetros establecidos por la norma E.030, para ello es necesario utilizar al menos tres conjuntos de registros de aceleraciones del suelo cada uno con sus respectivos componentes en las direcciones ortogonales. Se extrae tres registros de sismos de la Red Acelerográfica del CISMID – REDACIS.

Tabla 30

Selección de acelerogramas sísmicos severos para el análisis tiempo-historia

Localización de la estación	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/seg ²)	Magnitud
Lima	31 de mayo de 1970	E-W	-105.05	6.6
		N-S	-97.81	
Lima	3 de octubre de 1974	E-W	-194.21	6.6
		N-S	180.09	
Ica	15 de agosto de 2007	E-W	-272.82	7.0
		N-S	333.66	

Nota: Elaboración propia.

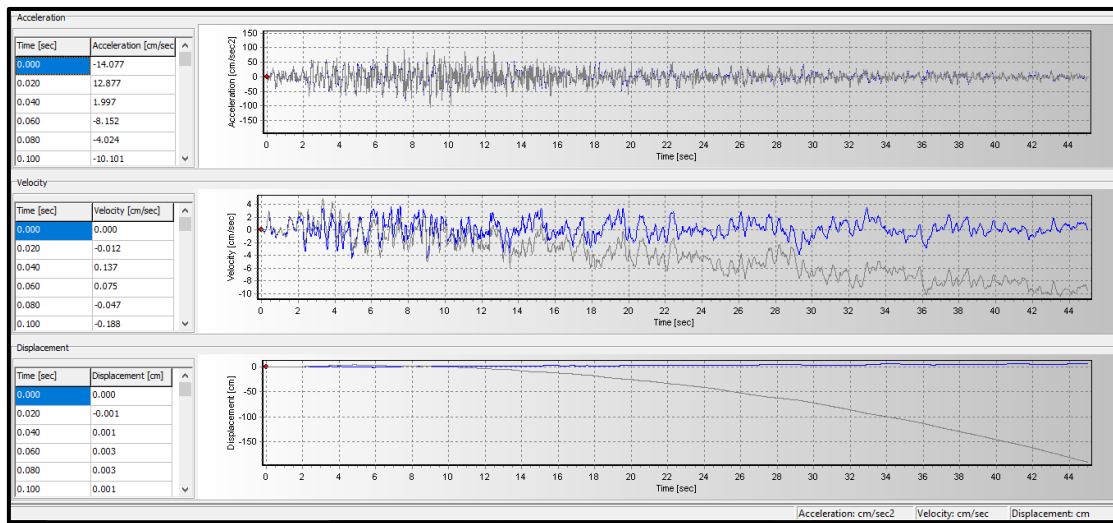
Los registros sísmicos se obtienen utilizando acelerómetros, estos pueden introducir ruidos en los registros que deberán ser corregidos; así mismo, la línea base de los registros

Influencia de un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima-2023
 sísmicos varía debido a diversos factores, como oscilaciones antes del evento sísmico real, por este motivo se debe ajustar la línea base para que solamente se centre en el evento sísmico real.

SeismoSignal es un programa que permite realizar la corrección de los registros sísmicos a la línea base y filtrado de ruidos. Este proceso se realiza para el componente E-W y N.S de cada registro sísmico.

Figura 42

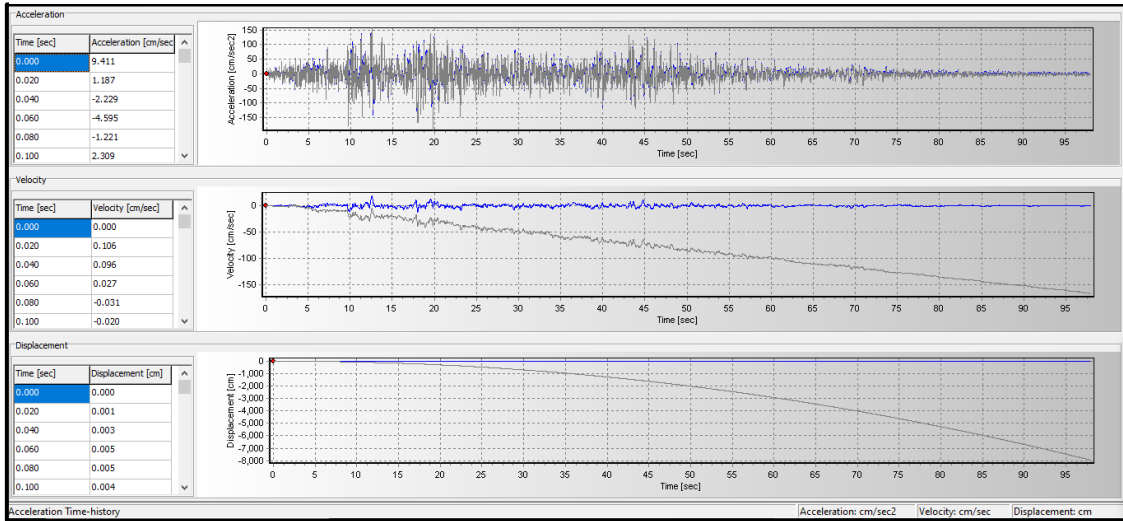
Registro de sismo corregido Lima 1970 E-W



Nota: Elaboración propia.

Figura 43

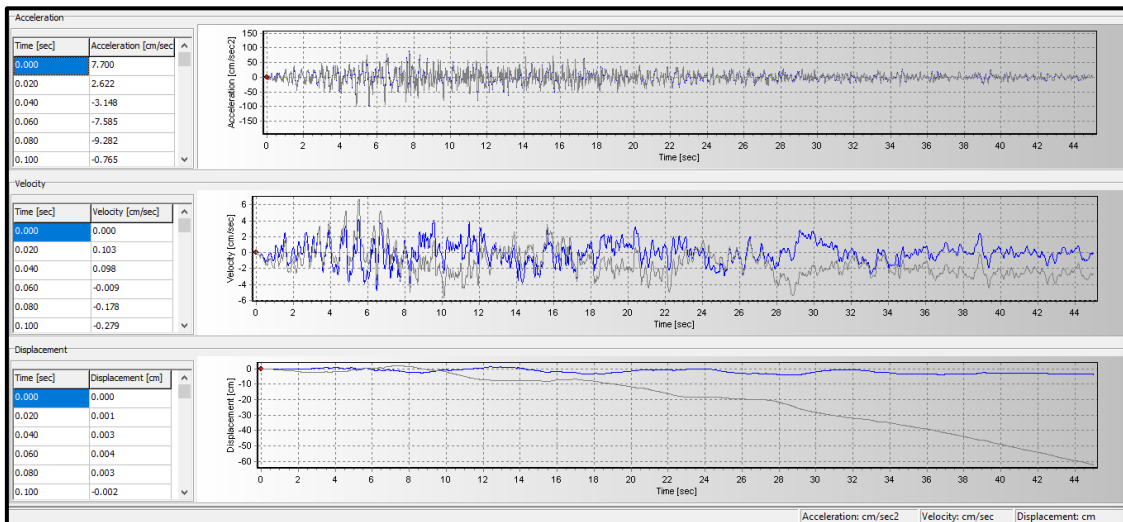
Registro de sismo corregido Lima 1970 N-S



Nota: Elaboración propia.

Figura 44

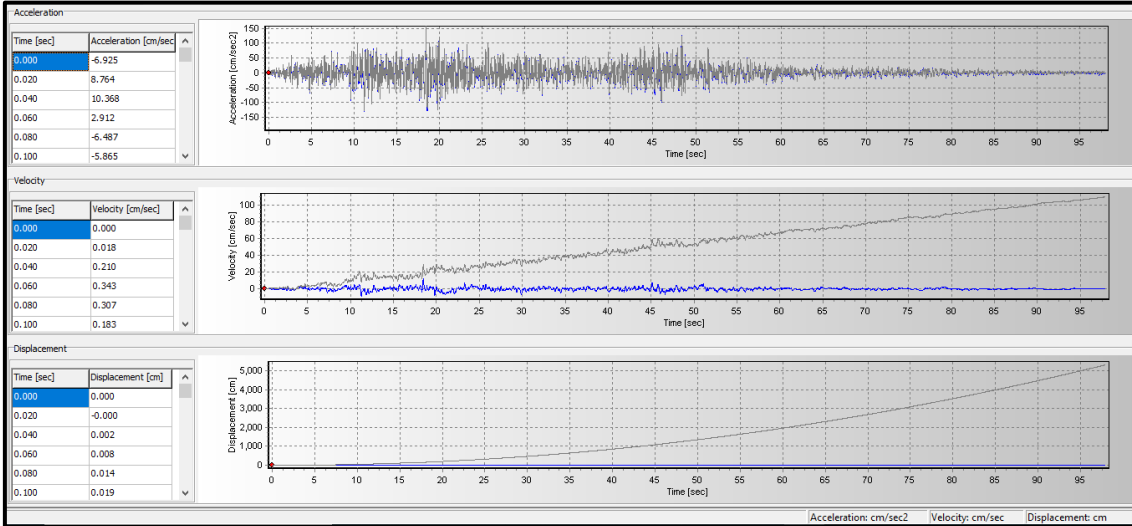
Registro de sismo corregido Lima 1974 E-W



Nota: Elaboración propia.

Figura 45

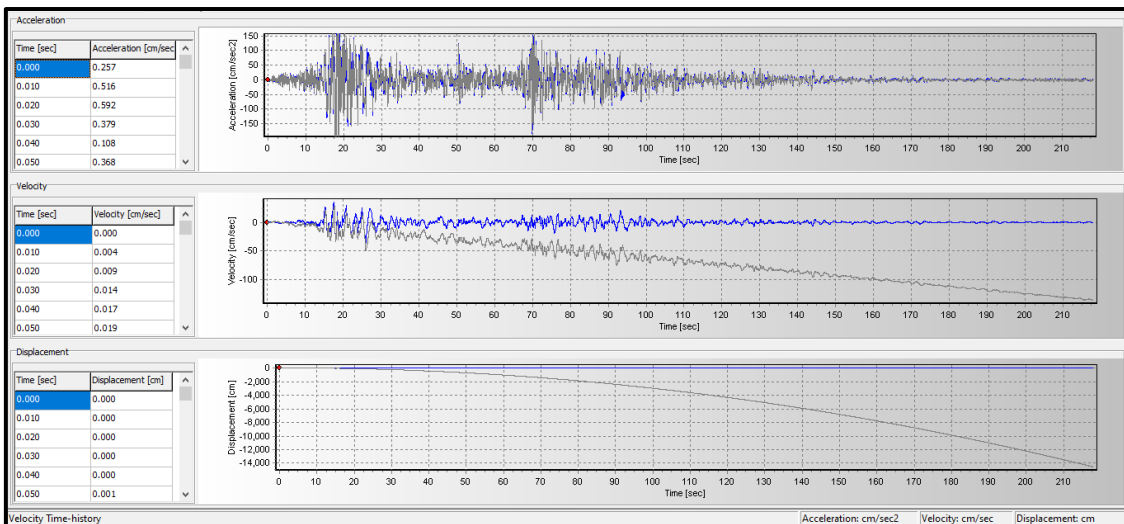
Registro de sismo corregido Lima 1974 N-S



Nota: Elaboración propia.

Figura 46

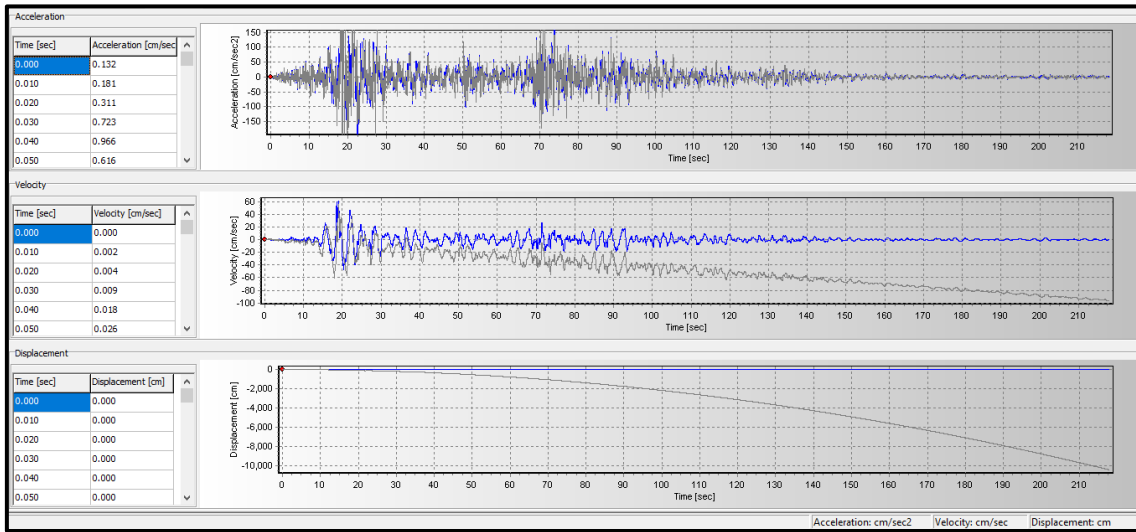
Registro de sismo corregido Ica 2007 E-W



Nota: Elaboración propia.

Figura 47

Registro de sismo corregido Ica 2007 N-S

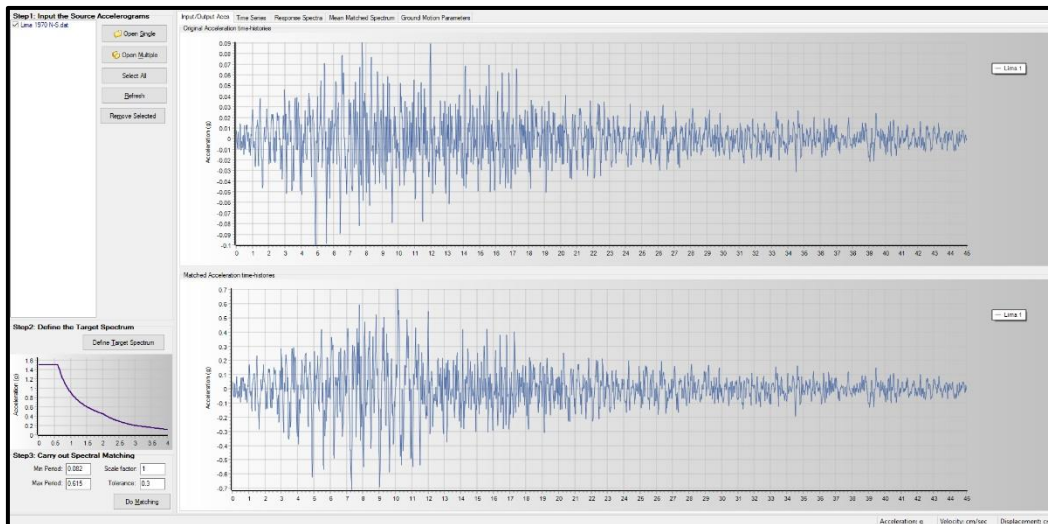


Nota: Elaboración propia.

Se realiza el escalamiento de los registros sísmicos al espectro de diseño $R=1$, se introduce los registros y espectro en el programa SeismoMatch como se muestra a continuación:

Figura 48

Registro sísmico y espectro de diseño en SeismoMatch

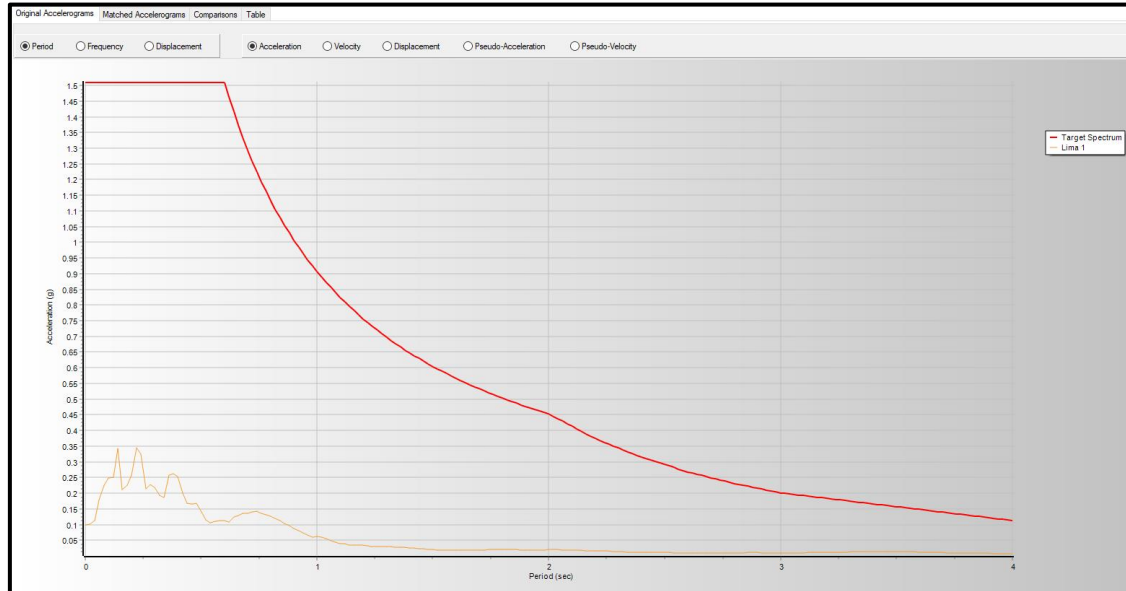


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°48 se visualiza el espectro de diseño R=1 (color rojo) y el registro del sismo sin escalar (color naranja).

Figura 49

Registro sísmico sin escala y espectro de diseño

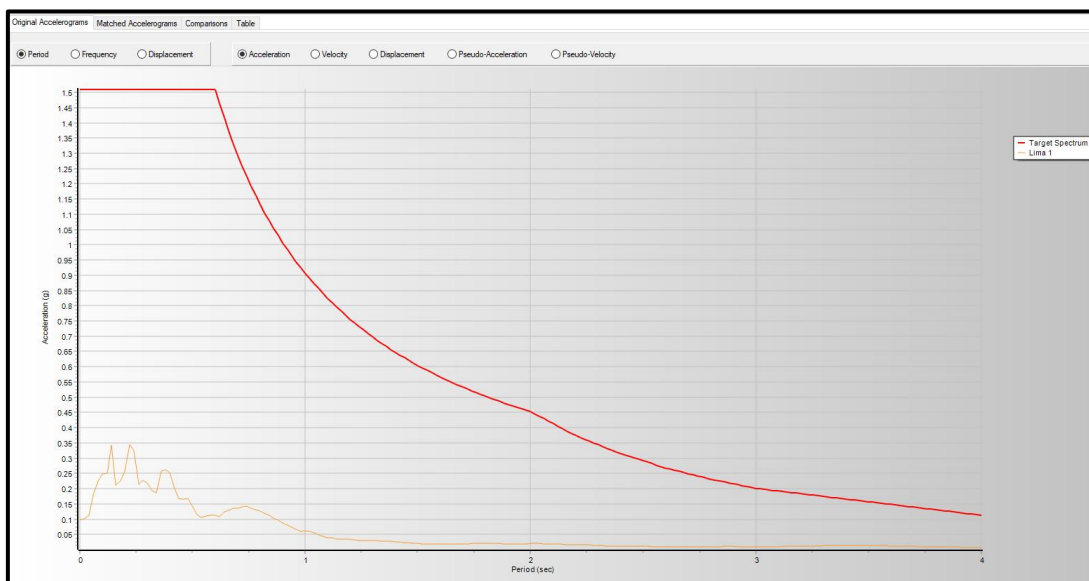


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°49 se observa el registro del sismo escalado (color naranja) con el espectro de diseño (color rojo).

Figura 50

Registro sísmico escalado y espectro de diseño



Nota: Elaboración propia.

Este proceso se realiza con los demás registros sísmicos. Se verifica que el promedio de los valores espectrales SRSS derivados de los tres registros no sea inferior que la ordenada que corresponde al espectro de diseño.

Tabla 31

Rango de periodos

T	0.41
0.2 T	0.082
1.5 T	0.615

Nota: Elaboración propia.

Se verifica los promedios que se encuentra en el rango de periodos según la tabla N°31

Figura 51

Verificación de valores espectrales SRSS

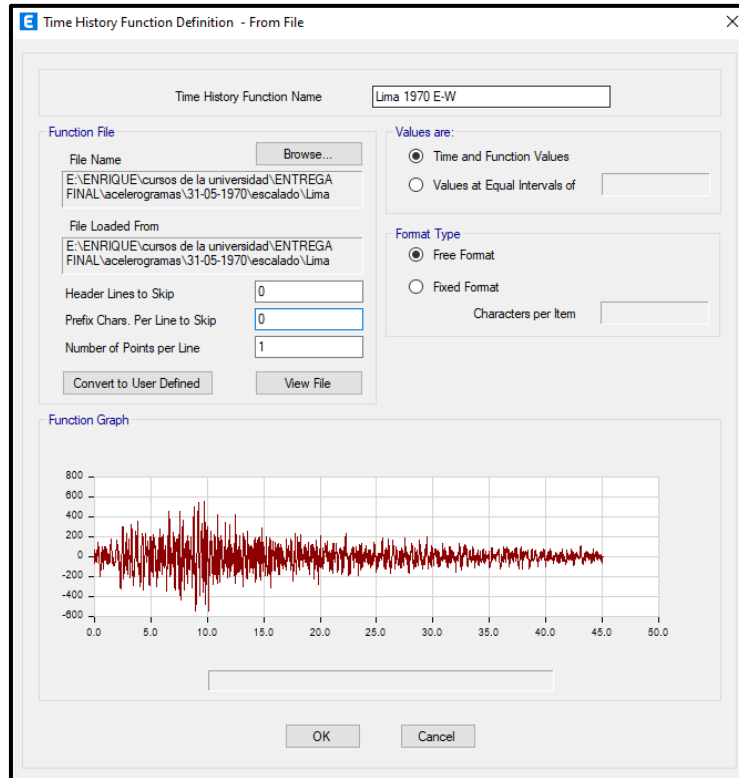
Lima 1970 E-W			Lima 1970 N-S			Lima 1974 E-W			Lima 1974 N-S			Ica 2007 E-W			Ica 2007 N-S			SRSS	Promedio		
Period (s)	Acc (cm/s ²)		Period (s)	Acc (cm/s ²)		Period (s)	Acc (cm/s ²)		Period (s)	Acc (cm/s ²)		Period (s)	Acc (cm/s ²)		Period (s)	Acc (cm/s ²)					
0.00	557.032	0.00	696.604	891.931	0.00	609.178	0.00	841.438	1038.805	0.00	1019.572	0.00	810.333	1302.370	1077.702	1479.1875					
0.02	573.770	0.02	706.649	910.255	0.02	616.528	0.02	860.891	1058.886	0.02	1019.700	0.02	810.725	1302.713	1090.618	1479.1875					
0.04	610.226	0.04	719.526	943.448	0.04	647.868	0.04	860.430	1077.067	0.04	1034.488	0.04	873.719	1354.087	1124.867	1479.1875					
0.06	914.703	0.06	1041.593	1386.217	0.06	845.328	0.06	922.347	1251.121	0.06	1036.683	0.06	1065.554	1486.646	1374.661	1479.1875					
0.08	1321.706	0.08	1476.987	1982.019	0.08	1187.103	0.08	1719.635	2089.584	0.08	1664.697	0.08	1212.534	2059.479	2043.694	1479.1875	Cumple				
0.10	1485.239	0.10	1484.994	2100.272	0.10	1491.531	0.10	1483.250	2103.495	0.10	1483.916	0.10	1484.465	2098.962	2100.910	1479.1875	Cumple				
0.12	1484.288	0.12	1485.219	2099.759	0.12	1853.464	0.12	1490.756	2378.589	0.12	1485.954	0.12	1483.524	2099.739	2192.696	1479.1875	Cumple				
0.14	1369.168	0.14	1485.396	2020.154	0.14	1464.816	0.14	1483.651	2084.924	0.14	1483.740	0.14	1554.917	2149.244	2084.774	1479.1875	Cumple				
0.16	1599.478	0.16	1478.859	2178.383	0.16	1386.563	0.16	1658.934	2162.087	0.16	1614.883	0.16	1511.993	2212.232	2184.234	1479.1875	Cumple				
0.18	1905.492	0.18	1488.473	2417.944	0.18	1487.238	0.18	1809.815	2342.500	0.18	1545.715	0.18	1512.728	2162.771	2307.739	1479.1875	Cumple				
0.20	1520.842	0.20	1580.250	2193.206	0.20	1486.033	0.20	1719.253	2272.471	0.20	1658.768	0.20	1519.657	2249.637	2238.438	1479.1875	Cumple				
0.22	1393.168	0.22	1944.457	2392.035	0.22	1485.092	0.22	1676.280	2239.512	0.22	1832.286	0.22	1686.580	2490.346	2373.964	1479.1875	Cumple				
0.24	1905.806	0.24	1819.507	2634.901	0.24	1625.242	0.24	1802.406	2426.948	0.24	1573.449	0.24	1794.037	2386.275	2482.708	1479.1875	Cumple				
0.26	1569.235	0.26	1750.868	2351.178	0.26	1492.854	0.26	1880.110	2400.714	0.26	1642.843	0.26	1496.744	2222.425	2324.772	1479.1875	Cumple				
0.28	1778.337	0.28	1682.307	2447.987	0.28	1537.424	0.28	1783.355	2354.576	0.28	1674.732	0.28	1546.803	2279.764	2360.776	1479.1875	Cumple				
0.30	1503.663	0.30	1646.331	2229.666	0.30	1404.703	0.30	1507.887	2060.804	0.30	1692.372	0.30	1902.601	2546.373	2278.947	1479.1875	Cumple				
0.32	1510.680	0.32	1736.756	2301.842	0.32	1559.631	0.32	1481.672	2151.232	0.32	1834.178	0.32	1789.676	2562.645	2338.573	1479.1875	Cumple				
0.34	1421.588	0.34	1934.324	2400.525	0.34	1376.694	0.34	1475.292	2017.864	0.34	1826.808	0.34	1670.234	2475.259	2297.883	1479.1875	Cumple				
0.36	1475.674	0.36	1619.597	2191.052	0.36	1277.930	0.36	1641.255	2080.102	0.36	1881.384	0.36	1865.949	2649.788	2306.980	1479.1875	Cumple				
0.38	1242.865	0.38	1460.700	1917.905	0.38	1216.533	0.38	1694.097	2085.645	0.38	1850.759	0.38	1892.929	2647.355	2216.968	1479.1875	Cumple				
0.40	995.945	0.40	1484.112	1787.315	0.40	1366.493	0.40	1622.312	2058.130	0.40	1653.525	0.40	1771.330	2423.170	2089.538	1479.1875	Cumple				
0.42	1064.358	0.42	1731.660	2032.610	0.42	1354.262	0.42	1536.905	2048.439	0.42	1627.133	0.42	1487.209	2204.994	2095.148	1479.1875	Cumple				
0.44	1138.015	0.44	2090.683	2380.343	0.44	1512.022	0.44	1515.247	2140.604	0.44	1628.339	0.44	1656.004	2322.463	2281.137	1479.1875	Cumple				
0.46	1021.199	0.46	2065.115	2303.811	0.46	1473.214	0.46	1500.909	2103.114	0.46	1525.762	0.46	1681.249	2270.363	2225.763	1479.1875	Cumple				
0.48	807.138	0.48	1802.641	1975.092	0.48	1269.257	0.48	1506.476	1969.894	0.48	1514.247	0.48	1735.874	2303.520	2082.835	1479.1875	Cumple				
0.50	684.285	0.50	1825.456	1949.496	0.50	1163.054	0.50	1508.759	1905.006	0.50	1483.926	0.50	1657.503	2224.714	2026.405	1479.1875	Cumple				
0.52	714.832	0.52	1751.299	1891.569	0.52	1141.416	0.52	1458.593	1852.113	0.52	1484.426	0.52	1506.995	2115.314	1952.999	1479.1875	Cumple				
0.54	731.570	0.54	1604.474	1767.027	0.54	1094.395	0.54	1491.854	1850.224	0.54	1484.151	0.54	1502.056	2111.605	1909.619	1479.1875	Cumple				
0.56	843.917	0.56	1644.293	1848.214	0.56	1198.207	0.56	1480.829	1904.876	0.56	1530.985	0.56	1602.594	2216.354	1989.815	1479.1875	Cumple				
0.58	894.848	0.58	1666.343	1891.415	0.58	1244.678	0.58	1487.748	1939.747	0.58	1529.094	0.58	1706.162	2291.094	2040.752	1479.1875	Cumple				
0.60	826.307	0.60	1958.265	2125.461	0.60	1110.350	0.60	1503.712	1869.232	0.60	1514.139	0.60	1752.710	2316.163	2103.619	1479.1875	Cumple				
0.62	694.046	0.62	2039.703	2154.551	0.62	1096.796	0.62	1540.393	1890.972	0.62	1733.326	0.62	1773.545	2479.895	2175.139	1431.47177					
0.64	615.607	0.64	1869.889	1968.618	0.64	1023.483	0.64	1487.699	1805.759	0.64	2080.246	0.64	1811.589	2758.492	2177.623	1386.73828					
0.66	670.918	0.66	1665.422	1795.483	0.66	947.974	0.66	1434.642	1719.549	0.66	2230.519	0.66	1829.356	2884.746	2133.260	1344.71591					
0.68	700.827	0.68	1525.605	1678.878	0.68	882.510	0.68	1312.896	1581.935	0.68	2407.203	0.68	1834.295	3026.428	2095.747	1305.16544					

Nota: Elaboración propia.

Se define la función del tiempo-historia para cada registro sísmico corregido y escalado al espectro de diseño R=1.

Figura 52

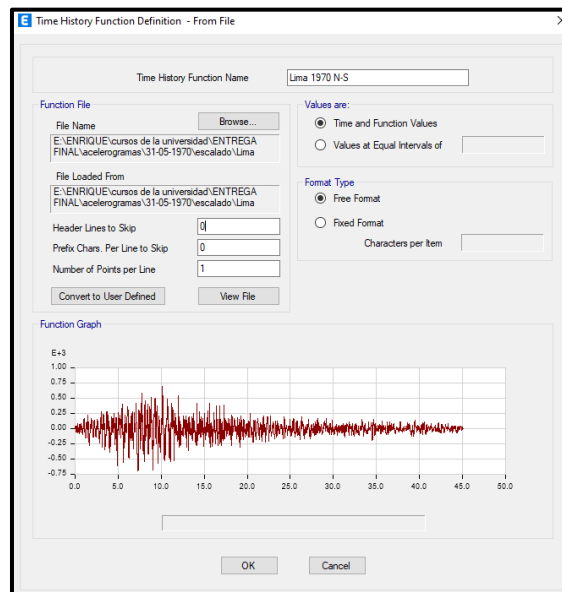
Función tiempo-historia definida Lima 1970 E-W



Nota: Elaboración propia.

Figura 53

Función tiempo-historia definida Lima 1970 N-S



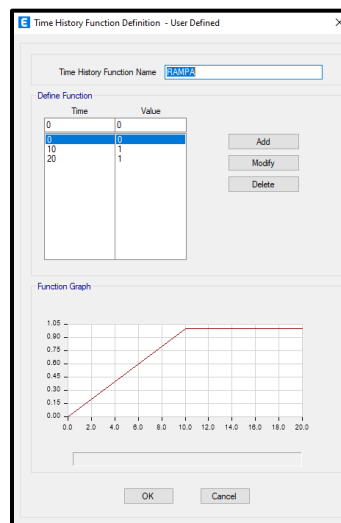
Nota: Elaboración propia.

En la figura N°52 se observa la función del registro sísmico de Lima 1970 para el componente E-W; en la figura N°53, la función del registro sísmico del componente N-S. Se define las demás funciones de los registros restantes para cada uno de sus componentes.

Se crea una función RAMPA de tiempo-historia para el caso de carga gravitacional, este caso será la condición inicial para los casos de tiempo-historia de los registros sísmicos.

Figura 54

Función RAMPA

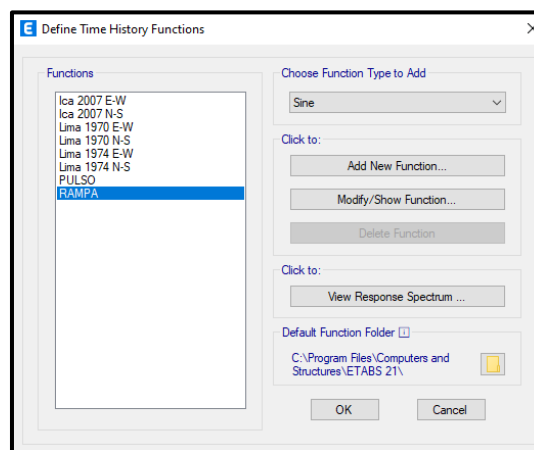


Nota: Elaboración propia.

De acuerdo a la figura N°55 se visualiza las funciones de tiempo-historia de cada registro sísmico.

Figura 55

Funciones tiempo-historia en ETABS

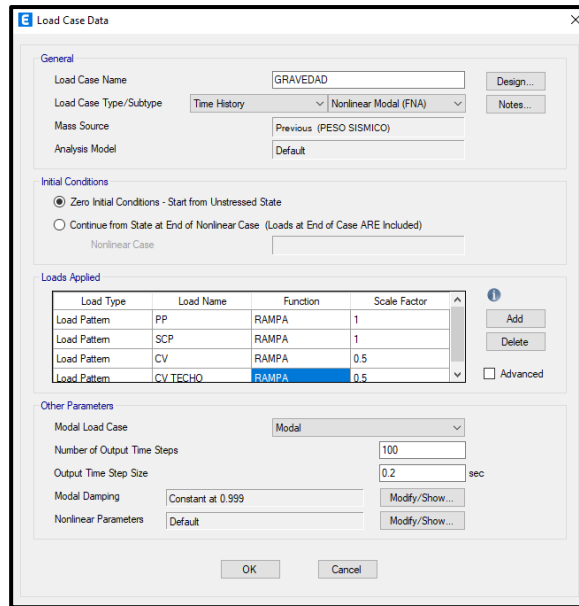


Nota: Elaboración propia.

Se crea el caso de carga de GRAVEDAD como se muestra en la siguiente figura:

Figura 56

Caso de carga de GRAVEDAD en ETABS

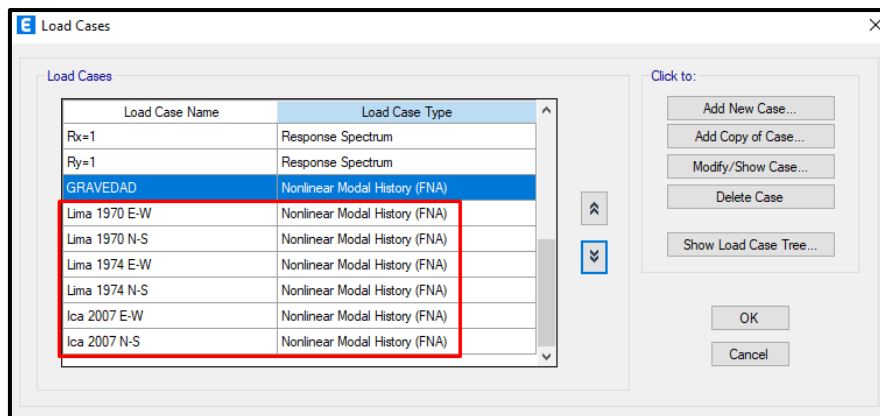


Nota: Elaboración propia.

Se crea los casos de carga de tipo FNA (fast análisis no lineal) que corresponden a cada elemento de los registros sísmicos.

Figura 57

Casos de carga tiempo-historia de cada componente sísmico



Nota: Elaboración propia.

Se somete la estructura a los registros tiempo-historia obteniendo las derivas máximas y mínimas para cada caso de carga. En la tabla N°32 se muestra las derivas máximas y mínimas del caso de carga Lima 1970 E-W.

Tabla 32
Derivas máximas y mínimas para el caso Lima 1970 E-W

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	X	0.006424
Nivel 4	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	X	0.007004
Nivel 3	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	X	0.006362
Nivel 3	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	X	0.007064
Nivel 2	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	X	0.005454
Nivel 2	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	X	0.006170
Nivel 1	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	X	0.002509
Nivel 1	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	X	0.002825

Nota: Elaboración propia.

Se toma como resultado, aquel que sea el mayor entre la distorsión máxima y mínima de la forma que se presenta a continuación:

Tabla 33
Deriva final para el caso Lima 1970 E-W en la dirección X

Nivel	Caso de carga	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 E-W	X	0.007004
Nivel 3	Lima 1970 E-W	X	0.007064
Nivel 2	Lima 1970 E-W	X	0.006170
Nivel 1	Lima 1970 E-W	X	0.002825

Nota: Elaboración propia.

De la misma forma se analizan las derivas para la dirección Y del mismo caso de carga.

Tabla 34
Derivas máximas y mínimas para el caso Lima 1970 E-W

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	Y	0.010046
Nivel 4	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	Y	0.008988
Nivel 3	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	Y	0.010001
Nivel 3	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	Y	0.008902
Nivel 2	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	Y	0.008207
Nivel 2	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	Y	0.007280
Nivel 1	Lima 1970 E-W	NonModHist	Max	Y	0.003573
Nivel 1	Lima 1970 E-W	NonModHist	Min	Y	0.003247

Nota: Elaboración propia.

Se toma como resultado, aquel que sea el mayor entre la distorsión máxima y mínima de la forma que se presenta a continuación:

Tabla 35

Deriva final para el caso Lima 1970 E-W en la dirección Y

Nivel	Caso de carga	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 E-W	Y	0.010046
Nivel 3	Lima 1970 E-W	Y	0.010001
Nivel 2	Lima 1970 E-W	Y	0.008207
Nivel 1	Lima 1970 E-W	Y	0.003573

Nota: Elaboración propia.

Se analiza de igual manera las distorsiones para el componente N-S, obteniendo lo siguiente:

Tabla 36

Derivas máximas y mínimas para el caso Lima 1970 N-S

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	X	0.008676
Nivel 4	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	X	0.008910
Nivel 3	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	X	0.008365
Nivel 3	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	X	0.008619
Nivel 2	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	X	0.006557
Nivel 2	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	X	0.006823
Nivel 1	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	X	0.002804
Nivel 1	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	X	0.003014

Nota: Elaboración propia.

Se toma como resultado, aquel que sea el mayor entre la distorsión máxima y mínima de la forma que se presenta a continuación:

Tabla 37

Deriva final para el caso Lima 1970 N-S en la dirección X

Nivel	Caso de carga	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 N-S	X	0.008910
Nivel 3	Lima 1970 N-S	X	0.008619
Nivel 2	Lima 1970 N-S	X	0.006823
Nivel 1	Lima 1970 N-S	X	0.003014

Nota: Elaboración propia.

De la misma forma se analizan las derivas para la dirección Y del mismo caso de carga.

Tabla 38
Derivas máximas y mínimas para el caso Lima 1970 N-S

Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Step Type	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	Y	0.007056
Nivel 4	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	Y	0.007662
Nivel 3	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	Y	0.007075
Nivel 3	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	Y	0.007632
Nivel 2	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	Y	0.005900
Nivel 2	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	Y	0.006273
Nivel 1	Lima 1970 N-S	NonModHist	Max	Y	0.002598
Nivel 1	Lima 1970 N-S	NonModHist	Min	Y	0.002723

Nota: Elaboración propia.

Se toma como resultado, aquel que sea el mayor entre la distorsión máxima y mínima de la forma que se presenta a continuación:

Tabla 39
Deriva final para el caso Lima 1970 N-S en la dirección Y

Nivel	Caso de carga	Dirección	Drift
Nivel 4	Lima 1970 N-S	Y	0.007662
Nivel 3	Lima 1970 N-S	Y	0.007632
Nivel 2	Lima 1970 N-S	Y	0.006273
Nivel 1	Lima 1970 N-S	Y	0.002723

Nota: Elaboración propia.

Se repite el mismo proceso para los demás casos de carga y para cada componente (E-W, N-S). Se puede observar en los anexos las derivas obtenidas.

La norma E.030 establece que se toma los máximos valores obtenido cuando se usa tres registros sísmicos para el análisis tiempo-historia. Las distorsiones máximas de entrepiso obtenidas del análisis no deben exceder 1.25 veces lo establecido en la tabla N°8.

Para verificar las derivas se aplicará un factor de $1/1.25=0.8$ para la comparativa con el límite de distorsión de entrepiso de la norma E.030.

Tabla 40
Distorsiones máximas resultantes del análisis tiempo-historia para la dirección X sin disipadores

Derivas dirección X-X								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00700	0.00891	0.01202	0.01247	0.00968	0.01051	0.01247	0.00998
3	0.00706	0.00862	0.01170	0.01217	0.00936	0.01031	0.01217	0.00973
2	0.00617	0.00682	0.00937	0.00981	0.00762	0.00884	0.00981	0.00785
1	0.00283	0.00301	0.00425	0.00440	0.00347	0.00410	0.00440	0.00352

Nota: Elaboración propia.
Tabla 41
Distorsiones máximas resultante del análisis tiempo-historia para la dirección Y sin disipadores

Derivas dirección Y-Y								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.01005	0.00766	0.01081	0.01116	0.00978	0.00962	0.01116	0.00892
3	0.01000	0.00763	0.01073	0.01110	0.00975	0.00973	0.01110	0.00888
2	0.00821	0.00627	0.00882	0.00917	0.00803	0.00819	0.00917	0.00734
1	0.00357	0.00272	0.00384	0.00408	0.00350	0.00363	0.00408	0.00326

Nota: Elaboración propia.

Se observa en los resultados que en ambas direcciones se sobrepasa la distorsión máxima de entrepiso permitido por la norma E.030, por lo tanto, se requiere reforzar la estructura en dichas direcciones haciendo uso de los disipadores de fluido viscoso.

Amortiguamiento Objetivo

Se determina el factor de reducción de respuesta para cada dirección, se considera como deriva objetivo el límite de distorsión máximo de entrepiso establecido por la norma E.030.

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

Se obtiene los siguientes factores:

$$B_{XX} = \frac{0.01247}{0.007} = 1.78$$

$$B_{YY} = \frac{0.01116}{0.007} = 1.59$$

Se calcula el amortiguamiento efectivo en las direcciones analizadas

$$B = \frac{2.31 - 0.41\text{Ln}(\beta_0)}{2.31 - 0.41\text{Ln}(B_{eff})}$$

Se obtiene los siguientes amortiguamientos efectivos:

$$\beta_{effXX} = 29.17\%$$

$$\beta_{effYY} = 22.26\%$$

Se obtiene los siguientes amortiguamientos para los disipadores de fluido viscoso:

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

$$\beta_{viscX} = 24.17\%$$

$$\beta_{viscY} = 17.26\%$$

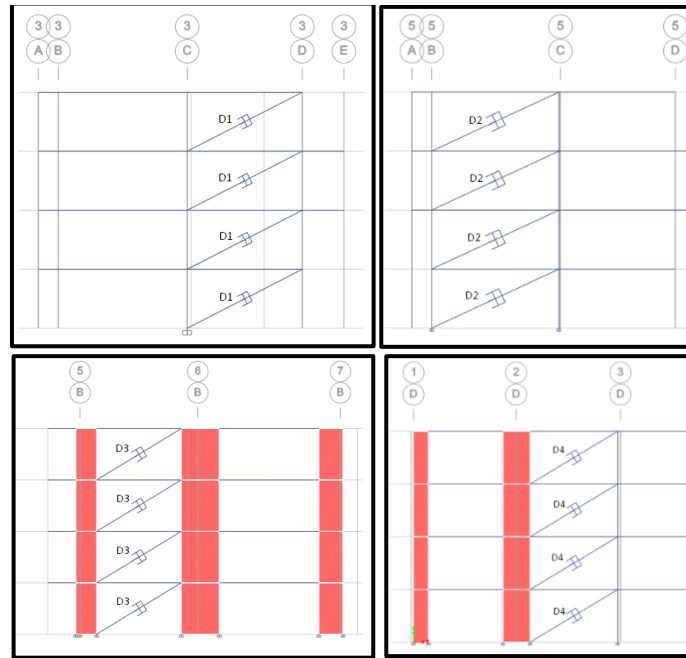
Se establece como amortiguamiento objetivo para ambas direcciones el valor de 25%, debido a la proximidad de los resultados y como un margen de seguridad.

Ubicación de los disipadores de fluido viscoso.

Se determina la disposición de los brazos metálicos, así mismo su longitud de acuerdo a las medidas de la estructura.

Figura 58

Ubicación de los brazos rígidos



Nota: Elaboración propia.

Tabla 42

Longitud de brazo rígido

Brazo rígido	Longitud (m)
D1	6.57
D2	7.14
D3	5.77
D4	5.82

Nota: Elaboración propia.

Se selecciona un perfil HSS219.1x12.7 con las siguientes propiedades para el brazo rígido:

Tabla 43

Perfil HSS219.1x12.7

Perfil	Espesor (m)	Área (m ²)	Radio(m)
HSS8.625x0.500	0.0127	0.0077	0.219

Nota: Elaboración propia.

Se define la rigidez de los brazos metálicos para cada disipador:

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

Tabla 44

Rigidez de brazo rígido

Brazo rígido	E (tn/m2)	A (m2)	Longitud	K (tn/m)
D1	20400000	0.0077	6.57	23908.68
D2	20400000	0.0077	7.14	22000.00
D3	20400000	0.0077	5.77	27223.57
D4	20400000	0.0077	5.82	26989.69

Nota: Elaboración propia.

Se calcula el coeficiente de amortiguamiento

$$\beta_{visc} = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{rj}^{1+\alpha} \text{Cos}^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} W^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2}$$

CDV Ingeniería Antisísmica recomienda usar el valor de $\alpha=0.5$ por lo cual de acuerdo al FEMA 274 el valor de λ es 3.5.

Figura 59

Exponente α y parámetro λ

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

Nota: Obtenido de FEMA 274, 2000.

Se calcula el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 1 como se muestra a continuación:

Tabla 45

Cálculo para coeficiente de amortiguamiento

Nivel	Φ_i	Φ_{rj}	m_i	$\cos \theta$	$\cos \theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m_i * \Phi_i^2$
4	0.116	0.037	35.46	0.890	0.006066	0.480875
3	0.079	0.036	44.48	0.890	0.000000	0.278082
2	0.043	0.029	44.48	0.890	0.006340	0.080707
1	0.013	0.013	41.61	0.890	0.000000	0.007246
Total					0.012407	0.846910

Nota: Elaboración propia.

Tabla 46

Coefficientes para el coeficiente de amortiguamiento

α	0.5
λ	3.5
T	0.389
w	16.152147
A	0.000041
$w^{(2-\alpha)}$	64.915051
$A^{(1-\alpha)}$	0.006403
β_{visc}	25

Nota: Elaboración propia.

Se definió el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 1.

Tabla 47

Factor de amortiguamiento del disipador

C	1273.38
# Disipadores	4
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	318.35

Nota: Elaboración propia.

La tabla N°48 muestra las propiedades del disipador 1

Tabla 48

Propiedades del disipador

C	318.35
K	23908.676
α	0.5

Nota: Elaboración propia.

Se calcula el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 2 como se muestra a

continuación:

Tabla 49

Cálculo para coeficiente de amortiguamiento

Nivel	Φ_i	Φ_{rj}	m_i	$\cos \theta$	$\cos \theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m_i * \Phi_i^2$
4	0.116	0.037	35.46	0.907	0.006246	0.480875
3	0.079	0.036	44.48	0.907	0.000000	0.278082
2	0.043	0.029	44.48	0.907	0.006514	0.080707
1	0.013	0.013	41.61	0.907	0.000000	0.007246
Total					0.012761	0.846910

Nota: Elaboración propia.

Tabla 50

Coefficientes para el coeficiente de amortiguamiento

α	0.5
λ	3.5
T	0.389
w	16.1521473
A	0.000041
$w^{(2-\alpha)}$	64.9150507
$A^{(1-\alpha)}$	0.00640312
β_{visc}	25

Nota: Elaboración propia.

Se definió el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 2.

Tabla 51

Factor de amortiguamiento del disipador

C	1238.06
# Disipadores	4
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	309.52

Nota: Elaboración propia.

La tabla N°52 muestra las propiedades del disipador 2

Tabla 52

Propiedades del disipador

C	309.52
K	20000
α	0.5

Nota: Elaboración propia.

Se calcula el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 3 como se muestra a continuación:

Tabla 53

Cálculo para coeficiente de amortiguamiento

Nivel	Φ_i	Φ_{rj}	m_i	$\cos \theta$	$\cos \theta^{(1+\alpha)} * \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m_i * \Phi_i^2$
4	0.106	0.033	35.46	0.854	0.004786	0.398387
3	0.073	0.033	44.48	0.854	0.000000	0.235396
2	0.040	0.028	44.48	0.854	0.004864	0.070279
1	0.012	0.012	41.61	0.854	0.000000	0.006231
Total					0.009650	0.710293

Nota: Elaboración propia.

Tabla 54

Coeficientes para el coeficiente de amortiguamiento

α	0.5
λ	3.5
T	0.420
w	14.959965
A	0.000037
$w^{(2-\alpha)}$	57.862323
$A^{(1-\alpha)}$	0.006083
β_{visc}	25

Nota: Elaboración propia.

Se definió el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 3.

Tabla 55

Factor de amortiguamiento del disipador

C	1162.68
# Disipadores	4
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	290.67

Nota: Elaboración propia.

La tabla N°56 muestra las propiedades del disipador 3

Tabla 56

Propiedades del disipador

C	290.67
K	27223.57
α	0.5

Nota: Elaboración propia.

Se calcula el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 4 como se muestra a continuación:

Tabla 57

Cálculo para coeficiente de amortiguamiento

Nivel	Φ_i	Φ_j	m_i	$\text{COS } \theta$	$\text{cos}\theta^{(1+\alpha)} * \Phi_j^{(1+\alpha)}$	$m_i * \Phi_i^2$
4	0.106	0.033	35.46	0.857	0.004809	0.398387
3	0.073	0.033	44.48	0.857	0.000000	0.235396
2	0.040	0.028	44.48	0.857	0.004886	0.070279
1	0.012	0.012	41.61	0.857	0.000000	0.006231
Total					0.009696	0.710293

Nota: Elaboración propia.

Tabla 58

Coefficientes para el coeficiente de amortiguamiento

α	0.5
λ	3.5
T	0.420
w	14.959965
A	0.000037
$w^{(2-\alpha)}$	57.862323
$A^{(1-\alpha)}$	0.006083
β_{visc}	25

Nota: Elaboración propia.

Se definió el coeficiente de amortiguamiento para el disipador 4.

Tabla 59

Factor de amortiguamiento del disipador

C	1157.16
# Disipadores	4
C (Coef. Amortiguamiento) (Tn*s/m)	289.29

Nota: Elaboración propia.

La tabla N°60 muestra las propiedades del disipador 4

Tabla 60

Propiedades del disipador

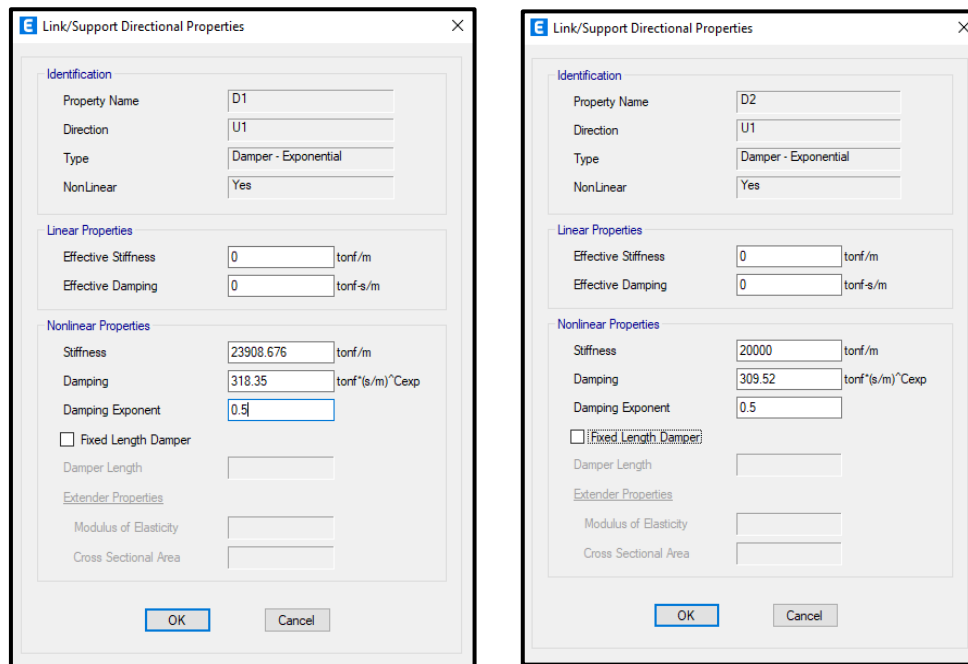
C	289.29
K	26989.691
α	0.5

Nota: Elaboración propia.

Se modela los dispositivos en el software ETABS con las propiedades determinadas anteriormente de la forma que se presenta a continuación:

Figura 60

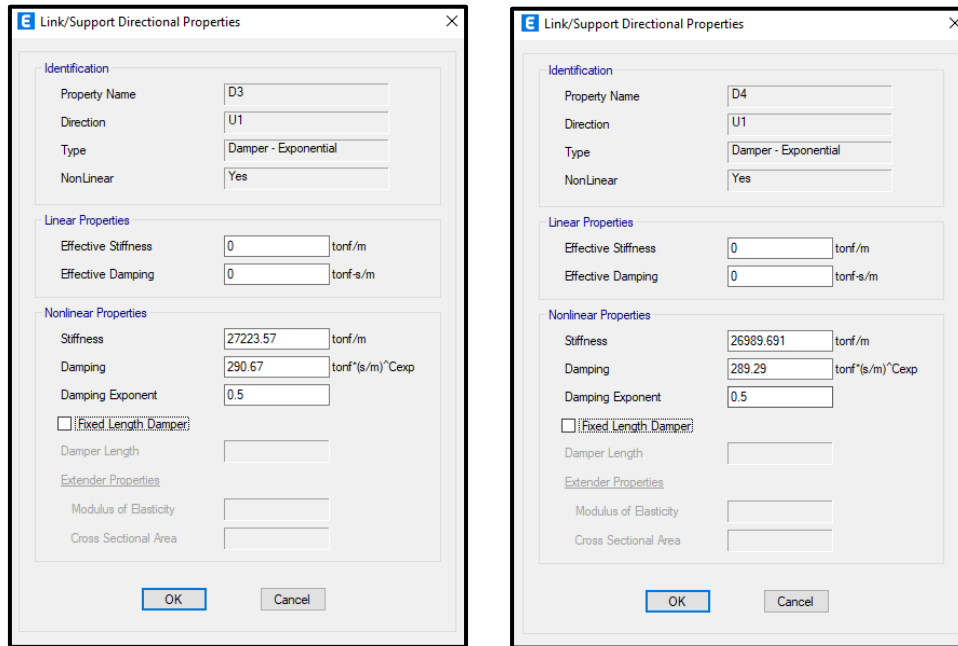
Propiedades definidas para el disipador 1 y 2



Nota: Elaboración propia.

Figura 61

Propiedades definidas para el disipador 3 y 4

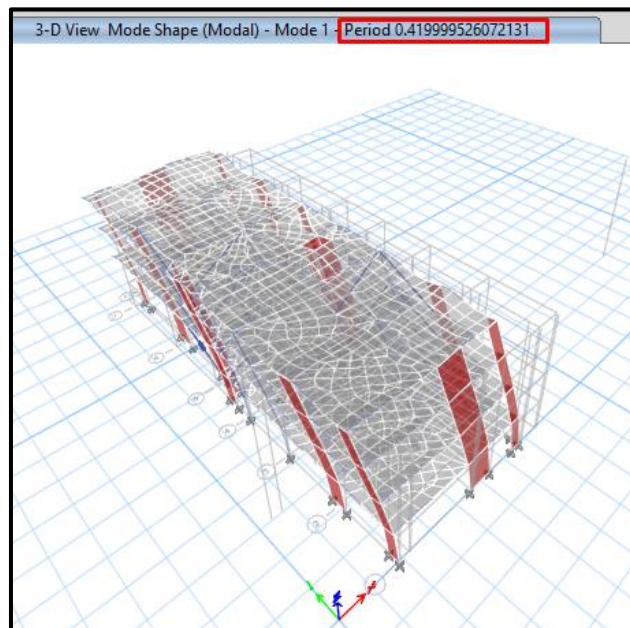


Nota: Elaboración propia.

Finalizando el modelamiento de los disipadores, se procede a analizar la estructura y se certifica que el periodo de vibración se mantiene en el mismo valor como se observa en la figura N°62.

Figura 62

Periodo de vibración con disipadores



Nota: Elaboración propia.

Verificación de distorsiones máximas

Se verifica las nuevas derivas para los tres casos de tiempo-historia con la incorporación de los disipadores de fluido viscoso.

Tabla 61

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección X con disipadores

Derivas dirección X-X								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00504	0.00708	0.00527	0.00521	0.00671	0.00615	0.00708	0.00566
3	0.00500	0.00692	0.00523	0.00518	0.00664	0.00611	0.00692	0.00553
2	0.00411	0.00566	0.00439	0.00426	0.00548	0.00502	0.00566	0.00453
1	0.00200	0.00259	0.00214	0.00193	0.00270	0.00229	0.00270	0.00216

Nota: Elaboración propia.

Tabla 62

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección Y con disipadores

Derivas dirección Y-Y								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00507	0.00381	0.00388	0.00412	0.00510	0.00605	0.00605	0.00484
3	0.00518	0.00383	0.00385	0.00421	0.00520	0.00622	0.00622	0.00498
2	0.00437	0.00317	0.00332	0.00379	0.00443	0.00542	0.00542	0.00434
1	0.00201	0.00145	0.00153	0.00180	0.00201	0.00253	0.00253	0.00203

Nota: Elaboración propia.

Se observan que las distorsiones máximas cumplen con el límite permisible de la norma E.030, por lo tanto, se puede dar como correcto el diseño del sistema de reforzamiento.

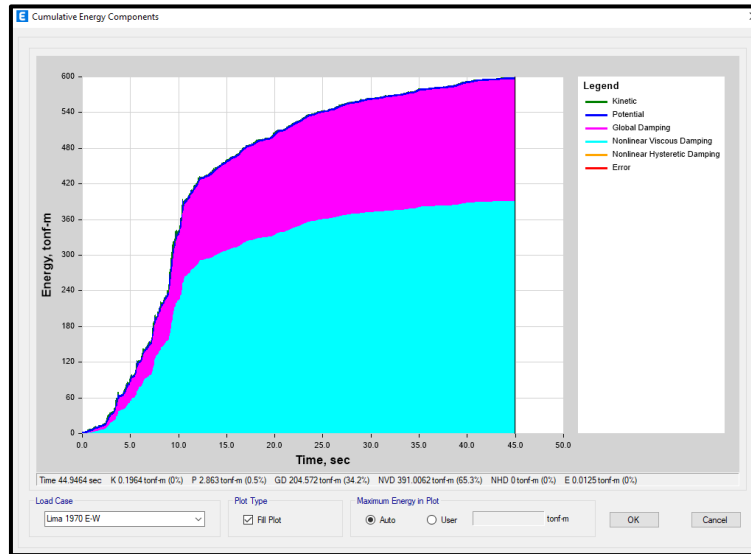
Balance de energía

Mediante el gráfico de energía se puede observar la participación de los dispositivos en la disipación de energía para cada registro sísmico.

En la figura N°63 se observa que los disipadores tienen un 65.3% de participación en la disipación de la energía.

Figura 63

Registro Lima 1970 E-W

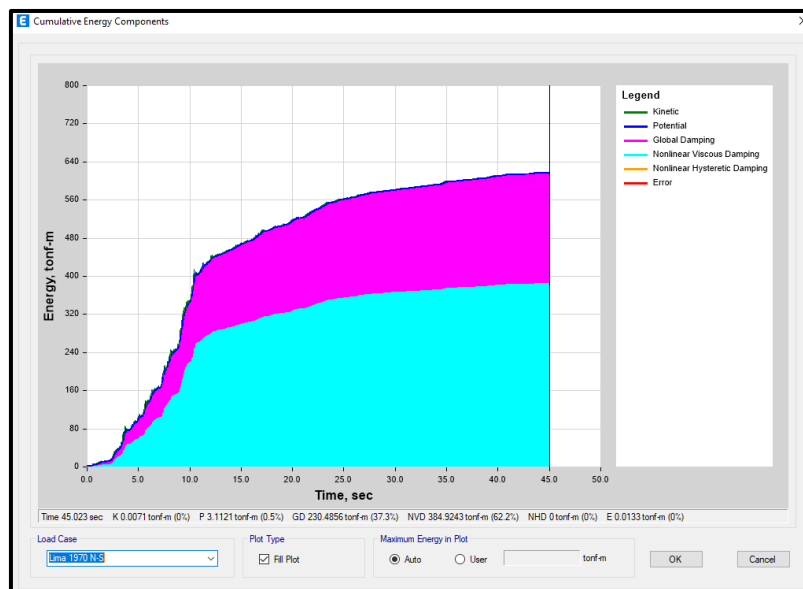


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°64 se observa que los disipadores tienen un 62.2% de participación en la disipación de la energía.

Figura 64

Registro Lima 1970 N-S

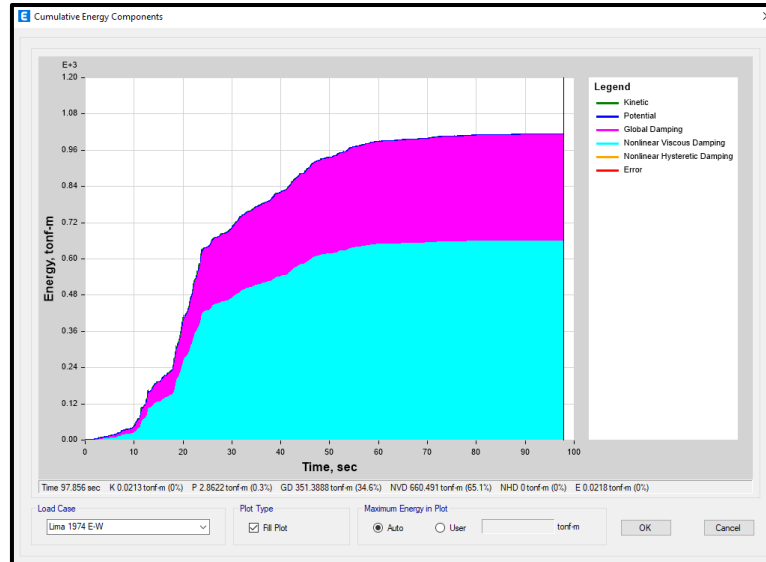


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°65 se observa que los disipadores tienen un 65.1% de participación en la disipación de la energía.

Figura 65

Registro Lima 1974 E-W

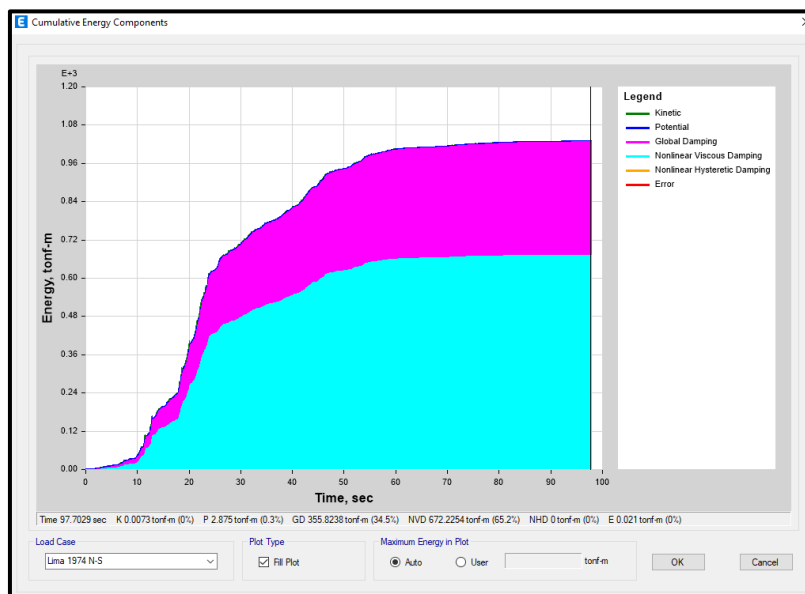


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°66 se observa que los disipadores tienen un 65.2% de participación en la disipación de la energía.

Figura 66

Registro Lima 1974 N-S

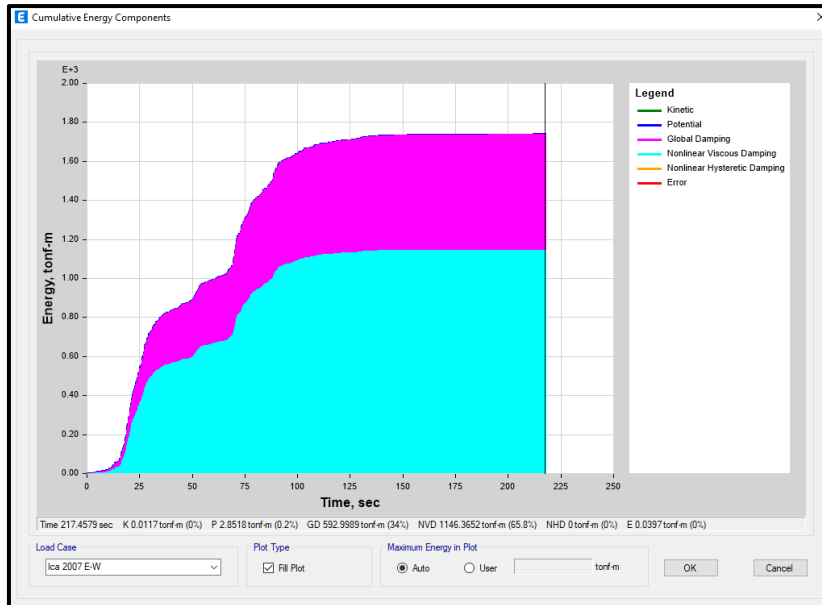


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°67 se observa que los disipadores tienen un 65.8% de participación en la disipación de la energía.

Figura 67

Registro Lima 2007 E-W

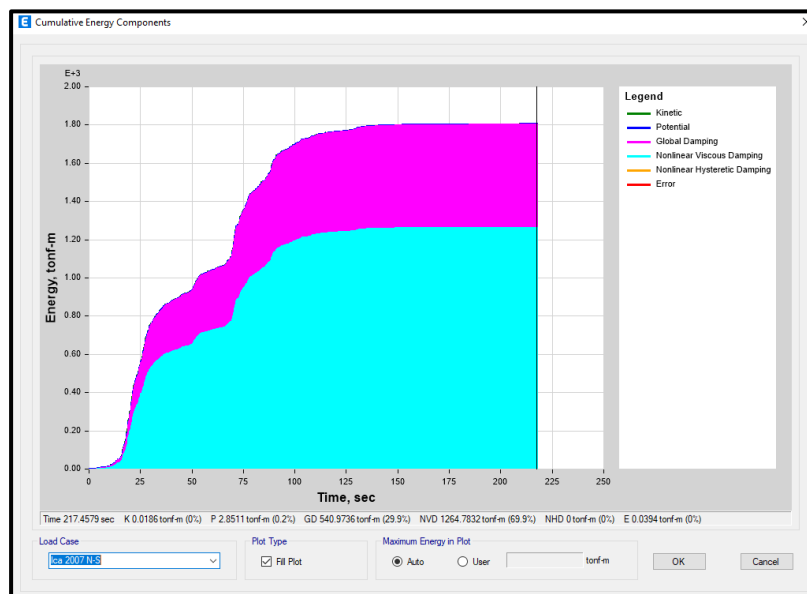


Nota: Elaboración propia.

En la figura N°68 se observa que los disipadores tienen un 69.9% de participación en la disipación de la energía.

Figura 68

Registro Lima 2007 N-S



Nota: Elaboración propia.

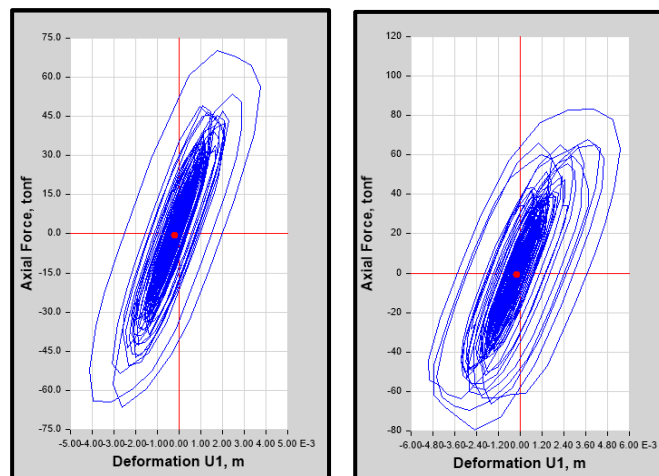
De acuerdo al análisis se observa que el porcentaje de participación de amortiguamiento se aproxima a 65%.

Curva de histéresis

Se identifica el comportamiento Fuerza-Desplazamiento del amortiguador, en la figura N°69 se observa una tendencia elíptica tal como se explicó en el marco teórico.

Figura 69

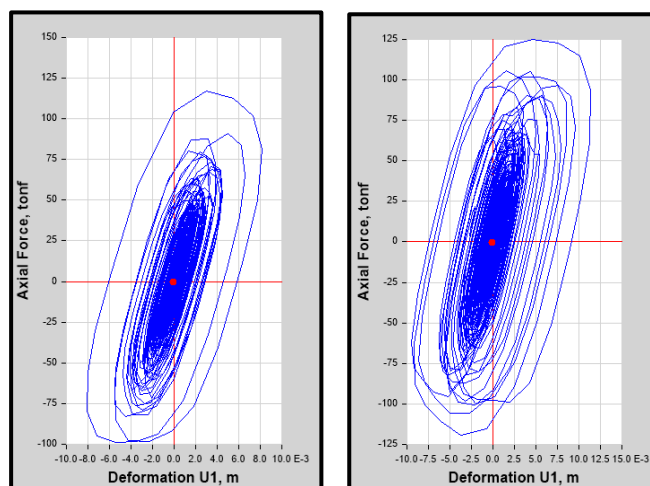
Curva de histéresis Disipador K1 – Caso Lima 1970 EW y NS



Nota: Elaboración propia.

Figura 70

Curva de histéresis Disipador K2 – Caso Lima 1970 EW y NS



Nota: Elaboración propia.

En total serán 16 disipadores para cada registro sísmico (ver anexos).

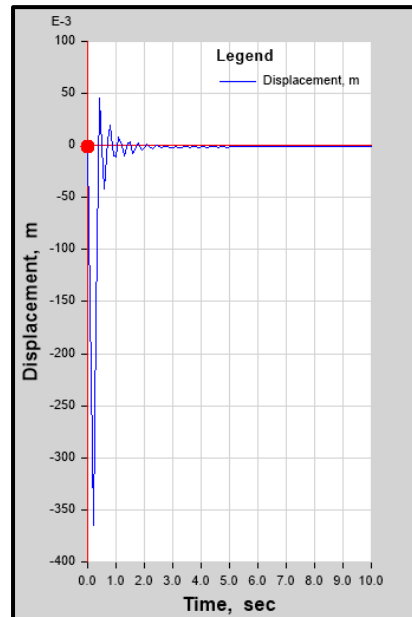
Amortiguamiento objetivo

Se verifica el amortiguamiento objetivo mediante la función pulso y la curva Tiempo vs

Desplazamiento:

Figura 71

Curva Tiempo-Desplazamiento



Nota: Elaboración propia.

Se calcula el amortiguamiento con la fórmula de decaimiento logarítmico:

Tabla 63

Decaimiento Logarítmico

Decremento Logarítmico	
Ingrese n:	3
Ingrese x1:	0.365133
Ingrese x2:	0.004537
$\delta = \ln(x1/x2)$:	4.388084
ξ	0.329
β	0.279

Nota: Elaboración propia.

Considerando 5% de amortiguamiento de inherente se obtiene:

$$\beta_{visc} = 27.9\%$$

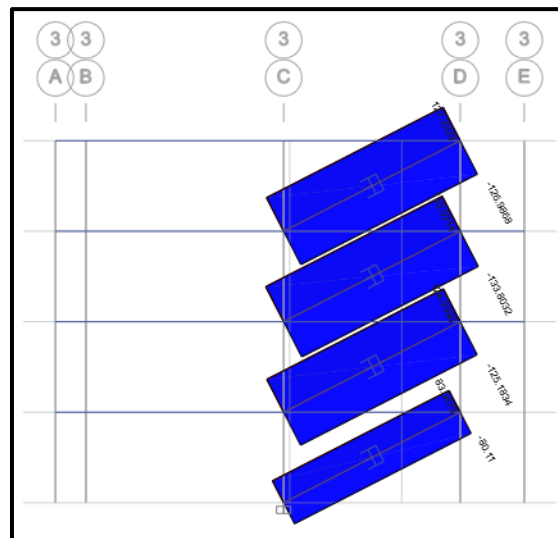
El amortiguamiento obtenido con la adición de disipadores supera el objetivo.

Diseño de disipador y placa base

Se obtienen las fuerzas axiales máximas de los disipadores considerando todos los casos de tiempo-historia.

Figura 72

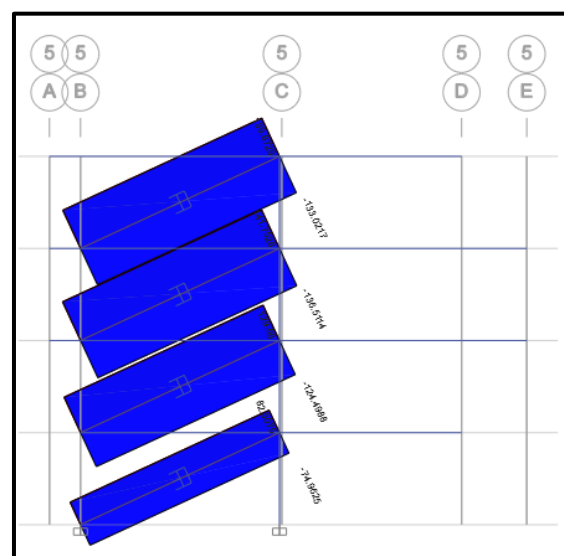
Fuerzas axiales de los disipadores D1



Nota: Elaboración propia.

Figura 73

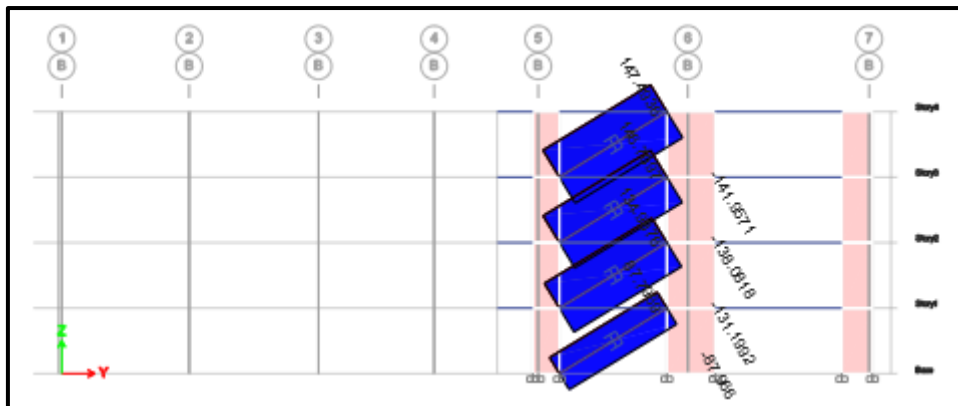
Fuerzas axiales de los disipadores D2



Nota: Elaboración propia.

Figura 74

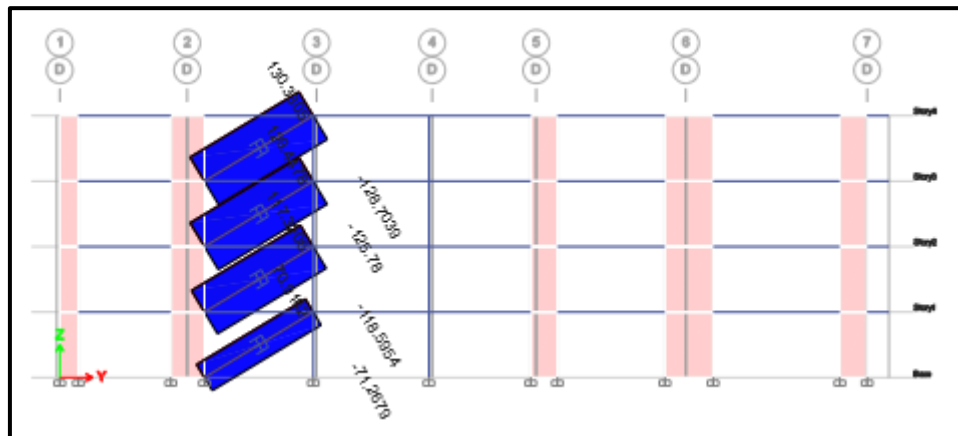
Fuerzas axiales de los disipadores D3



Nota: Elaboración propia.

Figura 75

Fuerzas axiales de los disipadores D4



Nota: Elaboración propia.

Se muestra en la tabla N°64 los resultados de las fuerzas axiales máximas para cada disipador, tomando un valor estándar de 1500kn.

Tabla 64

Fuerzas axiales máximas en los disipadores

Disipador	Fuerza tonf	Fuerza kn	Disipador kn
K1	83.05	814.426	1500
K2	125.18	1227.636	1500
K3	133.80	1312.168	1500
K4	127.32	1248.617	1500
K5	82.31	807.165	1500
K6	129.68	1271.733	1500
K7	141.75	1390.127	1500

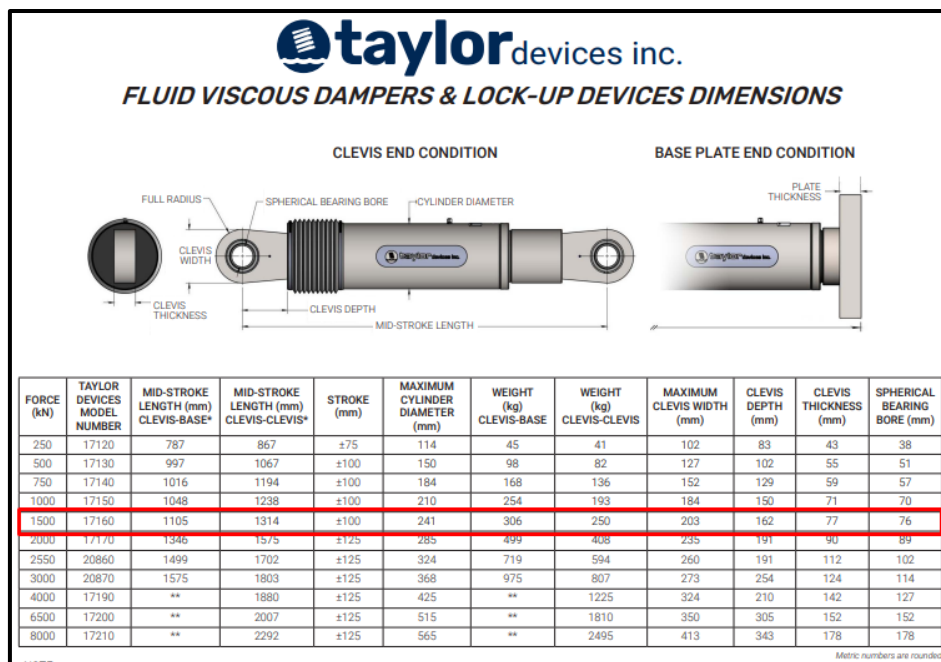
K8	139.87	1371.692	1500
K9	87.97	862.656	1500
K10	134.99	1323.783	1500
K11	146.71	1438.738	1500
K12	147.49	1446.425	1500
K13	71.27	698.903	1500
K14	118.60	1163.030	1500
K15	129.45	1269.456	1500
K16	130.33	1278.112	1500

Nota: Elaboración propia.

A partir de la fuerza axial estándar obtenida se procede a seleccionar el disipador que se adecue a estas condiciones. Taylor devices Inc. en su catálogo “Fluid Viscous Dampers & Lock-up Devices Dimensions” establece las dimensiones estándar para disipadores según la fuerza a la cual están sometidos.

Figura 76

Tabla de propiedades de disipadores Taylor



Nota: En la imagen se muestra el catálogo de disipadores de acuerdo a su fuerza resistente con sus respectivas dimensiones del disipador. Adaptado de CDV Ingeniería Antisísmica.

Se toma el disipador de 1500kn como se muestra en la figura N°76 obteniendo las siguientes dimensiones:

Tabla 65

Propiedades de disipador seleccionado

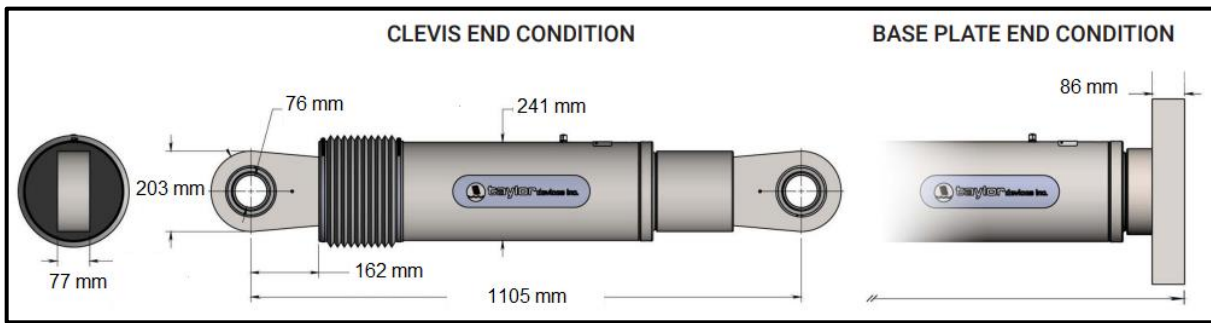
Force (kN)	Mid-Stroke Length (mm)	Maximum Cylinder Diameter (mm)	Maximum Clevis Width (mm)	Clevis Depth (mm)	Clevis Thickness (mm)	Spherical Bearing Bore (mm)
1500	1105	241	203	162	77	76

Nota: Elaboración propia.

En la figura N°77 se muestra las dimensiones establecidas para el disipador 1500kN.

Figura 77

Dimensiones de disipador seleccionado



Nota: Elaboración propia.

De acuerdo al disipador de determina las dimensiones de la placa base del dispositivo.

Figura 78

Tabla de pancha base de disipador

FLANGE PLATE DIMENSIONS

FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SQUARE PLATE (mm)						RECTANGLE PLATE (mm)						ROUND PLATE (mm)								
		NO OF BOLTS	φ	A	B	C	DAMPER BASE PLATE THICKNESS	HSS SIZE*	NO OF BOLTS	φ	A	B	C	E	DAMPER BASE PLATE THICKNESS	HSS SIZE*	NO OF BOLTS	φ	D	d	DAMPER BASE PLATE THICKNESS	HSS SIZE*
250	17120	4	21	178	64	-	38	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**	**
500	17130	8	21	286	114	44	38	150x150	6	24	197	305	118	67	51	150x150	6	24	324	260	38	φ200
750	17140	8	24	337	133	57	61	200x200	6	29	222	343	137	76	74	200x200	6	29	368	298	61	φ200
1000	17150	8	29	374	149	60	76	200x200	6	32	248	387	152	83	86	200x200	6	32	413	330	76	φ250
1500	17160	8	35	438	171	70	86	250x250	8	35	349	432	171	129	86	250x250	8	35	457	368	86	φ250
2000	17170	8	38	464	178	89	102	250x250	8	38	362	451	178	133	99	250x250	8	38	521	425	102	φ300
2550	20860	8	41	559	222	102	99	300x300	8	41	387	552	226	143	124	300x300	8	41	628	527	99	φ400
3000	20870	12	41	610	248	127	102	350x350	10	41	483	610	254	191	137	350x350	12	41	704	603	102	φ470
4000	17190	16	41	718	302	152	127	**	-	-	-	-	-	-	-	-	16	41	819	717	127	φ580
6500	17200	20	41	822	353	203	140	**	-	-	-	-	-	-	-	-	20	41	997	895	140	φ760

Nota: Elaboración propia.

La tabla N°66 muestra las propiedades de la plancha base del disipador.

Tabla 66

Propiedades de plancha base cuadrada

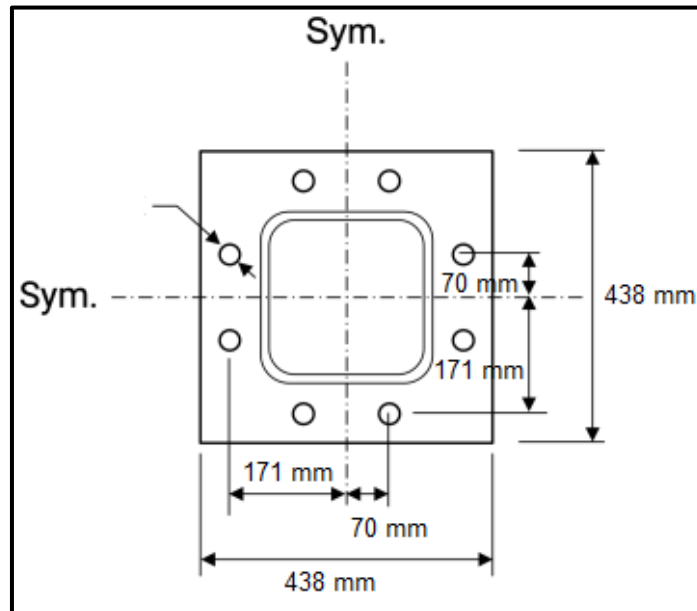
Force (kN)	Square Plate (mm)					Base plate thickness
	N° of bolts	ϕ	A	B	C	
1500	8	35	438	171	70	86

Nota: Elaboración propia.

La figura N°79 muestra las dimensiones de la plancha base seleccionada.

Figura 79

Dimensiones de plancha base cuadrada



Nota: Elaboración propia.

Diseño de brazo metálico

Se consideró un brazo metálico de sección HSS8.625x0.500 como parte del sistema de reforzamiento, por lo tanto, se debe verificar que el perfil seleccionado sea capaz de soportar las fuerzas a las cuales está sometido. En la figura N°80 se puede observar las propiedades que posee este perfil según AISC Steel construction manual 13th.

Figura 80

Propiedades geométricas de los perfiles HSS

Table 1-13 (continued) Round HSS Dimensions and Properties											
Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i>	Nominal Wt.	Area, <i>A</i>	<i>D/t</i>	<i>I</i>	<i>S</i>	<i>r</i>	<i>Z</i>	Torsion		
									<i>J</i>	<i>C</i>	
									in. ⁴	in. ³	
HSS9.625×0.500	0.465	48.77	13.4	20.7	141	29.2	3.24	39.0	281	58.5	
×0.375	0.349	37.08	10.2	27.6	110	22.8	3.28	30.0	219	45.5	
×0.312	0.291	31.06	8.53	33.1	93.0	19.3	3.30	25.4	186	38.7	
×0.250	0.233	25.06	6.87	41.3	75.9	15.8	3.32	20.6	152	31.5	
×0.188	0.174	18.97	5.17	55.3	57.7	12.0	3.34	15.5	115	24.0	
HSS8.625×0.625	0.581	53.45	14.7	14.8	119	27.7	2.85	37.7	239	55.4	
×0.500	0.465	43.43	11.9	18.5	100	23.1	2.89	31.0	199	46.2	
×0.375	0.349	33.07	9.07	24.7	77.8	18.0	2.93	23.9	156	36.1	
×0.322	0.300	28.58	7.85	28.8	68.1	15.8	2.95	20.8	136	31.6	
×0.250	0.233	22.38	6.14	37.0	54.1	12.5	2.97	16.4	108	25.1	
×0.188	0.174	16.96	4.62	49.6	41.3	9.57	2.99	12.4	82.5	19.1	
HSS7.625×0.375	0.349	29.06	7.98	21.8	52.9	13.9	2.58	18.5	106	27.8	
×0.328	0.305	25.59	7.01	25.0	47.1	12.3	2.59	16.4	94.1	24.7	
HSS7.50×0.500	0.465	37.42	10.3	16.1	63.9	17.0	2.49	23.0	128	34.1	

Nota: Obtenido de AISC Steel Construction Manual 13th.

Para verificar el brazo metálico se seleccionó el caso más desfavorable, siendo este el disipador K12. Este disipador está sometido a una fuerza de 147.49tn (ver tabla N°64) y presenta las siguientes propiedades:

Tabla 67

Propiedades del perfil HSS

Perfil	Longitud (in)	Área (in ²)	r(in)	F _y (ksi)	F _u (ksi)	E (ksi)
HSS8.625x0.500	144.47	11.9	2.89	35	50	29000

Nota: Elaboración propia.

Se verifica las fuerzas máximas de compresión (ϕP_n) y tensión (ϕT_n) como se muestra a continuación:

- Cálculo del esfuerzo elástico:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2}$$

Ecuación 24: Esfuerzo elástico

$$F_e = \frac{\pi^2 * 29000}{\left(\frac{144.47}{2.89}\right)^2}$$

$$F_e = 114.53ksi$$

- Cálculo de Fcr:

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) * F_y$$

Ecuación 25: Cálculo de Fcr

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{35}{114.53}\right) * 35$$

$$F_{cr} = 30.80ksi$$

- Verificación de la fuerza de compresión del brazo metálico:

$$\phi P_n = \phi * F_{cr} * A$$

Ecuación 26: Fuerza a compresión

$$\phi P_n = 0.9 * 24.72 * 11.9$$

$$\phi P_n = 329.85kips = 149.62tn$$

$$\phi P_n = 149.62tn > 147.49tn \dots \dots (ok)$$

- Verificación de la fuerza a tensión del brazo metálico:

$$\phi T_n = \phi * F_y * A$$

Ecuación 27: Fuerza a tensión

$$\phi T_n = 0.9 * 35 * 11.9$$

$$\phi T_n = 374.85kips = 170.03tn$$

$$\phi T_n = 170.03tn > 147.49tn \dots \dots (ok)$$

Costo de los dispositivos en base al metro cuadrado

Se evalúa el coste que llevaría incorporar el sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso en la estructura del palacio municipal. El precio unitario del disipador se obtuvo de la investigación de Apaza, 2021. En dicha investigación se aplica un disipador de 330kip que equivale a 1500kN, siendo este valor el requerido para la presente investigación. En la tabla N°68 se detalla el costo total para este sistema de reforzamiento.

Tabla 68

Coste total de los disipadores

Disipador	Cantidad	P.U. (\$)	Parcial (\$)
1500kN	16	10286	164576
Conexiones	16	1000	16000
Sub total			180576
IGV (18%)			32503.68
Total			213079.68

Nota: Elaboración propia.

Se estima el costo por metro cuadrado que implica la integración de un sistema de reforzamiento a la estructura; para ello, primero se debe calcular el área techada total de la edificación.

Tabla 69

Área techada del palacio municipal

Nivel	Área techada (m2)
4	513.88
3	535.14
2	535.14
1	496.7
Total	2080.86

Nota: Elaboración propia.

Teniendo el área techada total se puede determinar el costo por metro cuadrado que conlleva la aplicación de los disipadores en la edificación.

$$\text{Costo por metro cuadrado} = \frac{\text{Costo total del sistema de reforzamiento}}{\text{Área techada}}$$

$$\text{Costo por metro cuadrado} = \frac{213079.68}{2080.86}$$

$$\text{Costo por metro cuadrado} = 102.39\$/\text{m}^2$$

El costo por metro cuadrado para incorporar el sistema de reforzamiento en la edificación es 102.39 \$, esto debido a la importancia de la edificación según normativa y la zona de alta actividad sísmica en la cual se encuentra; por tal motivo, se buscó un desempeño ambicioso con la finalidad de asegurar la integridad de la estructura ante un evento sísmico severo.

CAPÍTULO III: RESULTADOS

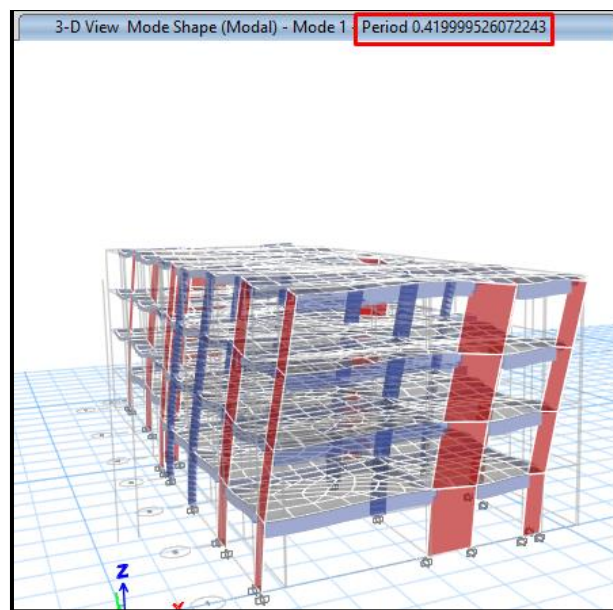
3.1 Objetivo específico 1:

Se obtuvieron los siguientes resultados de la evaluación del comportamiento sísmico actual del palacio municipal:

- Se obtuvo que el periodo fundamental de vibración es 0.419 seg.

Figura 81

Periodo de vibración



Nota: En la figura se muestra el periodo de vibración de la estructura. Elaboración propia.

- Se obtuvo los tres primeros modos de vibración de los cuales los dos primeros son traslacionales y el tercero rotacional.

Figura 82

Modos de vibración

Case	Mode	Period sec	UX	UY	UZ	SumUX	SumUY	SumUZ	RX
Modal	1	0.42	0.1421	0.5755	4.722E-05	0.1421	0.5755	4.722E-05	0.0174
Modal	2	0.389	0.5846	0.1364	0	0.7267	0.7119	4.723E-05	0.0068
Modal	3	0.31	0.0018	0.0081	0.0004	0.7285	0.7199	0.0004	0.0004
Modal	4	0.195	9.489E-06	4.668E-05	0.0033	0.7285	0.72	0.0037	0.0024
Modal	5	0.194	0.0001	0.0004	0.0186	0.7286	0.7204	0.0223	0.0141

Nota: En la figura se muestra los tres primeros modos de vibración de la estructura. Elaboración propia.

- Se realizó la corrección de escala para la fuerza cortante dinámica. Para la dirección X se tiene una fuerza cortante mínima de 80% la fuerza de corte estática; para la dirección Y, una fuerza cortante mínima de 90% la fuerza de corte estática.

Tabla 70
Corrección de cortante mínima

	Dirección X	Dirección Y
V dinámica	329412.82	411475.01
V estática	411900.38	457666.36
V _{din} /V _{est}	0.80	0.90
Cociente min	0.80	0.90

Nota: En la tabla se muestran las fuerzas cortantes dinámicas corregidas. Elaboración propia.

- Se obtuvo las derivas máximas de entrepiso para cada dirección de análisis.

Tabla 71
Distorsión de entrepiso para la dirección X

Distorsión de entrepiso				
Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Dirección	Drift
Nivel 4	SX DRIFT	LinStatic	X	0.008235
Nivel 3	SX DRIFT	LinStatic	X	0.008092
Nivel 2	SX DRIFT	LinStatic	X	0.006782
Nivel 1	SX DRIFT	LinStatic	X	0.003206

Nota: En la tabla se muestran las derivas de entrepiso. Elaboración propia.

Tabla 72
Distorsión de entrepiso para la dirección Y

Distorsión de entrepiso				
Nivel	Caso de carga	Tipo de caso	Dirección	Drift
Nivel 4	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.009941
Nivel 3	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.010070
Nivel 2	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.008505
Nivel 1	SY DRIFT	LinStatic	Y	0.003775

Nota: En la tabla se muestran las derivas de entrepiso. Elaboración propia.

La distorsión máxima para la dirección X es 0.008235; para la dirección Y, 0.010070. Estas exceden el límite para la distorsión del entrepiso, por lo cual ambas direcciones requieren un reforzamiento.

3.2 Objetivo específico 2:

La metodología aplicada en la presente investigación para la incorporación de los disipadores es la siguiente:

Evaluación Sísmica

Se evalúa la estructura en base a la normativa actual con la finalidad de obtener las fuerzas de corte y distorsiones máximas, de esta manera se define si la estructura requiere o no la incorporación de un sistema de reforzamiento.

Selección del Sistema de Reforzamiento Estructural

La selección del sistema está en base de las siguientes características

Tabla 73

Cuadro comparativo: Refuerzo Estructural Tradicional, Disipadores de Fluido Viscoso y Aisladores Sísmicos

Característica	Refuerzo Estructural Tradicional	Disipadores de Fluido Viscoso	Aisladores Sísmicos
Descripción	Reforzamiento mediante adición de elementos de concreto, acero u otros materiales a una estructura existente para aumentar su rigidez y resistencia ante acciones sísmicas.	Dispositivos diseñados para absorber y disipar la energía sísmica, como disipadores de fluido viscoso o de masa sintonizada.	Separación de la estructura de la cimentación por medio de aisladores de base.
Control de la Respuesta Sísmica	Limitado; no proporciona un control significativo ante acciones sísmicas	Proporciona un control efectivo de la respuesta sísmica al disipar energía	Minimiza la transferencia de fuerzas sísmicas a la estructura, lo cual reduce significativamente la respuesta sísmica
Reducción de Desplazamientos	Limitado; no reduce significativamente los desplazamientos de la estructura	Puede reducir los desplazamientos máximos de la estructura durante eventos sísmicos	Reduce los desplazamientos de la estructura y permite una respuesta más flexible

Impacto en el Peso de la Estructura	Puede aumentar el peso de la estructura, debido a la adición de elementos de refuerzo	El peso que aumenta es despreciable	El peso que aumenta es despreciable
Aplicaciones Comunes	Reforzamiento de estructuras existentes y corrección de deficiencias estructurales	Protección sísmica de estructuras nuevas y existentes, especialmente aquellas sometidas a esfuerzos sísmicos elevados	Protección de estructuras críticas, como hospitales, puentes y edificaciones importantes

Nota: Elaboración propia.

El ingeniero estructural Carlos Casabonne (2015) menciona “que los disipadores de fluido viscoso son aquellos que mejor amortiguan a la estructura en comparación de otros disipadores de energía; estos disipadores reducen los desplazamientos y fuerzas sísmicas sin aumentar la rigidez de la estructura.”

El sistema de reforzamiento estructural, teniendo en cuenta que la estructura es una edificación construida, será mediante disipadores de fluido viscoso; esto considerando que la incorporación de los dispositivos no sobreesfuerzan a la estructura a comparación de un reforzamiento tradicional y posee una instalación más practica a comparación de aisladores sísmicos.

Objetivos de Diseño

- Relación Desempeño-Deriva

El comité VISION 2000 define las características principales que están asociadas al estado de daño en relación con cada nivel de desempeño.

Tabla 74

Estados de daño y niveles de desempeño

Estado de Daño	Nivel de Desempeño	Descripción de Daño
Despreciable	Totalmente Operacional	Daño no estructural y estructural que se considera insignificante o inexistente. Las instalaciones seguirán operativas cumpliendo sus funciones después del sismo.
Leve	Operacional	Daños ligeros. Se puede observar agrietamientos en elementos estructurales. Los servicios esenciales permanecen operativos, mientras que los no esenciales pueden experimentar interrupciones que se recuperan rápidamente.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. Reducción en la resistencia y rigidez de los componentes estructurales. Aunque la estructura experimenta daños, mantiene su estabilidad. Se garantiza la seguridad de los ocupantes, aunque es posible que algunos elementos no estructurales sufran daños.
Severo	Pre-colapso	Daño estructural riguroso, muy cerca del colapso. Fallo en los componentes no estructurales y amenaza para la seguridad de los ocupantes.
Completo	Colapso	Colapso total de la estructura. No existe la posibilidad de repararla.

Nota: Obtenido de SEAOC – Comité Visión 2000, 1995.

- Deriva Objetivo

La tabla N°75 muestra la deriva característica para cada tipo de edificación según su estado de daño; cada estado de daño está relacionado con un nivel de desempeño (ver tabla N°74). Por lo tanto, se puede determinar una deriva determinada para un desempeño objetivo.

Tabla 75

Relación Daño-Deriva según el tipo de estructura

Type	Building Properties		Interstory Drift at Threshold of Damage State			
	Roof	Modal	Slight	Moderate	Extensive	Complete
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300

Nota: Obtenido de FEMA.

- Amortiguamiento Objetivo

El amortiguamiento objetivo es aquel que desarrolla la estructura con la incorporación de los disipadores de fluido viscoso, la contribución que tienen los dispositivos en el amortiguamiento se obtiene restando el amortiguamiento intrínseco que posee la estructura, 5% en caso de concreto armado.

Para definir el amortiguamiento objetivo, se debe obtener el coeficiente de minoración de respuesta requerido para alcanzar la deriva objetivo.

Ubicación y Configuración

Según el capítulo 18 de la norma ASCE 7-16, se presenta las siguientes contemplaciones para la colocación de los disipadores de fluido viscoso:

- Se debe considerar como mínimo dos disipadores en las direcciones reforzadas.
- La ubicación de los dispositivos no debe generar torsión en la estructura.

- Se debe ubicar los disipadores en cada uno de los pisos de la estructura, sin excepción alguna, para asegurar un perfecto funcionamiento.
- La colocación de los disipadores debe ser simétrico en la estructura.

Es importante señalar que en estructuras existentes los factores principales para la ubicación de los dispositivos serán el uso de la edificación y la arquitectura de la misma, entre los arreglos o disposiciones principales tenemos los siguientes:

- Disposición en Diagonal

Esta disposición es la más común la cual consta de un brazo metálico que une el disipador a la estructura, el factor de amplificación de las derivas entre los extremos del disipador depende del ángulo de la diagonal que tiene el dispositivo.

- Disposición Chevron

El dispositivo es colocado en la posición horizontal logrando una eficiencia del 100%, esto significa que el desplazamiento relativo entre los disipadores y el entrepiso son iguales.

A continuación, se muestra una comparación entre las disposiciones Diagonal y Chevron.

Tabla 76

Cuadro comparativo: Diagonal vs Chevron

Mejora en el Control Distorsiones	Menores Solicitudes de Refuerzo Adicional	Menos Cantidades de Dispositivos
Chevron	Diagonal	Diagonal

Nota: Elaboración propia

Mantenimiento y Accesibilidad

De acuerdo a las investigaciones se realizó una comparativa para el mantenimiento entre refuerzo tradicional, disipadores de fluido viscoso y aisladores sísmicos.

Tabla 77

Cuadro comparativo: Refuerzo Estructural Tradicional, Disipadores de Fluido Viscoso y Aisladores Sísmicos

Aspecto de mantenimiento	Refuerzo Estructural Tradicional	Disipadores de Fluido Viscoso	Aisladores Sísmicos
Inspección Regular	Requiere de inspecciones regulares con la finalidad de detectar daños; por ejemplo, corrosión, grietas y otros problemas.	Requiere de inspecciones periódicas para asegurarse que los dispositivos funcionen correctamente.	Requiere de inspecciones periódicas con la finalidad de verificar la integridad de los aisladores, conexiones y componentes de soporte.
Mantenimiento Rutinario	Requiere reparaciones periódicas; por ejemplo, reparaciones de elementos de concreto, reemplazo de barras corroídas, etc.	El mantenimiento es mínimo, ya que estos dispositivos son sellados por lo cual no requieren lubricación ni reemplazo de componentes.	El mantenimiento es rutinario, esto incluye lubricación de los aisladores, la verificación de las conexiones y la sustitución de las partes desgastadas.
Reparaciones	Requiere reparaciones en caso de daños o desgaste; por ejemplo, trabajos de albañilería, soldadura, reemplazo de elementos estructurales, etc.	Las reparaciones no son comunes debido a que los disipadores son sellados y en caso se dañen, estos son reemplazados mas no reparados.	Las reparaciones se dan en caso de daño en los aisladores o componentes de soporte, esto incluye el reemplazo de los aisladores dañados o piezas en desgaste.
Costo de Mantenimiento	El costo del mantenimiento varía según la extensión del daño o las necesidades de reparación, siendo significativo con el paso del tiempo.	EL costo de mantenimiento es bajo debido a la simplicidad de los dispositivos ya que no presenta partes móviles sujetas a desgaste.	El costo del mantenimiento incluye inspecciones, lubricación y reemplazo de aisladores dañados, esto es moderado en comparación del daño sísmico potencial.
Duración del Mantenimiento	EL mantenimiento se da a lo largo de la vida útil de la estructura, en especial en climas adversos.	El mantenimiento es mínimo y solo se limita a inspecciones periódicas.	El mantenimiento se da en intervalos regulares con la finalidad de garantizar la eficacia de los aisladores.

Impacto en el Uso de la Estructura	Las actividades provenientes del mantenimiento pueden requerir el cierre temporal de zonas de la estructura causando interrupciones en las actividades diarias.	El mantenimiento no requiere cierres significativos, lo cual minimiza la interrupción de las actividades de la estructura.	Las inspecciones y mantenimiento pueden requerir cierres temporales, pero menos invasivos que las reparaciones estructurales significativas.
------------------------------------	---	--	--

Nota: Elaboración propia.

Costo y Viabilidad Económica

El costo del análisis, diseño, fabricación e instalación de los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento en una estructura depende de las siguientes consideraciones:

- Tipo de estructura.
- Desempeño deseado de la estructura.
- Número de disipadores a implementar.
- Capacidad de cada disipador en cuestión de fuerzas, desplazamientos y velocidad.
- Reforzar los elementos existentes en la estructura (en caso se requiera) y conexiones.
- Instalación de los dispositivos.
- Interrupción de las actividades de la edificación.

La experiencia de CDV Ingeniería Antisísmica indica una inversión en disipadores de fluido viscoso se ubica en el rango del 1% y 3% del valor total del proyecto. Además, ante un terremoto los dispositivos no requieren mantenimiento ni reemplazo por lo cual no significará un costo en reconstrucción adicional. Esto da como resultado que el costo de inversión por m² varíe entre 15 y 30 dólares.

Comportamiento sísmico de la edificación con sistema de reforzamiento estructural de disipadores de fluido viscoso

- Derivas:

Se evalúan las mayores distorsiones obtenidas de entrepiso usando el sistema de reforzamiento estructural de disipadores de fluido viscoso, estimados en la primera iteración. En caso no se logre alcanzar los objetivos se procede a recalcular el valor de las constantes “C” y “ α ”, el número de dispositivos considerados e inclusive la posición o disposición de los mismos; este proceso se sigue en ese orden de importancia las veces que sea necesaria.

- Equilibrio Energético:

Se evalúa el equilibrio energético de la estructura con la implementación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso. La gráfica del equilibrio energético permite visualizar la participación de los dispositivos y la estructura en la liberación de la energía total; esto permite evaluar la eficacia de la disposición de los mismos.

- Verificación del Amortiguamiento Objetivo:

Se verifica si el amortiguamiento añadido por los disipadores es suficiente para alcanzar el amortiguamiento objetivo, para ello se somete la estructura a una prueba de vibración libre.

3.3 Objetivo específico 3:

Se realizó el análisis tiempo-historia seleccionando tres acelerogramas, obteniendo las siguientes distorsiones de entrepiso para cada dirección.

Tabla 78

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección X sin disipadores

Derivas dirección X-X								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00700	0.00891	0.01202	0.01247	0.00968	0.01051	0.01247	0.00998
3	0.00706	0.00862	0.01170	0.01217	0.00936	0.01031	0.01217	0.00973
2	0.00617	0.00682	0.00937	0.00981	0.00762	0.00884	0.00981	0.00785
1	0.00283	0.00301	0.00425	0.00440	0.00347	0.00410	0.00440	0.00352

Nota: Elaboración propia.

Tabla 79

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección Y sin disipadores

Derivas dirección Y-Y								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.01005	0.00766	0.01081	0.01116	0.00978	0.00962	0.01116	0.00892
3	0.01000	0.00763	0.01073	0.01110	0.00975	0.00973	0.01110	0.00888
2	0.00821	0.00627	0.00882	0.00917	0.00803	0.00819	0.00917	0.00734
1	0.00357	0.00272	0.00384	0.00408	0.00350	0.00363	0.00408	0.00326

Nota: Elaboración propia.

Se observa en las tablas N°78 y N°79 que las distorsiones máximas de entrepiso superan lo permitido por la norma E.030, por lo tanto, la estructura requiere la incorporación de un sistema de reforzamiento para ambas direcciones. El sistema de reforzamiento son disipadores de fluido viscoso con las siguientes características:

- Brazo metálico del disipador

Tabla 80

Perfil HSS219.1x12.7

Perfil	Espesor (m)	Área (m ²)	Radio(m)
HSS8.625x0.500	0.0127	0.0077	0.219

Nota: Elaboración propia.

- Propiedades de los disipadores a utilizar

Tabla 81

Propiedades de disipadores

Propiedad	Disipador 1	Disipador 2	Disipador 3	Disipador 4
E (tn/m ²)	20400000	20400000	20400000	20400000
L (m)	6.57	7.14	5.77	5.82
K (tn/m)	23908.68	22000	27223.57	26989.69
C tn*s/m	318.35	309.52	290.67	289.29
α	0.5	0.5	0.5	0.5

Nota: Elaboración propia.

Con la adición de los disipadores a la estructura se procede a realizar nuevamente el análisis tiempo-historia obteniendo nuevas distorsiones máximas de entrepiso para cada dirección.

Tabla 82

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección X con disipadores

Derivas dirección X-X								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00504	0.00708	0.00527	0.00521	0.00671	0.00615	0.00708	0.00566
3	0.00500	0.00692	0.00523	0.00518	0.00664	0.00611	0.00692	0.00553
2	0.00411	0.00566	0.00439	0.00426	0.00548	0.00502	0.00566	0.00453
1	0.00200	0.00259	0.00214	0.00193	0.00270	0.00229	0.00270	0.00216

Nota: Elaboración propia.

Tabla 83

Derivas máximas del análisis tiempo-historia para la dirección Y con disipadores

Derivas dirección Y-Y								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		
4	0.00507	0.00381	0.00388	0.00412	0.00510	0.00605	0.00605	0.00484
3	0.00518	0.00383	0.00385	0.00421	0.00520	0.00622	0.00622	0.00498
2	0.00437	0.00317	0.00332	0.00379	0.00443	0.00542	0.00542	0.00434
1	0.00201	0.00145	0.00153	0.00180	0.00201	0.00253	0.00253	0.00203

Nota: Elaboración propia.

En las tablas N°84 y N°85 se pueden observar las variaciones en porcentaje de las distorsiones máximas de entrepiso para la estructura con disipadores respecto a la estructura sin la adición de estos.

Tabla 84

Variación de distorsión de entrepiso en la dirección X

Nivel	Sin disipador	Con disipador	Variación
4	0.00998	0.00566	56.71%
3	0.00973	0.00553	56.83%
2	0.00785	0.00453	57.71%
1	0.00352	0.00216	61.36%

Nota: Elaboración propia.

Tabla 85

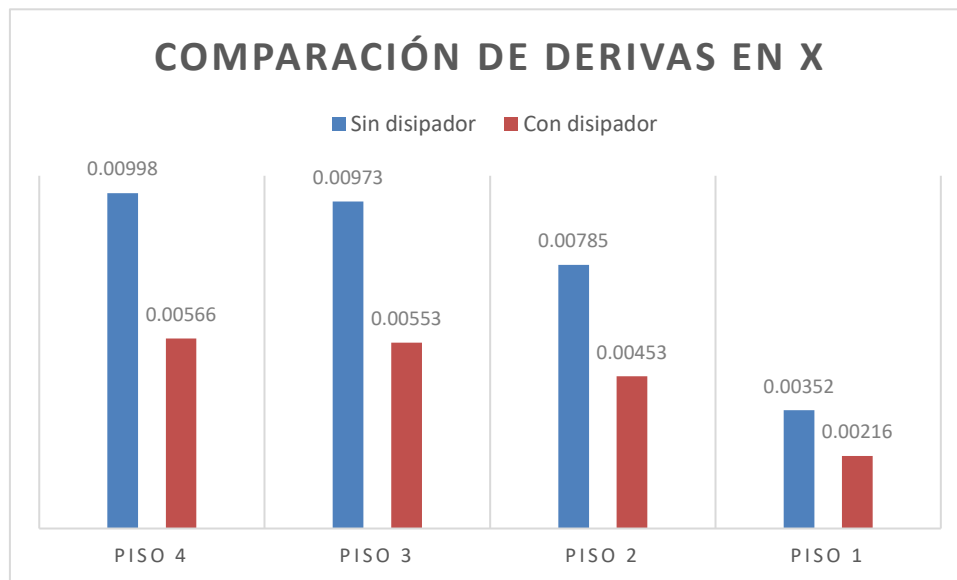
Variación de distorsión de entrepiso en la dirección Y

Nivel	Sin disipador	Con disipador	Variación
4	0.00892	0.00484	54.26%
3	0.00888	0.00498	56.08%
2	0.00734	0.00434	59.13%
1	0.00326	0.00203	62.27%

Nota: Elaboración propia.

Figura 83

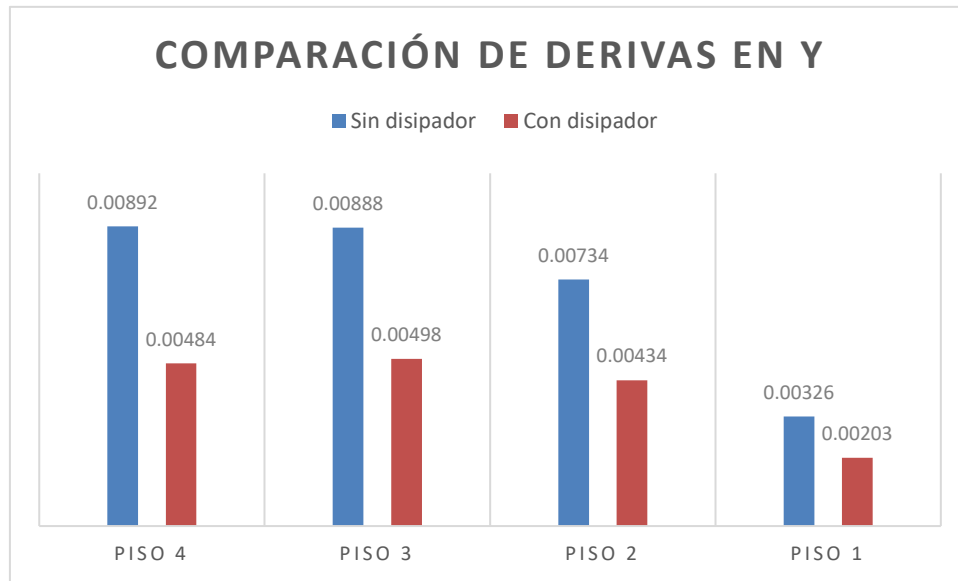
Gráfico de derivas sin y con disipador en la dirección X



Nota: Elaboración propia.

Figura 84

Gráfico de derivas sin y con disipador en la dirección Y



Nota: Elaboración propia.

Se verifica los esfuerzos máximos en los elementos estructurales, para ello se toma la columna C4 con la finalidad de observar si existe una reducción de la fuerza cortante y momento flector máximos debido al sistema de reforzamiento incorporado.

Tabla 86

Comparación de esfuerzos máximos de la columna C4

	Sin Disipador	Con Disipador	Variación
Fuerza Cortante Máxima (tn)	2.56	1.29	50.39%
Momento Flector Máximo (tn-m)	5.6	2.64	47.14%

Nota: Elaboración propia.

Se puede observar una reducción de la fuerza cortante y momento flector máximo en la columna C4.

- Costo del sistema de reforzamiento por metro cuadrado

Por último, se estimó el costo por metro cuadrado que significaría incorporar el sistema de reforzamiento en la edificación.

Tabla 87

Costo total de los disipadores

Disipador	Cantidad	P.U. (\$)	Parcial (\$)
1500kN	16	10286	164576
Conexiones	16	1000	16000
		Sub total	180576
		IGV (18%)	32503.68
		Total	213079.68

Nota: Elaboración propia.

Con un área techada total de la edificación de 2080.86m², se obtiene que la integración del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso de 1500kN a la estructura tiene un costo de 102.39 \$.

3.4 Análisis de Datos Estadísticos:

Hipótesis General

Para validar la hipótesis general de la presente investigación se realizará un análisis de datos estadístico, para ello se debe realizar una prueba de normalidad con la finalidad de definir que método estadístico se va emplear. Este proceso se realizará con la asistencia del software estadístico para ciencias sociales (SPSS).

Prueba de Normalidad

Para la presente investigación, la prueba de Normalidad se realizará mediante la prueba Shapiro-Wilk ya que tenemos menos de 50 datos. Asignamos nuestras hipótesis para poder corroborar si la data es de distribución normal o no:

- H₀ = No hay influencia en el comportamiento sísmico del palacio Municipal luego de integrar un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso.

- H1 = Hay influencia en el comportamiento sísmico del palacio Municipal luego de integrar un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso,

A continuación, se muestran los resultados de la prueba de normalidad en el programa

SPSS:

Tabla 88

Resumen de procesamiento de casos

	Casos					
	Válido		Perdidos		Total	
	N	Porcentaje	N	Porcentaje	N	Porcentaje
Sin.Disipadores	4	100.0%	0	0.0%	4	100.0%
Con.Disipadores	4	100.0%	0	0.0%	4	100.0%

Nota: Elaboración propia.

Donde: las variables consideradas son las siguientes:

Sin.Disipadores = Las distorsiones máximas de entrepiso del palacio Municipal sin la implementación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso.

Con.Disipadores = Las distorsiones máximas de entrepiso del palacio Municipal con la implementación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso.

En la tabla N°89 se verifica la normalidad mediante la prueba de Shapiro-Wilk.

Tabla 89

Prueba de Normalidad de los datos de la investigación

	Kolmogorov-Smirnov^a			Shapiro-Wilk		
	Estadístico	gl	Sig.	Estadístico	gl	Sig.
Sin.Disipadores	0.261	4		0.843	4	0.204
Con.Disipadores	0.265	4		0.839	4	0.194

a. Corrección de significación de Lilliefors

Nota: Elaboración propia.

Debido a que los valores de significancia (0.204 y 0.194) son mayores que 0.05, se verifica que los datos provienen de una distribución normal, por lo tanto, se analizará utilizando métodos de análisis paramétricos.

Tes T-Student

De acuerdo al nivel de significación definido se determina si se rechaza o aprueba la hipótesis nula al comparar los datos proporcionados.

- **VD:** Respuesta sísmica de la estructura ante acciones sísmicas.
- **H0:** No hay diferencia en la respuesta sísmica de la estructura antes y después de la aplicación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso.
- **Prueba estadística:** T-Student para muestras relacionadas.
- **Regla de decisión:** Si: $p \leq 0.05$, entonces se rechaza H0.

Se realiza la prueba de T-Student de acuerdo a los criterios definidos con los siguientes valores obtenidos de la ficha de recolección de datos.

Tabla 90

Ficha de distorsiones SIN y CON la aplicación de disipadores en la dirección X

Nivel	Distorsión (%)		Límite (E.030) (%)
	Sin disipador	Con disipador	
4	9.98	5.66	7.00
3	9.73	5.53	7.00
2	7.85	4.53	7.00
1	3.52	2.16	7.00

Nota: Elaboración propia.

Tabla 91

Ficha de distorsiones SIN y CON la aplicación de disipadores en la dirección Y

Nivel	Distorsión (%)		Límite (E.030) (%)
	Sin disipador	Con disipador	
4	8.92	4.84	7.00
3	8.88	4.98	7.00
2	7.34	4.34	7.00
1	3.26	2.03	7.00

Nota: Elaboración propia.

Se obtiene los siguientes resultados en el programa SPSS.

Tabla 92

Estadísticas de muestras emparejadas

		Media	N	Desv. estándar	Media de error estándar
Par 1	Sin.Disipadores	7.77000	4	2.988567	1.494284
	Con.Disipadores	4.47000	4	1.620638	0.810319

Nota: Elaboración propia.

Tabla 93

Correlación de muestras emparejadas

		N	Correlación	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Sin.Disipadores & Con.Disipadores	4	1.000	0.000	0.000

Nota: Elaboración propia.

Tabla 94

Prueba de muestras emparejadas

		Diferencias emparejadas				
		Media	Desv. estándar	Media de error estándar	95% de intervalo de confianza de la diferencia	
					Inferior	Superior
Par 1	Sin.Disipadores - Con.Disipadores	3.300000	1.368016	0.684008	1.123182	5.476818

Nota: Elaboración propia.

Tabla 95

Prueba de muestras emparejadas

		t	gl	Significación	
				P de un factor	P de dos factores
Par 1	Sin.Disipadores - Con.Disipadores	4.825	3	0.008	0.017

Nota: Elaboración propia.

Se obtiene un valor de significación menor de 0.05, por lo tanto, se rechaza la hipótesis H_0 (No hay diferencia en la respuesta sísmica de la estructura antes y después de la aplicación del sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso). Se concluye que hay una diferencia en la respuesta sísmica en la edificación, por lo que el sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico del palacio Municipal.

CAPÍTULO IV: DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Discusión

- Discusión 1

La evaluación del comportamiento sísmico actual de acuerdo a la normativa vigente del palacio municipal obtuvo como máxima deriva en la dirección X el valor de 0.008235 el cual supera el límite establecido por la normativa; así mismo en la dirección Y resultó una máxima deriva de 0.010070, superando el límite establecido por la normativa y siendo la dirección más desfavorable de la estructura.

Según Rojas (2019) evaluó una estructura existente, la cual obtuvo una deriva de 0.01656 en la dirección X y en la dirección Y una deriva de 0.01540; siendo la primera dirección de análisis la más desfavorable.

La evaluación de las condiciones estructurales actuales de la edificación permite obtener las derivas máximas para ser verificadas de acuerdo a la norma E.030, dicha evaluación determina si una edificación necesita un sistema de reforzamiento en una o dos direcciones. Para este caso ambas direcciones no cumplen con las verificaciones sismorresistentes por lo que estas necesitan un sistema de reforzamiento; mismo caso dado en la investigación de (Rojas, 2019).

- Discusión 2

La metodología para la aplicación y selección de los disipadores de fluido viscoso como reforzamiento estructural estableció lo siguiente: evaluación sísmica (se evalúa la estructura y se verifica los parámetros sísmicos de acuerdo a la normativa), selección del sistema de reforzamiento estructural (se considera una serie de características técnicas con la finalidad de seleccionar el sistema de reforzamiento óptimo, para una estructura existente los disipadores son la mejor opción ya que disminuyen los esfuerzos y desplazamientos sin aportar rigidez), objetivos de diseño (se define la deriva objetivo que se busca con la incorporación de los

dispositivos, de acuerdo al desempeño deseado se define el amortiguamiento objetivo), ubicación y configuración, (se define la ubicación de los dispositivos y su disposición, para una edificación existente no se puede modificar la arquitectura), mantenimiento y accesibilidad (no requiere mantenimiento), costo y viabilidad económica (consideraciones para estimación de costos mínimos de instalación y de reducción de daños) y comportamiento sísmico de la edificación con sistema de reforzamiento (se evalúa la estructura con la incorporación de los dispositivos con la finalidad de verificar el cumplimiento de los objetivos de diseño, así como el balance energético de la estructura).

Según Cuyán (2020) considera una metodología similar a la descrita en esta investigación para seleccionar y aplicar disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural; la presente investigación se tomó en cuenta de manera adicional el mantenimiento y costo por metro cuadrado ya que se considera necesario conocer las ventajas frente a otros sistemas de reforzamiento estructural. De la misma forma, según Moreno (2021) define criterios que son parte de la metodología planteada en la presente investigación; se consideró adicionalmente a dichos criterios la evaluación sísmica inicial, los objetivos de diseño y el comportamiento sísmico de la edificación con la incorporación del sistema de reforzamiento.

- Discusión 3

La evaluación de la estructura reforzada con dispositivos de fluido viscoso da como resultado una reducción al 56.71% y 54.26 de las derivas en las direcciones X y Y respectivamente, así mismo se estimó que implementar dichos dispositivos tendría un costo de 102.39 \$ por metro cuadrado. Estos resultados se consideran aceptables teniendo en cuenta que se tomó en consideración el agrietamiento de los elementos estructurales, se sometió la estructura a un sismo severo buscando un desempeño óptimo de la edificación.

Según Aguilar & Arias (2019) evaluó una estructura con la implementación de disipadores de fluido viscoso obteniendo una reducción de la distorsión máxima de entrepiso

de 4.68% a 1.56%. Además, se estimó un costo por metro cuadrado de 206.02\$. De la misma forma, según Apaza (2021) analizó un palacio Municipal sin disipadores y con disipadores con la finalidad de reducir el daño a nivel moderado frente a un sismo, la incorporación de los dispositivos redujo la deriva máxima de 0.0186 a 0.0075; así mismo se estimó que el sistema de reforzamiento tendrá un costo de 95.32\$/m².

Se puede observar que la integración de disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural reduce las distorsiones máximas de entrepiso, los desplazamientos y esfuerzo a los cuales está sometida la estructura durante un sismo. La estimación de costo varía porque esta depende de muchos factores como: el área techada, la fuerza que resiste el disipador seleccionado. Aun así, sigue siendo una solución viable en comparación de los costos por reparación que ocasionaría un sismo de gran magnitud.

4.2 Conclusiones

- Conclusión 1

La evaluación estructural del palacio municipal determinó el comportamiento sísmico actual de la edificación, se verificó que la dirección X tiene una deriva de 0.01656 y la dirección Y de 0.01540. Estas derivas no cumplen con el límite establecido por la normativa para las distorsiones de entrepiso (0.007), por tal motivo, se concluye que ambas direcciones necesitan integrar un sistema de reforzamiento.

- Conclusión 2

La metodología definida en la presente investigación ayudó a la selección y aplicación de los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural, esta metodología considera 7 criterios fundamentales; los cuales permiten evaluar las condiciones iniciales, observar las ventajas que presenta el sistema, determinar la ubicación correcta de los dispositivos en la edificación y verificar el diseño adecuado del sistema considerando el

mantenimiento, así como el costo que implica la incorporación de los dispositivos. Esta metodología permite controlar de manera directa el daño en la estructura a partir de una deriva objetivo y un incremento del amortiguamiento; esto permite determinar la cantidad y propiedades de los dispositivos para lograr el objetivo.

- Conclusión 3

El sistema de reforzamiento mediante disipadores de fluido viscoso influye en la respuesta sísmica del palacio Municipal, esto se puede observar en la reducción de la máxima distorsión en la dirección X a 0.00566 y en la dirección Y a 0.00484. Según los niveles de deriva obtenidos, se deduce que la utilización de los disipadores limita la entrada de la estructura en la zona inelástica, lo que resulta en una disminución del daño estructural. La introducción de los disipadores conlleva a una reducción significativa de los esfuerzos experimentados por los elementos estructurales durante un sismo. Además, se estima que el sistema de reforzamiento estructural, por metro cuadrado, costaría 102.39\$.

Referencias

- Aguilar, P., & Arias, S. (2019). *Propuesta de reforzamiento de un edificio afectado en el sismo del 16 de abril de 2016 ubicado en la ciudad de Portoviejo utilizando disipadores de energía de fluido viscoso*.
- Alvarez, C. (2017). *Análisis y diseño de disipadores sísmicos de fluido viscoso para control de la respuesta sísmica de edificaciones en Huancayo 2017*.
- American Society of Civil Engineers. (2016). *ASCE 7-16: Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*.
- Apaza, G. (2021). *Influencia de la aplicación de disipadores de fluido viscoso para el reforzamiento estructural del Palacio Municipal en el distrito de Miraflores*. Arequipa.
- Astorga, M. A., & Aguilar, R. (2006). *Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones educativas peruanas*. Lima.
- BBC News Mundo. (15 de Abril de 2010). *BBC News Mundo*. Obtenido de ¿Por qué tantos terremotos?: https://www.bbc.com/mundo/ciencia_tecnologia/2010/03/100303_terremotos_frecuencia_men
- BBC NEWS MUNDO. (27 de Setiembre de 2017). *BBC NEWS MUNDO*. Obtenido de <https://www.bbc.com/mundo/noticias-america-latina-41343606>
- Calderón, Y. (2014). *Evaluación del diseño con disipadores de energía del edificio principal de la Universidad Nacional de Cajamarca-sede Jaén*.
- Carranza, J., & Calderon, E. (2015). *Reforzamiento de un estructura aporticada con disipadores de fluido viscoso para un mercado en la ciudad de Trujillo*.
- Casana, G. (2018). *Desempeño sísmico de un edificio de 14 pisos con disipadores de energía en la ciudad de Tumbres-2018*.
- CDV Ingenieria Antisismica. (s.f.). *Evaluación a largo plazo del ciclo de vida útil de los productos Taylor Devices*. Obtenido de CDV PERU: <https://www.cdvperu.com/wp-content/uploads/2023/08/taylor-ciclo-de-vida-que-distingue-a-los-amortiguadores-viscosos.pdf>
- Chakraborty, & Kumar. (2020). *Reduction of seismic vibration in multistorey structures retrofitted with nonlinear viscous dampers using mode summation method*.
- Chupica, T., & Ramírez, Y. (2022). *Desempeño de un edificio teórico aporticado de 5 pisos con disipadores de fluido viscoso*.
- Cieza, Y. (2020). *Influencia de la disposición de disipadores de fluido viscoso en el nivel desempeño sísmico de un edificio regular de 15 niveles, Lima-2019*.
- CISMID. (2019). *Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres*.

- Condo, D., & Luque, D. (2021). *Diseño estructural de un edificio con disipadores de energía de fluido viscoso frente a un edificio convencional.*
- Contreras, J., & Morales, L. (2012). *Protección de una edificación existente con disipadores de energía.*
- Cuntó, I. (2014). *Uso de disipadores viscosos en edificios de hormigón armado en la ciudad de Guayaquil para el mejoramiento del desempeño sísmico.*
- Cuyán, A. (2020). *Influencia de los disipadores de fluido viscoso en el reforzamiento del edificio Centro Cultural de la Universidad Señor de Sipán.*
- De Domenico, D., Ricciardi, G., & Takewaki, I. (2019). *Design strategies of viscous dampers for seismic protection of building structures: A review.*
- Departamento de Ingeniería mecánica. (2015). *Notación y Definiciones.*
- FEMA. (s.f.). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology.*
- Fernández, V. (2022). *Análisis sísmico comparativo con y sin la inclusión de sistemas modernos de protección sísmica de un modelo numérico que represente edificios de baja ductilidad en la ciudad de Lima.*
- Flores, L. (2017). *Fibras de carbono: Reforzamiento de estructuras.* Lima.
- Fuentes, J. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso.*
- Guevara, D., & Torres, P. (2012). *Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal.*
- Hernández, M., & Montesinos, O. (2019). *Análisis sísmico con disipadores de energía tipo viscoso como propuesta de reforzamiento del pabellón A modelo 780 del colegio N°2141 .* Lima.
- Huerta, L. (2017). *Análisis comparativo del comportamiento estructural del CPU-UNASAM con disipadores de energía de fluido viscoso.*
- INDECI. (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo.* Lima.
- Luccioni. (2006). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios Vitales de la Red de Emergencias.*
- Miranda, Y., & Ontiveros, Y. (2020). *Análisis comparativo del desempeño sísmico y costos entre los disipadores Shear Link Bozzo y Taylor aplicados en una edificación multifamiliar, Trujillo.*
- Moreno, B. (2021). *Evaluación del desempeño sísmico en el rango inelástico de una estructura esencial de concreto armado con disipadores de fluido viscoso.*
- Narváez, M. (2019). *Análisis comparativo técnico-económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos.*
- Navarro, F. (2017). *Comparación de las respuestas dinámicas en estructuras con y sin disipadores de energía pasivos de fluido viscoso en la zona sísmica cuatro.*

Otiniano, J. (2019). *Desempeño sísmico de un edificio de concreto armado con disipadores de energía viscosos*, Trujillo 2019.

Reglamento Nacional de Edificaciones. (2019). *DISEÑO SISMORRESISTENTE*.

Rojas, R. (2019). *Comportamiento estructural de un edificio de 5 pisos por cambio de uso con aplicación de disipadores viscosos*. Los Olivos.

Tiese, C., & Zevillanos, P. (2019). *Control de irregularidad por torsión en una edificación de 12 pisos mediante el reforzamiento con disipadores de energía fluido viscoso*.

Trombetti, Palermo, M., Dib, A., Gasparini, G., Silvestri, S., & Landi, L. (2015). *Application of a direct procedure for the seismic retrofit of a R/C school building equipped with viscous dampers*.

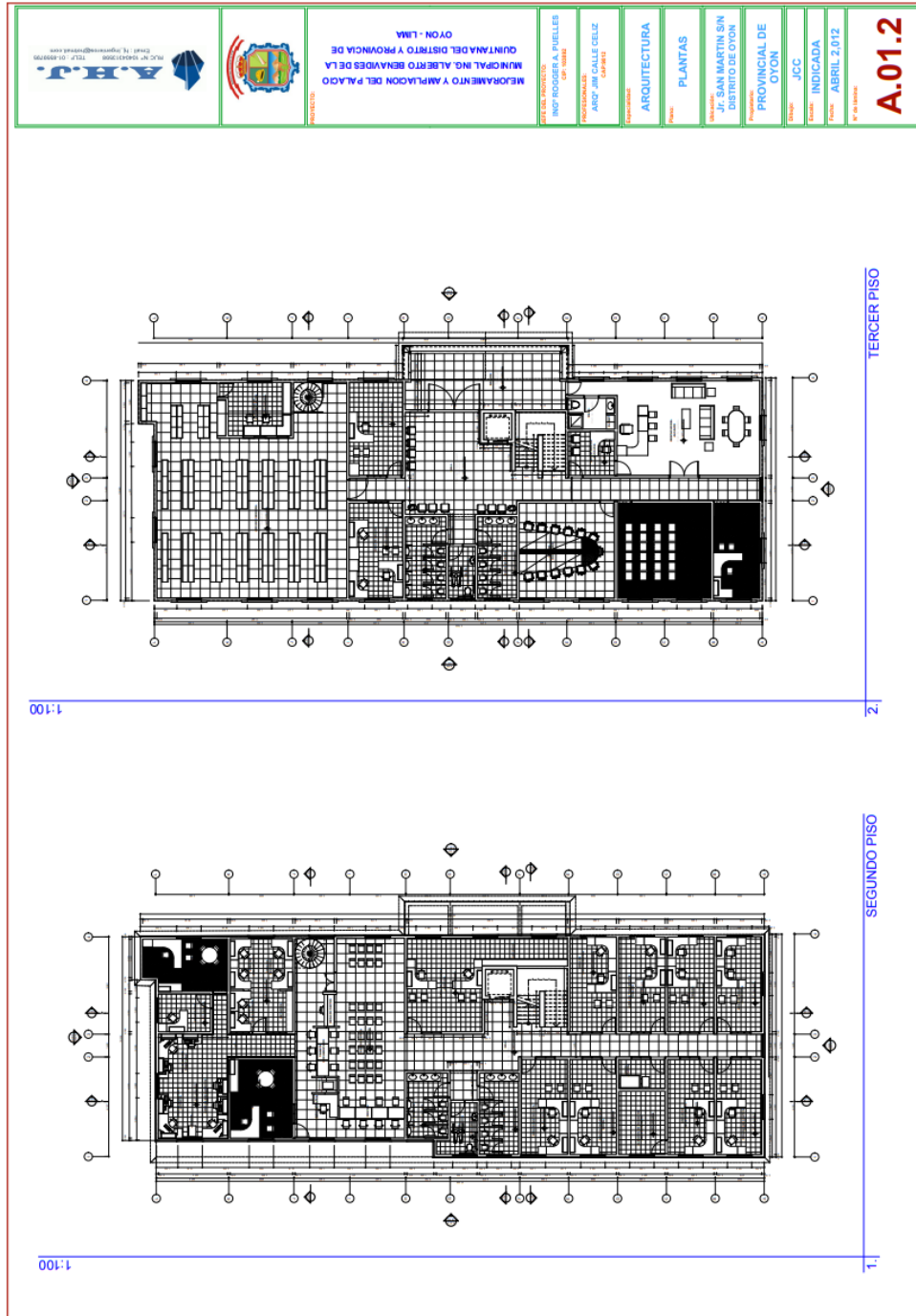
Anexos

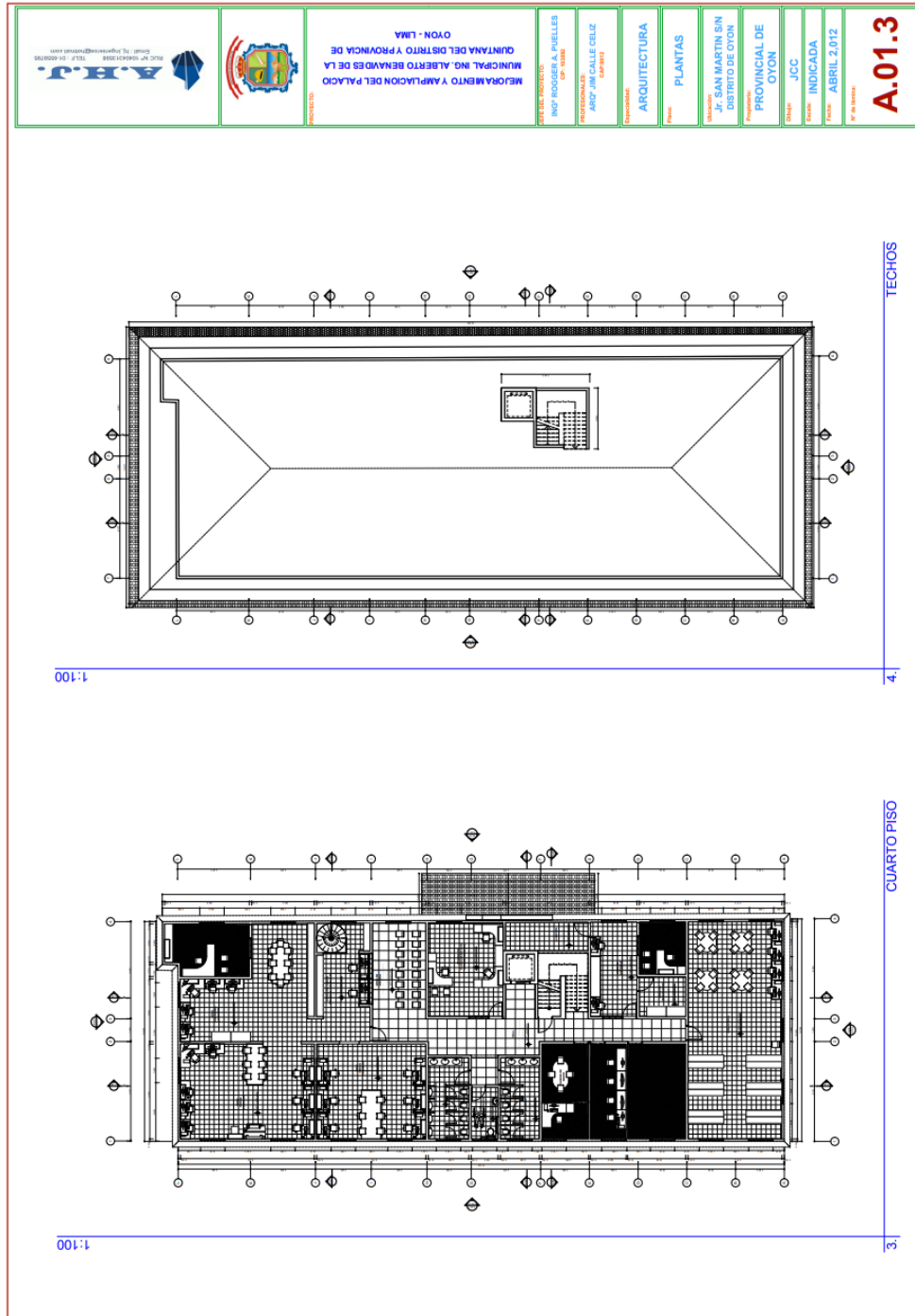
Anexo 01: Matriz de consistencia

Influencia de un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima-2023			
Título	Influencia de un sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima-2023		
	Problema	Objetivo	Hipótesis
P.G	¿De qué manera el sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?	Determinar la influencia del sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023	El sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso mejora el comportamiento sísmico del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023
P.E 1	¿Cuál es el comportamiento sísmico actual de acuerdo a la normativa vigente del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?	Evaluar de acuerdo a la normativa vigente el comportamiento sísmico actual del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023	La evaluación de acuerdo a la normativa vigente determina el comportamiento sísmico actual del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023
P.E 2	¿Cuál es la metodología para seleccionar y aplicar los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?	Determinar la metodología para seleccionar y aplicar los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023	La metodología utilizados influyen en la selección y aplicación de los disipadores de fluido viscoso como sistema de reforzamiento estructural en el Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023
P.E 3	¿De qué manera el sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso influye en la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023?	Determinar la influencia del sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso en la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023	El sistema de reforzamiento estructural mediante disipadores de fluido viscoso mejora la respuesta sísmica del Palacio Municipal en el distrito de Oyon, Lima 2023

Matriz de operacionalización de las variables

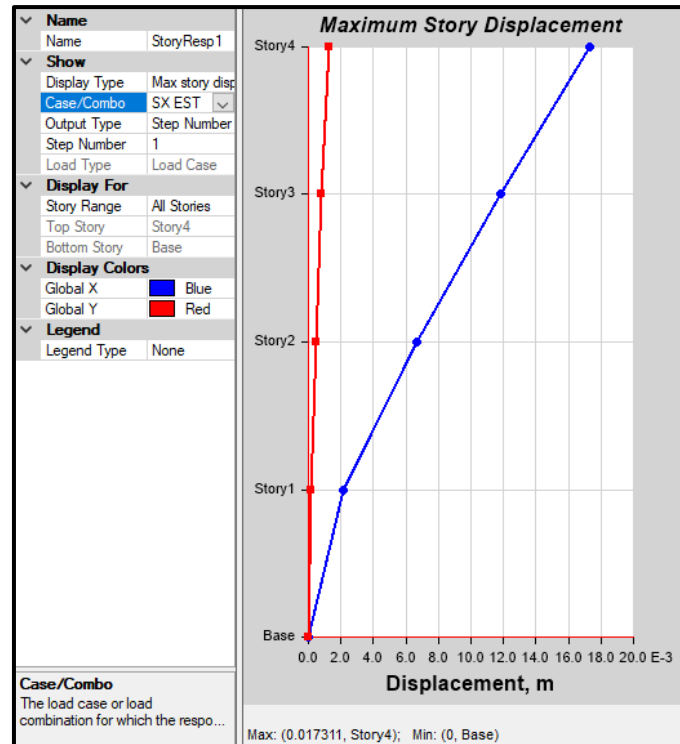
Variables	Dimensión	Indicador
VARIABLE DEPENDIENTE Comportamiento sísmico	Respuesta sísmica estática	Desplazamientos máximos
		Periodos de vibración
		Fuerza en la base
		Distorsión del entrepiso
	Respuesta sísmica dinámica	Desplazamientos máximos
		Periodos de vibración
		Fuerza en la base
		Distorsión del entrepiso
	Respuesta sísmica tiempo-historia	Desplazamientos máximos
		Periodos de vibración
		Distorsión del entrepiso
		Fuerza en la base
VARIABLE INDEPENDIENTE Sistema de reforzamiento estructural	Diseño estructural	Cálculo estructural
	Disipadores de fluido viscoso	Costo
		Disipador Taylor Device
		Funcionalidad conjunta con el sistema estructural
		Coefficiente de amortiguamiento



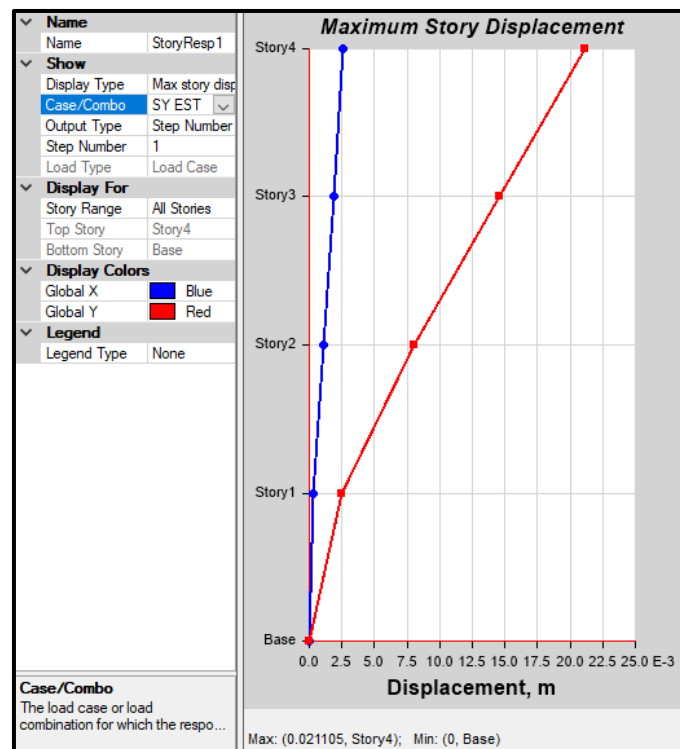


Anexo 03: Resultados en ETABS del palacio Municipal sin disipadores

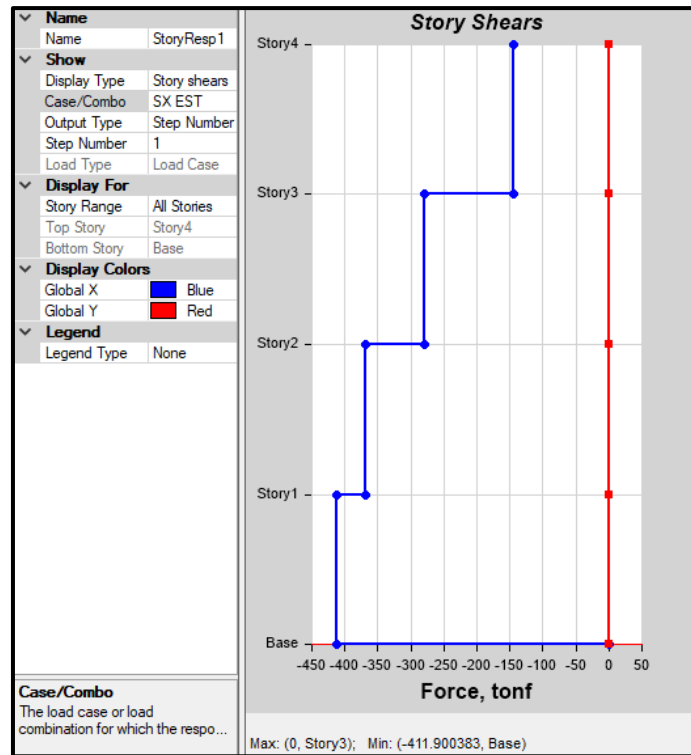
- Desplazamiento máximo de sismo estático en X-X



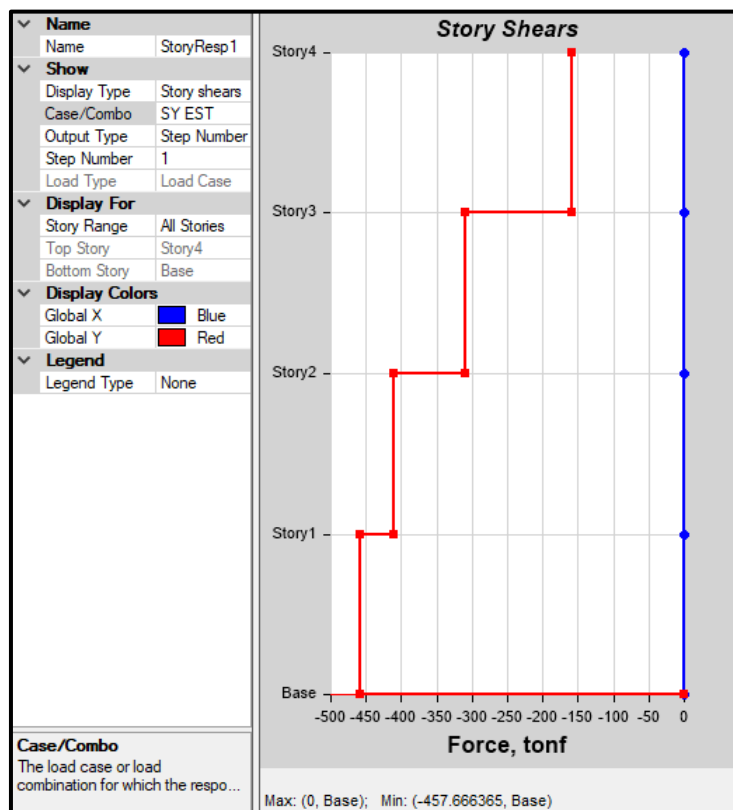
- Desplazamiento máximo de sismo estático en Y-Y



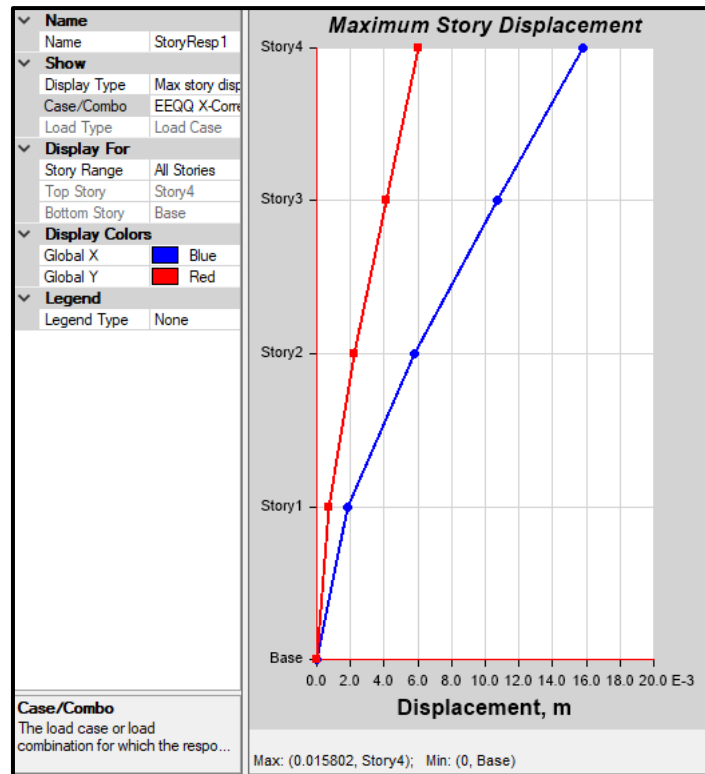
- Fuerza cortante por piso en X-X



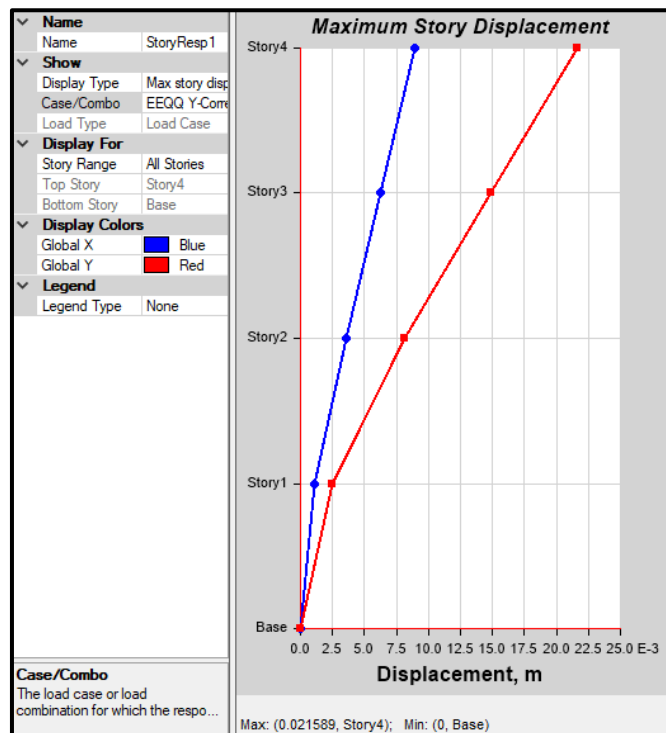
- Fuerza cortante por piso en Y-Y



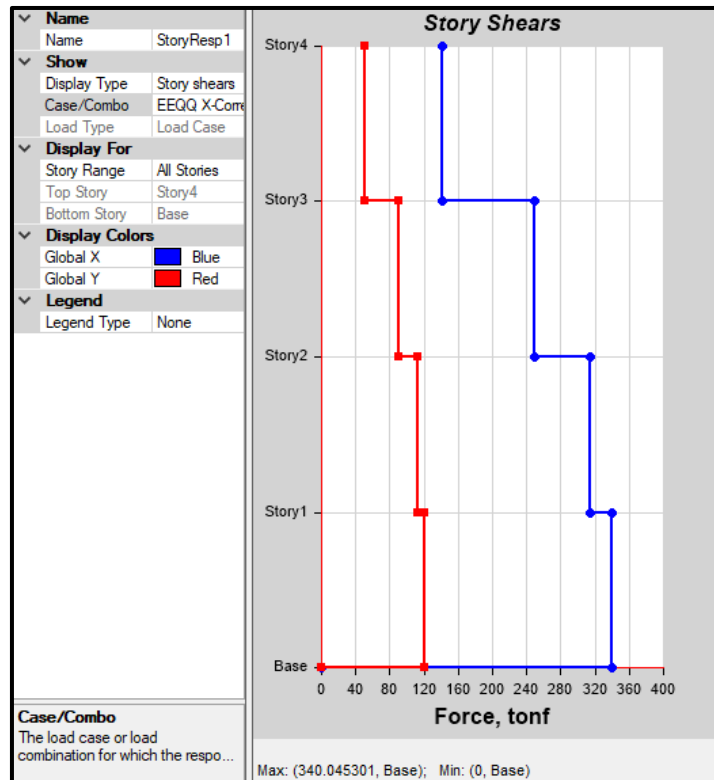
- Desplazamiento máximo de sismo dinámico escalado en X-X



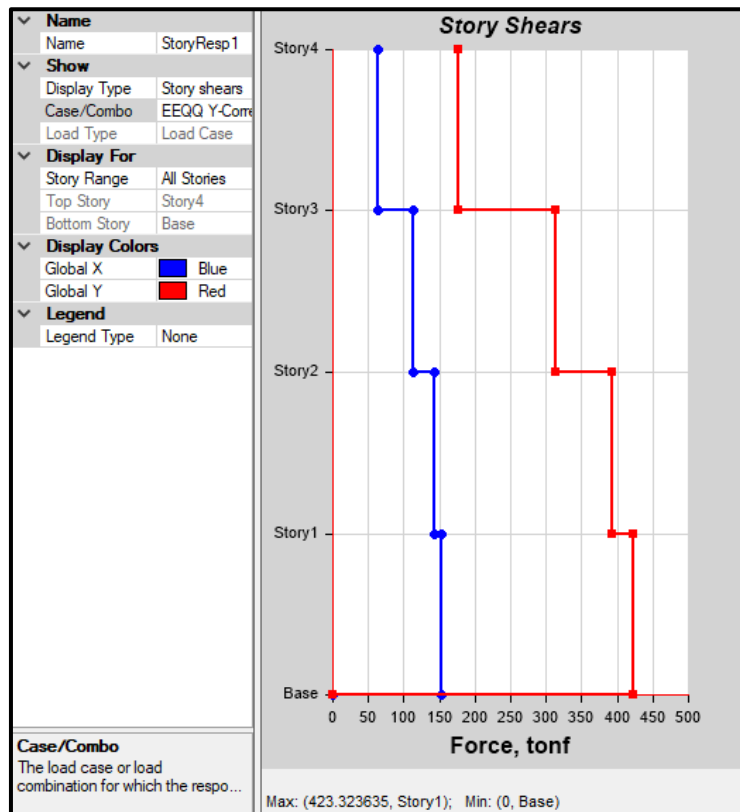
- Desplazamiento máximo de sismo dinámico escalado en Y-Y



- Fuerza cortante por piso en X-X

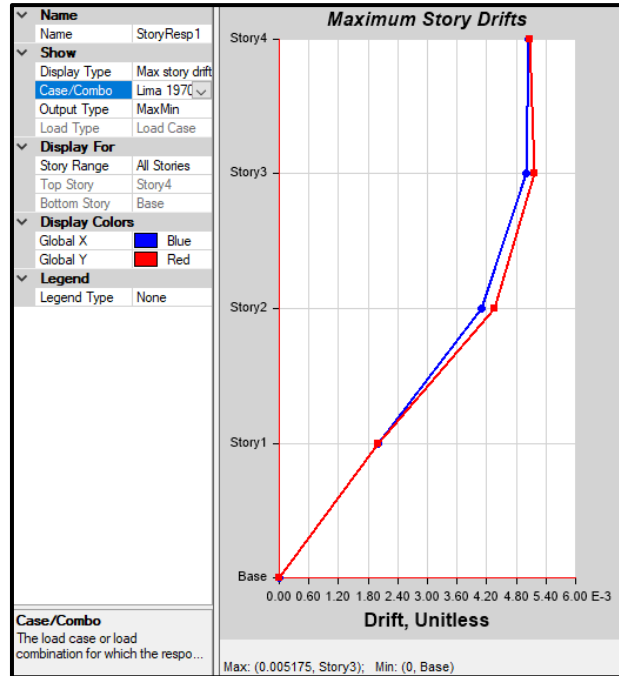


- Fuerza cortante por piso en Y-Y

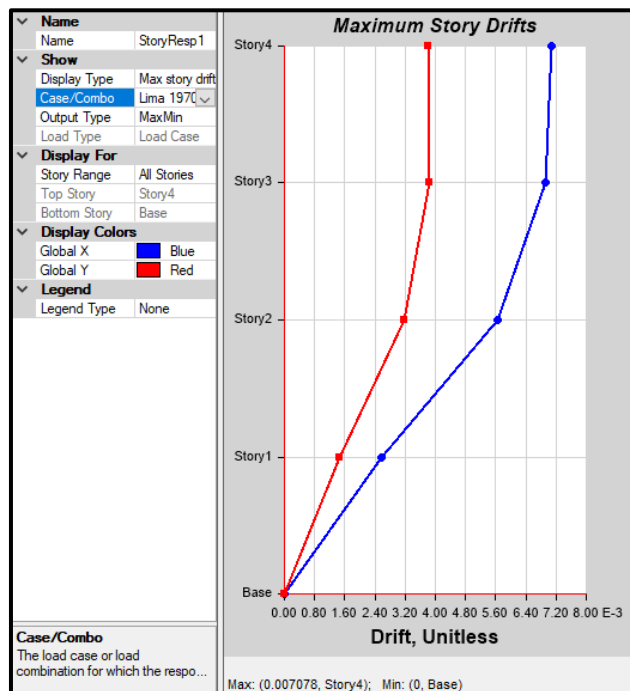


Anexo 04: Resultados en ETABS del palacio Municipal con disipadores

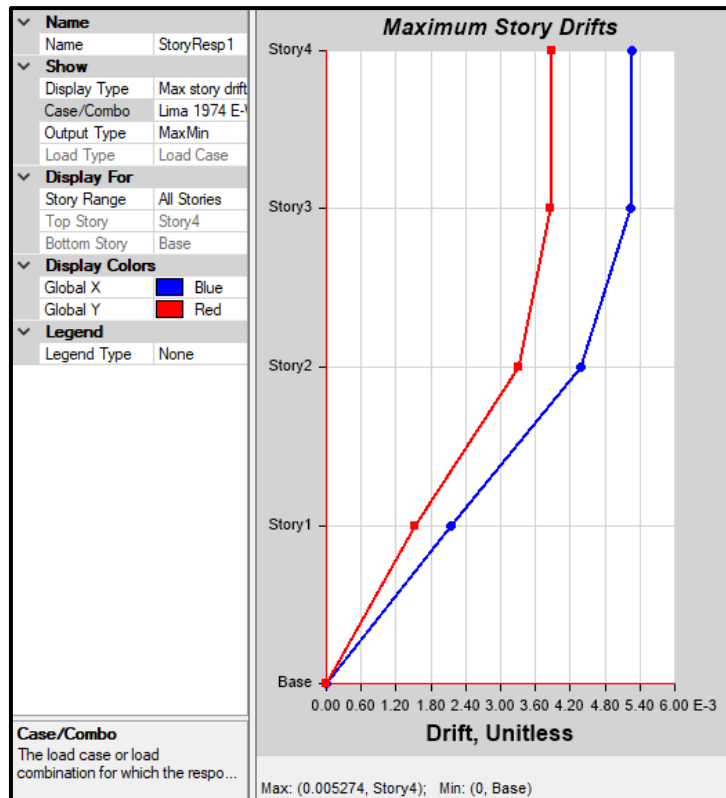
- Distorsiones máximas para caso Lima 1970 E-W



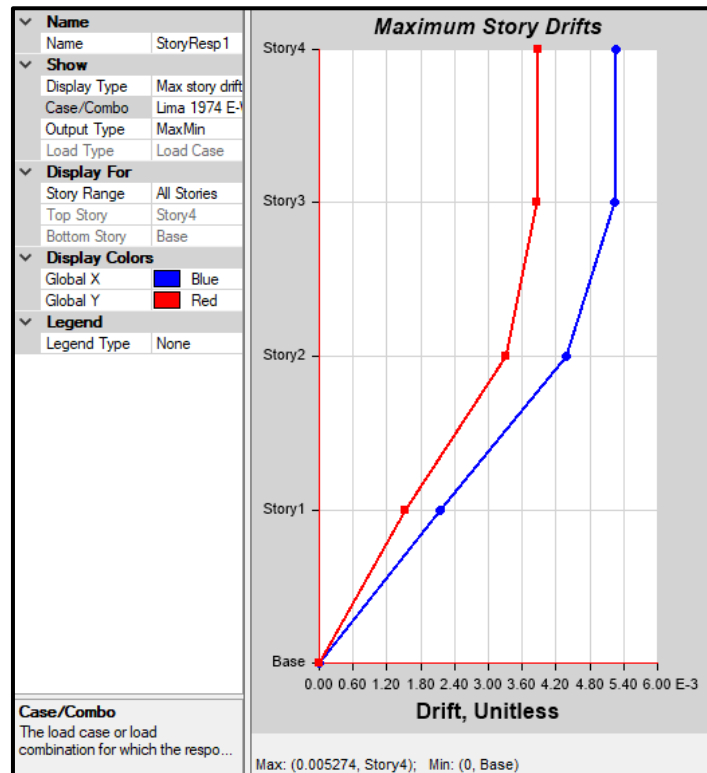
- Distorsiones máximas para caso Lima 1970 N-S



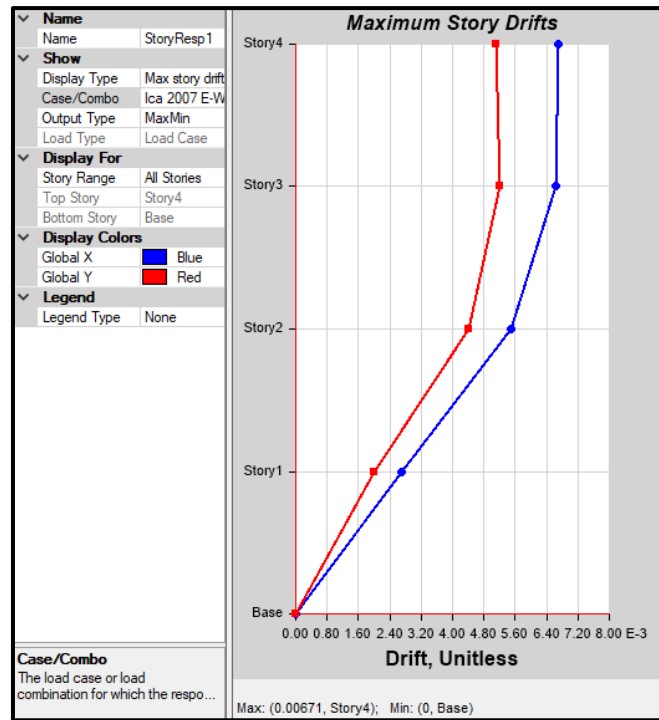
- Distorsiones máximas para caso Lima 1974 E-W



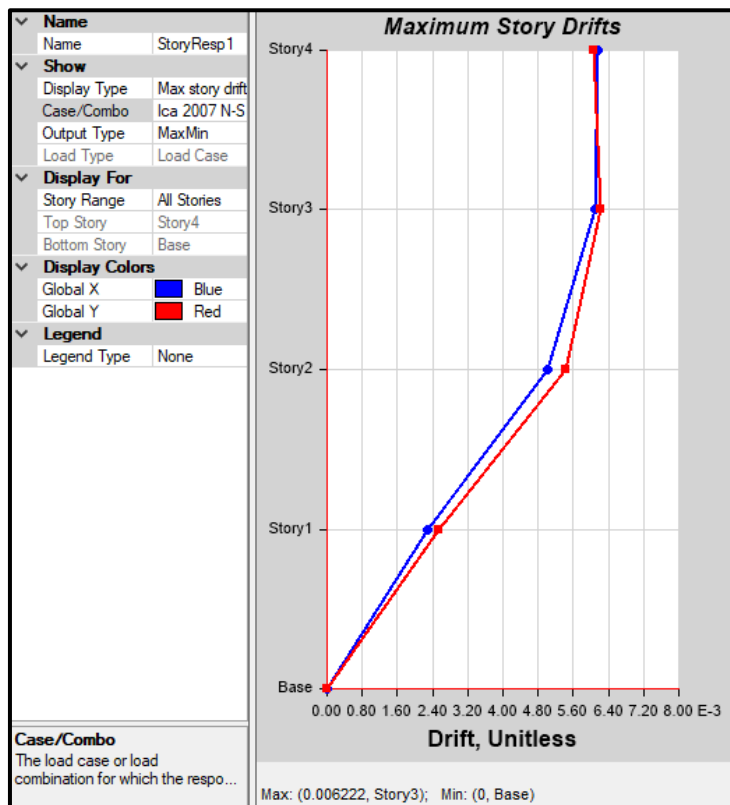
- Distorsiones máximas para caso Lima 1974 N-S



- Distorsiones máximas para caso Lima 2007 E-W

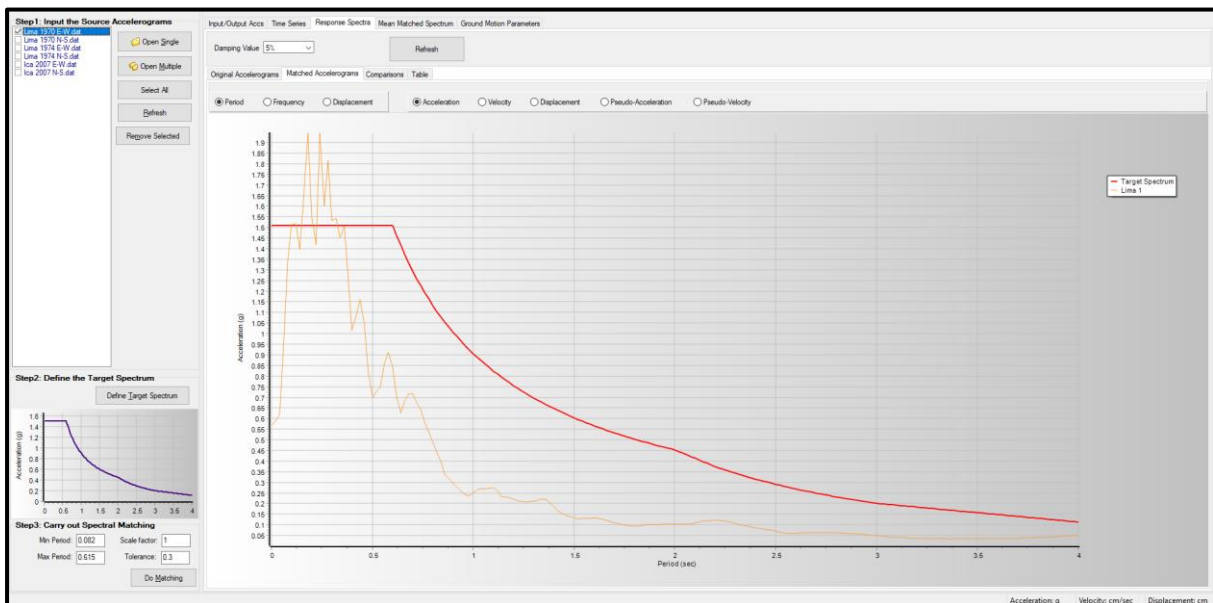
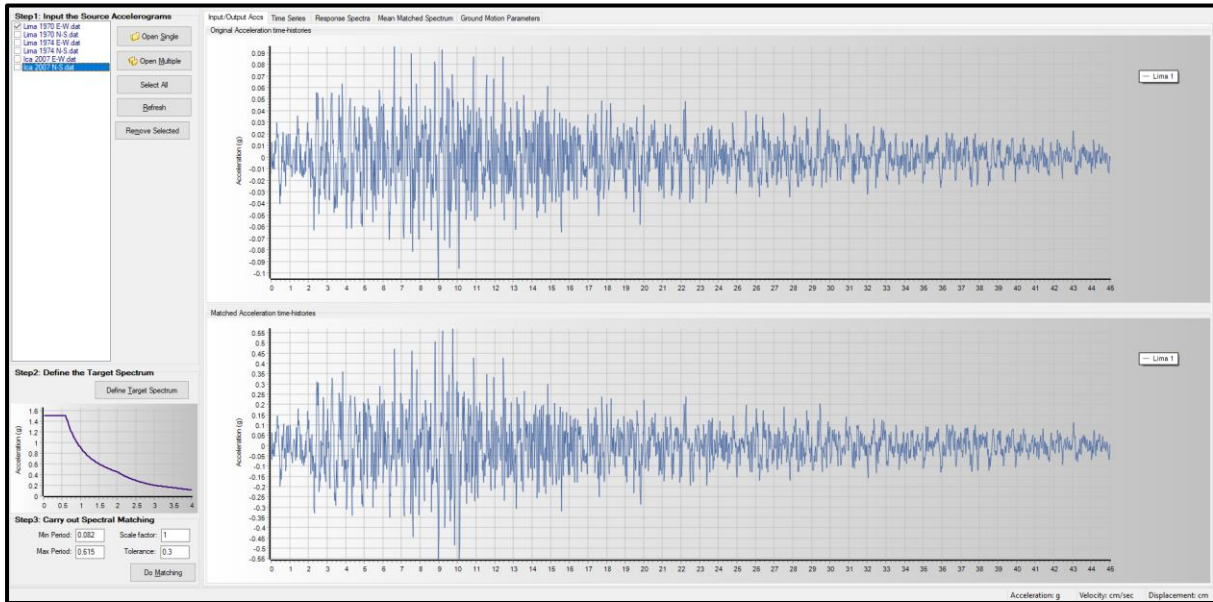


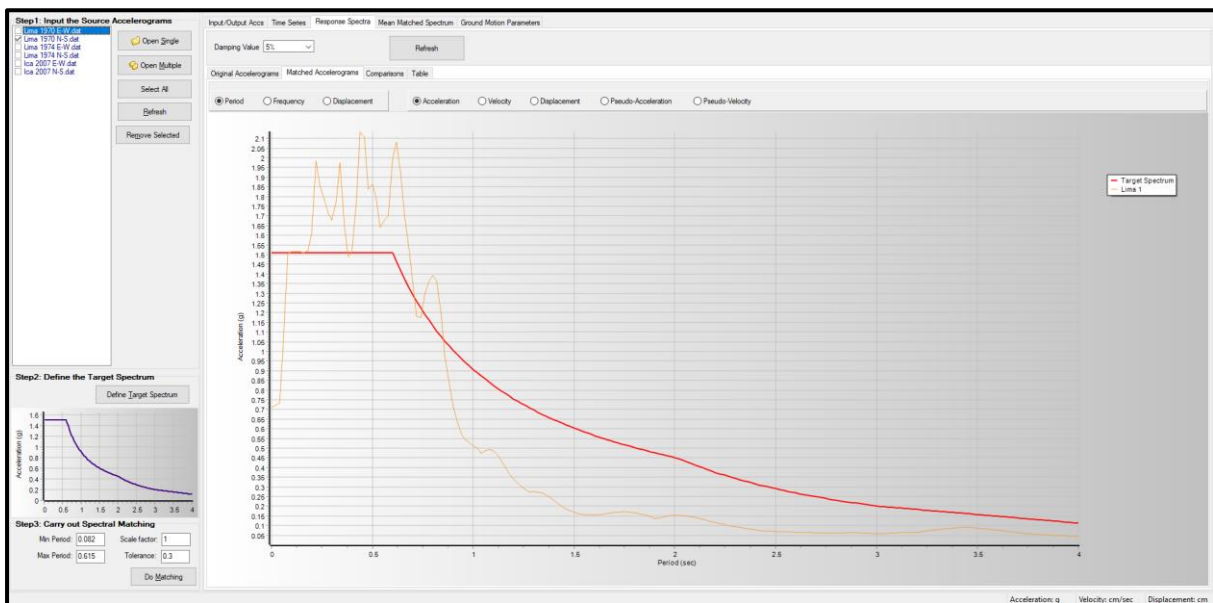
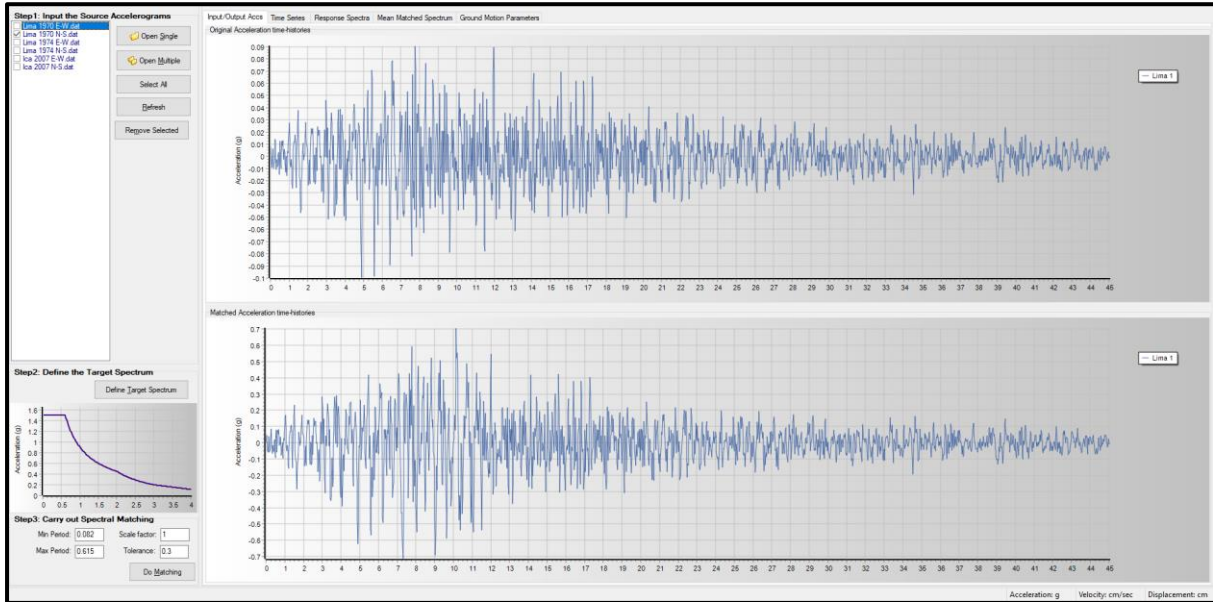
- Distorsiones máximas para caso Lima 2007 N-S

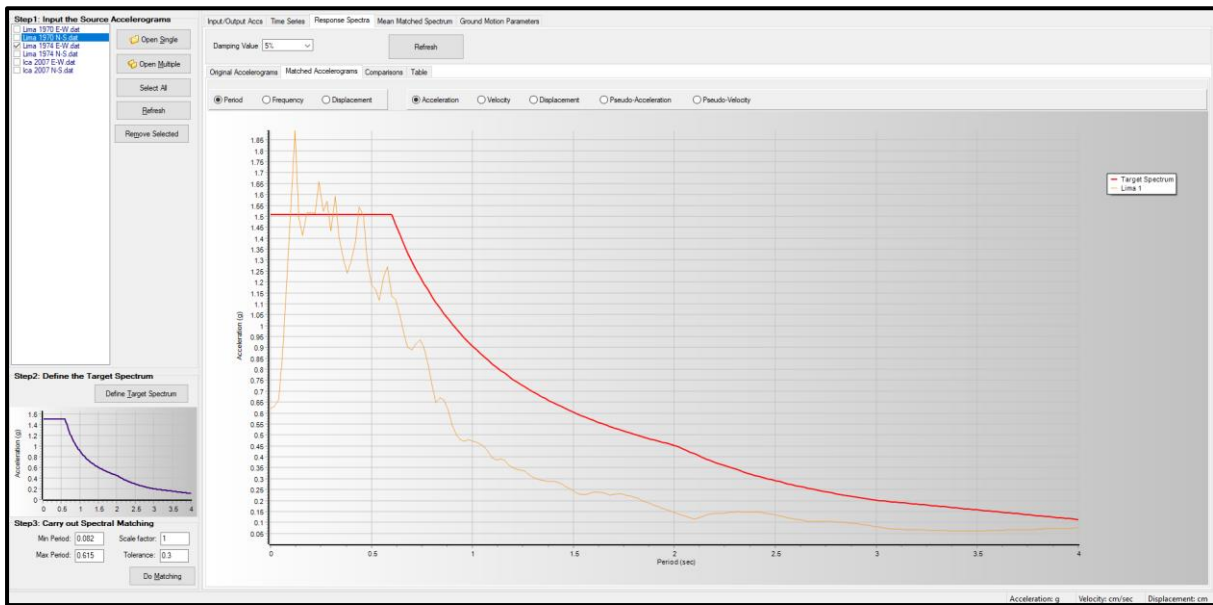
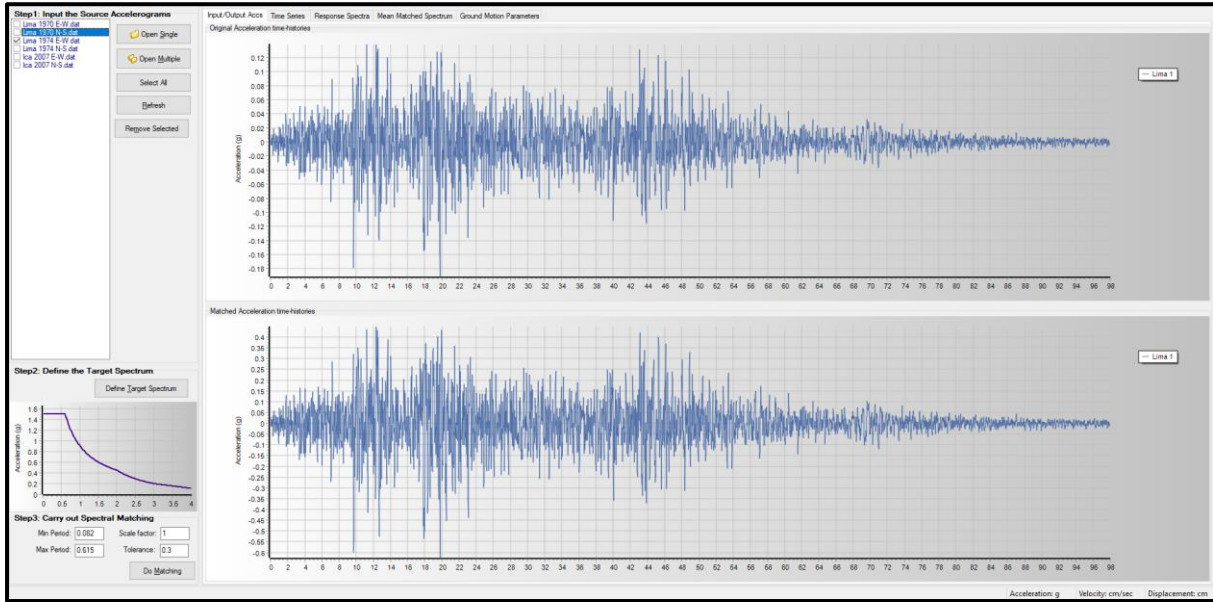


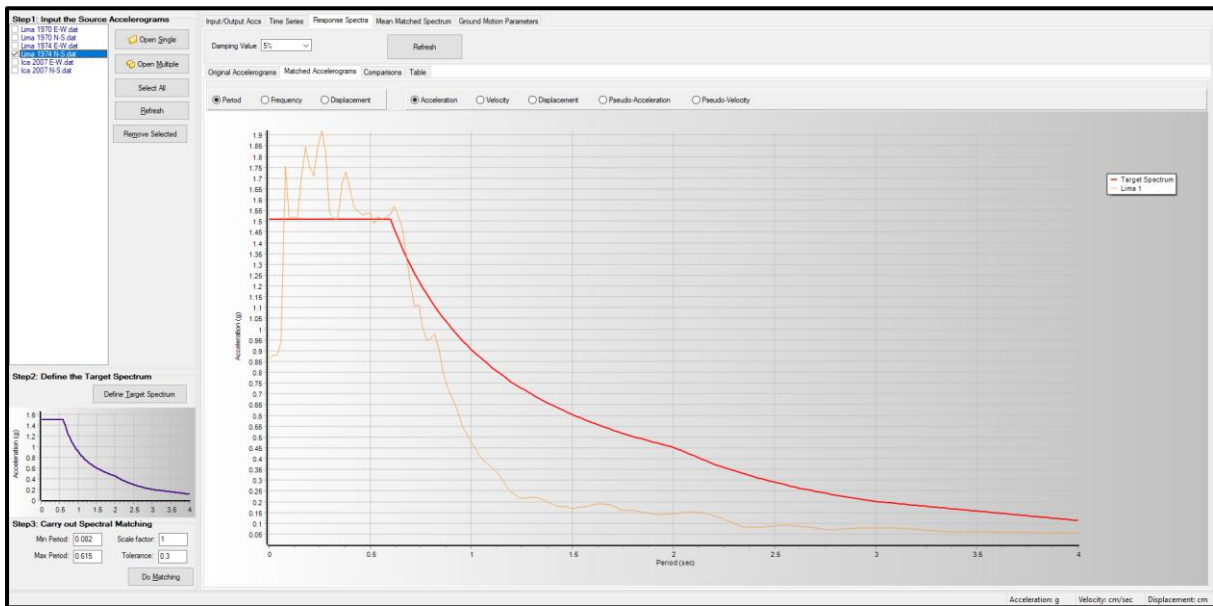
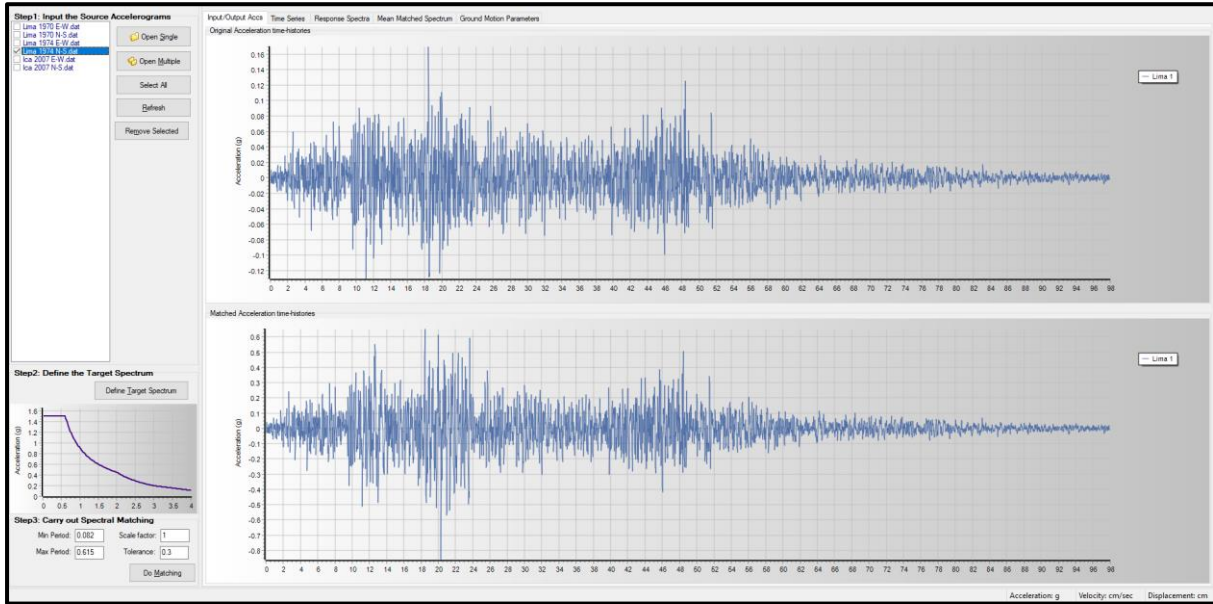
Anexo 05: Resultados de SeismoMatch

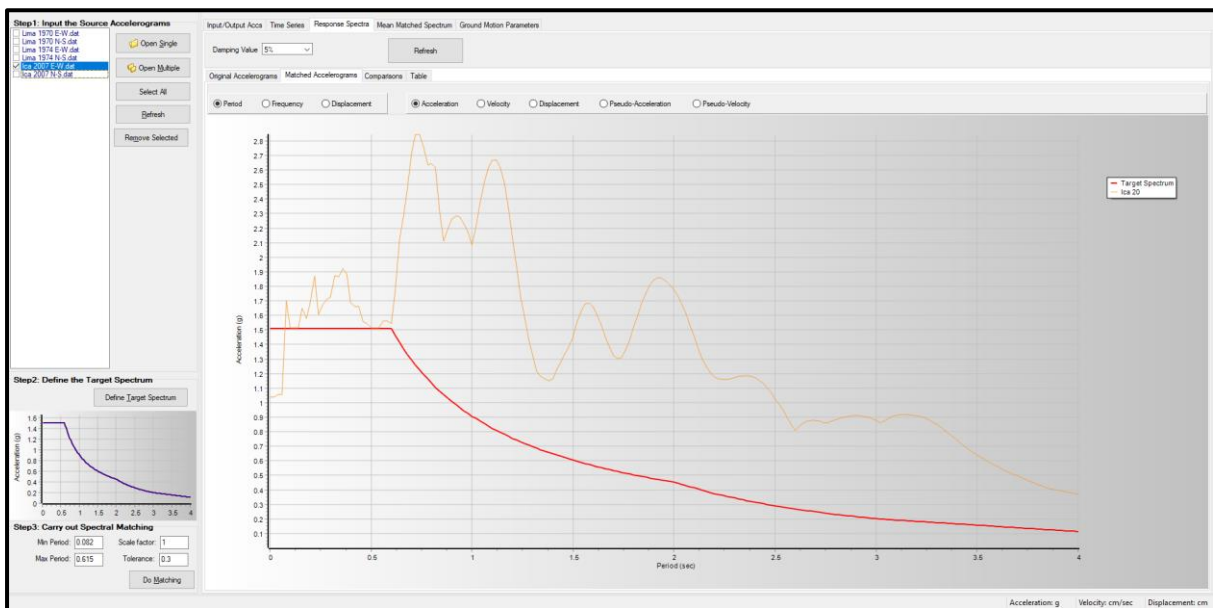
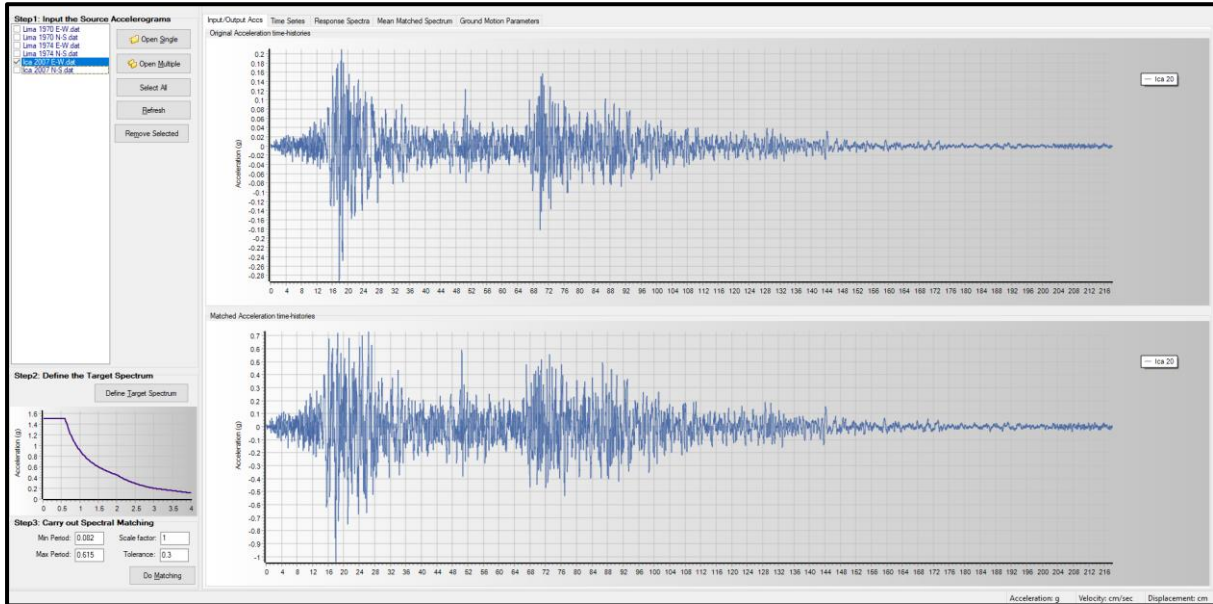
- Escala de registros sísmicos

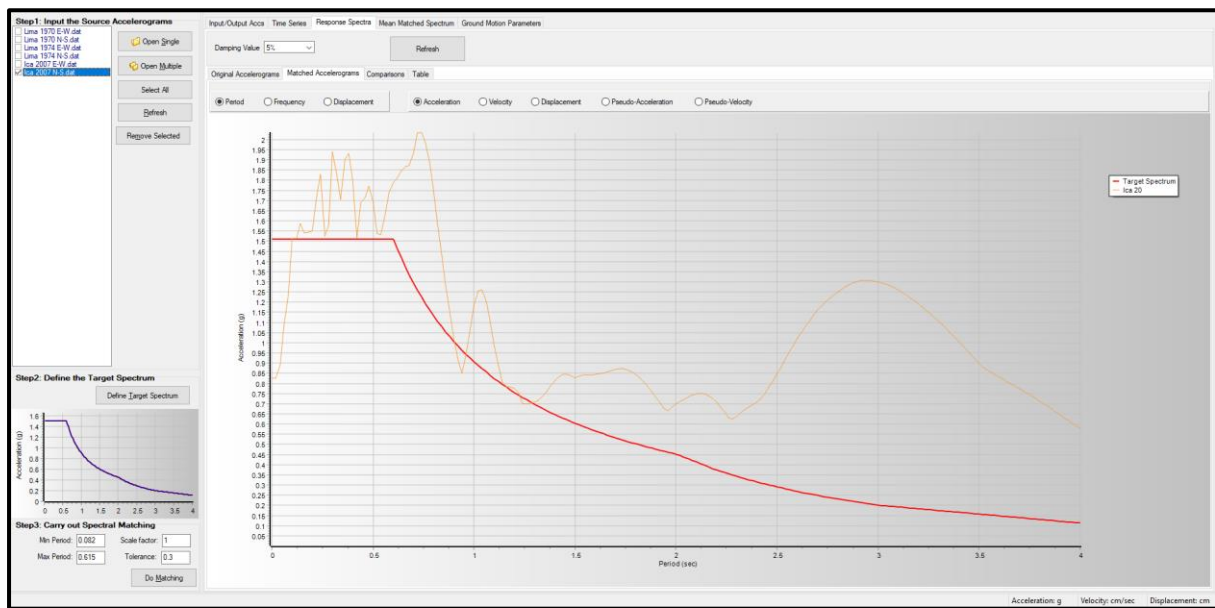
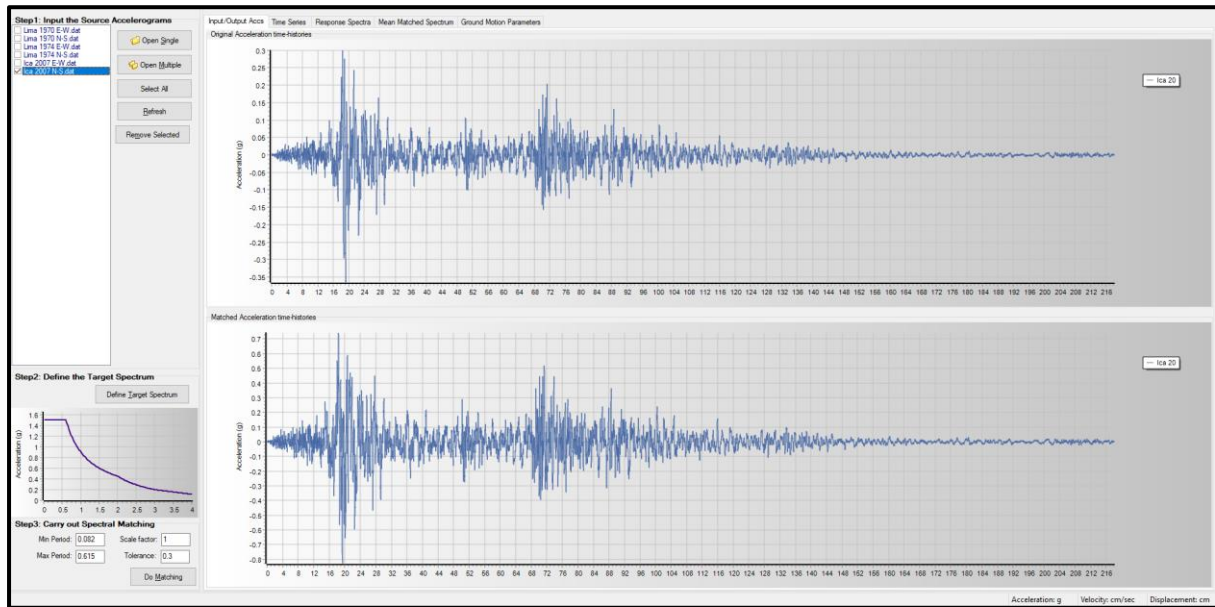












Anexo 06: Ficha de recolección de datos

- Ficha de periodos y participación modal de masas

Periodos y participación modal de masas			
N° Modos	T	Sumatoria en el eje X	Sumatoria en el eje Y
1			
2			
3			
4			
5			
6			
7			
8			
9			
10			

- Fichas de fuerzas cortantes de la edificación

	Dirección X	Dirección Y
V dinámica		
V estática		
Vdin/Vest		
Cociente min		
Factor de escala		

- Ficha de derivas máximas del análisis tiempo-historia

Derivas dirección X-X								
Nivel	Lima 1970		Lima 1974		Ica 2007		Máximo X-dir	E.030 X-dir*0.8
	E-W	N-S	E-W	N-S	E-W	N-S		

- Ficha de variación de distorsión de entrepiso

Nivel	Sin disipador	Con disipador	Variación

- Fichas de distorsión de entrepiso por cada dirección

Nivel	Distorsión (%)		Límite (E.030) (%)
	Sin disipador	Con disipador	

Anexo 07: Ficha de muestreo no probabilístico

Condición del experto para la muestra	Descripción del experto para las condiciones
La edificación deber ser de concreto armado	Los disipadores se ubicarán de forma diagonal por lo que, para su incorporación se deberá contar con un pórtico de concreto armado
La edificación debe estar ubicado en la zona 4 de acuerdo a la E.030	Según la E.030 Diseño Sismorresistente, la zona 4 presenta la mayor aceleración siendo $Z = 0.45$
La edificación deberá tener un único tipo de disposición para los disipadores	Se recomienda que se debe tener un único sistema de disposición para los disipadores. Para la investigación se usará el de tipo diagonal
La edificación debe tener más de 10 años de antigüedad	Debido a que enfocará en el reforzamiento estructural, la edificación debe tener un cierto grado de antigüedad, además, de haber sido diseño con normativas pasadas
La edificación deber ser considerada como esencial según la E.030	Para que se justifique el uso de disipadores de fluido viscoso, la edificación deberá ser clasificada como esencial según la E.030