

UNIVERSIDAD RICARDO PALMA

FACULTAD DE INGENIERÍA

PROGRAMA DE TITULACIÓN POR TESIS

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



**“COMPARACIÓN TÉCNICA-ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA
ESTRUCTURAL DUAL Y OTRO CON DISIPADOR DE FLUIDO
VISCOSO PARA UNA EDIFICACIÓN MULTIFAMILIAR”**

TESIS

**PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO CIVIL**

PRESENTADO POR:

Bach. QUISPE VILCA, JAVIER JESÚS

Bach. TINCO VILLAVICENCIO, ALDO

Asesor: Mg. Ing. GÁRATE CÁCERES, FRANCISCO HÉCTOR

LIMA – PERÚ

2020

DEDICATORIA

La presente tesis se la dedico a mis padres
Máximo Tinco y Victoria Villavicencio por ser la cimentación,
motor, ejemplo y guía de mi carrera universitaria, así como a mi
hermano Gonzalo por todo el apoyo a lo largo de esta gran meta.

Aldo Tinco Villavicencio

La presente tesis se la dedico a mis padres
Javier y Haydee, ya que son mi pilar fundamental y apoyo en mi
formación académica, me han dado todo lo que soy como persona,
mis valores, mis principios, mi perseverancia y mi empeño, y todo
ello de una manera desinteresada y lleno de amor.

A mis hermanas (Patricia, Melissa, Estefany y Angie) que han sido
mi ejemplo y lucha para alcanzar mis metas.

A mis sobrinos que por medio de su alegría me motivaron a seguir
adelante.

A todas las personas que hicieron posible este trabajo.

Javier Quispe Vilca

AGRADECIMIENTO

La realización del presente trabajo de investigación se lo debemos en gran medida a nuestros padres por toda la paciencia y el apoyo constante con el fin de no decaer en este largo proceso de investigación y aprendizaje, meta que significa mucho en nuestra vida profesional.

A Dios, por permitirnos a pesar de toda la coyuntura en la que se desarrolló este proyecto de investigación, poder terminarlo gozando de salud.

Y, por último, pero no menos importante a nuestro asesor el Ingeniero Francisco Garate Cáceres por siempre estar predispuesto a asesorarnos y brindarnos parte de su valioso tiempo.

Aldo Tinco y Javier Quispe.

ÍNDICE GENERAL

RESUMEN	xiii
ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN	xv
CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	1
1.1 Descripción del Problema	1
1.2 Formulación del Problema	1
1.2.1 Problema General	1
1.2.2 Problemas Específicos	2
1.3 Importancia y Justificación del Estudio.....	2
1.4 Delimitación del Estudio.....	2
1.5 Objetivos de la Investigación.....	3
1.5.1 Objetivo General.....	3
1.5.2 Objetivos Específicos	3
1.6 Limitaciones del Estudio.....	3
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Marco Histórico	4
2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema.....	5
2.2.1 Investigaciones Internacionales	5
2.2.2 Investigaciones Nacionales.....	7
2.3 Bases Teóricas Vinculadas.....	9
2.3.1 Diseño de una Edificación	9
2.3.2 Análisis Económico de una Edificación	10
2.4 Estructura Teórica que Sustenta el Estudio.....	11
2.4.1 Riesgo Sísmico en el Perú	11
2.4.2 Espectro de la Norma Peruana.....	14
2.4.3 Disipadores con los códigos americanos FEMA Y ASCE 7.....	15
2.4.4 Dinámica Estructural	18
2.4.5 Vibración Libre.....	20
2.4.6 Vibración Armónica Forzada.....	20
2.4.7 Sometido a fuerzas en forma de pulsos	20
2.4.8 Sistemas sometidos a los efectos de un sismo	21
2.4.9 Disipación de la Energía.....	25
2.5 Definición de términos básicos	33

2.6	Hipótesis.....	35
2.6.1	Hipótesis General.....	35
2.6.2	Hipótesis Específicas	35
2.7	Variable.....	35
2.7.1	Definición Conceptual de las Variables.....	35
CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN		36
3.1	Tipo de Investigación:.....	36
3.2	Método de Investigación:.....	36
3.3	Diseño de la investigación	36
3.4	Población De Estudio.....	36
3.5	Diseño Muestral	36
3.6	Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos	37
3.7	Criterio de Validez y Confiabilidad de los Instrumentos.....	37
3.8	Procedimientos para la Recolección de Datos	38
3.9	Técnicas para el Procesamiento y el Análisis de Datos	38
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DUAL DE 20 PISOS SIN DISIPADORES		39
4.1	Parámetros Generales de la Edificación.....	39
4.1.1	Ubicación.....	39
4.1.2	Descripción de la Estructura	40
4.1.3	Características de los Materiales de Diseño	40
4.1.4	Cargas Consideradas.....	40
4.2	Estructuración Dual.....	41
4.2.1	Principios y Requisitos Generales de Resistencia	41
4.2.2	Predimensionamiento.....	42
4.3	Análisis Sísmico.....	52
4.3.1	Análisis Estático	53
4.3.2	Análisis Dinámico Modal Espectral (R=5.4).....	67
4.3.3	Análisis Dinámico Modal Espectral (R=1.0).....	73
4.3.4	Escalamiento de Acelerogramas al Espectro de Diseño.....	76
4.3.5	Análisis Lineal Tiempo Historia.....	79
4.3.6	Determinación del sismo de diseño	87
CAPÍTULO V: ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DUAL DE 20 PISOS CON DISIPADORES		90
5.1	Determinación de los Objetivos de Diseño.....	90
5.2	Amortiguamiento Efectivo o Factor de Reducción de Respuesta.....	90

5.3	Ubicación de los Dispositivos de Disipación de Energía.....	91
5.4	Cálculo Preliminar de la Rigidez del Brazo Metálico.....	92
5.5	Diseño estructural con 2 Disipadores de Fluido Viscoso por piso.....	94
5.5.1	Diseño Estructural con Disipadores de Fluido Viscoso No-Lineales en la disposición diagonal simple	94
5.5.2	Respuesta de la Estructura con los Disipadores de Energía	99
5.6	Propuesta de diseño final de la estructura dual de 20 pisos con disipadores de fluido viscoso	108
5.6.1	Cálculo del Coeficiente de Amortiguamiento Lineal (C).....	109
5.6.2	Respuesta de la Estructura con los Disipadores de Energía	110
5.7	Elección del Disipador de Fluido Viscoso	118
5.7.1	Diseño de los Dispositivos de Amortiguamiento	118
5.7.2	Diseño de los brazos metálicos.....	123
CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN TÉCNICA-ECONOMICA DE LA EDIFICACIÓN EXISTENTE Y LA PROPUESTA.....		128
6.1	Estudio Comparativo de los Resultados y Costos.....	128
6.1.1	Comparación Técnica	128
6.2	Comparación Económica	133
6.2.1	Generalidad.....	133
6.2.2	Estimación de costos.....	134
6.3	Contrastación de Hipótesis.....	136
6.3.1	Hipótesis General.....	136
6.3.2	Hipótesis Específicas	136
CONCLUSIONES		138
RECOMENDACIONES.....		139
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		140
ANEXOS		143

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Ventajas y Desventajas de Disipadores Pasivos.....	27
Tabla 2: Cuadro de Cargas de Gravedad	41
Tabla 3: Combinaciones de Diseño	42
Tabla 4: Cuadro de Vigas Peralgadas a Emplear en Modelo Matemático	50
Tabla 5: Cuadro de Columnas a Emplear en Modelo Matemático.....	51
Tabla 6: Categoría de las Edificaciones Y Factor “U”	54
Tabla 7: Periodos en Función del Factor de Amplificación del suelo S.....	54
Tabla 8: Peso de la Edificación por Niveles.....	55
Tabla 9: Calculo del Periodo Fundamental de Vibración en Dirección X	57
Tabla 10: Calculo del Periodo Fundamental de Vibración en Dirección Y	58
Tabla 11: Periodos Fundamentales en ETABS vs calculo manual.....	59
Tabla 12: Factores Sísmicos de la Edificación	60
Tabla 13: Distribución de Fuerza Sísmica en Altura en Dirección X-X	61
Tabla 14: Distribución de Fuerza Sísmica en Altura en Dirección Y-Y	63
Tabla 15: Distribución de Momento Torsor en Dirección X-X	65
Tabla 16: Distribución de Momento Torsor en Dirección Y-Y	66
Tabla 17: Porcentajes de Masa Participativa	68
Tabla 18: Fuerza Cortante Dinámica en la Base del Edificio.....	71
Tabla 19: Cortante Mínima de Diseño en la Base	71
Tabla 20: Derivas Inelásticas para Modelo Sin Disipadores Eje X y Eje Y.....	72
Tabla 21: Derivas Inelásticas para Modelo con R=1.0 en el Eje X.....	74
Tabla 22: Derivas Inelásticas para Modelo con R=1.0 en el Eje Y	75
Tabla 23: Ubicación de la Estación y Sismos Escogidos para Análisis	77
Tabla 24: Registros Sísmicos Considerados para el Análisis.....	77
Tabla 25: Sismo de 17 de octubre de 1966 (Huaral), caso 1: Dirección X – componente EW/ Dirección Y – componente NS.....	80
Tabla 26: Sismo de 17 de octubre de 1966 (Huaral), caso 2: Dirección X – componente NS / Dirección Y – componente EW.....	81
Tabla 27: Sismo de 31 de Mayo de 1970 (Ancash), caso 1: Dirección X – Componente EW / Dirección Y – Componente NS.....	82

Tabla 28: Sismo de 31 de Mayo de 1970 (Ancash), caso 2: Dirección X – Componente NS / Dirección Y – Componente EW.....	83
Tabla 29: Sismo del 17 de octubre de 1974 (Ica), Caso 1 : Dirección X – Componente EW / Dirección Y – Componente NS.....	84
Tabla 30: Sismo del 17 de octubre de 1974 (Ica), Caso 2 : Dirección X – Componente NS / Dirección Y – Componente EW.....	85
Tabla 31: Distorsiones Obtenidas en X-X (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)...	86
Tabla 32: Distorsiones Obtenidas en Y-Y (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)...	87
Tabla 33: Variaciones entre las Derivas Obtenidas en X-X (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)	88
Tabla 34: Variaciones entre las Distorsiones Obtenidas en Y-Y (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)	89
Tabla 35: Dimensiones ROUND HSS 7.50 x 0.50 in.....	92
Tabla 36: Cálculos Para Obtener el Desplazamiento Relativo ϕ_{rj}	94
Tabla 37: Desplazamiento Modal por Niveles	95
Tabla 38: Valores de λ Respecto al Exponente de Velocidad α	97
Tabla 39: Cálculos Realizados para Obtener el Coeficiente de Amortiguamiento C_j ...	97
Tabla 40: Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio Sin Disipadores)	99
Tabla 41: Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio Con Disipadores)	100
Tabla 42: Porcentaje de Disipación de Energía en la Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso.....	108
Tabla 43: Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio sin Disipadores)	111
Tabla 44: Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio con Disipadores)	112
Tabla 45: Porcentaje de Disipación de Energía en la Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso.....	118
Tabla 46: Tabla de Fuerza en Kips de los Disipadores	118
Tabla 47: Fuerzas Internas en los Disipadores para la Dirección X-X.....	119
Tabla 48: Número de Dispositivos Totales (Propuesta Final).....	122
Tabla 49: Propiedades del Dispositivo de Amortiguación	122
Tabla 50: Características de la Placa Base del Disipador de Fluido Viscoso.....	123
Tabla 51: Fuerzas Internas en los Disipadores en la Dirección X-X.....	124
Tabla 52: Perfil Tubular a Utilizar para el Arriostre Metálico	125
Tabla 53: Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos Máximos en los C.M. de cada Piso.	129

Tabla 54: Porcentaje de Reducción de las Distorsiones de Entrepiso en Dirección X- X.....	130
Tabla 55: Periodos de Vibración de la Edificación con Disipadores de Energía	131
Tabla 56: Presupuesto de Edificación Existente Convencional "Multifamiliar Huiracocha 2257"	134
Tabla 57: Presupuesto de Disipadores de Fluido Viscoso.....	135

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Mapa de Sismicidad Ocurrida en el Perú entre 1900 - 2000	13
Figura 2: Mapa de Zonificación Sísmica en el Perú.....	13
Figura 3: Espectro de la Norma Peruana E.030 – 5% de Amortiguamiento	14
Figura 4: Fuerzas en un Sistema de 1 Grado de Libertad.....	19
Figura 5: Fuerzas en un Sistema de 1 Grado de Libertad.....	20
Figura 6: Espectro de Choque con Pulso de Igual Área, pero Diferentes Formas.	21
Figura 7: Registro Acelerográfico Lima, Callao 1974	22
Figura 8: a) Aceleración del terreno; b) Respuesta de deformación de tres sistemas de 1GDL con $\zeta=2\%$ y $T_n=0.5, 1$ y 2 segundos; c) Espectro de respuesta de deformación para $\zeta=2\%$	22
Figura 9: Respuesta de Deformación de Tres Sistemas de 1 GLD con $\zeta=5\%$ y $T_n=0.5, 1$ y 2 segundos.....	23
Figura 10: Espectros de Respuesta ($\zeta=0.05$) para el registro de El Callo, 1974 (a) Espectro de Desplazamiento, (b) Pseudo-Espectro de Velocidad, (c) Pseudo-Espectro de Aceleración	25
Figura 11: Conexiones en la disposición diagonal.....	29
Figura 12: Comportamiento Histerético de un Amortiguador Viscoso Lineal	30
Figura 13: Propiedades de Fuerza – Velocidad de Diferentes Amortiguadores Viscoso No Lineales	32
Figura 14: Ciclo Histerético de Amortiguador Viscoso No Lineal con Coeficientes de Velocidad α	33
Figura 15: Plano de Ubicación de la Edificación a Investigar	39
Figura 16: Ubicación de la Edificación a Investigar	39
Figura 17: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-4	44
Figura 18: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-1	45
Figura 19: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-9	46
Figura 20: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-13	46
Figura 21: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-9	47
Figura 22: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-15	48
Figura 23: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-4	48
Figura 24: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-12	49

Figura 25: Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-18.....	50
Figura 26: Plano en Planta de Elementos Estructurales (Losas, vigas y columnas)	52
Figura 27: Modelado en ETABS del Proyecto “Huiracocha 2257”	53
Figura 28: Resultados de Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura en Dirección X-X.....	62
Figura 29: Resultados de Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura en Dirección Y-Y.....	64
Figura 30: Distribución de Momento Torsor en Dirección X-X.....	66
Figura 31: Distribución de Momento Torsor en Dirección Y-Y	67
Figura 32: Gráfico del Espectro de Sismos de Diseño (Sa/g) (R=5.4).....	70
Figura 33: Gráfico del Espectro de Sismos de Diseño (Sa/g) (R=1.0).....	74
Figura 34: Acelerograma Sismo Huaral 1996/10/17 – 16:41:00.....	78
Figura 35: Acelerograma Sismo Áncash 1970/05/31 – 15:23:00	78
Figura 36: Acelerograma Sismo Lima-Ica 1974/10/03 – 09:21:00.....	79
Figura 37: Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)	91
Figura 38: Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en 3D)	92
Figura 39: Detalle de la Unión Brazo Metálico – Placa Base (Disipador de 110kip – Taylor)	93
Figura 40: Angulo de Inclinación de los Disipadores de la Estructura	93
Figura 41: Derivas de Entrepiso en dirección X-X	101
Figura 42: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Primer piso - Diagonal izq.).....	101
Figura 43: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Primer piso - Diagonal der.)	101
Figura 44: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Tercer piso - Diagonal izq.).....	102
Figura 45: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Tercer piso - Diagonal der.)	102
Figura 46: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Quinto piso - Diagonal izq.).....	102
Figura 47: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Quinto piso - Diagonal der.)	102
Figura 48: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Séptimo piso - Diagonal izq.).....	103

Figura 49: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Séptimo piso - Diagonal der.)	103
Figura 50: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Noveno piso - Diagonal izq.).....	103
Figura 51: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Noveno piso - Diagonal der.)	103
Figura 52: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Onceavo piso - Diagonal izq.).....	104
Figura 53: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Onceavo piso - Diagonal der.)	104
Figura 54: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimotercer piso - Diagonal izq.)	104
Figura 55: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimotercer piso - Diagonal der.)	104
Figura 56: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoquinto piso - Diagonal izq.)	105
Figura 57: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoquinto piso - Diagonal der.)	105
Figura 58: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoséptimo piso - Diagonal izq.).....	105
Figura 59: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoséptimo piso - Diagonal der.).....	105
Figura 60: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimonoveno piso - Diagonal izq.).....	106
Figura 61: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimonoveno piso - Diagonal der.).....	106
Figura 62: Balance de energía ($\alpha = 0.50$) Dirección X-X	107
Figura 63: Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)	109
Figura 64: Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)	110
Figura 65: Derivas de Entrepiso en Dirección X-X	113
Figura 66: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Décimo piso - Diagonal izq.).....	114
Figura 67: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Décimo piso - Diagonal der.)	114

Figura 68: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Duodécimo piso - Diagonal izq.).....	114
Figura 69: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Duodécimo piso - Diagonal der.)	114
Figura 70: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimocuarto piso - Diagonal izq.).....	115
Figura 71: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimocuarto piso - Diagonal der.)	115
Figura 72: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimosexto piso - Diagonal izq.)	115
Figura 73: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimosexto piso - Diagonal der.).....	115
Figura 74: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimooctavo piso - Diagonal izq.).....	116
Figura 75: Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimooctavo piso - Diagonal der.).....	116
Figura 76: Balance de Energía ($\alpha = 0.50$) en Dirección X-X.....	117
Figura 77: Máxima Stroke del Disipador de Energía K11	120
Figura 78: Propiedades de los Dispositivos Taylor Devices Inc.	121
Figura 79: Dimensiones en Metros Lineales del Disipador de Energía de 165 Kip ...	122
Figura 80: Dimensiones en Metros de la Placa Base del Disipador de 165 Kip	123
Figura 81: Arriostre del Disipador Característico a Diseñar en Dirección X-X	125
Figura 82: Tabla de Propiedades del Perfil Tubular Metálico HSS 7.50 x 0.50 in.....	126
Figura 83: Desplazamientos Máximos Absolutos en los C.M. de cada Piso (Dirección X-X).....	128
Figura 84: Distorsiones de Entrepiso en Dirección X-X.....	130

RESUMEN

El presente trabajo de investigación realizó el análisis técnico y económico comparativo entre el uso del sistema estructural dual de una edificación multifamiliar existente contra una propuesta estructural empleando un sistema de disipación de energía de fluido viscoso considerando además la influencia de la propuesta en el presupuesto inicial del proyecto. Para el análisis de la edificación existente y la propuesta estructural se usó la Norma E 030 “Diseño Sismorresistente”, E 020 “Cargas” y la Norma E 060 “Concreto Armado” así como también las normas internacionales y comentarios de la organización ATC-40 y el comité VISIÓN 2000 (SEAOC 1995). Esto implicó el desarrollo de un análisis sísmico estático, dinámico y tiempo-historia tanto para la edificación existente como para la propuesta estructural forzando a través de la variación de parámetros como el coeficiente de reducción sísmica ($R=1$), la llegada al rango inelástico del modelo.

Para la propuesta final, el sistema estructural con disipación de energía mediante fluido viscoso se sometió a un análisis de sollicitación sísmica presentado por los sismos de Huaral de 1966 (8.1 Mw), sismo cuya medición fue registrada por la estación ubicada en el Parque de la Reserva, considerada estación histórica por el CISMID, que comparte las mismas características de suelo que nuestro proyecto (Suelo S1 según la norma E-030). Se presentó un porcentaje de reducción de los desplazamientos máximos de centros de masa de cada piso, siendo de un valor máximo de 28.82% en último nivel. En la reducción de la distorsión máxima del edificio en la dirección X-X se obtuvo un porcentaje de 22.86% y manteniéndose así el periodo fundamental $T=1.439$ segundos, puesto que, se comprobó que los dispositivos no incrementan la rigidez de la estructura. Así mismo se presentó el monto adicional por la instalación de los dispositivos de disipación de energía requeridos por la propuesta, presentando así la influencia de la optimización del modelo estructural en el presupuesto inicial total y por etapas del proyecto.

Finalmente, en la evaluación del desempeño sísmico del sistema estructural propuesto, se comprobó la mejora a nivel de distorsiones, cumpliendo con las verificaciones de la normativa vigente, planteando además una estética distribución de los disipadores para presentar el modelo ante una inmobiliaria o constructora a fin de aprobar el diseño visual. Palabras clave: Disipadores de energía; derivas máximas; rango inelástico; sollicitaciones sísmicas.

ABSTRACT

The present research work carried out the comparative technical and economic analysis between the use of the dual structural system of an existing multifamily building against a structural proposal using a viscous fluid energy dissipation system, also considering the influence of the proposal on the initial budget of the draft. For the analysis of the existing building and the structural proposal, Standard E 030 "Seismic-resistant Design", E 020 "Loads" and Standard E 060 "Reinforced Concrete" were used, as well as international standards and comments from the ATC-40 organization. and the VISION 2000 committee (SEAOC 1995). This implied the development of a static, dynamic and time-history seismic analysis both for the existing building and for the structural proposal, forcing through the variation of parameters such as the seismic reduction coefficient ($R = 1$), the arrival of the inelastic range of the model. For the final proposal, the structural system with energy dissipation through viscous fluid was subjected to a seismic stress analysis presented by the Huaral earthquakes of 1966 (8.1 Mw), an earthquake whose measurement was recorded by the station located in Parque de la Reserva, considered a historic station by CISMID, which shares the same soil characteristics as our project (Soil S1 according to the E-030 standard). A percentage of reduction of the maximum displacements of mass centers of each floor was presented, with a maximum value of 28.82% in the last level. In reducing the maximum distortion of the building in the X-X direction, a percentage of 22.86% was obtained, thus maintaining the fundamental period $T = 1.439$ seconds, since it was found that the devices do not increase the rigidity of the structure. Likewise, the additional amount for the installation of the energy dissipation devices required by the proposal was presented, thus presenting the influence of the optimization of the structural model in the total initial budget and by stages of the project. Finally, in the evaluation of the seismic performance of the proposed structural system, the improvement at the level of distortions was verified, complying with the verifications of the current regulations, also proposing an aesthetic distribution of the dissipators to present the model before a real estate or construction company in order to approve the visual design.

Keywords: Energy dissipators; maximum drifts; inelastic range; seismic solicitations.

INTRODUCCIÓN

Los sismos son eventos naturales que generan pérdidas humanas y materiales incalculables dependiendo de su magnitud e intensidad.

El Perú se ubica en lo que se denomina el “Cinturón de Fuego del Océano Pacífico”, zona de subducción que alberga el 85% del total de actividad sísmica mundial. Considerando que Lima arrastra un silencio sísmico de más de 250 años, se espera un abrupto movimiento telúrico que disipe toda esa cantidad de energía acumulada.

Lima es una ciudad que no está preparada para este evento sísmico en mención, las construcciones convencionales son diseñadas para resistir sismos de baja intensidad, siendo muchas veces lo suficientemente resistentes para que los habitantes de un hogar puedan escapar del interior, para después dichas edificaciones queden obsoletas o colapsen.

Debido a lo mencionado, la ingeniería ha desarrollado mecanismos tecnológicos como los disipadores de energía de fluido viscoso, los cuales son capaces de reducir considerablemente los efectos y daños provocados por los sismos en las estructuras en mención.

Nuestro proyecto de investigación presenta un análisis técnico y económico, planteado para una edificación multifamiliar de 4 sótanos, 20 niveles y una azotea ubicado en el distrito de Jesús María.

Siendo la propuesta estructural el uso de disipadores de energía de fluido viscoso sobre la edificación multifamiliar existente en mención evaluará su impacto y reducción de daños causados por sismos, así como también la influencia del costo adicional en el presupuesto inicial.

La tesis consta 6 capítulos, el capítulo 1 dedicado al planteamiento del problema general de las edificaciones en Lima, el capítulo 2 que será el apoyo teórico de la investigación, el capítulo 3 , describe la metodología que siguió la investigación ,el capítulo 4 basado en el análisis sísmico de la edificación existente , el capítulo 5 presenta el análisis de la propuesta estructural compuesta por los disipadores de fluido viscoso y finalmente el capítulo 6 en donde se presentaran los resultados comparativos técnicos y económicos de ambos modelos.

CAPÍTULO I: PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Descripción del Problema

A nivel mundial, se viene desarrollando diferentes tecnologías que permiten disipar energía sísmica de manera controlada, permitiendo así reducir los efectos del sismo sobre las estructuras a fin de evitar el daño en sus elementos principales. En Latinoamérica, países como México (Torre Mayor), Chile (Puente Amolanas) o Venezuela (Edificio Pietrasanta) también vienen impulsando el desarrollo y la implementación de estas tecnologías. Así mismo en el Perú, pese a que estas prácticas de diseño aún no se hacen frecuentes, ya presenta edificaciones con el uso de esta tecnología, siendo la primera estructura para reforzar el aeropuerto internacional Jorge Chávez (2006), seguido del centro empresarial Reducto (2010) ambos con disipadores de fluido viscoso tipo Taylor.

Nuestro País se encuentra en una región que sísmicamente tiene la mayor actividad del mundo denominada “El Cinturón de fuego del Pacífico”. Lima arrastra una inexistente actividad sísmica desde 1746. Este silencio sísmico de más de 270 años que se registra, indica que existen altas probabilidades de que la capital sea sacudida, en algún momento, por un sismo de magnitud superior a 8.5 (IGP, 2019). Es evidente que muchas de las edificaciones en la ciudad de Lima se encontrarían muy susceptibles a los daños que podrían derivarse de la acción de un evento sísmico como el que se espera en Lima, sobre todo en aquellas edificaciones que presenten problemas de configuración, vulnerabilidad, asimetría entre otras.

Es por esta razón que se presenta la necesidad creciente de implementar sistemas de protección sísmica en las edificaciones que permitan controlar o en su defecto reducir los daños que pudieran causar los eventos sísmicos sobre las edificaciones multifamiliares, analizando no solo el desempeño de estas herramientas sísmicas, sino también la influencia del costo en el presupuesto del proyecto a corto y largo plazo.

1.2 Formulación del Problema.

1.2.1 Problema General

¿Cómo realizar la comparación técnica y económica de un sistema dual y otro sistema disipador de fluido viscoso para una edificación multifamiliar en Jesús María?

1.2.2 Problemas Específicos

- a) ¿Cómo influye el sistema estructural dual en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María?
- b) ¿Cómo influye el sistema estructural con disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María?
- c) ¿Cómo determinar la influencia del uso del disipador de fluido viscoso en la vida útil de la edificación ante un sismo severo?
- d) ¿Cómo determinar la diferencia del costo presupuestado del modelo de estructura dual con la estructura que usa disipadores de fluido viscoso?

1.3 Importancia y Justificación del Estudio.

Actualmente en el Perú se han incorporado sistemas pasivos de control estructural ante los sismos, entre los más usados tenemos el aislamiento de la base de la estructura y los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso.

Este último dispositivo en mención es el más usado en nuestro país, sin embargo, el costo de diseño, instalación y mantenimiento es elevado respecto a los demás métodos de disipación.

Por lo tanto, la presente investigación es un aporte para futuros análisis técnicos y económicos sobre diseño estructural de proyectos multifamiliares, presentando las ventajas y desventajas del uso de amortiguadores de fluido viscoso, su influencia en un sismo severo y sobre todo su impacto en el presupuesto base de un proyecto a corto y largo plazo.

Además, esta investigación es necesaria ya que, al ser Lima una ciudad que posee un silencio sísmico de más de 200 años, ayudará a profundizar en esta nueva metodología de diseño estructural, presentando el comportamiento sísmico de la propuesta estructural ante sollicitaciones ya precedentes a través de sus registros de aceleraciones.

1.4 Delimitación del Estudio

El planteamiento del problema se origina para una estructura ubicada en la calle Jr. Huiracocha 2257 en el distrito de Jesús María, en la provincia de Lima, en el departamento de Lima.

El análisis se efectuará tomando las normas establecidas en el RNE, y base de estudio un periodo comprendido entre los meses de mayo del 2020 hasta enero del 2021.

1.5 Objetivos de la Investigación

1.5.1 Objetivo General

Realizar la comparación técnica y económica de un sistema estructural dual y otro sistema con disipadores de energía de fluido viscoso para una edificación multifamiliar en Jesús María.

1.5.2 Objetivos Específicos

- a) Determinar cómo el sistema estructural dual influye en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María.
- b) Determinar cómo el sistema estructural con disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María.
- c) Determinar la influencia del uso del disipador de fluido viscoso en la vida útil de la edificación ante un sismo severo.
- d) Determinar la diferencia del costo presupuestado del modelo de estructura dual con la estructura que usa disipadores de fluido viscoso.

1.6 Limitaciones del Estudio

Una de las principales limitaciones del proyecto de investigación, fue la cotización o el precio unitario de los dispositivos de disipación de energía, ya que las empresas que cotizan estos productos solo los hacen a empresas constructoras en base a solicitudes exclusivas de los proyectistas.

Por otro lado, también se debe mencionar que no existen muchos antecedentes nacionales sobre investigaciones enfocadas al análisis comparativo económico entre propuestas estructurales diferentes, y los publicados no le dan mucho énfasis a este análisis.

Así mismo, es importante mencionar la carencia de un procedimiento a seguir en el análisis sísmico utilizando estos dispositivos propuesto por la Norma E-030, por lo tanto, la investigación se apoyará en comentarios y normas internacionales de las organizaciones ATC-40 y el comité VISIÓN 2000 (SEAOC 1995).

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

2.1 Marco Histórico

Entre las primeras nociones de control pasivo estructural se tiene como ejemplo el edificio construido sobre rodillos por el profesor John Milne en la universidad de Tokio a finales del siglo XIX (Naeim y Kelly, 1999) y también la propuesta del doctor inglés J. A. Calantarients, en 1909, de construir los edificios sobre capas de arena u otro material que permitieran a las estructuras deslizarse durante un terremoto y así reducir la fuerza que se transmite desde el suelo (Naeim y Kelly, 1999).

Posteriormente, los conceptos modernos de amortiguamiento y control de vibración se desarrollaron con fines militares durante la Primera Guerra Mundial con el revolucionario cañón francés Canon de 75 mm, modelo 1897 y durante la Segunda Guerra Mundial para su aplicación en las aeronaves de combate. No obstante, fue a partir de la década de 1960 que se consideró la posibilidad de aplicar dichos conceptos a estructuras civiles cargadas lateralmente (Oviedo y Duque, 2009).

Es así como empieza el desarrollo de los sistemas de protección sísmica, apareciendo primeramente la familia de los sistemas pasivos de control. Se prestó atención a las propiedades del acero para disipar energía, siendo el trabajo teórico-experimental de Kelly en 1972 y Skinner en 1975 el fundamento para la implementación de amortiguadores histeréticos metálicos (Soong y Dargush, 1997).

En los años 60 y 70 del siglo XX, se hicieron extensas investigaciones sobre el amortiguamiento viscoso equivalente con miras a representar adecuadamente la respuesta inelástica de las estructuras. Se asumía en estos estudios un comportamiento inicial de la estructura lineal elástico y sin disipación de energía. Luego, una fase de comportamiento inelástico con disipación de energía. Esto es compatible con el comportamiento dúctil y las suposiciones de los métodos de diseño de los 90. A partir de esos estudios, se estableció que los amortiguamientos viscosos equivalentes para los edificios podían variar entre 10% a 50% del crítico, dependiendo del período de vibración efectivo de cada estructura (Rosenblueth, E., Newmark, N.M., 1976).

Luego de conocer las posibilidades de utilizar placas metálicas como disipadores de energía, fueron superados los retos de modelar el comportamiento no lineal ante la carga cíclica y la creación de algoritmos que permitieran considerar el efecto de los dispositivos ensamblados a la estructura. Gracias a estos logros, en los siguientes años

se dio un progreso notable en el desarrollo e implementación de amortiguadores metálicos (Soong y Dargush, 1997).

Con la implementación de los disipadores, la capacidad de respuesta de muchos edificios fue mejorada. Lecciones aprendidas luego de terremotos como Loma Prieta (1989) y Northridge (1994) motivaron el desarrollo de los sistemas de protección sísmica para evitar daños en los marcos estructurales (Ramírez y otros, 2002), de modo que a partir de la segunda mitad de la década de 1990 se incrementó rápidamente la implementación de sistemas pasivos de disipación de energía (Symans y otros, 2008).

Además, el fin de la Guerra Fría favoreció a la distribución mundial de los sistemas de protección sísmica, pues empresas como Taylor Devices Inc. fueron autorizadas para vender al público las tecnologías que desarrollaron durante dicha guerra para proteger los silos de misiles balísticos ante algún ataque ruso (Cotton, 2004).

2.2 Investigaciones Relacionadas con el Tema

Algunas de las investigaciones que serán tomadas como referencias para el planteamiento y desarrollo de la presente investigación, serán las detalladas a continuación.

2.2.1 Investigaciones Internacionales

Marco A. Montiel O. (2001) Casos en que los disipadores de energía constituyen una mejor opción que los contravientos para reforzar edificios. (Tesis para optar el grado de Maestro, Universidad Nacional Autónoma de México).

Existen varias opciones para el refuerzo de estructuras que han sido dañadas por sismo o cuando se requiere cumplir con disposiciones de seguridad estructural de reglamentos vigentes, algunos de estos son: muros de concreto, encamisado de elementos estructurales, contravientos, disipadores de energía sísmica, etc. No es tan simple qué solución utilizar; dependerá de muchos factores que son función de: las ventajas y desventajas del tipo de refuerzo a usar, características dinámicas de la estructura y del suelo donde se considere ubicada, de los costos del material y de los dispositivos a emplear, de las fuerzas que se inducen a la cimentación debidas al refuerzo, ya que se tendrá que determinar si se refuerza o no la cimentación influyendo en los costos totales, funcionalidad, requisitos arquitectónicos, etc. (pag.73) siendo esta consideración la principal limitante de la investigación.

Juan P. Pardo Verdugo (2007) Control de la Respuesta Dinámica de Estructuras mediante el uso de Disipadores de Energía de Fluido Viscoso del tipo lineal. (Tesis de titulación). Universidad Austral de Chile.

Mediante el uso de los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso, se puede proveer a la estructura del amortiguamiento suplementario que se requiera para poder alcanzar el nivel de la respuesta deseada.

La adición de los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso es un método efectivo de control de la respuesta dinámica de estructuras, ya que las distorsiones entre piso se lograron disminuir a los valores permitidos por la normativa vigente (p.124), pero la investigación se limita a estructuras con dispositivos de disipación de energía de comportamiento lineal, consideración importante al momento de hacer un análisis para edificaciones por sismo.

Ramiro I. Villagra G. (2011) Aplicación de disposiciones de Norma Chilena en estudio para Diseño de Edificios con Disipadores de Energía (Tesis de titulación, Universidad de Chile).

Una de las ventajas observadas de este procedimiento cuando se usan disipadores dependientes del desplazamiento es la rapidez de convergencia del análisis, es decir, el desplazamiento real alcanzado concuerda con el desplazamiento supuesto para el cálculo de las propiedades disipativas en pocas iteraciones. En ninguno de los casos estudiados se requirieron más de 7 iteraciones para el proceso completo, un profesional experimentado podría requerir entre 3 y 4 iteraciones para dimensionar correctamente los disipadores. Además, desde el momento en que quedó fijo el número de placas se necesitó sólo una iteración adicional para obtener un error de convergencia igual o menor a 1mm.

Una de las dificultades de la metodología es la transformación del comportamiento histerético de los disipadores a un modelo lineal equivalente. En el caso estudiado, las propiedades de los disipadores dependen exclusivamente del desplazamiento alcanzado, lo que a primera vista parece simple. En este estudio se optó por utilizar el máximo desplazamiento alcanzado para calcular las propiedades de todos los disipadores, simplificación razonablemente buena cuando se observa que un alto porcentaje de los disipadores quedó en un rango de deformaciones bastante

estrecho. Sin embargo, los perfiles de desplazamiento de los disipadores en altura pueden ser muy irregulares para otro tipo de estructuras. Una solución a esta dificultad está en el cálculo de las propiedades disipativas de cada elemento disipador, en función de su máxima deformación alcanzada. Pero, resulta discutible su aplicabilidad en casos reales de estructuras altas con grandes cantidades de disipadores, por el tiempo que consumiría un procedimiento de estas características. Esta complicación se puede extrapolar a dispositivos más complejos (p.75), siendo esta su principal limitación.

2.2.2 Investigaciones Nacionales

Roberto Chacón A. y José Ramírez C. (2014) Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso. (Tesis de titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú).

En la presente investigación, se estudian dispositivos de protección pasiva, en especial los disipadores de fluido viscoso. El trabajo actual está basado en el estudio realizado por Shing y Whittaker, también se consideraron las recomendaciones de desempeño existentes en el FEMA-HAZUS (Federal Emergency Management Agency) y sugerencias del ACI (American Concrete Institute). La metodología empleada está basada en los reportes del FEMA 273 y 274. Se realizó un estudio del comportamiento de los disipadores lineales y no lineales de fluido viscoso en la respuesta estructural de un edificio comercial de 4 pisos. Mediante el análisis realizado se demuestra que en este caso los disipadores de fluido viscoso disminuyen significativamente los desplazamientos de la estructura durante el análisis dinámico. Finalmente, se realiza un diseño de los sistemas de protección según la disponibilidad de los dispositivos en el mercado, por lo que se eligen disipadores Taylor. La limitación de esta investigación es que se plantea los dispositivos de disipación para una edificación de tipo comercial mientras que no es del tipo multifamiliar, terreno en el cual hay pocas propuestas.

Juan C. Fuentes (2015) Análisis Sísmico de una Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso (Tesis por titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú).

Esta tesis tuvo por objetivo realizar la comparación de comportamiento de la estructura con y sin disipadores de fluido viscoso. Donde analiza el comportamiento de los disipadores de fluido viscoso a nivel macroscópico, donde

se observa que al emplear el modelo visco elástico de maxwell obtiene un mejor desempeño en la estructura. Al realizar los análisis Lineales y No lineales modelando los disipadores de fluido viscoso en el programa ETABS, obtiene dos tipos de modelos que responden a cada análisis. Para el modelo lineal emplea un disipador que consiste en un amortiguador en paralelo con un resorte y para el modelo no lineal, emplea el modelo de maxwell. El edificio es del sistema aperticado ideal de 5 niveles de concreto armado, cuya finalidad era para el uso de oficinas. Los periodos fundamentales en las direcciones X e Y fueron de 0.93s y 0.97s, respectivamente en el análisis de una edificación sin sistema de 13 protección sísmica. Siguiendo con el análisis de la edificación sin sistema de protección sísmica, la edificación alcanza las derivas de entrepiso de 9.1% y 10.5% en X e Y respectivamente. Estas derivas superan el límite permitido por la norma (7.0%). Al realizar el análisis espectral de la estructura protegida con disipadores de fluido viscoso, se obtuvo que al reducir la deriva espectral del edificio a 7.0% fue necesario incorporar a la estructura un amortiguamiento efectivo de 12.5% en la dirección X y de 19.1% en la dirección en Y. De acuerdo a los resultados el dispositivo Chevron fue el óptimo (menores valores de constante de amortiguamiento y disminuyeron las derivas máximas mejorando la regularidad torsional en todos los pisos en ambas direcciones). Con las tres configuraciones de disipadores se obtuvieron resultados muy similares en los desplazamientos máximos de la azotea. Se alcanzó en promedio 23% de reducción en la dirección X y 35% en la dirección Y. La investigación es mención es sólida en sus cálculos y propuestas, pero carece de información acerca del costo del planteamiento estructural, motivo por el cual no se puede dar una conclusión totalmente certera si es viable o no el uso de los disipadores.

Leonardo Ramos B. y Luis Rodríguez C. (2019) Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica para el Diseño de Reforzamiento Estructural implementando disipadores de fluido viscoso en la vivienda multifamiliar de 8 niveles, Santiago de Surco. (Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma):

La tesis fue realizada bajo una metodología de investigación aplicada con un enfoque descriptivo por que la vulnerabilidad sísmica y el reforzamiento estructural requieren de una evaluación y un análisis que deben ser descritos sistemáticamente durante todo el proceso de la investigación, ya que uno de los

principales problemas que enfrenta nuestro país es la vulnerabilidad estructural de las edificaciones debido a que nuestra presente norma E-030 se encuentra en constantes actualizaciones y existen edificaciones que están construidas con normativas anteriores o no cumplen con los parámetros actuales. Se realizó la evaluación de la edificación considerando los parámetros actuales de la norma E-030, para evaluar la vulnerabilidad de la estructura. Se realizó el análisis estático-dinámico lineal de la estructura en el programa ETABS 2017 v 17.0.1, donde se obtuvo que la presente edificación no cumplía con el control de derivas establecido de 0.007, por lo que se procederá a realizar el reforzamiento con disipadores de fluido viscoso.

Al realizar el reforzamiento de la edificación con disipadores de fluido viscoso, se tomó en cuenta la metodología Hazus para obtener una nueva deriva objetivo para un sismo severo de acuerdo con el tipo de edificación, se logró el objetivo de reducir las derivas con lo que se obtuvo menores iguales a la deriva objetivo que se obtuvo por la metodología Hazus de 0.005, donde se presentó reducción de amortiguamiento, distorsiones y esfuerzos en la estructura. Esta investigación posee muy buen enfoque, pero carece de información económica sobre la propuesta que se plantea, al igual que casos anteriores, dejan la incertidumbre si el proyecto o propuesta estructural puede ser viable o no considerando el presupuesto inicial.

2.3 Bases Teóricas Vinculadas.

2.3.1 Diseño de una Edificación

Cervera J. (1993) sostiene que:

Todo objeto real, a lo largo de su existencia se ve sometido a agresiones físicas, de entre las que un cierto grupo son identificables como acciones mecánicas: fuerzas externas, de masa o de inercia. Otras provocan cambios dimensionales en aquel: temperatura, tiempo, asientos. Las propiedades que le permiten sobrevivir con éxito frente a las mismas durante un cierto tiempo se denominan cualidades estructurales, y el conjunto de especificaciones de tales cualidades que permite definir objetos con dicha capacidad de supervivencia se denomina conjunto de requisitos estructurales. El objeto del diseño estructural consiste, según los casos, en definir o en comprobar o modificar el diseño general del objeto o de partes de él, en ocasiones mediante el diseño de componentes

específicos del mismo, a fin de que se cumplan los requisitos estructurales. Para un edificio éstos pueden resumirse en lograr un objeto que:

- 1) Sea estable en conjunto y en cada una de sus partes. (Estabilidad).
- 2) Disponga de seguridad suficiente frente a rotura. (Resistencia).
- 3) Cuyas deformaciones sean compatibles con el uso. (Rigidez).
- 4) No presente alteraciones locales que puedan variar la seguridad a corto o medio plazo.
- 5) Todo ello debe lograrse a un coste razonablemente bajo. (pág. 4)

Blanco A. (1994) menciona que:

El diseño así enfocado ya no resulta ser un cálculo matemático exacto sino un arte, en el cual los números sirven en forma relativa, interesando más los conceptos de comportamiento y los tipos de falla que los cálculos “exactos”. Dada la condición del Perú de país sísmico, no será factible realizar ningún análisis o diseño sin considerar fuerzas de sismo. Las fuerzas de sismo no deben ser consideradas como una solicitación cuya verificación debe hacerse adicionalmente, sino con la misma importancia que se concede a las cargas de gravedad. (pág.2).

2.3.2 Análisis Económico de una Edificación

La Unidad responsable de la Evaluación DG Política Regional Comisión Europea (2003) afirma que:

El análisis económico examina la manera de calcular los costes y beneficios sociales de un proyecto y la medida en que éstos pueden incidir en el resultado final. Asimismo, ofrece orientaciones sobre el cálculo de la tasa de rendimiento económico y ayuda a comprender el significado económico de dicha tasa de cara a la evaluación del proyecto. (pág.8)

Ramírez M. (2006) indica que:

Este estudio puede dar una buena idea sobre cuál es la estructura óptima de la gerencia financiera. Adicionalmente, busca establecer información relevante acerca de aspectos como las posibles fuentes y los costos del financiamiento, tanto interno, como externo, y los criterios para el manejo de excedentes. También puede dar recomendaciones sobre el manejo de depreciaciones y establecer criterios para definir los costos de oportunidad de los recursos del

inversionista, y los costos que pueden clasificarse como muertos. En general, generará información básica para la evaluación financiera. (pág.22)

Duarte T., Jiménez R. y Ruiz M. (2007) afirman que:

La evaluación de proyectos tiene como finalidad, analizar la conveniencia o inconveniencia en el uso de recursos destinados a la ejecución de un proyecto, dirigido a la solución de un problema o a la satisfacción de necesidades. Los criterios que se utilicen deben garantizar, la eficiencia financiera, económica, social y ambiental. (pag.333).

2.4 Estructura Teórica que Sustenta el Estudio

Para poder comprender correctamente las vibraciones que sufren las estructuras debido a excitaciones sísmicas, es necesario entender los principios básicos del análisis dinámico (teoría de ondas y vibraciones). Para ello se dará aquí nociones básicas acerca de las características de cuatro modelos dinámicos sencillos cuyo estudio nos permitirá el análisis del modelo sísmico, estos son:

2.4.1 Riesgo Sísmico en el Perú

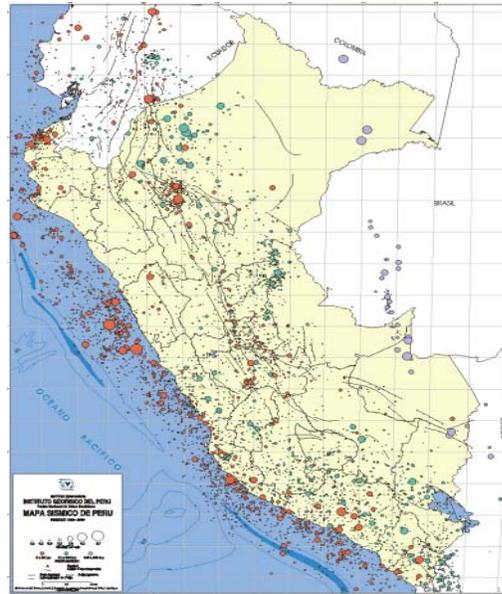
El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto, está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado. En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas, por lo que no es necesario realizar investigaciones detalladas de la actividad sísmica del área donde se construirán estructuras comunes. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo-estático se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura. Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental. Sin embargo, cuando se planifican estructuras importantes, deben evaluarse sus capacidades de resistir terremotos en base a estudios detallados de peligro sísmico. Tales estructuras incluyen: grandes presas, puentes con luces grandes, túneles y centrales nucleares.

También se necesitan estudios detallados para la evaluación del peligro sísmico en una zona grande por urbanizar.

En la actualidad el peligro sísmico en Perú sigue siendo un tema de suma importancia a tratar. El Instituto Geofísico del Perú (IGP), ver la Figura N°1, muestra el mapa de epicentros de sismos ocurridos en el país, entre 1964 al 2000 (IGP, 2000), donde se evidencia claramente a lo largo de la costa peruana una franja de puntos rojos que denota una zona altamente activa debido al proceso de subducción, los mismos que indican sismos superficiales con profundidad focal menores a los 60 km. Según el manual para la reducción de riesgos sísmicos de viviendas en el Perú 2016, existe un alto porcentaje de riesgo hacia los residentes de los asentamientos que rodean a Lima por norte, este, sur y oeste, debido a construcciones ilícitas o falta de reforzamiento en las viviendas (Kuroiwa, 2016). De acuerdo con la Figura N°01, en Lima se presenta una Zona de Silencio Sísmico (ZSS) que es signo de preocupación para los ingenieros que llevan a cabo diseño de estructuras, ya que no ha existido una liberación significativa de la energía acumulada entre las placas desde el sismo de 1974 aumentando la probabilidad de un terremoto más devastador. Es por ello que, el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, ha tenido modificaciones y ha ido mejorando su norma para el diseño de estructuras sismorresistente, y así resguardar la vida de las personas que se encuentran dentro de cualquier instalación durante un evento sísmico. Actualmente la norma E.030 ha dividido al Perú en 4 zonas para diseñar las estructuras de acuerdo al peligro sísmico (Figura N°2). Se ha otorgado factores de importancia según el uso que se dará a la estructura, así como también factores al tipo de suelo sobre el cual se realizará la cimentación del edificio (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016).

Figura 1:

Mapa de Sismicidad Ocurrida en el Perú entre 1900 - 2000



Fuente: Centro Nacional de Datos Geofísicos (CNDG – IGP). El tamaño de los círculos es proporcional al volumen esférico de energía liberada por el sismo. Los círculos representan a sismos con foco superficial, cuadrados a sismos con foco intermedio y triángulos a sismos con foco profundo.

En la figura N° 2 se observa que la zona cercana a la costa (zona 4) tiene un valor mayor por presentarse cerca de la zona de subducción, presentando un coeficiente de 0.45 veces la aceleración de la gravedad. Estos valores son usados para realizar los diseños sismorresistentes según el reglamento nacional de edificaciones.

Figura 2:

Mapa de Zonificación Sísmica en el Perú



Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (2016)

2.4.2 Espectro de la Norma Peruana

El espectro de pseudoaceleraciones de la norma peruana E.030 Diseño Sismorresistente con amortiguamiento de 5% está definido por la ecuación 2.1 y corresponde a un sismo de diseño con periodo de retorno de 475 años.

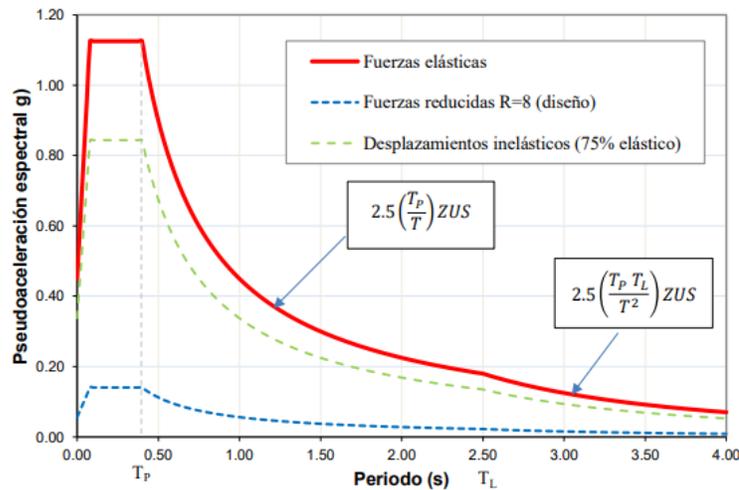
$$S_a = \frac{ZUCS}{R} \cdot g \quad (2.1)$$

En la Figura 3 el espectro para desplazamientos inelásticos es el correspondiente a estructuras regulares.

Los parámetros del espectro son el factor de zona Z (aceleración máxima en la base rocosa), el factor de uso U que indica la importancia del edificio, el factor de amplificación dinámico C, el factor de amplificación por efecto del suelo S y el coeficiente de reducción R que depende del sistema estructural (R = 8 para una edificación con pórticos de concreto armado).

Figura 3:

Espectro de la Norma Peruana E.030 – 5% de Amortiguamiento



Fuente: Reglamento nacional de edificaciones (2016)

El factor de amplificación dinámico C representa la amplificación de las aceleraciones en la base de la cimentación debida a la misma estructura y es función del periodo modal T y de los parámetros T_P y T_L , los cuales también dependen del perfil de suelo y delimitan la zona de las velocidades del espectro.

Las ecuaciones 2.2 a-d definen el factor C incluida la zona de periodos muy cortos del espectro. A continuación, muestra los valores de los parámetros T_P y T_L para los distintos tipos de suelos.

$$\begin{array}{ll}
 T < 0.2 T_P & C = 1 + 7.5\left(\frac{T}{T_P}\right) \quad \text{.. 2.2 a} \\
 0.2T_P \leq T < T_P & C = 2.5 \quad \text{.. 2.2 b} \\
 T_P \leq T < T_L & C = 2.5\left(\frac{T_P}{T}\right) \quad \text{.. 2.2 c} \\
 T \geq T_L & C = 2.5\left(\frac{T_P T_L}{T^2}\right) \quad \text{.. 2.2 d}
 \end{array} \tag{2.2}$$

2.4.3 Disipadores con los códigos americanos FEMA Y ASCE 7

En la década de los noventa, los investigadores empezaron a regular los procedimientos de diseño y de prueba de dispositivos de amortiguamiento en los códigos (SEAONC en 1992 y FEMA en 1994). El objetivo fue el desarrollo de un método efectivo, capaz de simplificar los procedimientos de diseño y reducir el trabajo computacional para algunos tipos de estructuras amortiguadas. Este “método simplificado” asume que una estructura con disipadores y con comportamiento no lineal del sistema sismorresistente es representada por una estructura con amortiguamiento viscoso y con un sistema sismorresistente con rigidez lineal equivalente. Adicionalmente se define un amortiguamiento efectivo total cuyas componentes son el amortiguamiento inherente de la estructura, el amortiguamiento viscoso aportado por los disipadores y el amortiguamiento histerético de la estructura más allá de la fluencia. Luego, la pseudoaceleración es reducida por una función del amortiguamiento total efectivo y se emplea para calcular las respuestas máximas del sistema estructural. La norma ASCE 7-05 incorporó los procedimientos de diseño de las normas FEMA y presentó cuatro procedimientos de diseño para estructuras con disipadores:

- 1) Análisis de respuesta espectral.
- 2) Procedimiento de fuerza lateral equivalente, que es una simplificación del método anterior tomando en cuenta sólo dos modos: el fundamental y los modos residuales
- 3) Procedimiento estático no lineal o análisis pushover.
- 4) Análisis tiempo-historia no lineal, que tome en cuenta el comportamiento no lineal de los disipadores y del sistema sismorresistente.

Los procedimientos no lineales pueden aplicarse al diseño de todo tipo de estructuras con disipadores. La aplicación de los procedimientos de respuesta espectral y de fuerza lateral equivalente, que fueron desarrollados en base al método simplificado, tiene limitaciones que están señaladas en la norma ASCE 7-05.

La norma ASCE 7-05 establece que el amortiguamiento efectivo de una estructura con disipadores consiste en tres partes:

- 1) Amortiguamiento estructural o inherente ξ_I , debido a la disipación de energía de los elementos estructurales antes del desplazamiento de fluencia del sistema sismorresistente;
- 2) Amortiguamiento viscoso ξ_V , debido a la disipación de energía de los dispositivos añadidos al sistema estructural antes del desplazamiento de fluencia del sistema sismorresistente.
- 3) Amortiguamiento hysterético ξ_H , debido al comportamiento hysterético del sistema sismorresistente y de los disipadores más allá del punto de fluencia de la estructura.

La norma ASCE 7-05 presenta las siguientes ecuaciones 2.3 a-b para definir el amortiguamiento viscoso del modo m-ésimo de una estructura de varios grados de libertad.

$$\xi_{Vm} = \frac{\sum_j W_{mj}}{4\pi W_m} \quad \text{.. 2.3 (a)} \quad (2.3)$$

$$W_m = \frac{1}{2} \sum F_{im} \delta_{im} \quad \text{.. 2.3 (b)}$$

Donde:

W_{mj} : Es el trabajo realizado por el j-ésimo disipador en un ciclo completo de respuesta dinámica correspondiente al modo m de vibración de la estructura en la dirección de interés debido al desplazamiento modal δ_{im} .

W_m : Es la energía de deformación elástica máxima del modo m de vibración de la estructura en la dirección de interés debido al desplazamiento modal δ_{im} .

F_{im} : es la fuerza inercial del modo m-ésimo en el nivel i.

δ_{im} : es el desplazamiento del techo del nivel i correspondiente al modo m de vibración de la estructura en la dirección considerada.

En el caso de un análisis de respuesta espectral, toda función espectral corresponde a un valor determinado de amortiguamiento. Luego, para los modos que tienen un amortiguamiento efectivo mayor debido a la adición de amortiguamiento viscoso, la respuesta espectral debe ser reducida por un factor de ajuste, el cual fue determinado por Newmark y Hall en la monografía *Earthquake Spectra and Design* (1982).

El programa ETABS emplea la fórmula correspondiente a la zona de velocidades del espectro para una probabilidad acumulada del 50% [Tabla 2, Newmark and Hall, 1982]. Esta fórmula fue deducida en base a un conjunto de 28 acelerogramas representativos de la época.

Se define el factor de reducción B con la siguiente expresión:

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln \xi_I}{2.31 - 0.41 \ln \xi_{ef}} \quad (2.4)$$

La Norma ASCE 7-05 indica, en el caso de los procedimientos de respuesta espectral y de fuerza lateral equivalente, que el sistema de amortiguadores de la estructura debe tener al menos dos dispositivos por piso en cada dirección de análisis y que deben estar distribuidos de forma que haya resistencia a la torsión. Se tendrá en cuenta esta indicación en la disposición de los disipadores en la estructura en estudio y se colocarán en las fachadas de la edificación en ambas direcciones, lo cual también resulta usualmente conveniente por motivos arquitectónicos.

El factor de reducción B de respuesta espectral puede expresarse de la forma:

$$B = \frac{\Delta_{máx}}{\Delta_{obj}} \quad (2.5)$$

Para estimar la deriva objetivo podrían usarse por ejemplo valores obtenidos de las curvas de fragilidad del Manual HAZUS (FEMA, 2003). Las curvas de fragilidad brindan una estimación de la probabilidad de que edificaciones del mismo tipo estructural alcancen diferentes estados de daño para determinados niveles de respuesta sísmica. El Capítulo 5 del Manual HAZUS muestra tablas en las cuales el nivel de daño estructural es relacionado con valores máximos de derivas las cuales dependen del tipo estructural y del nivel de diseño sísmico considerado.

Se toma una deriva objetivo a fin de satisfacer el desplazamiento lateral permisible de la Norma E.030. Luego, igualando las ecuaciones (2.4) y (2.5) se puede obtener el amortiguamiento efectivo total necesario para alcanzar la deriva objetivo deseado en cada dirección de análisis.

$$B = \frac{\Delta_{m\acute{a}x}}{\Delta_{obj}} = \frac{2.31 - 0.41 \ln \xi_I}{2.31 - 0.41 \ln \xi_{ef}} \quad (2.6)$$

2.4.4 Dinámica Estructural

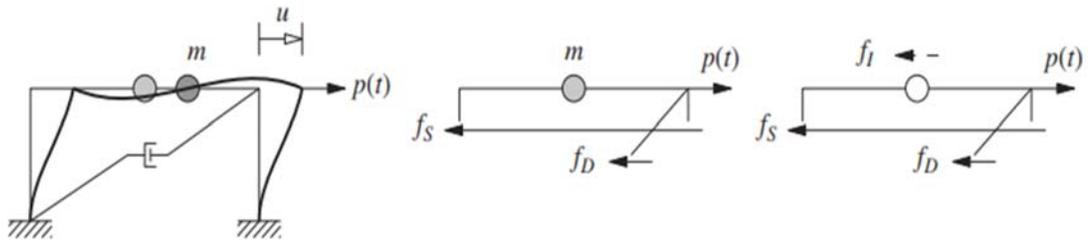
Los eventos sísmicos producen desplazamientos y aceleraciones que cambian rápidamente a lo largo de su tiempo de duración, es por ello, la importancia de estudiar el comportamiento dinámico de su naturaleza y los efectos que producen en las estructuras. Para poder interpretar la respuesta de la estructura frente a los movimientos telúricos, es importante conocer los principios en los que se basa la dinámica estructural. Para ello se presentan modelos idealizados simples (sistemas de un grado de libertad), representados por osciladores que tienen una masa concentrada soportada por una estructura que no tiene ni masa ni rigidez en su dirección lateral. Se considera que cada parte del sistema estructural aporta al sistema con propiedades inerciales (relación a su masa), elásticas (relación a su rigidez) y disipación de energía (relación a su amortiguamiento).

Ante un agente externo o por una simple disposición de condiciones iniciales, la estructura opone resistencia con los agentes previamente definidos; la fuerza inercial (f_i) siendo igual al producto de su propia masa por la aceleración de esta, la fuerza restauradora (f_s) para un sistema lineal elástico, siendo el producto de la rigidez por su mismo desplazamiento y finalmente la fuerza de amortiguamiento (f_d) que se considera una proporción de la velocidad del sistema (coeficiente “c”).

Como se sabe, las propiedades de masa y rigidez son intrínsecas de la propia estructura, las cuales pueden ser obtenidas conociendo la composición material de la estructura, y la disposición espacial de los elementos que la constituyen, por otro lado, el coeficiente “C” es una idealización de cualquier tipo de amortiguamiento ya sea por fricción, deslizamiento, por corte, etc., a una disposición de amortiguamiento viscosa equivalente, es decir, que la energía disipada por estos mecanismos es la misma o igual a un amortiguador de fluido viscoso (Bozzo & Barbat, 2004).

Figura 4:

Fuerzas en un Sistema de 1 Grado de Libertad.



Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras (4ta Edición).

Por último, gracias a la gráfica anterior, se puede establecer la ecuación de equilibrio dinámico para una estructura sometida a una carga externa dentro de su comportamiento elástico, la misma que tiene la forma:

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = p(t) \quad (2.7)$$

Donde la carga externa “p (t)” está en función del tiempo.

Cabe destacar que de la misma ecuación se puede deducir la respuesta de una estructura frente a solicitaciones sísmicas, donde se considera al desplazamiento del suelo $u_g(t)$ referente a un marco fijo y un desplazamiento relativo de la estructura con respecto al suelo $u(t)$, por último, el desplazamiento total será la suma de estas dos componentes mencionadas.

$$u^T(t) = u_g(t) + u(t) \quad (2.8)$$

Considerando la ecuación anterior, la ecuación de equilibrio dinámico obtiene una nueva forma, donde aparece la respuesta de la estructura frente a solicitaciones sísmicas.

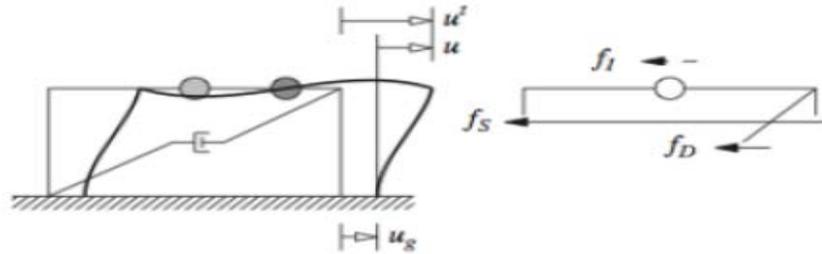
$$\ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = -m \cdot \ddot{u}_g(t) \quad (2.9)$$

Gracias a la expresión anterior, se puede considerar una idealización en la que una estructura obtendrá un comportamiento similar para una fuerza externa como para una solicitación sísmica.

$$p(t) = -m \cdot \ddot{u}_g \quad (2.10)$$

Figura 5:

Fuerzas en un Sistema de 1 Grado de Libertad.



Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras (4ta Edición).

Los sistemas de un grado de libertad podemos clasificarlos por diferentes casos, siendo estos:

2.4.5 Vibración Libre

Se considera vibración libre cuando el sistema es sometido a condiciones iniciales y luego se deja vibrar sin ningún tipo de excitación.

$$m \cdot \ddot{u} + c \cdot \dot{u} + k \cdot u = 0 \quad (2.11)$$

2.4.6 Vibración Armónica Forzada

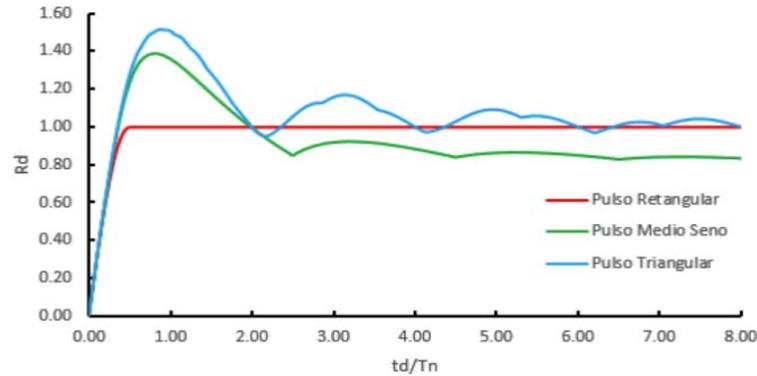
Se considera vibración forzada cuando el sistema es sometido a una excitación externa, siendo objeto de estudio para este tipo, la aplicación de una fuerza armónica que presenta una amplitud inicial (p_0) junto a una frecuencia excitadora.

2.4.7 Sometido a fuerzas en forma de pulsos

La respuesta dinámica frente a una excitación arbitraria que no obedece a ningún comportamiento periódico en función del tiempo se realiza a través del uso de métodos numéricos. En la siguiente grafica N°6 se puede observar que la respuesta del sistema depende del área encerrada bajo la curva de fuerza deformación del pulso externo.

Figura 6:

Espectro de Choque con Pulso de Igual Área, pero Diferentes Formas.



Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras (4ta Edición).

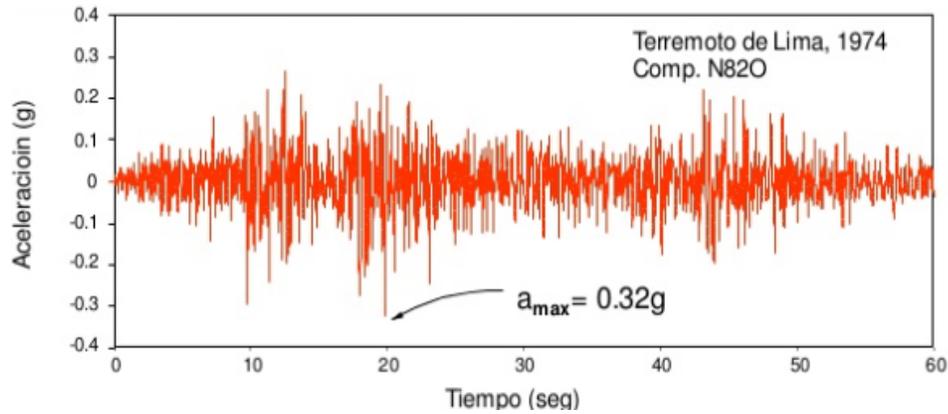
El gráfico representa un comportamiento idealizado del sistema. Es necesario acotar que, para este tipo de eventos (ejemplo de una explosión), los efectos de amortiguamiento se ignoran completamente.

2.4.8 Sistemas sometidos a los efectos de un sismo

La respuesta del sistema puede ser determinada gracias a la ecuación 3, donde previamente se debe conocer las propiedades del sistema (masa, rigidez y amortiguamientos). Por ende, para que la ecuación tenga solución, basta con conocer $\ddot{u}_g(t)$. Las aceleraciones producidas por un sismo no presentan un comportamiento constante y predecible (movimiento armónico), por lo que se debe realizar lecturas de las aceleraciones en instantes de tiempo muy cortos. Basado en esto, la ciencia a lo largo de la historia ha buscado entender el comportamiento y origen de los terremotos, dando como solución los instrumentos que son capaces de medir las aceleraciones de estos. Los acelerógrafos son instrumentos que fueron desarrollados en la década de 1930, siendo capaces de registrar las aceleraciones que se producen en la corteza durante un evento sísmico. Se debe mencionar que, los registros de las aceleraciones obtienen mayor precisión que los registros de desplazamientos, debido a que la integración numérica es más precisa que la derivación (Villaverde, 2009). A continuación, la Figura N° 7 presenta el acelerograma del sismo de Lima-Callos en 1974. El registro corresponde a la componente Norte-Sur del sismo. El sismo fue registrado por la estación del Parque de la Reserva, Lima mientras que los registros numéricos obtenidos para elaborar la gráfica corresponden a un $\Delta t=0.02\text{seg}$.

Figura 7:

Registro Acelerográfico Lima, Callao 1974



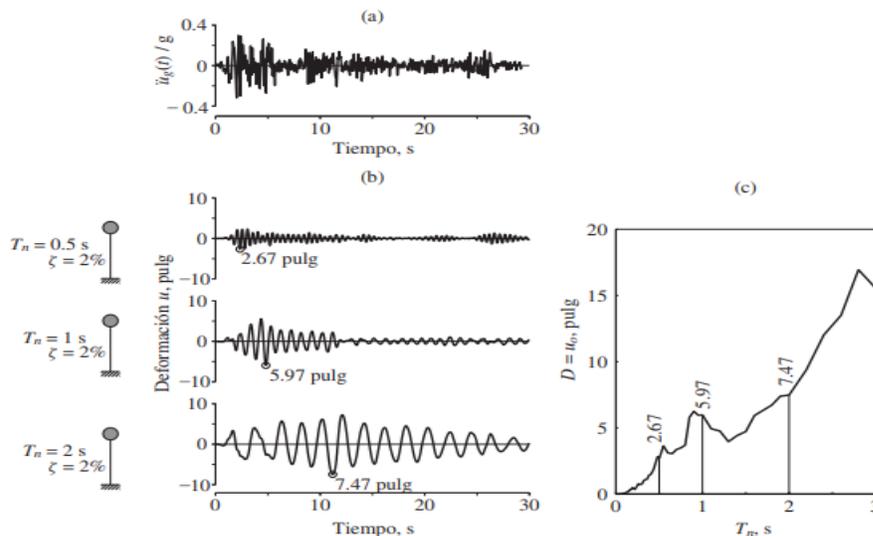
Fuente: Instituto Geofísico del Perú (1974).

A partir de los registros numéricos, usualmente tomados cada 0.005, 0.010 segundos, se realiza una discretización de la excitación sísmica y así obtener la respuesta total del sistema a través de la aplicación métodos numéricos (Método de Newmark).

La Figura N° 8 muestra el comportamiento elástico de distintos osciladores de 1GDL que presentan un porcentaje de amortiguamiento constante y diferentes periodos de vibración frente a una señal sísmica.

Figura 8:

a) Aceleración del terreno; b) Respuesta de deformación de tres sistemas de 1GDL con $\zeta=2\%$ y $T_n=0.5, 1$ y 2 segundos; c) Espectro de respuesta de deformación para $\zeta=2\%$.



Fuente: Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras (4ta Edición).

La respuesta de vibración del sistema ante una fuerza excitadora externa depende de su periodo natural de vibración, la razón de amortiguamiento y las características del suelo. Una estructura de periodo corto tiende a vibrar a la misma frecuencia del sismo debido a su alta rigidez, mientras que una estructura de periodo largo no lo hará. Modificando 10 estas variables se puede obtener diferentes comportamientos estructurales y valores pico que servirán en la realización de espectros de respuesta.

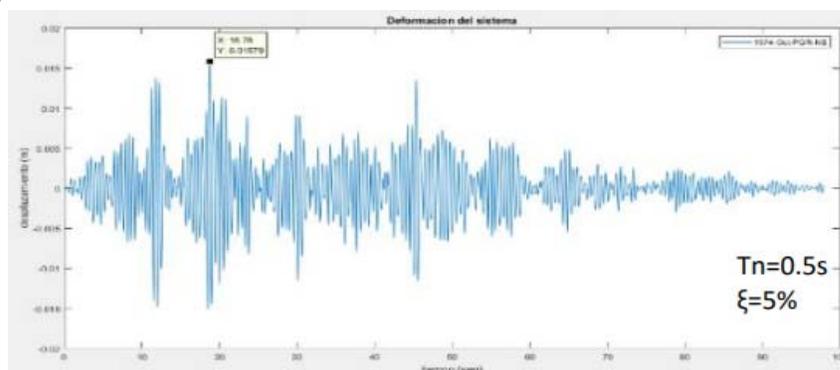
Como se observó en la figura 8, el máximo desplazamiento de cada oscilador de 1GDL corresponde a un punto en el espectro de deformación de la figura 8(c). Esta es la forma en la se construyen los espectros de respuesta, mismos que sirven posteriormente para el diseño de estructuras.

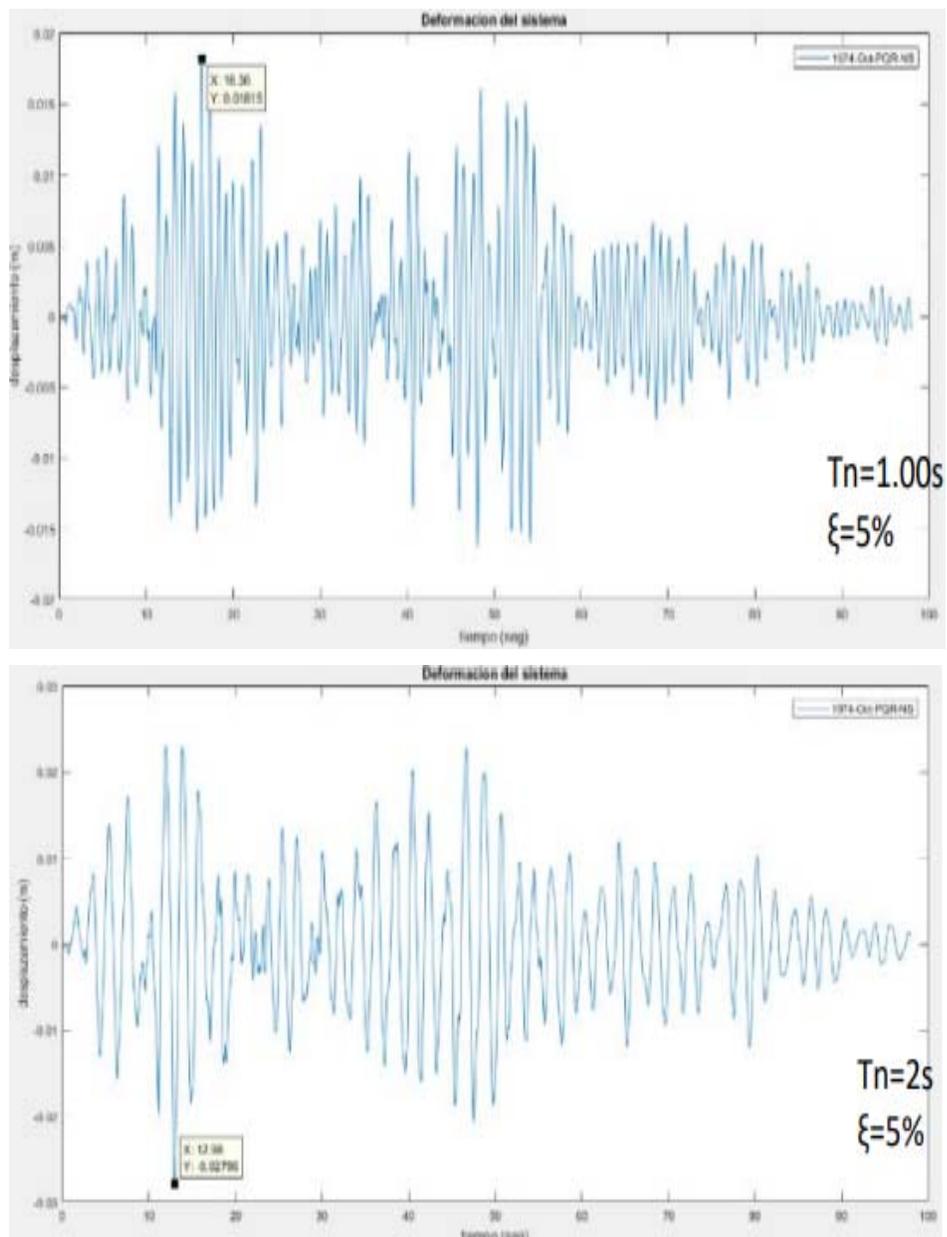
La figura N° 9 idealiza a una estructura como un oscilador de 1GDL que presenta diferentes periodos. Un periodo de vibración bajo (ceranos a cero) presentará un gran número de ondas en comparación a los osciladores que poseen un periodo de vibración mayor. El espectro de desplazamiento no es el único utilizado por los ingenieros civiles, existen además de éste, el espectro de pseudo-velocidad y pseudo-aceleración, que están ligados íntimamente con el espectro de desplazamiento. El espectro de pseudo-velocidad está ligado al máximo valor de energía de deformación del sistema, mientras que el espectro de pseudo-aceleración está ligado directamente al cortante basal de la estructura durante un sismo.

Es por ello por lo que los espectros de aceleración y velocidad son de gran utilidad para el diseño de estructuras ya que otorgan información valiosa acerca del sistema.

Figura 9:

Respuesta de Deformación de Tres Sistemas de 1 GDL con $\zeta=5\%$ y $T_n= 0.5, 1$ y 2 segundos.



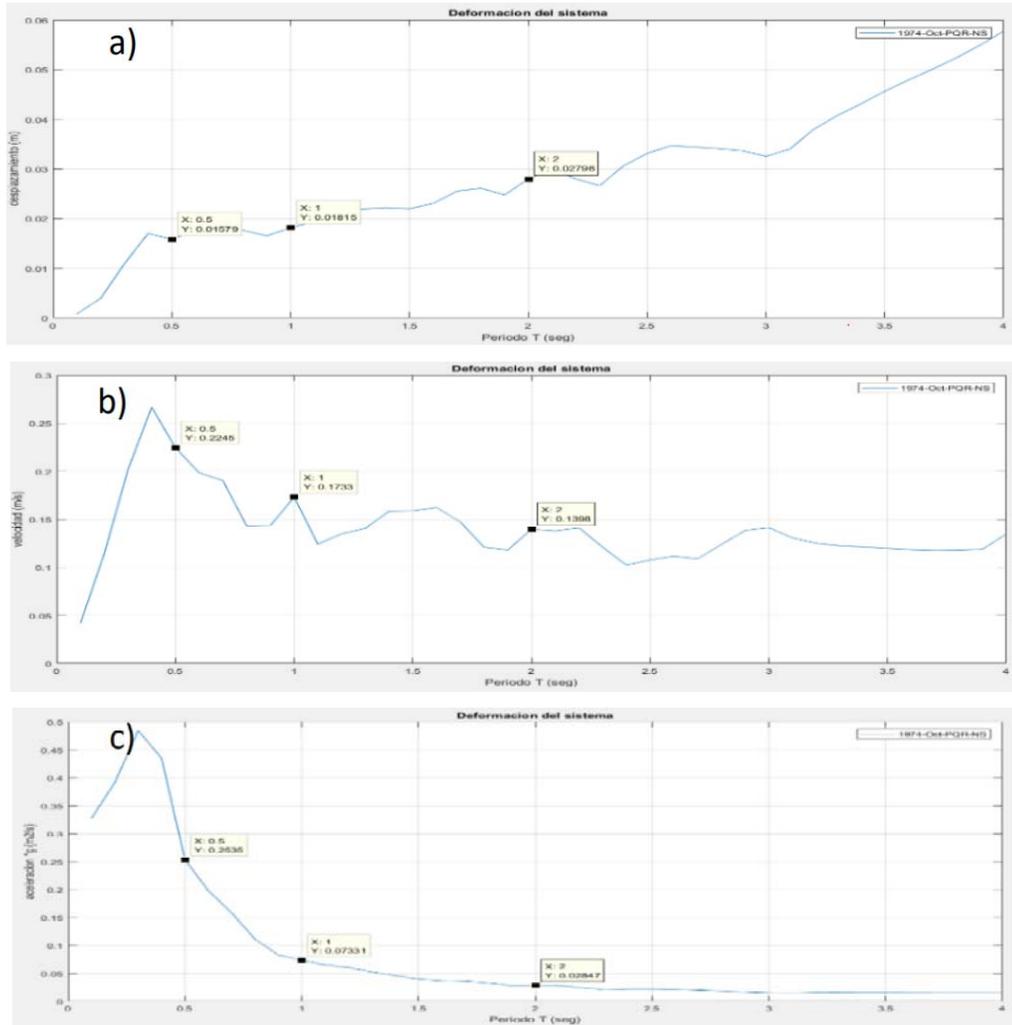


Fuente: Narváez, Mario (2019). Análisis comparativo técnico-económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos. (Tesis para obtener grado de Magister, PUCP).

Con la aplicación de métodos numéricos y con la señal sísmica antes mencionada, la figura N°10 muestra los valores picos de varios osciladores de 1GDL, formando así los espectros de desplazamiento, pseudo-velocidad y pseudo-aceleración. En el diseño convencional, estos espectros son utilizados para estimar el comportamiento estructural y diseñar obras de ingeniería civil.

Figura 10:

Espectros de Respuesta ($\zeta=0.05$) para el registro de El Callo, 1974 (a) Espectro de Desplazamiento, (b) Pseudo-Espectro de Velocidad, (c) Pseudo-Espectro de Aceleración



Fuente: Narváez, Mario (2019). Análisis comparativo técnico-económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos. (Tesis para obtener grado de Magister, PUCP).

2.4.9 Disipación de la Energía

En la actualidad, el diseño sísmico aborda dos maneras para asegurar la integridad de una estructura luego de un evento telúrico. El primero, como ya se mencionó anteriormente, es el diseño sismorresistente convencional, el cual se basa en proyectar estructuras que sean lo suficientemente rígidas, que sean capaces de deformarse e incursionar en el rango inelástico, llamándolas así estructuras dúctiles. Para lograr esto, los ingenieros combinan distintos sistemas estructurales

como los muros de corte, arriostre de marcos, etc., siendo capaces de resistir las cargas laterales que son producidas por un sismo.

La segunda forma de asegurar un sistema estructural consiste en el uso de técnicas sismorresistente avanzadas como el empleo de dispositivos disipadores de energía o aislamiento sísmico de base; los mismos que se adjuntan a la estructura para ayudar a disipar la energía sísmica o reducir la fuerza dinámica entrante.

Durante un sismo, existe una gran cantidad de energía que entra a la estructura, a su vez esta energía se convierte en energía cinética y potencial (energía de deformación), las mismas que deben ser disipadas a través del calor. Por lo tanto, el comportamiento de la estructura puede mejorarse, ya que, al incluir algún tipo de mecanismo, parte de esta energía será disipado y así reducirá daños en el sistema estructural.

Una manera fácil de entender este principio, es observarlo a través de la relación de la conservación de la energía.

$$Et = Ek + Es + Eh + Ed \quad (2.12)$$

Donde:

Et =Energía total de entrada del movimiento sísmico.

Ek =Energía cinética

Es =energía de deformación elástica

Eh = energía disipada por comportamiento inelástico (daño)

Ed = energía disipada por amortiguadores.

Es de saberse que luego de que el movimiento termina, la estructura regresa al reposo, es decir su velocidad será nula, por consiguiente, $Ek = 0$, y aunque podría presentarse o no una deformación lateral, ya no existe una deformación elástica que le permita una posterior recuperación, es decir $Es = 0$

Por lo tanto, la ecuación 2.12 pasa a ser:

$$Eh + Ed = Et \quad (2.13)$$

Esta ecuación demuestra que parte de la energía total de ingreso a la estructura, es disipada mediante amortiguamiento y por histéresis, causante directa del daño; por ende, para proteger un sistema estructural, lo más lógico resultaría aumentar Ed a través de amortiguadores mecánicos. “En general, la adición de un sistema de disipación de energía resultará en una reducción de la distorsión y una

reducción del daño (debido a la disipación de energía) y un incremento en la fuerza lateral total en la estructura debido al incremento de rigidez.” (Sarmiento & Villarreal, 2008)

La clasificación de los dispositivos de protección sísmica en primera instancia será:

- Aislamiento de base
- Disipadores de energía
- Amortiguadores de masa sintonizada

2.4.9.1 Dispositivos Disipadores de Energía.

Existe una gran variedad de dispositivos disipadores de energía, los mismos que permiten disipar las vibraciones provocadas por un sismo. En la siguiente tabla N°1, se describe algunas ventajas y desventajas de los disipadores de energía más utilizados en las edificaciones:

Tabla 1:

Ventajas y Desventajas de Disipadores Pasivos

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
Amortiguadores histeréticos metálicos	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento histerético estable - Confiables a largo plazo - No son sensibles a cambios de temperaturas ambientales - Son materiales tradicionales en la construcción, familiares para los ingenieros civiles 	<ul style="list-style-type: none"> - Deben ser reemplazados si son solicitados por un sismo. - La estructura puede quedar con desplazamientos residuales. - Se requieren análisis no lineales.
Amortiguadores de fricción	<ul style="list-style-type: none"> - Disipan grandes cantidades de energía por ciclo de histéresis - No son sensibles a cambios de temperaturas ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> - Las condiciones de la superficie de rozamiento pueden cambiar con el tiempo. - La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo.
Amortiguadores de fluidos viscosos	<ul style="list-style-type: none"> - Comportamiento lineal (facilidades de modelado) - Sus propiedades son constantes en altos rangos de variación de frecuencia y temperatura. - Se han comercializado por su alta confiabilidad 	<ul style="list-style-type: none"> - Dificultades de instalación. - Requieren revisiones periódicas para detectar posibles fugas del fluido viscoso.

	- Mínima fuerza de restauración	
Amortiguadores Viscoelásticos	- Polímeros de comportamiento lineal (facilidades de modelado)	- Limitada capacidad de deformación.
	- Se activan para bajos niveles de desplazamiento.	- Su comportamiento depende del nivel de deformación, de la temperatura y la frecuencia.
	- Comportamiento elástico (vuelven a su forma original)	- Requiere revisiones periódicas para verificar el posible deterioro del material viscoelástico.
Dispositivo	Ventajas	Desventajas
Amortiguadores de masa sintonizada	- Ubicación generalmente en el último piso Facilidad de instalación y de mantenimiento.	- Sensibilidad a errores en la frecuencia natural de la estructura y/o la relación de amortiguamiento.
	- Adecuado para estructuras regulares donde domine el primer modo de vibración.	- Gran espacio requerido para su instalación.

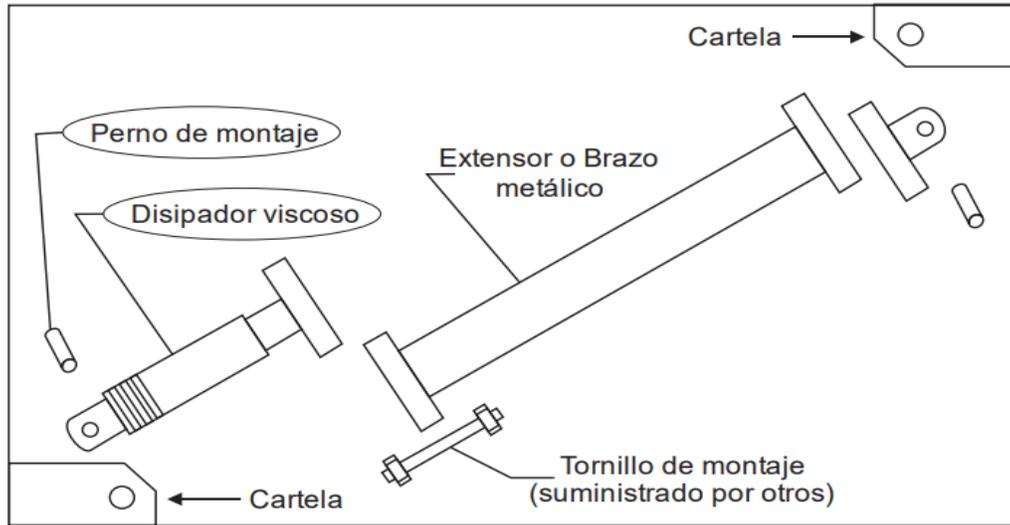
Fuente: Carlos Genatios & Marianela Lafuente (2016). Introducción al uso de aisladores y disipadores en estructuras.

2.4.9.2 Disipadores De Fluido Viscoso.

El control de las vibraciones a través de material viscoso ha sido empleado por varias décadas tanto en estructuras aeroespaciales o aeronáuticas. Sin embargo, en las estructuras de ingeniería civil, los primeros amortiguadores Viscoelásticos fueron usados en 1969, donde 10 000 disipadores fueron empleados en las torres gemelas, los mismos que ayudaban a reducir las fuerzas causadas por el viento (Mahmoodi, Robertson, Yontar, Moy, & Feld, 1987). Luego de eso, los amortiguadores de fluido viscoso y los Viscoelásticos han sido implementados en las estructuras para reducir el daño ante solicitaciones sísmicas o de viento. En esta sección, se discutirá el comportamiento de estructuras equipadas con amortiguadores de fluido viscoso bajo circunstancias sísmicas.

Figura 11:

Conexiones en la disposición diagonal



Fuente: Taylor-SAP 2000 ETABS modeling

2.4.9.3 Comportamiento Histerético Lineal y No Lineal de Amortiguadores de Fluido Viscoso.

- Amortiguador viscoso Lineal.

Como primer punto, se considera un elemento viscoso puro, el mismo que está sujeto a un desplazamiento relativo al tiempo dado por:

$$x(t) = X_0 \cdot \sin \omega t \quad (2.14)$$

Del cual, X_0 se conoce como el desplazamiento de amplitud entre los extremos del elemento y ω corresponde a la fuerza de frecuencia circular. La fuerza axial $F(t)$ inducida al elemento es directamente proporcional a la velocidad relativa entre estos extremos.

$$F(t) = C_L \cdot \dot{x}(t) \quad (2.15)$$

Donde:

C_L : es la constante de amortiguamiento Lineal.

Si se reemplaza la ecuación 2.14 en la ecuación 2.15 obtendremos:

$$F(t) = C_L \cdot \omega \cdot X_0 \cdot \cos \omega \cdot t \quad (2.16)$$

A través de las bases trigonométricas, se sabe:

$$\cos\omega.t = \pm\sqrt{1 - \sin\omega.t^2} \quad (2.17)$$

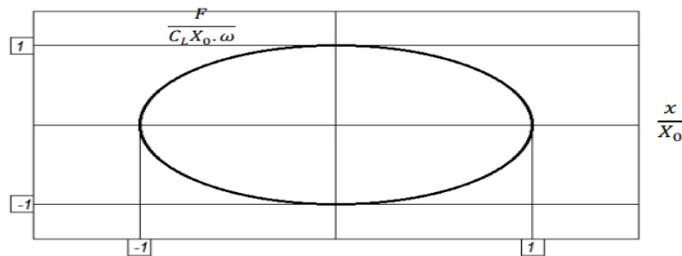
Si se hace el reemplazo respectivo de la identidad trigonométrica anterior, en la ecuación 10 se tendrá la ecuación que determina el comportamiento histerético lineal de un amortiguamiento viscoso.

$$\frac{F(t)}{C_L \cdot \omega \cdot X_0} = \pm \sqrt{1 - \left(\frac{x(t)}{X_0}\right)^2} \quad (2.18)$$

Este comportamiento se puede visualizar en la siguiente Figura N°12.

Figura 12:

Comportamiento Histerético de un Amortiguador Viscoso Lineal



Fuente: Narváez, Mario (2019). Análisis comparativo técnico-económico de una edificación de 12 pisos, empleando amortiguadores de fluido viscoso y disipadores histeréticos. (Tesis para obtener grado de Magister, PUCP).

La amplitud de la máxima fuerza inducida en un amortiguador viscoso del tipo lineal es directamente proporcional a la frecuencia de excitación, al desplazamiento y a la constante de amortiguamiento. Además, la máxima fuerza en un amortiguador viscoso del tipo lineal ocurre cuando su desplazamiento es nulo; es decir, las fuerzas generadas por un amortiguador viscoso lineal en una estructura son desfasadas a las fuerzas generadas por el sistema estructural, lo cual presenta una gran ventaja sobre los de comportamiento histerético, los mismos que generan su máxima fuerza cuando el sistema estructural alcanza su máximo desplazamiento. La energía disipada por el amortiguador viscoso del tipo

lineal en cada ciclo E_{vd} es el área encerrada por la curva de fuerza vs desplazamiento. Siendo esta de la siguiente manera.

$$E_{vd} = \int_0^{\frac{2\pi}{\omega}} F(t) \cdot \dot{x}(t) \cdot dt \quad (2.19)$$

$$E_{vd} = C_L \cdot \omega \cdot \pi \cdot X_0^2$$

La energía disipada por cada ciclo es directamente proporcional a la constante de amortiguamiento, a la excitación de frecuencia y a su vez proporcional al cuadrado de su amplitud de desplazamiento.

- Amortiguador viscoso no Lineal.

Los amortiguadores de fluido viscoso pueden ser diseñados para comportarse como elementos viscosos no lineales a través del ajuste de su aceite de silicona y de los orificios por el que transita este fluido. La principal ventaja de los amortiguadores viscosos no lineales es que, en el instante de su velocidad pico, la fuerza dentro del amortiguador es controlada para evitar la sobrecarga en su sistema o a su vez para proteger el sistema de arriostamiento. La fuerza axial desarrollada por un amortiguador viscoso no lineal $F(t)$ es expresada mediante:

$$F(t) = C_{NL} \cdot \text{sgn}(\dot{x}(t)) \cdot |\dot{x}(t)|^{\alpha_{vd}} \quad (2.20)$$

Donde:

C_{NL} : Constante de amortiguamiento no lineal

α_{vd} : Coeficiente de velocidad (0.2 – 1.0)

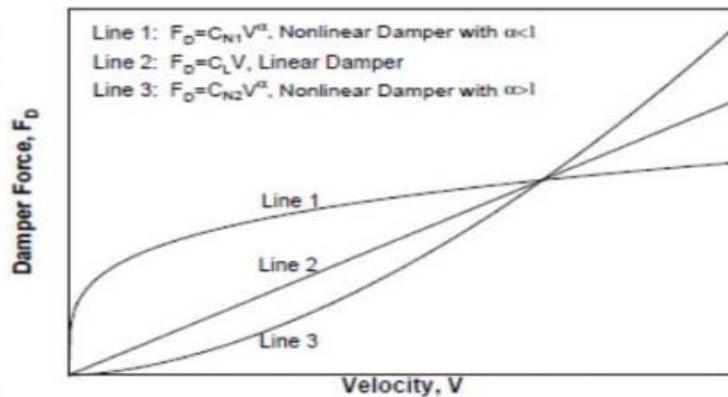
$\text{sgn}(\dot{x}(t))$: Funcion del signo

Cabe mencionar que cuando $\alpha_{vd}=1$, el dispositivo actúa como un amortiguador viscoso del tipo lineal como se presentó en la ecuación 2.15; por otro lado, cuando el coeficiente de velocidad es mayor a 1, el dispositivo actúa como un elemento de transmisión o bloqueo, desarrollando así, grandes fuerzas a altas velocidades. Las unidades de

bloqueo pueden utilizarse para acoplar múltiples elementos de una estructura que son resistentes a las cargas laterales, sirviendo como ejemplo, los tramos adyacentes de un puente, durante un evento sísmico. La mejor manera de visualizar la ventaja de los amortiguadores viscosos no lineales con un coeficiente de velocidad menor a uno se presenta en la siguiente Figura N°12, donde se observa claramente la reducción de fuerzas de amortiguamiento a altas velocidades.

Figura 13:

Propiedades de Fuerza – Velocidad de Diferentes Amortiguadores Viscoso No Lineales



Fuente: Hwang (2002)

Considerando el amortiguador que presenta un coeficiente de velocidad menor a 1, sujeto a un desplazamiento armónico relativo tiempo-historia presentador por $x(t)$ (ecuación 2.14), obtendremos nuestra fuerza axial en función a las amplitudes de este desplazamiento.

$$F(t) = C_{NL} \cdot \text{sgn}(\cos \omega \cdot t) \cdot |\omega \cdot X_0 \cdot \cos \omega \cdot t|^{\alpha_{vd}} \quad (2.21)$$

Si sustituimos la ecuación de identidad trigonométrica del coseno en la ecuación 2.21, se obtiene la relación fuerza-desplazamiento para un amortiguador viscoso no lineal.

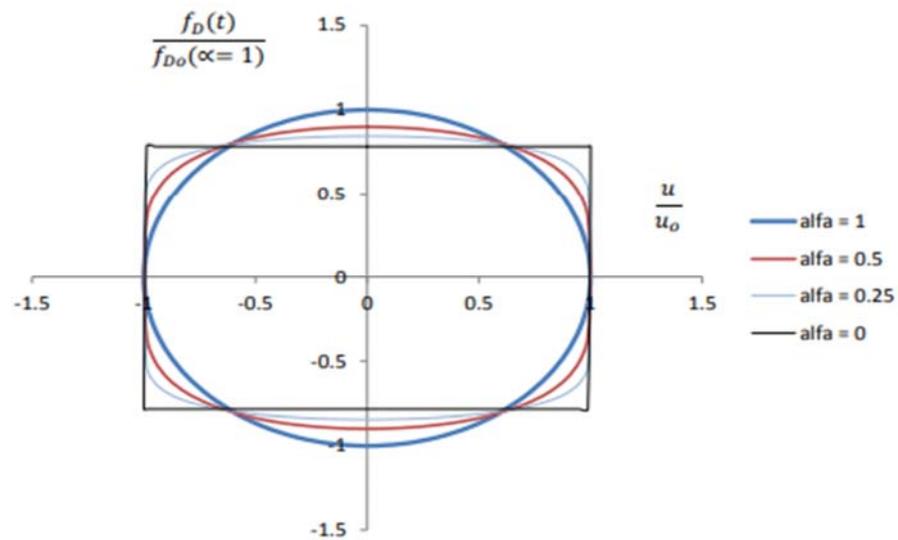
$$\frac{F}{C_{NL}(X_0 \cdot \omega)^{\alpha_{vd}}} = \pm \left(1 - \left(\frac{x(t)}{X_0}\right)^2\right)^{\frac{\alpha_{vd}}{2}} \quad (2.22)$$

Los ciclos histeréticos descritos por la ecuación 16 se visualizan mejor en la Figura N°13 para 3 diferentes coeficientes de velocidad. A pesar de que las fuerzas en el amortiguador viscoso no lineal permanecen desfasadas de las fuerzas desarrolladas por el sistema estructural, la respuesta cíclica del

amortiguador no lineal se aproxima a una forma rectangular para las relaciones de fuerza vs desplazamiento a medida que el coeficiente de velocidad va disminuyendo. Sin embargo, es importante mencionar, que la amplitud inducida por una máxima fuerza en el amortiguador viscoso no lineal permanece directamente proporcional a la constante de amortiguamiento no lineal, la excitación de frecuencia y las amplitudes de los desplazamientos.

Figura 14:

Ciclo Histerético de Amortiguador Viscoso No Lineal con Coeficientes de Velocidad α



Fuente: Modificado de Lin & Chopra (2002)

La energía disipada por el amortiguador viscoso no lineal para cada ciclo histerético será el área encerrada por la curva de fuerza vs desplazamiento.

$$E_{vd} = \int_0^{2\pi} F(t) \cdot \dot{x}(t) \cdot dt \quad 2.23 \text{ a}$$

$$E_{vd} = 2\sqrt{\pi} \cdot C_{NL} \cdot (X_0)^{\alpha_{vd}+1} \cdot \omega^{\alpha_{vd}} \cdot \frac{r \cdot (1 + \frac{\alpha_{vd}}{2})}{r \cdot (\frac{3}{2} + \frac{\alpha_{vd}}{2})} \quad 2.23 \text{ b} \quad (2.23)$$

Donde:

r: Es la función gamma

2.5 Definición de términos básicos

- Histéresis: Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.

- Espectro de respuesta: Es un valor utilizado en los cálculos de ingeniería sísmica, que mide la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta.
- Disipadores viscosos: También llamados dampers son elementos que se adosan a los pórticos estructurales, y que, en un momento sísmico, disipan energía sísmica a través del paso de fluido viscoso en su interior ocasionando una resistencia al movimiento libre del edificio.
- Acelerograma: Descripción en el tiempo de las aceleraciones a que estuvo sometido el terreno durante una ocurrencia sísmica.
- Amortiguamiento: Se define como la capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía cinética en otro tipo de energía.
- Ductilidad: La ductilidad es la capacidad que tienen algunos materiales de admitir grandes deformaciones sin perder su resistencia.
- Grados de Libertad: El grado de libertad es definido como el número de desplazamientos independientes requerido para definir las posiciones desplazadas de todas las masas relativas a sus posiciones originales.
- Riesgo sísmico: Es el grado de pérdidas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que están expuestas a un evento telúrico, el riesgo sísmico también es definido como la suma de la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico dividiendo el riesgo sísmico en tres niveles: Alto, medio y bajo.
- Peligro sísmico: La probabilidad de ocurrencia de un evento telúrico de intensidad indeterminada durante un tiempo indefinido en una zona determinada.
- Vulnerabilidad sísmica: Se conoce como vulnerabilidad sísmica al grado de daño que puede sufrir las viviendas de albañilería confinada durante el desarrollo de un evento telúrico. El nivel de daño en la vivienda sería la respuesta frente a un mal diseño y construcción de la vivienda “empleo de materiales de baja calidad y mano de obra poco calificada.
- Sismo: Los sismos son vibraciones ondulatorias de la corteza terrestre ocasionadas por el choque de las placas tectónicas en el interior de la tierra.
- Diseño sismorresistente: Es cuando una edificación se diseña y construye con una adecuada configuración estructural, con componentes de dimensiones apropiadas y materiales con una proporción y resistencia suficientes para soportar la acción de las fuerzas causadas por sismos frecuentes.

- Sismicidad: Es la frecuencia de ocurrencia de sismos por unidad de área en una región dada por lo que se define en forma más general como la actividad sísmica de una región dada, esta última definición implica que la sismicidad se refiere a la cantidad de energía liberada en un área en particular.

2.6 Hipótesis

2.6.1 Hipótesis General

Incorporando disipadores de fluido viscoso al diseño estructural existente, mejora el comportamiento ante un sismo de gran magnitud y se reducen los costos en reparación estructural.

2.6.2 Hipótesis Específicas

- a) La influencia del sistema estructural dual sobre el comportamiento sísmico de la edificación no es correcta frente a un sismo severo.
- b) La influencia del sistema estructural con disipadores de fluido viscoso sobre el comportamiento sísmico de la edificación es correcta frente a un sismo severo.
- c) Existe la influencia de los disipadores de fluido viscosos en la vida útil de la edificación después de un sismo severo.
- d) La diferencia de costos en el presupuesto inicial y el presupuesto de la propuesta estructural con disipadores es menor que el monto que se gasta en reparaciones de la estructura inicial frente a un sismo severo.

2.7 Variable

2.7.1 Definición Conceptual de las Variables

- **Variable Independiente:**

VI-01: Sistema estructural dual.

VI-02: Sistema estructural con disipadores de energía de fluido viscoso.

- **Variable Dependiente.**

VD-01: Edificio multifamiliar.

CAPÍTULO III: METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN

3.1 Tipo de Investigación:

El presente proyecto de investigación presenta la metodología de una investigación aplicada, debido a que se utilizaron conocimientos de las principales ciencias físicas y matemáticas, a fin de aplicarlas en el desarrollo del Diseño Estructural con Disipadores de Energía de Fluido Viscoso del edificio en estudio.

3.2 Método de Investigación:

La presente investigación tiene un enfoque cuantitativo con un alcance descriptivo, porque se calcularán parámetros que se requieren para el predimensionamiento, análisis y diseño de edificios con sistema dual y otro con amortiguador de fluido viscoso mediante un modelo computacional usando el software ETABS comprobando que la edificación cumpla con las exigencias de la norma vigente (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2020), para posteriormente realizar un análisis de costo beneficio validando el uso de estos elementos.

3.3 Diseño de la investigación

La presente investigación es de diseño no experimental con clasificación de tipo transversal debido a que el análisis se lleva a cabo para un momento único, haciendo inferencia sobre la ocurrencia, así como sus determinantes y consecuencias (Hernández et al., 2014).

3.4 Población De Estudio

La población de estudio para este proyecto de investigación en específico serán las edificaciones con estructuras duales de concreto armado ubicadas en el distrito de Jesús María.

3.5 Diseño Muestral

El diseño muestral de la presente investigación es no probabilístico por conveniencia que parte en la recolección de información de periodos.

La investigación se realizó tomando como muestra la edificación multifamiliar dual “Huiracocha 2257” ubicado en el Jr. Huiracocha 2257, Jesús María, tomando todas sus características técnicas de los planos con los que se ejecutó el proyecto. Se planteó una evaluación y una propuesta estructural usando disipadores de energía de fluido

viscoso mediante el software ETABS 2018, siendo un proceso iterativo para encontrar un nivel o cuantificación óptimo de disipadores a usar y además planteando una comparativa técnica y económica de la propuesta y la edificación existente.

3.6 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

La técnica que se usara para el presente trabajo de investigación es la de recoger información general de la edificación multifamiliar tales como características de zonificación, planos estructurales, detalles de acero entre otros para su posterior modelamiento utilizando un software de análisis estructural. Así mismo se presentará el presupuesto inicial del proyecto en relación con las partidas de estructuras y se comparará con la propuesta incluyendo el uso de disipadores de fluido viscoso con la cotización que el proveedor de los disipadores propondrá.

El instrumento que se utilizará para el modelamiento y análisis sísmico tanto de la estructura existente como el de la propuesta, será el software ETABS 2018, el cuál apoyado de hojas de cálculo en Microsoft Excel, determinará los parámetros óptimos de diseño para la correcta presentación documentaria de los resultados.

Así mismo nos apoyaremos en las normas establecidas del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) tales como la normal E-030 “Diseño Sismorresistente”, E-020 “Cargas”, E-060 “Concreto Armado”, de igual manera se investigación se apoya en los lineamientos internacionales de las organizaciones ATC-40 y el comité VISION 2000 (SEAOC 1995).

3.7 Criterio de Validez y Confiabilidad de los Instrumentos

El modelo matemático elaborado mediante el software ETABS 2018, fue ejecutado teniendo conocimientos previos por los distintos cursos de la rama de estructuras de la Universidad Ricardo Palma en su escuela de Ingeniería Civil en el grado de Bachillerato.

Para el análisis y estudio de resultados de ambos modelos matemáticos, se verifico que se cumpliera con los parámetros establecidos por la norma peruana E-030 “Diseño Sismorresistente”, E-020 “Cargas” y la E-060 “Concreto Armado” garantizando así la validez de los resultados.

3.8 Procedimientos para la Recolección de Datos

El procedimiento de análisis consiste en usar la información estructural del edificio y modelarlo con el software ETABS 2018, en el cual se analizará su respuesta sísmica mediante un análisis estático, análisis dinámico modal espectral y análisis dinámico Tiempo-Historia según lo establece la norma E 030, para cada una de las propuestas estructurales, tomando como datos iniciales del proyecto todas las especificaciones técnicas de los planos aprobados para su ejecución. Así mismo también se usarán los registros sísmicos brindados por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) para la evaluación de la estructura y para la propuesta planteada.

Posteriormente se tomarán los datos del presupuesto meta del proyecto y se contemplarán ratios de costos de la propuesta estructural para la presentación de la comparación económica e influencia de la propuesta en el presupuesto.

3.9 Técnicas para el Procesamiento y el Análisis de Datos

Para el proceso de desarrollo de la investigación se utilizará el software ETABS 2018, en el cual modelaremos estructuralmente el edificio multifamiliar de 21 pisos y 3 sótanos, este será evaluado bajo los lineamientos nacionales del Reglamento Nacional de Edificaciones, así como de los lineamientos internacionales de las organizaciones ATC-40 y el comité VISION 2000 (SEAOC 1995).

La información resultante del análisis se presentará en cuadros y gráficos que se exportan del programa ETABS 2018 de acuerdo con los indicadores que describen el comportamiento estructural de la vivienda multifamiliar.

Los valores que se recopilaron del programa son adecuados mediante tablas de cálculo en el programa Microsoft Excel. Los resultados finales deben cumplir con la Norma Sismorresistente del Perú (E030 -2018).

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA DUAL DE 20 PISOS SIN DISIPADORES

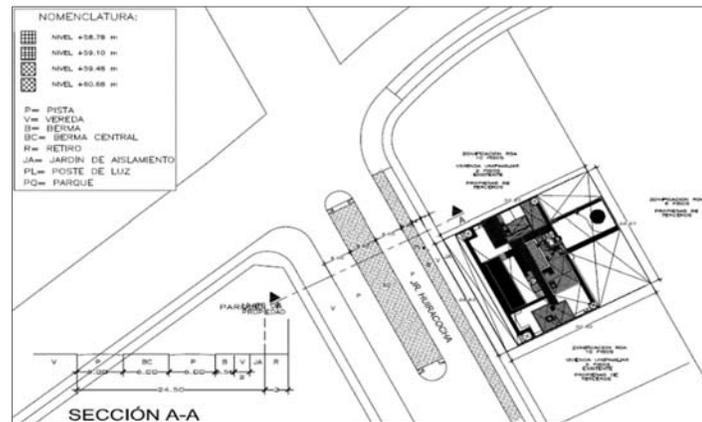
4.1 Parámetros Generales de la Edificación

4.1.1 Ubicación

La presente investigación está referida al proyecto de edificio multifamiliar “Huiracocha 2257” que cuenta con 4 sótanos, 20 niveles y azotea y se encuentra ubicada en el Jr. Huiracocha 2257 en el distrito de Jesús María. (Ver figura N° Figura N°15 y Figura N°16).

Figura 15:

Plano de Ubicación de la Edificación a Investigar



Fuente: Elaboración propia

Figura 16:

Ubicación de la Edificación a Investigar



Fuente: Google earth

4.1.2 Descripción de la Estructura

El edificio está destinado a funcionar para los 20 pisos más azotea como departamentos y consta de 4 sótanos para estacionamientos, servicios generales y cuarto de bombas.

La altura hasta el nivel de techo terminado es de 60.73m y una profundidad total para sótanos de -15.51m, ambas medidas tomadas desde el nivel 0+0.00 m que hace referencia al nivel de tapa de medidor de agua (Nivel de vereda). con un total de 76.24 metros del edificio y altura de entrepiso de 2.70 metros.

- Área del terreno: 972.74 m²
- Área techada total 15,682.29 m²
- Área libre 392.00 m²

4.1.3 Características de los Materiales de Diseño

- Resistencia a compresión del concreto $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$.
- Peso específico del concreto $\gamma_c = 2.4 \text{ ton/m}^3$.
- Fluencia del acero $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Peso específico del acero $\gamma = 7800 \text{ kg/m}^3$
- Módulo de elasticidad del concreto $E_c = 217370.65 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

4.1.4 Cargas Consideradas

En el modelo se consideraron las siguientes cargas de gravedad que se muestran en la Tabla N° 2, las cuales fueron cargadas directamente en el Shell de cada piso el cual se encargará de distribuirlo directamente a las columnas y a las vigas. (NTP-E020, 2006).

Tabla 2:

Cuadro de Cargas de Gravedad

Descripción	Cargas de gravedad
P. Acabados	120 kg/m ²
P. Tabiquería	150kg/m ²
P. Losa maciza	480kg/m ²
Sobrecarga (Piso típico)	250kg/m ²
Sobrecarga (Azotea)	100kg/m ²

Fuente: NTP-E.020 Cargas, 2006

4.2 Estructuración Dual

La tipología estructural del edificio se define como dual, ya que cuenta con un sistema de muros de corte (placas) y de pórticos constituido por columnas y vigas. Este sistema de la estructura está resuelto con ejes variables entre 2.55m y 10.35m aproximadamente y losas aligeradas con luces similares, tabiquería de ladrillo en muros interiores. 02 cajas de ascensor y 02 escaleras de evacuación de concreto armado.

Las zonas donde se encuentran los ascensores están comprendida entre los ejes Y3 – Y4 y X2 – X4. Las losas del edificio son consideradas con una altura $h= 0.20$ m.

4.2.1 Principios y Requisitos Generales de Resistencia

Los factores de amplificación de cargas están establecidos en el artículo 9.2 de la norma E.060 como resistencia requerida. Son 5 combinaciones aplicables al presente diseño que dependen del tipo de carga actuante: Carga viva (CV, Carga muerta (CM) y Carga de sismo (CS).

La resistencia requerida para cargas muertas (CM) y cargas vivas (CV) será como mínimo:

$$U = 1.4CM + 1.7CV \quad (4.1)$$

Al considerar cargas de sismo, además de lo indicado en la ecuación N° 4.2, la resistencia requerida será como mínimo:

$$U = 1.25(CM + CV) \pm CS \quad (4.2 \text{ a})$$

$$U = 0.9CM \pm CS \quad (4.2 \text{ b})$$

En la tabla N°3, se observa las combinaciones de diseño a emplear:

Tabla 3:

Combinaciones de Diseño

Caso	Fórmula
Combo 1	1.4 CM + 1.7 CV
Combo 2	1.25(CM + CV) ± CSx
Combo 3	1.25(CM + CV) ± CSy
Combo 4	0.9CM ± CSx
Combo 5	0.9CM ± CSy

Fuente: Artículo 9.2 de la Norma E.060

4.2.2 Predimensionamiento

4.2.2.1 Losas

Losas macizas

Debido a que la resistencia y rigidez de este tipo de losas es muy buena y se requieren peraltes reducidos calculados con las ecuaciones 4.3 y 4.4:

$$h = \frac{l_m}{30 + 3\beta} \quad (4.3)$$

$$\beta = \frac{l_m}{l_n} \quad (4.4)$$

Donde:

h : Peralte de losa

l_m : Longitud mayor

l_n : Longitud menor

l_m = 6.57 m

l_n = 5.71 m

Para sótanos 4,3 y 2:

$$\beta = \frac{6.57m}{5.71m} = 1.151$$

$$h = \frac{6.57m}{30+3(1.151)} = 0.196m$$

Por redondeo: h=0.20 m

Para sótano 1:

l_m = 7.50 m

$$l_n = 6.21 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{7.50 \text{ m}}{6.21 \text{ m}} = 1.208$$

$$h = \frac{7.50 \text{ m}}{30+3(1.151)} = 0.22 \text{ m}$$

Por redondeo: $h = 0.22 \text{ m}$

Para piso 1:

$$l_m = 6.56 \text{ m}$$

$$l_n = 5.90 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{6.56 \text{ m}}{5.90 \text{ m}} = 1.11$$

$$h = \frac{6.56 \text{ m}}{30+3(1.11)} = 0.197 \text{ m}$$

Por redondeo: $h = 0.20 \text{ m}$

Para piso 2 al 20:

$$l_m = 7.70 \text{ m}$$

$$l_n = 4.22 \text{ m}$$

$$\beta = \frac{7.70 \text{ m}}{4.22 \text{ m}} = 1.82$$

$$h = \frac{7.70 \text{ m}}{30+3(1.82)} = 0.217 \text{ m}$$

Por redondeo: $h = 0.22 \text{ m}$

En este proyecto no se considera el sistema de losas aligeradas. El peralte de losas macizas se considera de 0.20m tanto para todos los niveles y para el modelado ETABS.

4.2.2.2 Vigas.

Verificación de predimensionamiento considerando las cargas de acuerdo a la Norma NTP E.020 Cargas.

$$h = \frac{l_n}{\left(\frac{4}{\sqrt{Wu}}\right)} \quad (4.5)$$

$$b = \frac{B}{20} \quad (4.6)$$

$$Wu = 1.4CM + 1.7CV \quad (4.7)$$

Dónde:

h: Peralte de la viga.

l_n: Luz libre.

b: Ancho de la viga.

B: Ancho tributario

W_u: Carga total por unidad de área.

CV: Carga viva.

CM: Carga muerta.

Predimensionamiento de la viga V-4

Para sótanos 4,3 y 2:

$L_n = 657 \text{ cm}$

$B = 610 \text{ cm}$

Cargas:

P. Acabados = 120 kg/m²

P. Tabiquería = 150 kg/m²

P. Losa = 360 kg/m²

S/C = 250 kg/m²

Calculando la sumatoria de cargas:

$CM = 120 + 150 = 270 \text{ kg/m}^2$

$CV = 350 + 250 = 600 \text{ kg/m}^2$

$W_u = 1.4(270) + 1.7(600)$

$W_u = 1398 \text{ kg/m}^2$

Calculando:

$$h = \frac{657}{\left(\frac{4}{\sqrt{0.1398}}\right)} = 61.4 \text{ cm}$$

$$b = \frac{610}{20} = 30.5 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 35x65 cm

Figura 17:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-4



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-1

Para sótanos 4,3 y 2:

$$L_n = 657 \text{ cm}$$

$$B = 539 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

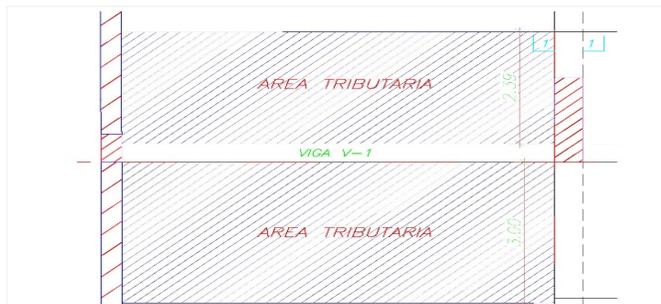
$$h = \frac{657}{4 \left(\sqrt{0.1398} \right)} = 61.4 \text{ cm}$$

$$b = \frac{539}{20} = 26.9 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x65 cm

Figura 18:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-1



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-9

Para sótano 1:

$$L_n = 613 \text{ cm}$$

$$B = 714 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

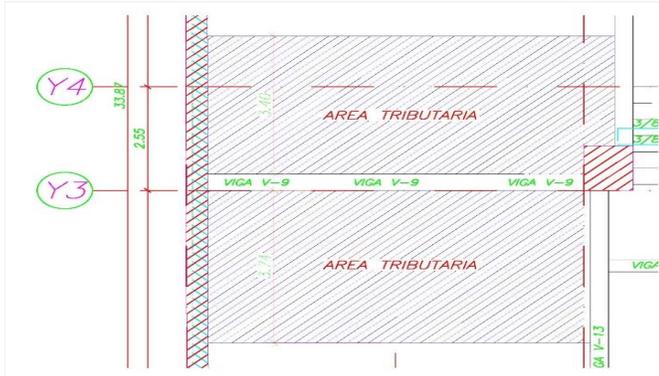
$$h = \frac{613}{4 \left(\sqrt{0.1398} \right)} = 57.3 \text{ cm}$$

$$b = \frac{714}{20} = 35.7 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 40x60 cm

Figura 19:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-9



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-13

Para sótano 1:

$$L_n = 750 \text{ cm}$$

$$B = 714 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

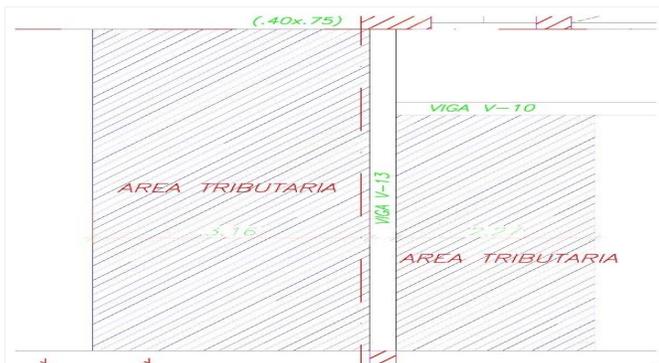
$$h = \frac{750}{4 \left(\frac{\sqrt{0.1398}}{\sqrt{0.1398}} \right)} = 70.11 \text{ cm}$$

$$b = \frac{543}{20} = 27.2 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x75 cm

Figura 20:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-13



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-9 (Piso 1 al piso 20)

$$L_n = 620 \text{ cm}$$

$$B = 542 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

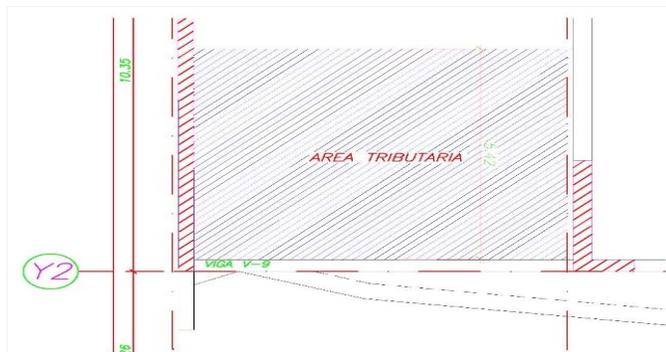
$$h = \frac{620}{4 \left(\frac{\sqrt{0.1398}}{\sqrt{0.1398}} \right)} = 57.95 \text{ cm}$$

$$b = \frac{543}{20} = 27.1 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x58 cm

Figura 21:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-9



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-15 (Piso 1 al piso 20)

$$L_n = 750 \text{ cm}$$

$$B = 578 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

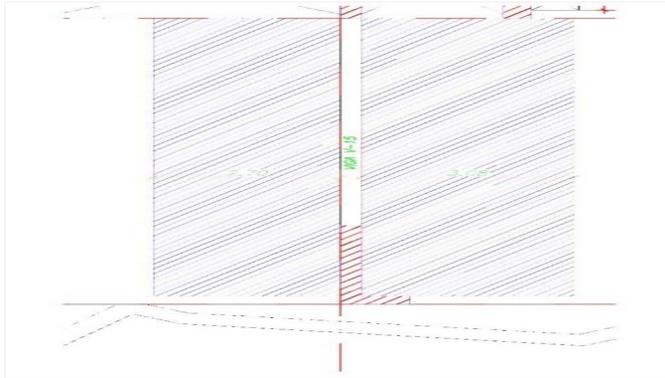
$$h = \frac{750}{4 \left(\frac{\sqrt{0.1398}}{\sqrt{0.1398}} \right)} = 70 \text{ cm}$$

$$b = \frac{578}{20} = 28.9 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x70 cm

Figura 22:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-15



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-4 (Piso 1 al piso 20)

$$L_n = 770 \text{ cm}$$

$$B = 388 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

$$h = \frac{770}{4 \left(\sqrt{0.1398} \right)} = 71.97 \text{ cm}$$

$$b = \frac{388}{20} = 19.4 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x75 cm

Figura 23:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-4



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-12 (Piso 1 al piso 20)

$$L_n = 605 \text{ cm}$$

$$B = 385 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

$$h = \frac{605}{\left(\frac{4}{\sqrt{0.1398}}\right)} = 56.56 \text{ cm}$$

$$b = \frac{385}{20} = 19.3 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 30x58 cm

Figura 24:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-12



Fuente: Elaboración propia

Predimensionamiento de la viga V-18 (Piso 1 al piso 20)

$$L_n = 555 \text{ cm}$$

$$B = 661 \text{ cm}$$

$$W_u = 1398 \text{ kg/cm}^2$$

Calculando:

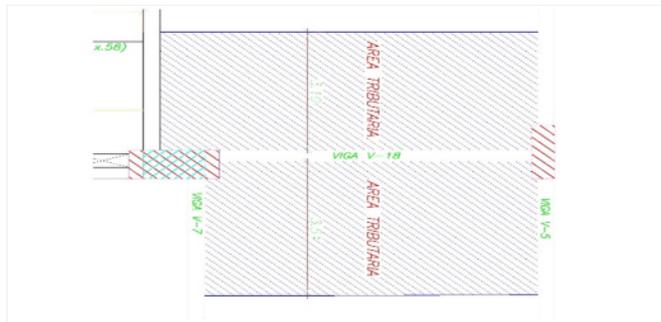
$$h = \frac{555}{\left(\frac{4}{\sqrt{0.1398}}\right)} = 51.87 \text{ cm}$$

$$b = \frac{661}{20} = 33.05 \text{ cm}$$

La sección propuesta será: 35x58 cm

Figura 25:

Vista en Planta del Área Tributaria para la Viga V-18



Fuente: Elaboración propia

Entre el método de predimensionamiento y las secciones propuestas existen algunas diferencias ya que después del análisis sísmico se necesitó incrementar las secciones de estas vigas y se uniformizó para obtener una mejor respuesta de la estructura, por lo tanto, se emplearán vigas principales de 0.30X0.60m y 0.37x0.60m.

Tabla 4:

Cuadro de Vigas Peraltadas a Emplear en Modelo Matemático

Descripción	Dimensión (m)	
	b	h
V-1	0.12	0.60
V-2	0.15	0.60
V-3	0.20	0.60
V-4	0.25	0.60
V-5	0.30	0.60
V-6	0.37	0.60

Fuente: Elaboración propia

4.2.2.3 Columnas. Para el análisis matemático del presente estudio, se tomaron las siguientes dimensiones mostradas en el cuadro de columnas existentes de la Tabla N°5:

Tabla 5:

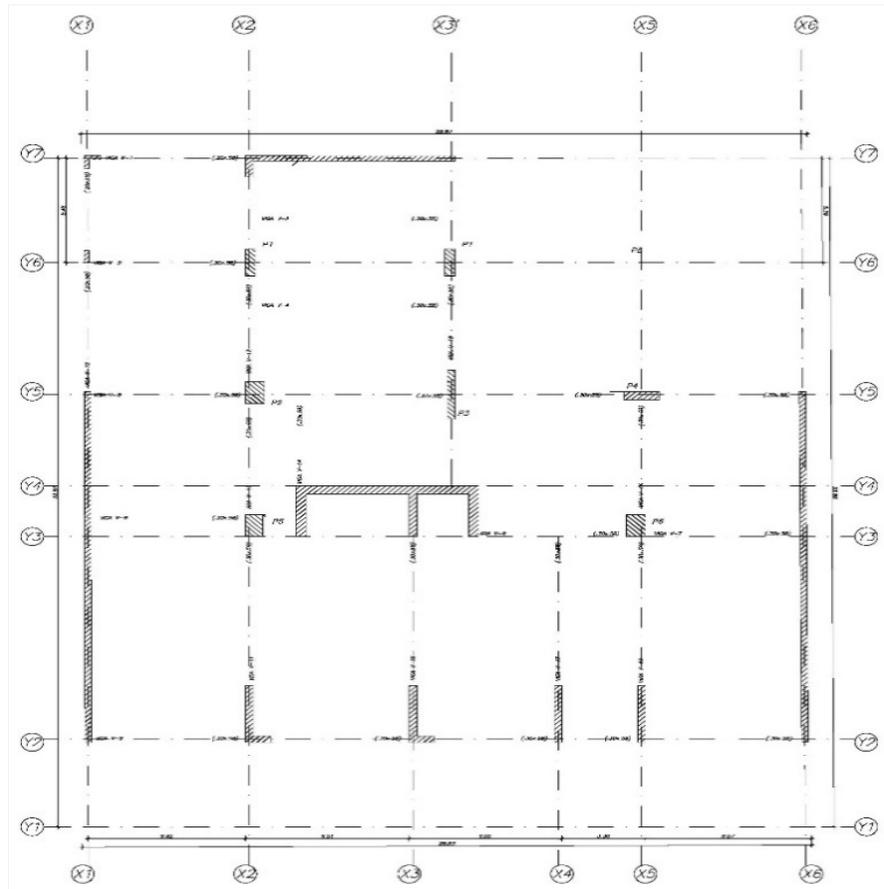
Cuadro de Columnas a Emplear en Modelo Matemático

Descripción	Sección (m)	
	b	h
P-1 (1er nivel)	0.40	1.80
P-1 (2do al 6to nivel)	0.40	1.35
P-1 (7mo al 20mo nivel)	0.30	1.35
P-2 (1er nivel)	0.75	1.30
P-2 (2do al 5to nivel)	0.75	1.10
P-2 (6to al 13er nivel)	0.75	0.80
P-2 (14to al 20mo nivel)	0.75	0.60
P-3 (1er nivel)	0.30	3.20
P-3 (2do al 5to nivel)	0.30	2.50
Descripción	Sección (m)	
	b	h
P-3 (6to al 13er nivel)	0.30	1.80
P-3 (14to al 20mo nivel)	0.30	1.30
P-4 (1er al 5to nivel)	0.40	1.40
P-4 (6to al 20mo nivel)	0.30	1.40
P-5 (1er nivel)	0.80	1.10
P-5 (2do al 20mo nivel)	0.70	1.10
P-6 (1er nivel)	0.75	1.60
P-6 (2do al 20mo nivel)	0.75	1.10

Fuente: Elaboración propia

Figura 26:

Plano en Planta de Elementos Estructurales (Losas, vigas y columnas)



Fuente: Elaboración propia

4.3 Análisis Sísmico

El análisis sísmico tiene como objetivo determinar las fuerzas internas en los elementos estructurales con el propósito de diseñarlos. Así también, permite estimar los desplazamientos laterales de una edificación, para su posterior verificación con los valores permisibles de la norma.

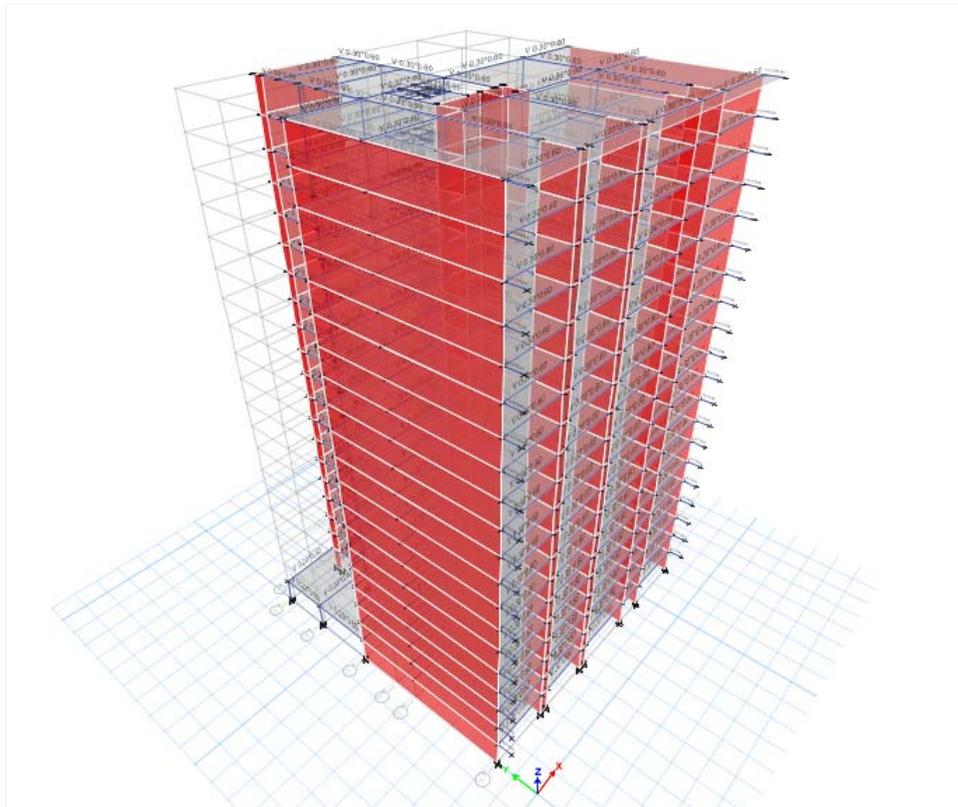
La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 especifica que, para edificios de concreto armado, el límite permisible de desplazamiento lateral es de 0.7% de la altura de entrepiso, concepto conocido como deriva o drift.

Se llevó a cabo dos tipos análisis sísmico que prescribe la normativa vigente sismorresistente E030: estático y dinámico. De los cuales el análisis estático se usó solo para calcular la fuerza cortante basal de la estructura para poder obtener un factor de escala con respecto a la fuerza cortante basal obtenido con el análisis dinámico para

poder cumplir con la fuerza cortante mínima impuesta por la norma sismorresistente E030 vigente.

Figura 27:

Modelado en ETABS del Proyecto “Huiracocha 2257”



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

4.3.1 Análisis Estático

La cortante basal se calculó según los lineamientos de la norma de diseño sismorresistente vigente E.030.

$$V = \frac{ZUCS}{R} * P \tag{4.8}$$

Para ello se usaron los siguientes parámetros sísmicos de acuerdo a la Norma E.030:

- **Zonificación sísmica. (Z)**

La edificación en estudio se encuentra en la Zona 4 (Lima), zona de mayor sismicidad, por consiguiente, le corresponde un factor de zonificación de $Z=0.45g$.

- **Categoría de la edificación y factor de uso. (U)**

La edificación en evaluación está destinada a vivienda multifamiliar, lo que corresponden a edificaciones comunes en una categoría catalogada como C, con un factor de uso de $U=1.0$ como se muestra en la Tabla N°06.

Tabla 6:

Categoría de las Edificaciones Y Factor “U”

Categoría	Descripción	Factor “U”
C		
	Edificaciones comunes tales como: viviendas, oficinas, hoteles, restaurantes, depósitos e instalaciones industriales cuya falla no acarree peligros adicionales de incendios o fugas contaminantes	1.0

Fuente: Artículo 15 de la Norma E.030 - Diseño Sismorresistente.

- **Condiciones Geotécnicas. (S, T_p y T_L)**

La edificación se encuentra sobre suelo muy rígido, refiriéndose según la norma a los suelos tipo S1, correspondiéndole el factor de amplificación $S=1.0$ y el período de corte $T_p = 0.40\text{seg}$ y $T_L = 2.5\text{seg}$ como indica la Tabla N°8.

Tabla 7:

Periodos en Función del Factor de Amplificación del suelo S.

	Periodo " T_p " y " T_L "			
	Perfil del Suelo			
	S_0	S_1	S_2	S_3
$T_p(s)$	0.30	0.40	0.60	1.00
$T_L(s)$	3.00	2.50	2.00	1.60

Fuente: Artículo 13 de la Norma E.030 - Diseño Sismorresistente “Parámetros de sitio (S, TP y TL).

- **Peso de la Edificación. (P)**

Para edificaciones categoría C, el peso de la edificación se muestra en la tabla N°8 y se calcula adicionando a la carga permanente un 25% de la carga viva o sobrecarga.

Con ello en el modelo matemático obtuvimos:

Tabla 8:

Peso de la Edificación por Niveles.

Nivel	Masa X (Ton-s ² /m)	Masa Y (Ton-s ² /m)	Gravedad	Pi (X) Ton	Pi (Y) Ton
Piso 20	43.452	43.452	9.807	426.118	426.118
Piso 19	48.135	48.135	9.807	472.047	472.047
Piso 18	47.456	47.456	9.807	465.388	465.388
Piso 17	47.456	47.456	9.807	465.388	465.388
Piso 16	47.456	47.456	9.807	465.388	465.388
Piso 15	47.456	47.456	9.807	465.388	465.388
Piso 14	47.456	47.456	9.807	465.388	465.388
Piso 13	48.296	48.296	9.807	473.623	473.623
Piso 12	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 11	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 10	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 9	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 8	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 7	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 6	49.100	49.100	9.807	481.512	481.512
Piso 5	50.344	50.344	9.807	493.711	493.711
Piso 4	51.641	51.641	9.807	506.423	506.423
Piso 3	51.641	51.641	9.807	506.423	506.423
Piso 2	51.641	51.641	9.807	506.423	506.423
Piso 1	57.569	57.569	9.807	564.560	564.560
			$\Sigma =$	9646.853	9646.853

Fuente: Elaboración propia

Peso de la edificación = 9646.853 ton

• **Periodo fundamental de vibración**

Según el artículo 28.4 de la norma E.30, el periodo fundamental de vibración para cada dirección se estima con las siguientes expresiones:

$$T = \frac{h_n}{C_T} \quad (4.9)$$

$$T = 2\pi \times \sqrt{\frac{(\sum_{i=1}^n P_i \cdot di^2)}{(g \cdot \sum_{i=1}^n f_i \cdot di)}} \quad (4.10)$$

Donde:

- f_i : Es la fuerza lateral en el nivel i correspondiente a una distribución en altura semejante a la del primer modo en la dirección de análisis.
- di : Es el desplazamiento lateral del centro de masa del nivel i en traslación pura (restringiendo los giros en planta) debido a las fuerzas f_i .

Se calculó el periodo fundamental de vibración de la estructura con la ecuación 4.9 para obtener mayor aproximación en los resultados.

(*) Cuando el análisis no considere la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental T se toma como 0,85 del valor obtenido con la fórmula precedente (Art. 28.4.3. – E0.30).

Para resolver la ecuación 4.9, tenemos en cuenta la norma E0.30 y usar las siguientes ecuaciones 4.10 y 4.11:

$$F_i = \alpha_i \cdot V \quad (4.11)$$

$$\alpha_i = \frac{P_i \cdot (h_i)^k}{\sum_{j=1}^n P_j \cdot (h_j)^k} \quad (4.12)$$

Donde n es el número de pisos del edificio, k es un exponente relacionado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

- a) Para T menor o igual a 0.5 segundos: $k = 1.0$
- b) Para T mayor o igual a 0.5 segundos: $k = (0.75 + 0.5T) \leq 2.0$

Calculando los valores de k :

$$\text{Eje X: } k = 0.75 + 0.5(1.439) = 1.470$$

$$\text{Eje Y: } k = 0.75 + 0.5(0.915) = 1.208$$

Tabla 9:

Calculo del Periodo Fundamental de Vibración en Dirección X

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	αi	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di2	Fi*Di
Piso 20	426.118	3.000	2141.210	0.051	28.326	14.379	88096.129	407.291
Piso 19	472.047	2.700	2031.768	0.048	26.879	14.308	96642.304	384.590
Piso 18	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 17	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 16	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 15	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 14	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 13	473.623	2.700	2038.551	0.048	26.968	14.300	96856.528	385.658
Piso 12	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 11	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 10	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 9	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 8	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 7	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 6	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 5	493.711	2.700	2125.015	0.050	28.112	14.278	100652.839	401.394
Piso 4	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	αi	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di2	Fi*Di
Piso 3	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Piso 2	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Piso 1	564.560	3.000	2836.872	0.067	37.529	13.313	100060.330	499.629
ΣSUMA	9646.853		42235.702	1.000	558.743		1956450.460	7951.601

Fuente: Elaboración propia

Calculando el periodo fundamental de vibración:

$$Tx = 2\pi x \sqrt{\frac{1956450.460}{9806.652x7951.601}} = 0.995 \text{ seg}$$

$$Tx = 0.85(0.995) = 0.846 \text{ seg}$$

Tabla 10:

Calculo del Periodo Fundamental de Vibración en Dirección Y

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	αi	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di ²	Fi*Di
Piso 20	426.118	3.000	1605.660	0.049	43.480	15.234	98891.181	662.374
Piso 19	472.047	2.700	1566.235	0.048	42.412	15.238	109607.701	646.279
Piso 18	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 17	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 16	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 15	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 14	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 13	473.623	2.700	1571.463	0.048	42.554	15.286	110666.087	650.475
Piso 12	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 11	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 10	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 9	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 8	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 7	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 6	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 5	493.711	2.700	1638.116	0.050	44.359	15.376	116716.302	682.039
Piso 4	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Piso 3	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Piso 2	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	αi	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di ²	Fi*Di
Piso 1	564.560	3.000	2127.326	0.066	57.606	16.516	153990.355	951.396
ΣSUMA	9646.853		32453.869	1.000	878.824		2284159.800	13527.560

Fuente: Elaboración propia

$$T_y = 2\pi \times \sqrt{\frac{2284159.80}{9806.652 \times (13527.56)}} = 0.824 \text{ seg}$$

$$T_y = 0.85(0.824) = 0.701 \text{ seg}$$

De acuerdo con las tablas N° 9 y N° 10 de distribución de fuerzas sísmicas, se obtuvieron los periodos que se observan a continuación:

Tabla 11:

Periodos Fundamentales en ETABS vs calculo manual.

Ejes	ETABS	Norma E0.30
Eje X	1.439	0.846
Eje Y	0.915	0.701

Fuente: Elaboración propia

Nota: Al realizar la comparación de resultados de los periodos entre el programa ETABS 2018.0.2 y la norma E 0.30 observados en la Tabla N°11, se observa que los valores son aproximados, por ello se decidió hacer los cálculos posteriores con los periodos obtenidos del modelo matemático en ETABS.

- **Factor de Amplificación Sísmica. (C)**

Representa el cociente entre el valor máximo de la aceleración en la estructura y el valor pico de la aceleración en su base:

$$\begin{aligned}
 T < T_p & \quad C = 2.5 \\
 T_p < T < T_L & \quad C = 2.5x\left(\frac{T_p}{T}\right) \\
 T > T_L & \quad C = 2.5x\left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2}\right)
 \end{aligned} \tag{4.13}$$

De acuerdo a las características del proyecto usamos la ecuación 4.12 y obtenemos lo siguiente:

Eje X:

$$\begin{aligned}
 T_p < 1.439 < T_L \\
 C_x &= 2.5x\left(\frac{0.40}{1.439}\right) = 0.695
 \end{aligned}$$

Eje Y:

$$\begin{aligned}
 T_p < 0.915 < T_L \\
 C_y &= 2.5x\left(\frac{0.40}{0.915}\right) = 1.093
 \end{aligned}$$

- **Configuración Estructural.**

La estructura clasifica como una estructura regular en altura e irregular en planta, puesto que no presenta discontinuidades significativas horizontales o verticales en su configuración resistente a cargas laterales. $I_a=1.0$, $I_p=0.9$.

La estructura es regular en altura e irregular en planta $I_a=1.0$, $I_p=0.9$.

- **Sistema Estructural. (R)**

A los edificios con un sistema estructural de muros estructurales les corresponde un factor

$$R_o = 6$$

$$R = R_o \times I_a \times I_p$$

$$R_o = 6 \tag{4.14}$$

$$R = 5.40$$

Tabla 12:

Factores Sísmicos de la Edificación

Nomenclatura	Valor	Descripción
Z	0.45	Z: Zona sísmica, Z=4
U	1.00	U: Factor de uso e importancia
C_x	0.695	C: Factor de amplificación sísmica
C_y	1.093	
S	1.00	S: Factor de suelo S1
$R_x=R_y$	5.40	R: Coeficiente de reducción
g	9.81	g: Gravedad m2/s

Fuente: Elaboración propia

Verificación:

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

Según el artículo 28.2.2 de la norma E.030, se cumple que:

En X:

$$\frac{0.695}{5.4} = 0.129 \geq 0.11$$

En Y:

$$\frac{1.093}{5.4} = 0.202 \geq 0.11$$

- **Fuerza cortante en la base (V)**

Se obtiene las siguientes cortantes considerando los pesos con la siguiente combinación:

$$P = CM + 0.25CV$$

$$V_{x-x} = \frac{0.45 * 1.0 * 0.695 * 1.0}{5.4} * 9646.853$$

$$V_{x-x} = 558.714 \text{ ton}$$

$$V_{y-y} = \frac{0.45 * 1.0 * 1.093 * 1.0}{5.4} * 9646.853$$

$$V_{y-y} = 878.668 \text{ ton}$$

A continuación, se muestra el análisis de fuerzas cortantes por piso en ambas direcciones como se muestra en la Tabla N°13 y Tabla N° 14:

Tabla 13:

Distribución de Fuerza Sísmica en Altura en Dirección X-X

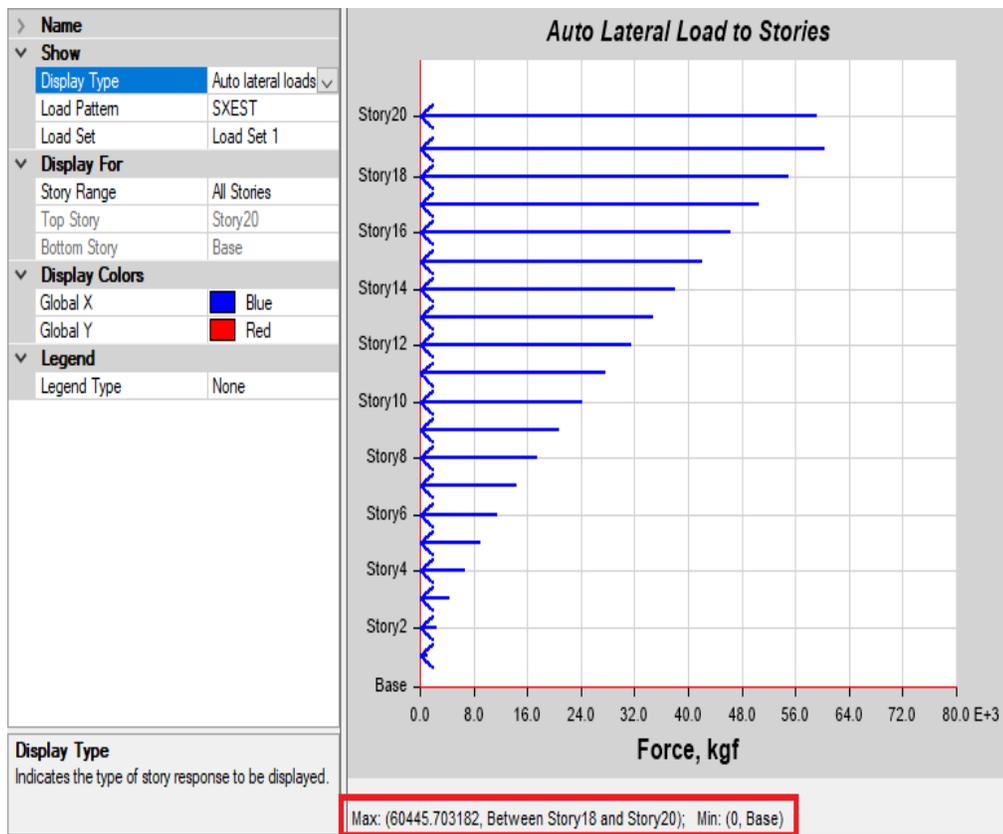
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	H Acum.	Pi*H^K	αi	Fi (Ton)
Piso 20	426.118	3.000	54.600	152171.826	0.106	59.28
Piso 19	472.047	2.700	51.600	155140.028	0.108	60.44
Piso 18	465.388	2.700	48.900	141336.490	0.099	55.06
Piso 17	465.388	2.700	46.200	130018.849	0.091	50.65
Piso 16	465.388	2.700	43.500	119007.655	0.083	46.36
Piso 15	465.388	2.700	40.800	108312.865	0.076	42.19
Piso 14	465.388	2.700	38.100	97945.432	0.068	38.16
Piso 13	473.623	2.700	35.400	89473.169	0.062	34.85
Piso 12	481.512	2.700	32.700	80953.424	0.056	31.54
Piso 11	481.512	2.700	30.000	71324.212	0.050	27.78
Piso 10	481.512	2.700	27.300	62093.810	0.043	24.19
Piso 9	481.512	2.700	24.600	53282.727	0.037	20.76
Piso 8	481.512	2.700	21.900	44914.847	0.031	17.50
Piso 7	481.512	2.700	19.200	37018.469	0.026	14.42

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	H Acum.	Pi*H^K	α_i	Fi (Ton)
Piso 6	481.512	2.700	16.500	29627.838	0.021	11.54
Piso 5	493.711	2.700	13.800	23362.824	0.016	9.10
Piso 4	506.423	2.700	11.100	17402.673	0.012	6.78
Piso 3	506.423	2.700	8.400	11554.263	0.008	4.50
Piso 2	506.423	2.700	5.700	6535.396	0.005	2.55
Piso 1	564.560	3.000	3.000	2836.872	0.002	1.11
Σ SUMA	9646.853			1434313.670	1.000	558.743

Fuente: Elaboración propia

Figura 28:

Resultados de Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura en Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

Tabla 14:

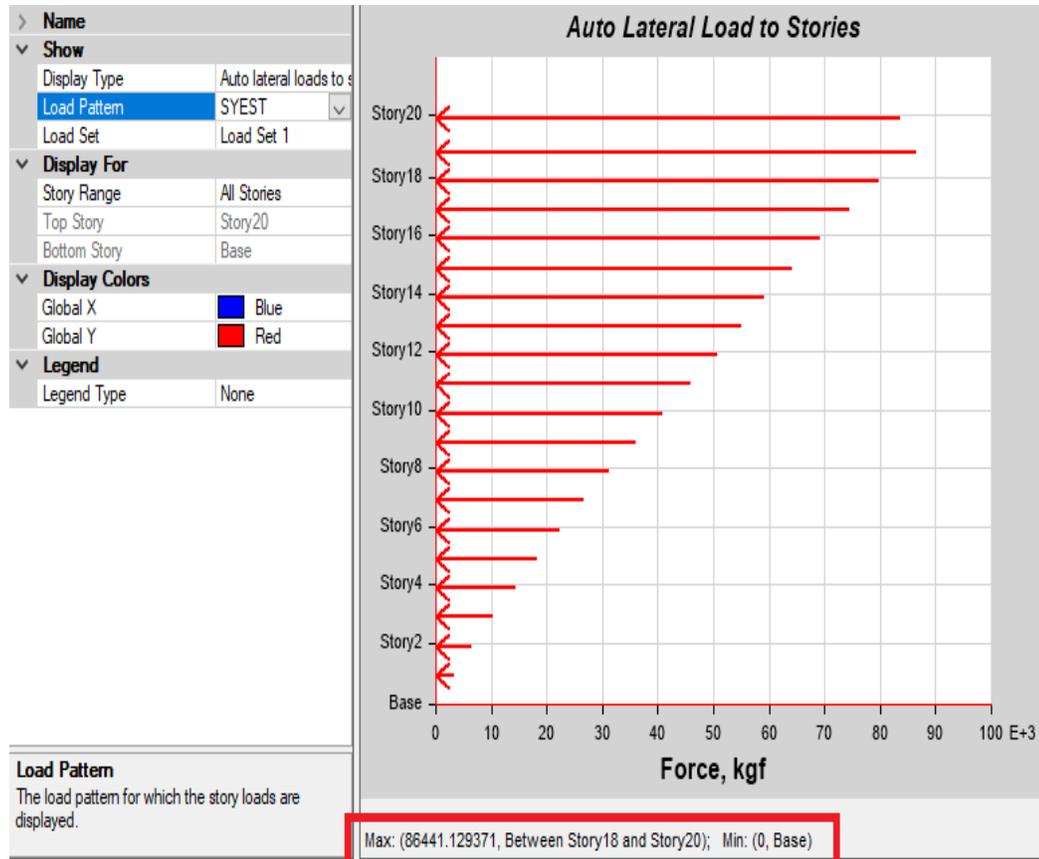
Distribución de Fuerza Sísmica en Altura en Dirección Y-Y

Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	H Acum.	Pi*H^K	ai	Fi (Ton)
Piso 20	426.118	3.000	54.600	53356.800	0.095	83.525
Piso 19	472.047	2.700	51.600	55208.970	0.098	86.424
Piso 18	465.388	2.700	48.900	51010.007	0.091	79.851
Piso 17	465.388	2.700	46.200	47628.853	0.085	74.558
Piso 16	465.388	2.700	43.500	44288.474	0.079	69.329
Piso 15	465.388	2.700	40.800	40990.865	0.073	64.167
Piso 14	465.388	2.700	38.100	37738.257	0.067	59.076
Piso 13	473.623	2.700	35.400	35144.224	0.063	55.015
Piso 12	481.512	2.700	32.700	32465.621	0.058	50.822
Piso 11	481.512	2.700	30.000	29257.096	0.052	45.799
Piso 10	481.512	2.700	27.300	26108.006	0.047	40.870
Piso 9	481.512	2.700	24.600	23022.975	0.041	36.040
Piso 8	481.512	2.700	21.900	20007.534	0.036	31.320
Piso 7	481.512	2.700	19.200	17068.428	0.030	26.719
Piso 6	481.512	2.700	16.500	14214.093	0.025	22.251
Piso 5	493.711	2.700	13.800	11745.649	0.021	18.387
Piso 4	506.423	2.700	11.100	9262.780	0.016	14.500
Piso 3	506.423	2.700	8.400	6615.780	0.012	10.356
Piso 2	506.423	2.700	5.700	4142.216	0.007	6.484
Piso 1	564.560	3.000	3.000	2127.326	0.004	3.330
ΣSUMA	9646.853			561403.954	1.000	878.824

Fuente: Elaboración propia

Figura 29:

Resultados de Distribución de Fuerzas Sísmicas en Altura en Dirección Y-Y



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

- **Excentricidad (e_i)**

Para cada dirección de análisis, la excentricidad accidental (ecuación 4.15 y 4.16) se considera 0.05 veces la dimensión del edificio en la dirección perpendicular a la dirección del análisis.

$$e_x = 0.05Ly \tag{4.15}$$

$$e_y = 0.05Lx \tag{4.16}$$

Calculo de excentricidad:

$$E_{x-x} = 0.05 * Ly = 0.05 * 29.2 m = 1.460 m$$

$$E_{y-y} = 0.05 * Lx = 0.05 * 30.24 m = 1.512 m$$

- **Momento torsor accidental (M_{ti})**

En el centro de masas de cada nivel, además de la fuerza lateral estática actuante, se aplicará un momento torsor accidental que se calcula como:

$$M_{ti} = \pm F_i \cdot e_i \quad (4.17)$$

A continuación, se muestra el análisis de momentos torsores por piso en ambas direcciones como se muestra en la siguiente Tabla N°15 y Tabla N° 16:

Tabla 15:

Distribución de Momento Torsor en Dirección X-X

Nivel	Fi-X (ton)	Excent. X (m)	Momento Torsor -X
Piso 20	59.29	1.46	86.56
Piso 19	60.45	1.46	88.25
Piso 18	55.07	1.46	80.40
Piso 17	50.66	1.46	73.96
Piso 16	46.36	1.46	67.69
Piso 15	42.20	1.46	61.61
Piso 14	38.16	1.46	55.71
Piso 13	34.85	1.46	50.89
Piso 12	31.53	1.46	46.04
Piso 11	27.78	1.46	40.56
Piso 10	24.19	1.46	35.31
Piso 9	20.75	1.46	30.30
Piso 8	17.49	1.46	25.54
Piso 7	14.42	1.46	21.05
Piso 6	11.54	1.46	16.84
Piso 5	9.10	1.46	13.28
Piso 4	6.78	1.46	9.89
Piso 3	4.50	1.46	6.57
Piso 2	2.54	1.46	3.71
Piso 1	1.10	1.46	1.61

Fuente: Elaboración propia

Figura 30:

Distribución de Momento Torsor en Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

Tabla 16:

Distribución de Momento Torsor en Dirección Y-Y

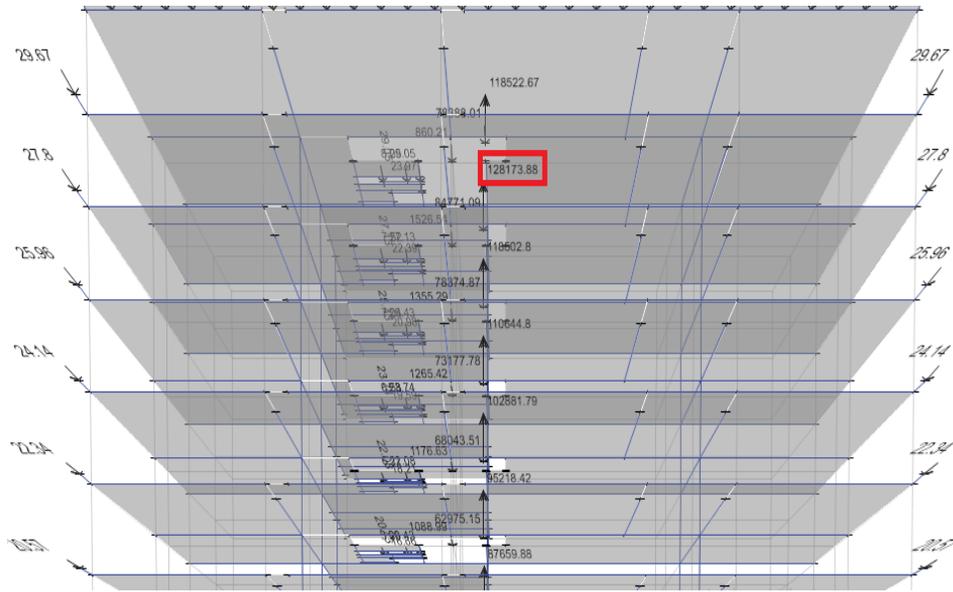
Nivel	Fi-Y (ton)	Excent-Y (m)	Momento Torsor -Y
Piso 20	83.54	1.51	126.15
Piso 19	86.44	1.51	130.53
Piso 18	79.86	1.51	120.60
Piso 17	74.57	1.51	112.60
Piso 16	69.34	1.51	104.70
Piso 15	64.17	1.51	96.90
Piso 14	59.08	1.51	89.21
Piso 13	55.02	1.51	83.07
Piso 12	50.82	1.51	76.74
Piso 11	45.80	1.51	69.15
Piso 10	40.86	1.51	61.71
Piso 9	36.03	1.51	54.41
Piso 8	31.31	1.51	47.28
Piso 7	26.71	1.51	40.33
Piso 6	22.24	1.51	33.59
Piso 5	18.38	1.51	27.75
Piso 4	14.49	1.51	21.88
Piso 3	10.35	1.51	15.63

Nivel	Fi-Y (ton)	Excent-Y (m)	Momento Torsor -Y
Piso 2	6.48	1.51	9.78
Piso 1	3.33	1.51	5.02

Fuente: Elaboración propia

Figura 31:

Distribución de Momento Torsor en Dirección Y-Y



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

4.3.2 Análisis Dinámico Modal Espectral (R=5.4)

- **Modos de Vibración**

Según la normativa vigente sismorresistente E.030, señala que los modos de vibración podrán determinarse de análisis que considere apropiadamente las características de rigidez y la distribución de las masas. En cada dirección se considerarán aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90% de la masa total. (NTP-E030, 2018). Por lo tanto, dicho esto se comprobó que se cumple esta premisa según se puede observar en la Tabla N°17, siendo los modos N°7, 9 y 11 en la dirección X, Y y Z respectivamente como se muestra a continuación:

Tabla 17:

Porcentajes de Masa Participativa

Modo	Periodo (seg)	% Masa Participante X-X	Σ Acumulado % X-X	% Masa Participante Y-Y	Σ Acumulado % Y-Y	Σ Acumula do % Z- Z
1	1.439	66.15%	66.15%	0.01%	0.01%	1.12%
2	0.915	0.00%	66.15%	64.13%	64.14%	1.23%
3	0.699	0.76%	66.91%	0.05%	64.19%	63.45%
4	0.371	16.52%	83.43%	0.00%	64.19%	63.80%
5	0.216	0.00%	83.43%	19.51%	83.70%	63.80%
6	0.172	6.46%	89.90%	0.00%	83.70%	64.31%
7	0.163	0.45%	90.35%	0.02%	83.72%	83.62%
8	0.108	3.33%	93.67%	0.00%	83.72%	83.68%
9	0.099	0.00%	93.67%	7.08%	90.80%	83.69%
10	0.077	1.57%	95.24%	0.00%	90.80%	83.83%
11	0.074	0.38%	95.62%	0.01%	90.80%	90.98%
12	0.062	0.00%	95.62%	3.27%	94.07%	90.98%
13	0.060	1.13%	96.76%	0.00%	94.07%	90.99%
14	0.049	0.77%	97.53%	0.00%	94.07%	91.03%
15	0.047	0.18%	97.71%	0.00%	94.07%	91.03%
16	0.045	0.00%	97.71%	1.81%	95.88%	91.04%
17	0.045	0.01%	97.71%	0.00%	95.88%	91.04%
18	0.045	0.00%	97.71%	0.00%	95.88%	91.04%
19	0.045	0.00%	97.71%	0.00%	95.88%	91.05%
20	0.045	0.00%	97.71%	0.00%	95.88%	91.05%
21	0.045	0.01%	97.72%	0.00%	95.88%	91.05%
22	0.045	0.00%	97.72%	0.01%	95.89%	91.05%
23	0.042	0.58%	98.30%	0.00%	95.89%	91.05%
24	0.037	0.36%	98.66%	0.00%	95.89%	91.05%
25	0.035	0.00%	98.66%	1.12%	97.01%	91.05%
26	0.034	0.07%	98.73%	0.03%	97.05%	91.08%
27	0.034	0.02%	98.75%	0.00%	97.05%	94.39%

Modo	Periodo (seg)	% Masa Participante X-X	Σ Acumulado % X-X	% Masa Participante Y-Y	Σ Acumulado % Y-Y	Σ Acumula do % Z- Z
28	0.034	0.00%	98.75%	0.00%	97.05%	94.39%
29	0.034	0.00%	98.76%	0.00%	97.05%	94.42%
30	0.033	0.02%	98.78%	0.00%	97.05%	94.42%
31	0.032	0.22%	99.00%	0.00%	97.05%	94.42%
32	0.029	0.21%	99.21%	0.00%	97.05%	94.42%
33	0.028	0.00%	99.21%	0.82%	97.87%	94.42%
34	0.027	0.06%	99.27%	0.00%	97.87%	94.43%
35	0.027	0.02%	99.29%	0.00%	97.87%	94.45%
36	0.027	0.12%	99.41%	0.00%	97.87%	94.46%
37	0.026	0.04%	99.45%	0.00%	97.87%	94.46%
38	0.025	0.12%	99.57%	0.00%	97.87%	94.46%
39	0.024	0.00%	99.57%	0.62%	98.49%	94.46%
40	0.024	0.03%	99.61%	0.00%	98.49%	94.46%
41	0.023	0.10%	99.71%	0.00%	98.49%	94.46%
42	0.021	0.08%	99.79%	0.00%	98.49%	94.46%
43	0.021	0.00%	99.79%	0.39%	98.88%	94.46%
44	0.019	0.12%	99.91%	0.00%	98.88%	94.46%
45	0.018	0.00%	99.91%	0.30%	99.18%	94.46%
46	0.018	0.03%	99.94%	0.00%	99.18%	94.46%
47	0.016	0.00%	99.94%	0.19%	99.36%	94.49%
48	0.016	0.04%	99.98%	0.00%	99.36%	96.32%
49	0.015	0.00%	99.98%	0.12%	99.49%	96.32%
50	0.014	0.00%	99.98%	0.19%	99.68%	96.33%
51	0.014	0.01%	99.99%	0.00%	99.68%	96.33%
52	0.013	0.00%	99.99%	0.15%	99.82%	96.33%
53	0.012	0.01%	100.00%	0.00%	99.82%	96.33%
54	0.011	0.00%	100.00%	0.12%	99.95%	96.33%
55	0.010	0.00%	100.00%	0.00%	99.95%	96.33%
56	0.009	0.00%	100.00%	0.05%	100.00%	96.33%

57	0.009	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%	96.33%
58	0.007	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%	96.33%
59	0.005	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%	96.33%
60	0.003	0.00%	100.00%	0.00%	100.00%	96.35%
		100.00%		100.02%		

Fuente: Elaboración propia

- **Aceleración Espectral**

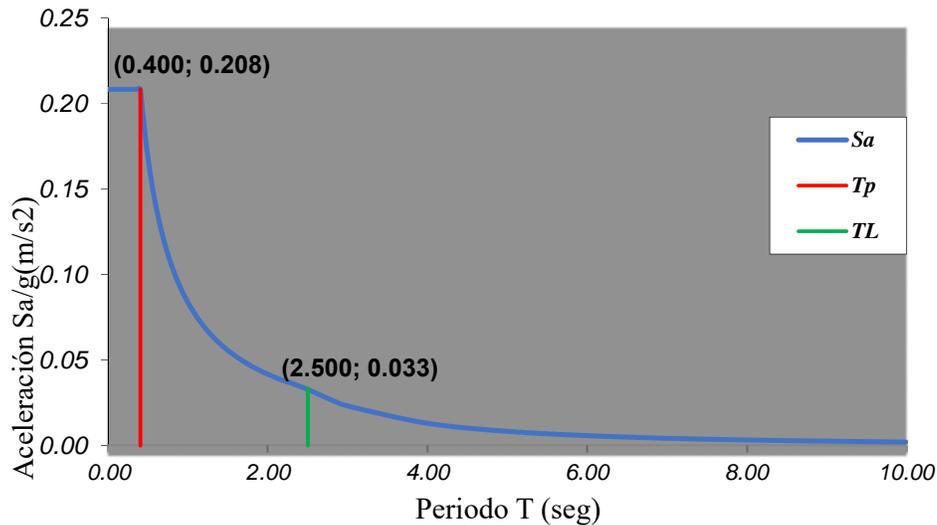
En el análisis dinámico se consideraron tres grados de libertad por piso, por lo tanto, para el análisis de este edificio de veinte niveles, se tendrán 60 modos de vibración. Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido en la ecuación 4.18:

$$S_a = \frac{Z \cdot U \cdot C \cdot S}{R} \cdot g \quad (4.18)$$

Todos los factores de la ecuación 4.18 son constantes (ver Tabla 12), a excepción de C (factor de amplificación sísmica). Entonces, usando las fórmulas 4.13a, 4.13b y 4.13c se puede obtener dicha ecuación de S_a en función del período T. Como los factores son iguales en ambas direcciones, se tendrá un solo espectro (ver Figura N°23).

Figura 32:

Gráfico del Espectro de Sismos de Diseño (S_a/g) ($R=5.4$)



Fuente: Elaboración propia

- **Fuerza Cortante Mínima**

La Norma E.030 menciona que la fuerza cortante del primer entrepiso del edificio no deberá ser menor al 80% de la cortante calculada en el análisis estático para estructuras regulares, ni menor que el 90% en el caso de estructuras irregulares. En caso no se cumpla este requerimiento, se deberá escalar proporcionalmente todos los resultados obtenidos, a excepción de los desplazamientos.

La fuerza cortante en la base de la estructura que se obtuvo en el análisis dinámico se encuentra en la Tabla N° 18. Como el edificio es irregular, esta fuerza cortante deberá ser mayor al 90% a la fuerza cortante estática (X=558.74 ton; Y=878.82 ton), si no cumple, se deberá usar el factor de escalamiento.

Tabla 18:

Fuerza Cortante Dinámica en la Base del Edificio

Caso	Sismo X-X (Ton)	Sismo Y-Y (Ton)
Sism. Din Escalado	527.466	709.846

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°19, se observa que la fuerza cortante del análisis dinámico en dirección Y es menor al 90% de la fuerza cortante del análisis estático, por lo que es necesario escalar el resultado en dicha dirección. Las cargas que se muestran en los siguientes capítulos de diseño ya se encuentran amplificadas por el factor de escalamiento de 1.000 en la dirección X-X y de 1.114 en la dirección Y-Y.

Tabla 19:

Cortante Mínima de Diseño en la Base

Caso	Dirección X-X (Ton)	Dirección Y-Y (Ton)
Sismo Estático	558.746	878.828
90% Sismo Estático	502.871	790.945
Sismo Din. X	527.466	709.846
%	94.402%	80.772%
Factor	1.000	1.114
Sism. Din Escalado	527.466	791.478

Fuente: Elaboración propia

- **Desplazamientos Laterales**

La Norma E.030 establece que los desplazamientos laterales se calculan multiplicando por $0.85 \cdot R$ los resultados obtenidos del análisis lineal con solicitaciones sísmicas reducidas. Esto se interpreta como los desplazamientos que tendría el edificio al entrar en el rango inelástico ante un sismo severo.

En la Tabla N°20, se muestran las derivas inelásticas calculadas mediante el análisis dinámico modal espectral en el Eje X-X y en el EJE Y-Y, en el cual se puede observar que la máxima deriva permitida no es excedida en todos los niveles tanto para el eje X como el eje Y. Por lo tanto, estaría cumpliendo con límites de distorsión impuestas por la norma sismorresistente E030 vigente.

Se obtuvieron los siguientes resultados de desplazamientos inelásticos y derivas:

Tabla 20:

Derivas Inelásticas para Modelo Sin Disipadores Eje X y Eje Y

Nivel	Derivas-X	Derivas-Y	Norma E.030	Obs.
Piso 20	0.00519	0.00443	0.007	Cumple
Piso 19	0.00560	0.00456	0.007	Cumple
Piso 18	0.00576	0.00465	0.007	Cumple
Piso 17	0.00591	0.00471	0.007	Cumple
Piso 16	0.00600	0.00474	0.007	Cumple
Piso 15	0.00605	0.00472	0.007	Cumple
Piso 14	0.00606	0.00466	0.007	Cumple
Piso 13	0.00594	0.00451	0.007	Cumple
Piso 12	0.00588	0.00441	0.007	Cumple
Piso 11	0.00579	0.00428	0.007	Cumple
Piso 10	0.00567	0.00412	0.007	Cumple
Piso 9	0.00551	0.00393	0.007	Cumple
Piso 8	0.00531	0.00369	0.007	Cumple
Piso 7	0.00505	0.00342	0.007	Cumple
Piso 6	0.00471	0.00308	0.007	Cumple
Piso 5	0.00409	0.00264	0.007	Cumple
Piso 4	0.00361	0.00228	0.007	Cumple
Piso 3	0.00302	0.00188	0.007	Cumple

Nivel	Derivas-X	Derivas-Y	Norma E.030	Obs.
Piso 2	0.00232	0.00142	0.007	Cumple
Piso 1	0.00122	0.00075	0.007	Cumple

Fuente: Elaboración propia

4.3.3 Análisis Dinámico Modal Espectral (R=1.0)

A continuación, se realizará el análisis dinámico espectral de la edificación calculando las derivas de entre piso considerando un coeficiente de reducción sísmica (R) igual a la unidad, esta reducción del valor de R se justifica y realiza para que nuestro edificio entre en un rango inelástico ante un sismo severo.

Es importante tener en cuenta que los desplazamientos laterales calculados en el análisis presentado ya no serán multiplicados por el factor $0.85 \cdot R$ si no simplemente por la unidad.

Adicional se presentará el método de análisis tiempo historia para introducir registros sísmicos de sismos severos en lugares cerca al proyecto en mención. La función de estos registros es la de reflejar la realidad del proyecto, considerando datos tomados en suelos con características similares al suelo donde se plantará la cimentación. Se utilizarán 3 registros sísmicos en sus 2 componentes horizontales.

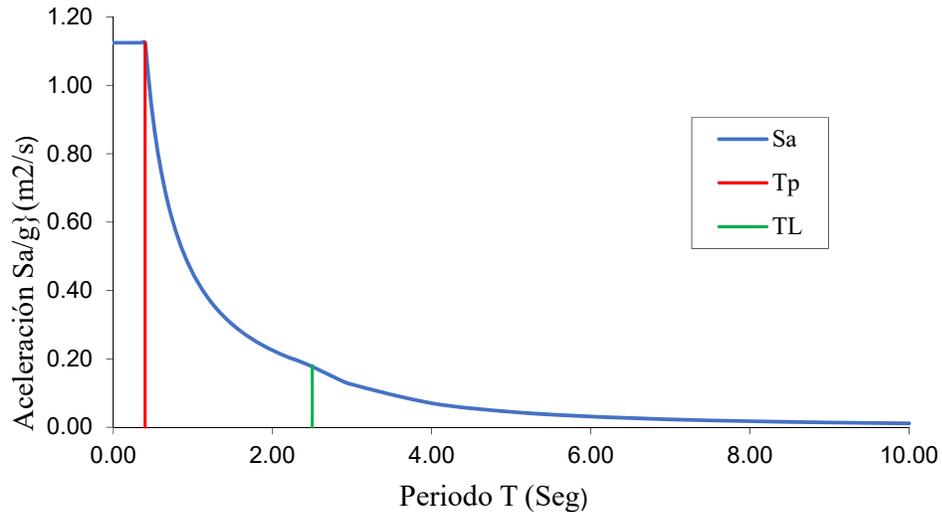
La norma peruana E-030 menciona que, por cada par de componentes horizontales de movimiento de suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, considerando 5% de amortiguamiento.

Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de periodos entre $0.2 T$ y $1.5 T$ (siendo T el periodo fundamental), el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registro no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el coeficiente de reducción sísmica igual a la unidad ($R=1$).

- **Gráfico Del Espectro De Sismos De Diseño (Sa/g) (R=1)**

Figura 33:

Gráfico del Espectro de Sismos de Diseño (Sa/g) (R=1.0)



Fuente: Elaboración propia

- **Derivas de entre piso considerando R=1.**

A continuación, se presentan los desplazamientos y distorsiones obtenidas del análisis dinámico espectral en ambas direcciones.

En la siguiente Tabla 21, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E-030 cuando se esfuerza el modelo con un espectro de pseudo-aceleraciones con R=1 en los pisos 9-19 en la dirección X.

Tabla 21:

Derivas Inelásticas para Modelo con R=1.0 en el Eje X

Piso	Desplazamiento del C.M. X-X	Drift	Norma	Cumple
20	0.2794	0.0066	0.0070	SI
19	0.2652	0.0071	0.0070	NO
18	0.2501	0.0074	0.0070	NO
17	0.2347	0.0076	0.0070	NO
16	0.2189	0.0077	0.0070	NO

Piso	Desplazamiento del C.M. X-X	Drift	Norma	Cumple
15	0.2028	0.0078	0.0070	NO
14	0.1866	0.0078	0.0070	NO
13	0.1701	0.0076	0.0070	NO
12	0.1537	0.0075	0.0070	NO
11	0.1373	0.0074	0.0070	NO
10	0.1210	0.0073	0.0070	NO
9	0.1047	0.0071	0.0070	NO
8	0.0888	0.0069	0.0070	SI
7	0.0732	0.0066	0.0070	SI
6	0.0581	0.0061	0.0070	SI
5	0.0440	0.0053	0.0070	SI
4	0.0315	0.0047	0.0070	SI
3	0.0205	0.0040	0.0070	SI
2	0.0113	0.0031	0.0070	SI
1	0.0041	0.0016	0.0070	SI

Fuente: Elaboración propia

En la siguiente Tabla 22, se observa que el modelo cumple con la verificación de la norma E.-030 cuando se esfuerza el modelo con un espectro de pseudo-aceleraciones con R=1 en todos los niveles en la dirección Y.

Tabla 22:

Derivas Inelásticas para Modelo con R=1.0 en el Eje Y

Piso	Desplazamiento del C.M. Y-Y	Drift	Norma	Cumple
20	0.1820	0.0049	0.0070	SI
19	0.1698	0.0051	0.0070	SI
18	0.1585	0.0051	0.0070	SI
17	0.1471	0.0052	0.0070	SI
16	0.1356	0.0052	0.0070	SI

Piso	Desplazamiento del C.M. Y-Y	Drift	Norma	Cumple
15	0.1240	0.0052	0.0070	SI
14	0.1124	0.0051	0.0070	SI
13	0.1009	0.0050	0.0070	SI
12	0.0897	0.0048	0.0070	SI
11	0.0788	0.0047	0.0070	SI
10	0.0681	0.0045	0.0070	SI
9	0.0579	0.0043	0.0070	SI
8	0.0481	0.0040	0.0070	SI
7	0.0388	0.0037	0.0070	SI
6	0.0303	0.0033	0.0070	SI
5	0.0226	0.0028	0.0070	SI
4	0.0159	0.0024	0.0070	SI
3	0.0102	0.0020	0.0070	SI
2	0.0055	0.0015	0.0070	SI
1	0.0020	0.0008	0.0070	SI

Fuente: Elaboración propia

4.3.4 Escalamiento de Acelerogramas al Espectro de Diseño.

Los registros sísmicos o acelerogramas han sido obtenidos y provistos del REDACIS (Red Acelerográfica del CISMID). En este caso debido a que la edificación se ubica en la ciudad de Lima, en el distrito de Jesús María, sobre un suelo de grava de buena calidad, los registros sísmicos se tomaron considerando una estación con estas mismas características (Suelo S1 según la norma E-030), para nuestro caso se escogió la estación del Parque de la Reserva (Estación P.R), el cual, según el CISMID, se considera una estación histórica, encontrando en ella registros con muchos años de antigüedad y gran magnitud.

Tabla 23:

Ubicación de la Estación y Sismos Escogidos para Análisis

Sismo	Ubicación de la Estación	Tipo de Suelo
17 de octubre de 1966 (Huaral)	Parque de la Reserva	Grava gruesa (S1)
31 de mayo de 1970 (Áncash)	Parque de la Reserva	Grava gruesa (S1)
03 de octubre de 1974 (Ica)	Parque de la Reserva	Grava gruesa (S1)

Fuente: Elaboración propia

Los siguientes sismos presentaron los siguientes acelerogramas que serán escalados siguiente los lineamientos de la norma E-030, utilizando el software: SeismoMatch v4.1 2018.

Tabla 24:

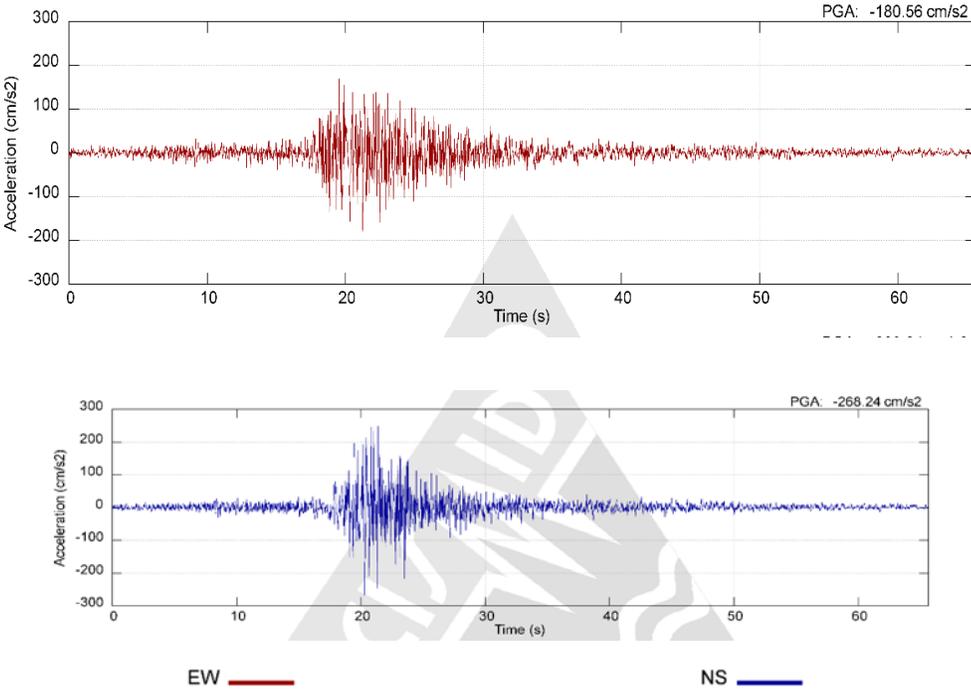
Registros Sísmicos Considerados para el Análisis

Estación	Fecha	Comp.	Acel. máx. (cm/s ²)	Duración (seg)	Magn.
Lima - P. R	17/10/1966	EW	180.56	65.64	8.1
		NS	268.24		Mw
Lima - P. R	31/05/1970	EW	105.05	45.08	6.6
		NS	97.81		Mb
Lima - P. R	03/10/1974	EW	194.21	97.96	6.6
		NS	180.09		Mb

Fuente: Elaboración propia.

Figura 34:

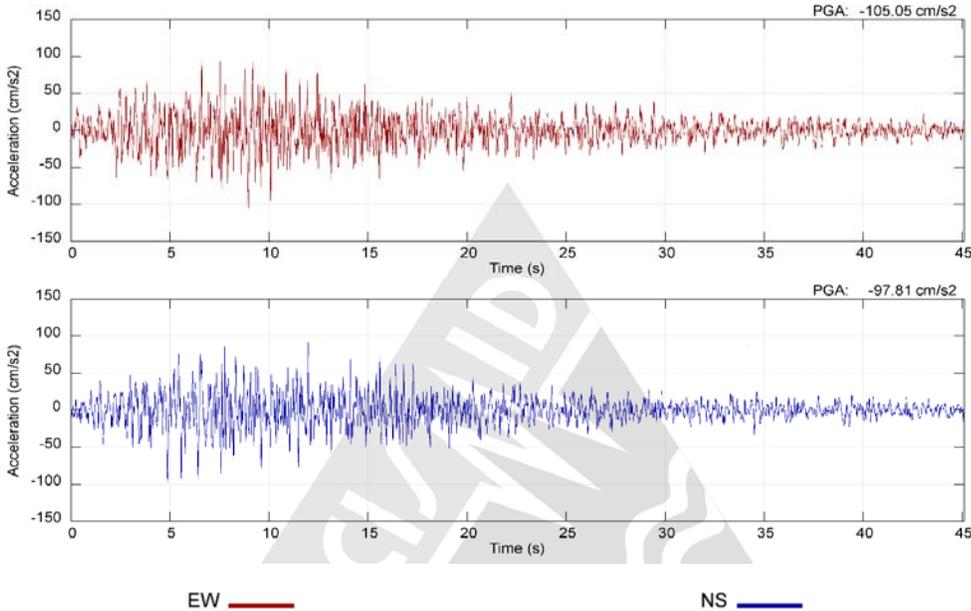
Accelerograma Sismo Hualal 1996/10/17 – 16:41:00



Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

Figura 35:

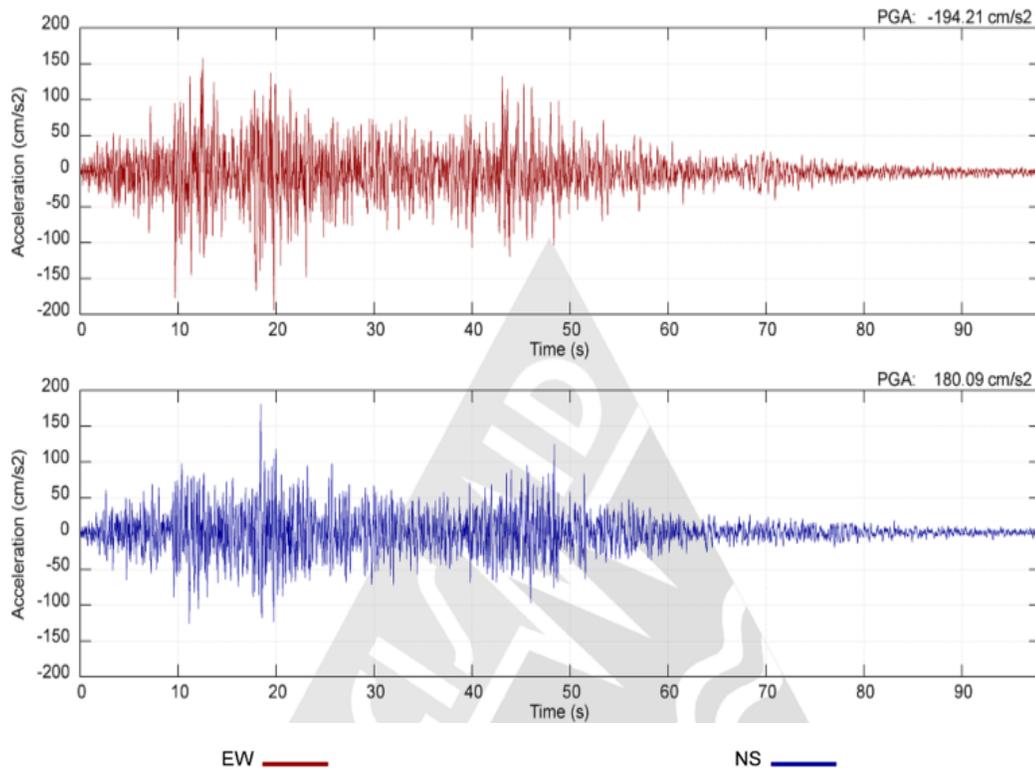
Accelerograma Sismo Áncash 1970/05/31 – 15:23:00



Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

Figura 36:

Acelerograma Sismo Lima-Ica 1974/10/03 – 09:21:00



Fuente: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID)

4.3.5 Análisis Lineal Tiempo Historia.

Los registros sísmicos que han sido tomados en sus dos componentes (EW y NS) de manera que nuestro análisis tiempo historia analizara dos casos por separados, el **CASO 1**, cuando la componente EW del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X de la estructura mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente NS y el **CASO 2** donde la componente NS del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente EW.

A continuación, se muestran los desplazamientos y las distorsiones de entrepiso para cada caso de análisis según los sismos de 1966, 1970 y 1974.

En la siguiente Tabla 25, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E.030 cuando se esfuerza el modelo con un Sismo de Diseño Huaral 1966 – Caso 1 entre los pisos 9-17 en la dirección X.

Tabla 25:

Sismo de 17 de octubre de 1966 (Huaral), caso 1: Dirección X – componente EW/
Dirección Y – componente NS.

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.2863	0.0061	0.1654	0.0041
19	0.2714	0.0065	0.1543	0.0043
18	0.2557	0.0067	0.1441	0.0044
17	0.2396	0.0070	0.1337	0.0044
16	0.2228	0.0072	0.1231	0.0045
15	0.2055	0.0074	0.1124	0.0045
14	0.1878	0.0075	0.1017	0.0044
13	0.1699	0.0075	0.0911	0.0043
12	0.1520	0.0075	0.0808	0.0042
11	0.1342	0.0074	0.0707	0.0040
10	0.1165	0.0072	0.0609	0.0038
9	0.0993	0.0070	0.0515	0.0036
8	0.0827	0.0066	0.0425	0.0033
7	0.0669	0.0062	0.0341	0.0030
6	0.0521	0.0057	0.0265	0.0027
5	0.0386	0.0048	0.0196	0.0023
4	0.0273	0.0042	0.0143	0.0021
3	0.0175	0.0034	0.0095	0.0018
2	0.0094	0.0025	0.0053	0.0014
1	0.0034	0.0013	0.0020	0.0008

Fuente: Elaboración propia

Tabla 26:

Sismo de 17 de octubre de 1966 (Huaral), caso 2: Dirección X – componente NS /
Dirección Y – componente EW.

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.1280	0.0040	0.1571	0.0043
19	0.1202	0.0045	0.1466	0.0044
18	0.1135	0.0047	0.1368	0.0045
17	0.1073	0.0049	0.1269	0.0046
16	0.1012	0.0049	0.1169	0.0046
15	0.0964	0.0047	0.1067	0.0046
14	0.0915	0.0040	0.0966	0.0046
13	0.0861	0.0039	0.0865	0.0045
12	0.0801	0.0037	0.0767	0.0043
11	0.0735	0.0036	0.0671	0.0042
10	0.0663	0.0036	0.0578	0.0040
9	0.0585	0.0037	0.0489	0.0038
8	0.0502	0.0038	0.0403	0.0035
7	0.0415	0.0037	0.0324	0.0033
6	0.0328	0.0036	0.0251	0.0029
5	0.0244	0.0031	0.0186	0.0025
4	0.0173	0.0027	0.0130	0.0021
3	0.0116	0.0023	0.0082	0.0017
2	0.0066	0.0017	0.0044	0.0013
1	0.0026	0.0010	0.0017	0.0006

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 27, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E.030 cuando se esfuerza el modelo con un Sismo de Diseño Ancash 1970 – Caso 1 entre los pisos 6 y piso 18 en la dirección X.

Tabla 27:

Sismo de 31 de Mayo de 1970 (Ancash), caso 1: Dirección X – Componente EW /
Dirección Y – Componente NS.

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.3146	0.0066	0.1811	0.0050
19	0.3001	0.0070	0.1699	0.0051
18	0.2850	0.0072	0.1595	0.0052
17	0.2695	0.0075	0.1490	0.0053
16	0.2534	0.0077	0.1383	0.0053
15	0.2367	0.0079	0.1273	0.0053
14	0.2195	0.0080	0.1161	0.0052
13	0.2014	0.0079	0.1048	0.0051
12	0.1829	0.0079	0.0935	0.0051
11	0.1639	0.0080	0.0823	0.0050
10	0.1444	0.0081	0.0713	0.0049
9	0.1248	0.0081	0.0605	0.0047
8	0.1053	0.0080	0.0501	0.0044
7	0.0861	0.0076	0.0403	0.0041
6	0.0677	0.0071	0.0312	0.0037
5	0.0506	0.0061	0.0230	0.0032
4	0.0359	0.0054	0.0161	0.0027
3	0.0231	0.0044	0.0103	0.0022
2	0.0124	0.0033	0.0055	0.0017
1	0.0045	0.0017	0.0019	0.0009

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 28, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E.030 cuando se esfuerza el modelo con un Sismo de Diseño Ancash 1970 – Caso 1 entre los pisos 10 y piso 20 en la dirección X.

Tabla 28:

Sismo de 31 de Mayo de 1970 (Ancash), caso 2: Dirección X – Componente NS /
Dirección Y – Componente EW..

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.2703	0.0073	0.1832	0.0052
19	0.2558	0.0079	0.1709	0.0054
18	0.2405	0.0082	0.1595	0.0055
17	0.2246	0.0084	0.1479	0.0056
16	0.2084	0.0084	0.1361	0.0057
15	0.1926	0.0084	0.1242	0.0057
14	0.1768	0.0081	0.1122	0.0057
13	0.1607	0.0076	0.1006	0.0056
12	0.1447	0.0071	0.0893	0.0055
11	0.1286	0.0071	0.0784	0.0053
10	0.1124	0.0071	0.0683	0.0051
9	0.0964	0.0069	0.0584	0.0049
8	0.0805	0.0067	0.0489	0.0045
7	0.0686	0.0063	0.0399	0.0042
6	0.0561	0.0058	0.0314	0.0037
5	0.0434	0.0048	0.0237	0.0031
4	0.0319	0.0045	0.0169	0.0028
3	0.0212	0.0039	0.0109	0.0023
2	0.0119	0.0031	0.0059	0.0018
1	0.0045	0.0017	0.0021	0.0009

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 29, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E.030 cuando se esfuerza el modelo con un Sismo de Diseño Ica 1974 – Caso 1 entre los pisos 7 y piso 19 en la dirección X.

Tabla 29:

Sismo del 17 de octubre de 1974 (Ica), Caso 1 : Dirección X – Componente EW /
Dirección Y – Componente NS.

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.3200	0.0069	0.1633	0.0042
19	0.3033	0.0074	0.1512	0.0043
18	0.2858	0.0076	0.1400	0.0044
17	0.2679	0.0078	0.1289	0.0045
16	0.2498	0.0080	0.1178	0.0045
15	0.2315	0.0081	0.1082	0.0045
14	0.2129	0.0083	0.0986	0.0044
13	0.1938	0.0082	0.0904	0.0042
12	0.1747	0.0082	0.0819	0.0040
11	0.1555	0.0081	0.0734	0.0039
10	0.1363	0.0079	0.0648	0.0037
9	0.1172	0.0078	0.0560	0.0036
8	0.0985	0.0075	0.0473	0.0035
7	0.0805	0.0072	0.0389	0.0034
6	0.0634	0.0066	0.0308	0.0031
5	0.0474	0.0057	0.0234	0.0027
4	0.0336	0.0050	0.0168	0.0024
3	0.0215	0.0041	0.0110	0.0020
2	0.0116	0.0031	0.0060	0.0016
1	0.0041	0.0016	0.0022	0.0008

Fuente: Elaboración propia.

En la Tabla 30, se observa que el modelo presenta un incumplimiento con la verificación de la norma E.030 cuando se esfuerza el modelo con un Sismo de Diseño Ica 1974 – Caso 1 entre los pisos 8 y piso 19 en la dirección X.

Tabla 30:

Sismo del 17 de octubre de 1974 (Ica), Caso 2 : Dirección X – Componente NS /
Dirección Y – Componente EW.

Piso	Desplazamiento del C.M X– X (m)	Distorsión en X	Desplazamiento del C.M – Y (m)	Distorsión en Y
20	0.2853	0.0068	0.1837	0.0045
19	0.2718	0.0074	0.1711	0.0046
18	0.2578	0.0076	0.1595	0.0047
17	0.2433	0.0077	0.1478	0.0048
16	0.2280	0.0078	0.1363	0.0048
15	0.2119	0.0079	0.1247	0.0048
14	0.1950	0.0078	0.1132	0.0047
13	0.1773	0.0076	0.1023	0.0045
12	0.1595	0.0076	0.0915	0.0044
11	0.1414	0.0076	0.0813	0.0043
10	0.1234	0.0075	0.0712	0.0040
9	0.1060	0.0073	0.0611	0.0038
8	0.0892	0.0070	0.0513	0.0036
7	0.0730	0.0065	0.0419	0.0033
6	0.0574	0.0060	0.0329	0.0031
5	0.0431	0.0052	0.0247	0.0027
4	0.0313	0.0045	0.0175	0.0024
3	0.0206	0.0039	0.0113	0.0020
2	0.0114	0.0030	0.0061	0.0015
1	0.0042	0.0016	0.0022	0.0008

Fuente: Elaboración propia

A continuación, se muestra la Tabla N° 31 como resumen de los sismos en estudio cada uno con dos casos en análisis en dirección X y Y para considerar en nuestro diseño de disipadores de fluido viscoso.

Las distorsiones obtenidas con el análisis tiempo-historia (en cada caso de análisis) se asemejan a las distorsiones obtenidas en el análisis dinámico espectral con $R=1$, lo que demuestra que el escalamiento de los registros sísmicos (en sus dos componentes) se realizó correctamente.

Tabla 31:

Distorsiones Obtenidas en X-X (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)

Piso	A.D.	Huaral 1966		Ancash 1970		Ica 1974	
	Espectral	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Piso 20	0.0052	0.0061	0.004	0.0066	0.0073	0.0069	0.0068
Piso 19	0.0056	0.0065	0.0045	0.0070	0.0079	0.0074	0.0074
Piso 18	0.0058	0.0067	0.0047	0.0072	0.0082	0.0076	0.0076
Piso 17	0.0059	0.007	0.0049	0.0075	0.0084	0.0078	0.0077
Piso 16	0.0060	0.0072	0.0049	0.0077	0.0084	0.008	0.0078
Piso 15	0.0061	0.0074	0.0047	0.0079	0.0084	0.0081	0.0079
Piso 14	0.0061	0.0075	0.004	0.008	0.0081	0.0083	0.0078
Piso 13	0.0059	0.0075	0.0039	0.0079	0.0076	0.0082	0.0076
Piso 12	0.0059	0.0075	0.0037	0.0079	0.0071	0.0082	0.0076
Piso 11	0.0058	0.0074	0.0036	0.0080	0.0071	0.0081	0.0076
Piso 10	0.0057	0.0072	0.0036	0.0081	0.0071	0.0079	0.0075
Piso 9	0.0055	0.007	0.0037	0.0081	0.0069	0.0078	0.0073
Piso 8	0.0053	0.0066	0.0038	0.008	0.0067	0.0075	0.007
Piso 7	0.0051	0.0062	0.0037	0.0076	0.0063	0.0072	0.0065
Piso 6	0.0047	0.0057	0.0036	0.0071	0.0058	0.0066	0.006
Piso 5	0.0041	0.0048	0.0031	0.0061	0.0048	0.0057	0.0052
Piso 4	0.0036	0.0042	0.0027	0.0054	0.0045	0.005	0.0045
Piso 3	0.0030	0.0034	0.0023	0.0044	0.0039	0.0041	0.0039
Piso 2	0.0023	0.0025	0.0017	0.0033	0.0031	0.0031	0.003
Piso 1	0.0012	0.0013	0.001	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016

Fuente: Elaboración propia

Tabla 32:

Distorsiones Obtenidas en Y-Y (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)

Piso	A.D.	Huaral 1966		Ancash 1970		Ica 1974	
	Espectral	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Piso 20	0.00443	0.0041	0.0043	0.005	0.0052	0.0042	0.0045
Piso 19	0.00456	0.0043	0.0044	0.0051	0.0054	0.0043	0.0046
Piso 18	0.00465	0.0044	0.0045	0.0052	0.0055	0.0044	0.0047
Piso 17	0.00471	0.0044	0.0046	0.0053	0.0056	0.0045	0.0048
Piso 16	0.00474	0.0045	0.0046	0.0053	0.0057	0.0045	0.0048
Piso 15	0.00472	0.0045	0.0046	0.0053	0.0057	0.0045	0.0048
Piso 14	0.00466	0.0044	0.0046	0.0052	0.0057	0.0044	0.0047
Piso 13	0.00451	0.0043	0.0045	0.0051	0.0056	0.0042	0.0045
Piso 12	0.00441	0.0042	0.0043	0.0051	0.0055	0.004	0.0044
Piso 11	0.00428	0.004	0.0042	0.005	0.0053	0.0039	0.0043
Piso 10	0.00412	0.0038	0.004	0.0049	0.0051	0.0037	0.004
Piso 9	0.00393	0.0036	0.0038	0.0047	0.0049	0.0036	0.0038
Piso 8	0.00369	0.0033	0.0035	0.0044	0.0045	0.0035	0.0036
Piso 7	0.00342	0.003	0.0033	0.0041	0.0042	0.0034	0.0033
Piso 6	0.00308	0.0027	0.0029	0.0037	0.0037	0.0031	0.0031
Piso 5	0.00264	0.0023	0.0025	0.0032	0.0031	0.0027	0.0027
Piso 4	0.00228	0.0021	0.0021	0.0027	0.0028	0.0024	0.0024
Piso 3	0.00188	0.0018	0.0017	0.0022	0.0023	0.002	0.002
Piso 2	0.00142	0.0014	0.0013	0.0017	0.0018	0.0016	0.0015
Piso 1	0.00075	0.0008	0.0006	0.0009	0.0009	0.0008	0.0008

Fuente: Elaboración propia

4.3.6 Determinación del sismo de diseño

En las siguientes tabla N°33 y tabla N° 34 se muestran las variaciones que presentan las distorsiones calculadas en cada caso de análisis con respecto a las distorsiones obtenidas del análisis dinámico espectral. Según los especialistas de CDV Ingeniería Antisísmica como criterio adicional se recomienda descartar aquellos casos en los cuales esta variación sea mayor o igual a 1.5(%) en cualquiera de las direcciones (sea X o Y).

Tabla 33:

Variaciones entre las Derivas Obtenidas en X-X (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)

Piso	Huaral 1966		Ancash 1970		Ica 1974	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Piso 20	-0.0009	0.0012	-0.0014	-0.0021	-0.0017	-0.0016
Piso 19	-0.0009	0.0011	-0.0014	-0.0023	-0.0018	-0.0018
Piso 18	-0.0009	0.0011	-0.0014	-0.0024	-0.0018	-0.0018
Piso 17	-0.0011	0.0010	-0.0016	-0.0025	-0.0019	-0.0018
Piso 16	-0.0012	0.0011	-0.0017	-0.0024	-0.0020	-0.0018
Piso 15	-0.0014	0.0014	-0.0019	-0.0024	-0.0021	-0.0019
Piso 14	-0.0014	0.0021	-0.0019	-0.0020	-0.0022	-0.0017
Piso 13	-0.0014	0.0020	-0.0020	-0.0017	-0.0023	-0.0017
Piso 12	-0.0014	0.0022	-0.0020	-0.0012	-0.0023	-0.0017
Piso 11	-0.0014	0.0022	-0.0022	-0.0013	-0.0023	-0.0018
Piso 10	-0.0013	0.0021	-0.0024	-0.0014	-0.0022	-0.0018
Piso 9	-0.0013	0.0018	-0.0026	-0.0014	-0.0023	-0.0018
Piso 8	-0.0013	0.0015	-0.0027	-0.0014	-0.0022	-0.0017
Piso 7	-0.0012	0.0014	-0.0026	-0.0013	-0.0022	-0.0015
Piso 6	-0.0010	0.0011	-0.0024	-0.0011	-0.0019	-0.0013
Piso 5	-0.0007	0.0010	-0.0020	-0.0007	-0.0016	-0.0011
Piso 4	-0.0006	0.0009	-0.0018	-0.0009	-0.0014	-0.0009
Piso 3	-0.0004	0.0007	-0.0014	-0.0009	-0.0011	-0.0009
Piso 2	-0.0002	0.0006	-0.0010	-0.0008	-0.0008	-0.0007
Piso 1	-0.0001	0.0002	-0.0005	-0.0005	-0.0004	-0.0004

Fuente: Elaboración propia

Tabla 34:

Variaciones entre las Distorsiones Obtenidas en Y-Y (Dinámico Espectral y Tiempo-Historia)

Piso	Huaral 1966		Ancash 1970		Ica 1974	
	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2	Caso 1	Caso 2
Piso 20	0.00033	0.00013	-0.00057	-0.00077	0.00023	-7E-05
Piso 19	0.00026	0.00016	-0.00054	-0.00084	0.00026	-4E-05
Piso 18	0.00025	0.00015	-0.00055	-0.00085	0.00025	-5E-05
Piso 17	0.00031	0.00011	-0.00059	-0.00089	0.00021	-9E-05
Piso 16	0.00024	0.00014	-0.00056	-0.00096	0.00024	-6E-05
Piso 15	0.00022	0.00012	-0.00058	-0.00098	0.00022	-8E-05
Piso 14	0.00026	6E-05	-0.00054	-0.00104	0.00026	-4E-05
Piso 13	0.00021	1E-05	-0.00059	-0.00109	0.00031	1E-05
Piso 12	0.00021	0.00011	-0.00069	-0.00109	0.00041	1E-05
Piso 11	0.00028	8E-05	-0.00072	-0.00102	0.00038	-2E-05
Piso 10	0.00032	0.00012	-0.00078	-0.00098	0.00042	0.00012
Piso 9	0.00033	0.00013	-0.00077	-0.00097	0.00033	0.00013
Piso 8	0.00039	0.00019	-0.00071	-0.00081	0.00019	9E-05
Piso 7	0.00042	0.00012	-0.00068	-0.00078	2E-05	0.00012
Piso 6	0.00038	0.00018	-0.00062	-0.00062	-2E-05	-2E-05
Piso 5	0.00034	0.00014	-0.00056	-0.00046	-6E-05	-6E-05
Piso 4	0.00018	0.00018	-0.00042	-0.00052	-0.00012	-0.00012
Piso 3	0.00008	0.00018	-0.00032	-0.00042	-0.00012	-0.00012
Piso 2	2E-05	0.00012	-0.00028	-0.00038	-0.00018	-0.00008
Piso 1	-0.00005	0.00015	-0.00015	-0.00015	-0.00005	0.00008

Fuente: Elaboración propia

Se descartan los sismos de Ancash 1970 e Ica 1974 en sus dos casos de análisis, quedando así el sismo de Huaral 1966 caso 1 por ser el que presenta menores variaciones con respecto al comportamiento esperado. Con este sismo se calcularon las propiedades del disipador viscoso.

- Sismo de diseño : Huaral 1966 – Caso de análisis 1
- Distorsión Máxima en X : 7.5‰
- Distorsión Máxima en Y : 4.5‰.

CAPÍTULO V: ANALISIS Y DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DUAL DE 20 PISOS CON DISIPADORES

5.1 Determinación de los Objetivos de Diseño

Según la clasificación del Seismology Committee Structural Engineers Association of California (SEAOC), la estructura de la investigación clasifica como una Estructura Básica. Para lo cual elegimos como sismo de diseño uno con un periodo de retorno de 475 años, aceptándose un daño moderado en la estructura.

Según el capítulo 5 de Multihazard Loss Estimation Methodology (HAZUS) en la Tabla 5.1 Model Building types especifica los tipos de sistemas estructurales y el rango para categorizarlo de acuerdo a su altura. En el caso específico del modelo en estudio para una edificación dual y con 20 pisos de altura le corresponde una clasificación C1H Concrete Moment Frame, y según su altura High – Rise.

Con el objetivo de un estado de daño moderado luego de ocurrido el sismo raro, según la clasificación C1H y diseñado con un código sísmico moderado la tabla 5.9b de Multihazard Loss Estimation Methodology expone los valores máximos de derivas permisible, para este caso en específico sería de 0.0043.

Para este trabajo se consideró como distorsión objetivo el valor de 7‰, es decir, la distorsión máxima permitida para estructuras de concreto armado tal como lo indica la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente. Los cálculos se realizaron solo para el eje X, en donde la distorsión máxima (7.5‰) es superior a la permitida; el eje YY por tener una distorsión de 4.5‰ no requiere de disipadores.

Para calcular el amortiguamiento viscoso necesario para llegar a la distorsión objetivo (7‰) se calcula el amortiguamiento efectivo.

5.2 Amortiguamiento Efectivo o Factor de Reducción de Respuesta

En base a las máximas derivas de entrepiso obtenidas de los análisis tiempo historial, se calcula la reducción de la respuesta mediante el cociente:

$$B = \frac{D_{m\acute{a}x}}{D_{objetivo}} \quad (5.1)$$

Por lo tanto, tenemos:

$$B_{xx} = \frac{0.0075}{0.007} = 1.071$$

Con ello se procede a calcular el amortiguamiento efectivo que debe desarrollar la estructura para cumplir con la deriva objetivo.

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_o)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})} \quad (5.2)$$

Donde β_o es el **amortiguamiento inherente** de la estructura que usualmente se fija en 5% para estructuras de concreto armado.

$$\beta_{effx-x} = 6.53\%$$

Para obtener el amortiguamiento con el cual se va a diseñar los disipadores de fluido viscoso se resta el 5% del amortiguamiento inherente para lo cual obtenemos:

$$\beta_{H:viscoso X} = 1.53\%$$

Según los fabricantes, se recomienda que los disipadores de energía viscosos sean diseñados teniendo en consideración para el cálculo un amortiguamiento viscoso β_H entre el 20% y 40%.

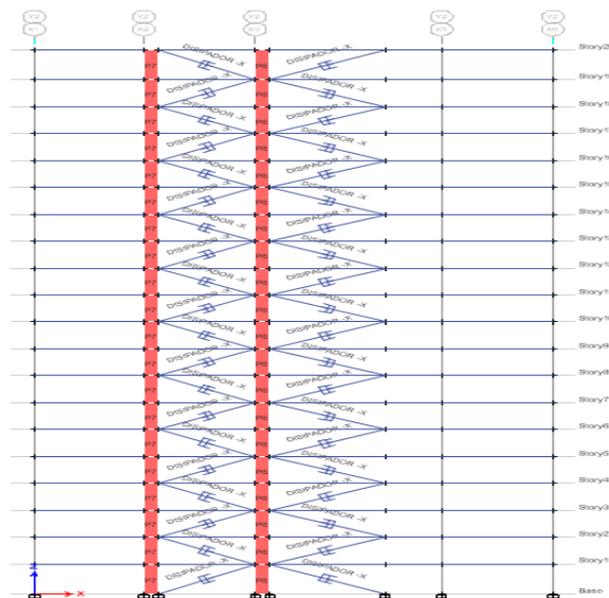
Por lo tanto, el amortiguamiento viscoso que se consideró es de $\beta_{Hxx} = 22\%$

5.3 Ubicación de los Dispositivos de Disipación de Energía

El proceso de la elección del número de disipadores y la ubicación es un proceso iterativo, por lo cual en esta investigación se considera la siguiente alternativa: 2 dispositivos por piso en configuración Diagonal ubicados en los pórticos centrales cuidando la simetría y la regularidad entre ellos. Finalmente, la ubicación de los dispositivos se muestra en las Figuras 37-38.

Figura 37:

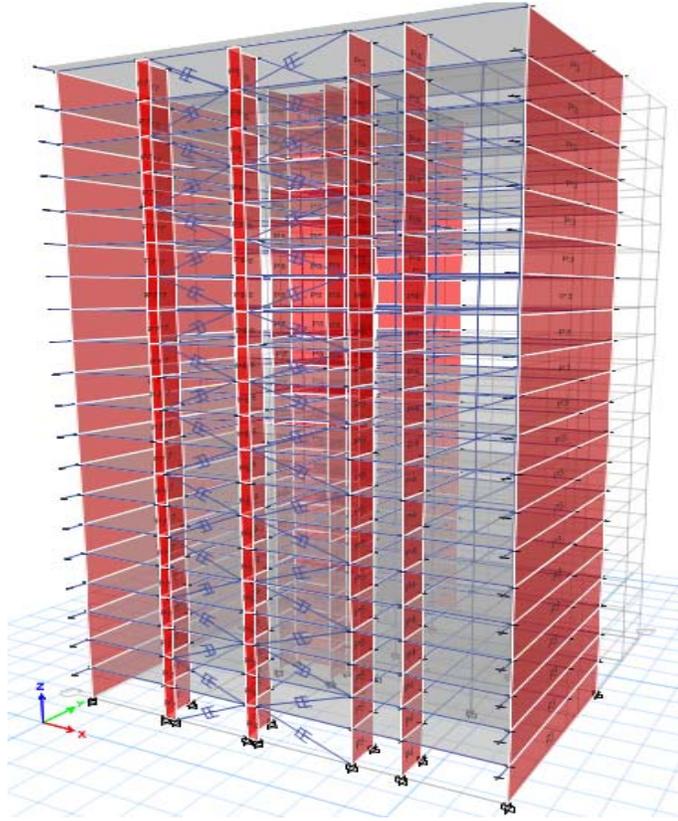
Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

Figura 38:

Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en 3D)



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

5.4 Cálculo Preliminar de la Rigidez del Brazo Metálico

Se va a considerar como un pre dimensionamiento la elección de un brazo metálico tipo Round HSS 7.50 x 0.50 in para contener el dispositivo y sus características están en la Tabla N°35.

Tabla 35:

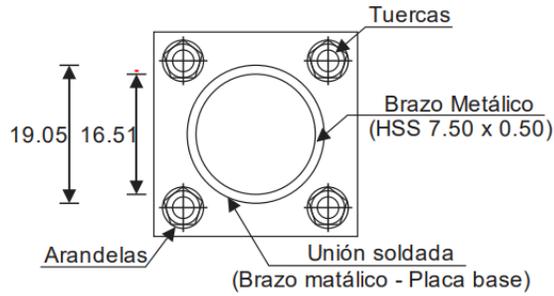
Dimensiones ROUND HSS 7.50 x 0.50 in

D. ext (in)	D. int (in)	Espesor (in)	Área (in^2)	Inercia (in^4)
7.50	7.04	0.47	10.30	63.90

Fuente: Elaboración propia

Figura 39:

Detalle de la Unión Brazo Metálico – Placa Base (Disipador de 110kip – Taylor)



Fuente: Tesis “Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos”

$$K = \frac{E \cdot A}{L} \quad (5.3)$$

Para lo cual se considera:

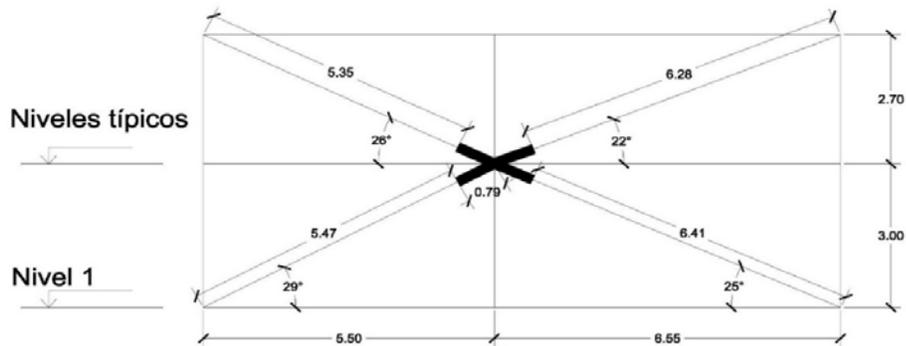
$$E_{acero} = 29000 \text{ksi} = 20.4 \times 10^6 \text{ T/m}^2$$

$$\text{Área} = 10.3 \text{in}^2 = 66.45 \times 10^{-4} \text{m}^2$$

L es la longitud del brazo metálico, en la Figura N°40 se muestra el valor de L considerando la longitud mínima de los disipadores de energía (31 in).

Figura 40:

Angulo de Inclinación de los Disipadores de la Estructura



Fuente: Elaboración propia

$$L_{\text{brazo izq. } 1^\circ} = 5.47 \text{ m}$$

$$L_{\text{brazo izq. típico}} = 5.35 \text{ m}$$

$$L_{\text{brazo der. } 1^\circ} = 6.41 \text{ m}$$

$$L_{\text{brazo der. típico}} = 6.26 \text{ m}$$

Dando como resultado:

$$K_{\text{brazo izq. } 1^\circ} = 24782.08 \text{ t/m}$$

$$K_{\text{brazo izq. típico}} = 25337.94 \text{ t/m}$$

$$K_{\text{brazo der. } 1^\circ} = 21147.89 \text{ t/m}$$

$$K_{\text{brazo der. típico}} = 21654.63$$

5.5 Diseño estructural con 2 Disipadores de Fluido Viscoso por piso

5.5.1 Diseño Estructural con Disipadores de Fluido Viscoso No-Lineales en la disposición diagonal simple

- Cálculo del Coeficiente de Amortiguamiento Lineal (C)

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \phi_{ij}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \phi_i^2} \rightarrow \sum C_j = \frac{\beta_H \cdot 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\sum \phi_{ij}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)} \quad (5.4)$$

Dónde:

- m_i : Masa del nivel i

Para las masas de cada nivel emplearemos los datos de la tabla N°09 que obtuvimos mediante los resultados del modelo matemático ETABS.

- β_H : Amortiguamiento de la estructura

El valor de β_H que se consideró es de $\beta_{H.xx} = 22\%$

- θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j

Como se muestra en la Figura N° 40, los dispositivos del primer nivel tienen un ángulo de inclinación de 29° (izquierda) y 25° (derecha).

Los dispositivos del segundo al vigésimo nivel tienen un ángulo de inclinación de 26° (izquierda) y 22° (derecha).

- ϕ_i : Desplazamiento del nivel i

Se obtuvieron los datos con nuestro sismo de diseño: Huaral 1966 – Caso de análisis 1

- ϕ_{rj} : Desplazamiento relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal

- A : Amplitud del desplazamiento del modo fundamental (Desplazamiento modal del techo del último nivel)

Tabla 36:

Cálculos Para Obtener el Desplazamiento Relativo ϕ_{rj}

Piso	ϕ_i	ϕ_{i+1}	ϕ_{rj} diferencia
Base	0.0000	0.0034	0.0034
1	0.0034	0.0094	0.0060

Piso	ϕ_i	ϕ_{i+1}	ϕ_{rj} diferencia
2	0.0094	0.0175	0.0081
3	0.0175	0.0273	0.0098
4	0.0273	0.0386	0.0113
5	0.0386	0.0521	0.0135
6	0.0521	0.0669	0.0148
7	0.0669	0.0827	0.0158
8	0.0827	0.0993	0.0166
9	0.0993	0.1165	0.0172
10	0.1165	0.1342	0.0177
11	0.1342	0.1520	0.0178
12	0.1520	0.1699	0.0179
13	0.1699	0.1878	0.0179
14	0.1878	0.2055	0.0177
15	0.2055	0.2228	0.0173
16	0.2228	0.2396	0.0168
17	0.2396	0.2557	0.0161
18	0.2557	0.2714	0.0157
19	0.2714	0.2863	0.0149
20	0.2863	-	-

Fuente: Elaboración propia

Se obtuvieron los valores del modelado ETABS, seleccionando centros de masa en desplazamientos modales para la dirección X-X los cuales se muestran en la Tabla N° 37:

Tabla 37:

Desplazamiento Modal por Niveles

Nivel	U1
	Modo 1 (mm)
1	0.00022
2	0.00061
3	0.00113
4	0.00178

Nivel	U1 Modo 1 (mm)
5	0.00252
6	0.00339
7	0.00433
8	0.00533
9	0.00637
10	0.00743
11	0.00851
12	0.00959
13	0.01066
14	0.01173
15	0.01277
16	0.01378
17	0.01476
18	0.01570
19	0.01661
20	0.01755

Fuente: Elaboración propia

De donde, la amplitud es 0.01755

- ω : Frecuencia angular

La frecuencia angular está en función de $f = \frac{1}{T}$, donde T es el periodo que se muestra en la Tabla N°12.

La frecuencia angular será:

$$f = \frac{1}{T} = \frac{1}{1.439} = 0.695/seg$$

Además:

$$\omega = 2\pi f = 2\pi(0.695) = 4.367 \frac{rad}{s}$$

- λ : Parámetro Lambda

La norma FEMA 274 indica parámetros α con sus respectivos valores de λ , tal como se muestra en la Tabla N°38, el cual está en función al comportamiento y tipo de disipador a emplear, por ejemplo, cuando se emplea el valor de $\alpha=0.5$ se está hablando de un disipador con un comportamiento en el rango no-lineal en

donde la fuerza del disipador es directamente proporcional a la velocidad relativa.

Tabla 38:

Valores de λ Respecto al Exponente de Velocidad α

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.00

Fuente: FEMA 274 (1997)

Así con estos datos se procede a calcular el coeficiente de amortiguamiento del disipador C_j

Tabla 39:

Cálculos Realizados para Obtener el Coeficiente de Amortiguamiento C_j

Nivel	Masa (T)	$\cos\theta$	$\cos\theta^{(1+\alpha)} \cdot \varphi r_j^{(1+\alpha)}$	$m \cdot \varphi i^2$
1	57.569	0.875	0.000162	0.0007
2	51.641	0.899	0.000396	0.0046
3	51.641	0.899	0.000621	0.0158
4	51.641	0.899	0.000827	0.0385
5	50.344	0.899	0.001024	0.0750
6	49.100	0.899	0.001337	0.1333
7	49.100	0.899	0.001535	0.2198
8	49.100	0.899	0.001693	0.3358
9	49.100	0.899	0.001823	0.4842
10	49.100	0.899	0.001923	0.6664
11	49.100	0.899	0.002007	0.8843
12	49.100	0.899	0.002024	1.1344
13	48.296	0.899	0.002041	1.3941
14	47.456	0.899	0.002041	1.6737

Nivel	Masa (T)	cosθ	cosθ ^(1+α) *φ _{rj} ^(1+α)	m*φ _i ²
15	47.456	0.899	0.002007	2.0041
16	47.456	0.899	0.001940	2.3557
17	47.456	0.899	0.001856	2.7244
18	47.456	0.899	0.001741	3.1028
19	48.135	0.899	0.001677	3.5455
20	43.452	0.899	0.001550	3.5616
Σ			0.030227	24.3546

Fuente: Elaboración propia

Considerando un amortiguamiento viscoso de $\beta_{H,xx} = 22\%$ y asumiendo que todos los disipadores tendrán el mismo coeficiente de amortiguamiento, se procede a resolver la siguiente ecuación:

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

$$= \frac{0.22 \times 2\pi \times 0.01755^{1-0.5} \times 4.367^{2-0.5} (24.3546)}{3.50(0.030227)}$$

$$\sum C_j = 399.224 \frac{T \cdot s}{m}$$

Empleando 2 disipadores por nivel se tendrá:

$$C_j = \frac{399.224}{2} = 199.612 \frac{T \cdot s}{m}$$

Se tomó el valor de $C_j = 200 \frac{T \cdot s}{m}$, así finalmente, las propiedades de los disipadores en la Dirección X son las siguientes:

<u>Primer piso</u>	<u>2do al 20mo piso</u>
$C_j = 200 \frac{T \cdot s}{m}$	$C_j = 200 \frac{T \cdot s}{m}$
$K_{brazo \text{ izq. } 1^\circ} = 24782.08 \text{ t/m}$ t/m	$K_{brazo \text{ izq. } \text{ típico}} = 25337.94$
$K_{brazo \text{ der. } 1^\circ} = 21147.89 \text{ t/m}$ t/m	$K_{brazo \text{ der. } \text{ típico}} = 21654.63$
$\alpha = 0.5$	$\alpha = 0.5$

5.5.2 Respuesta de la Estructura con los Disipadores de Energía

a) Desplazamientos en los C.M. y control de distorsiones

Los desplazamientos y las distorsiones obtenidas del **Análisis Dinámico y Tiempo-Historia No-Lineal** de nuestro edificio con disipadores de energía se muestran a continuación.

Tabla 40:

Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio Sin Disipadores)

Piso	Desplazamiento del C.M – X (m)	Distorsión en X-X	Norma E.030 (Distorsión Máxima)	Control E.030
20	0.2863	0.0061	0.007	SI
19	0.2714	0.0065	0.007	SI
18	0.2557	0.0067	0.007	SI
17	0.2396	0.0070	0.007	SI
16	0.2228	0.0072	0.007	NO
15	0.2055	0.0074	0.007	NO
14	0.1878	0.0075	0.007	NO
13	0.1699	0.0075	0.007	NO
12	0.1520	0.0075	0.007	NO
11	0.1342	0.0074	0.007	NO
10	0.1165	0.0072	0.007	NO
9	0.0993	0.0070	0.007	SI
8	0.0827	0.0066	0.007	SI
7	0.0669	0.0062	0.007	SI
6	0.0521	0.0057	0.007	SI
5	0.0386	0.0048	0.007	SI
4	0.0273	0.0042	0.007	SI
3	0.0175	0.0034	0.007	SI
2	0.0094	0.0025	0.007	SI
1	0.0034	0.0013	0.007	SI

Fuente: Elaboración propia

Tabla 41:

Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio Con Disipadores)

Piso	Desplazamiento del C.M – X (m)	Distorsión en X-X	Norma E.030 (Distorsión Máxima)	Control E.030
20	0.2038	0.0042	0.007	SI
19	0.1934	0.0045	0.007	SI
18	0.1826	0.0046	0.007	SI
17	0.1714	0.0048	0.007	SI
16	0.1597	0.0050	0.007	SI
15	0.1476	0.0052	0.007	SI
14	0.1352	0.0053	0.007	SI
13	0.1224	0.0053	0.007	SI
12	0.1096	0.0053	0.007	SI
11	0.0968	0.0052	0.007	SI
10	0.0841	0.0051	0.007	SI
9	0.0716	0.0050	0.007	SI
8	0.0596	0.0047	0.007	SI
7	0.0482	0.0045	0.007	SI
6	0.0374	0.0041	0.007	SI
5	0.0281	0.0035	0.007	SI
4	0.0202	0.0030	0.007	SI
3	0.0132	0.0025	0.007	SI
2	0.0072	0.0019	0.007	SI
1	0.0026	0.0010	0.007	SI

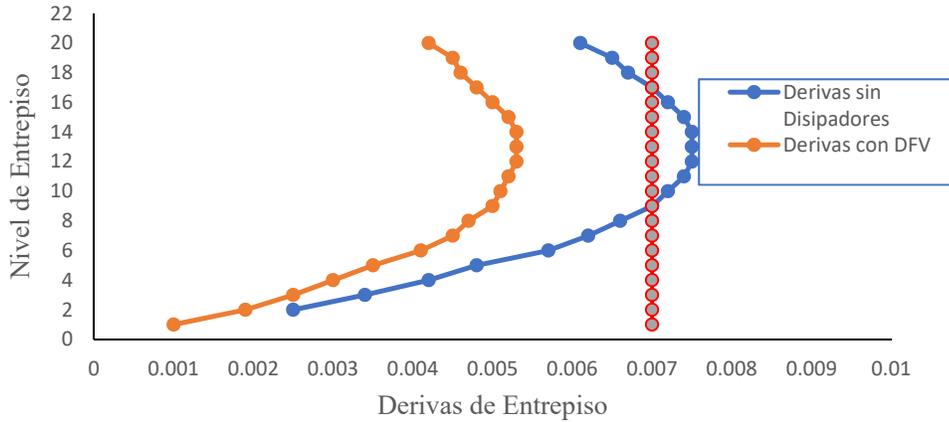
Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la distorsión máxima en la Dirección X de 7.5‰ (Edificio sin disipadores) se redujo hasta 5.53 ‰, valor que es menor al máximo permitido

(7%), de esta manera se satisfacen las condiciones en cuanto al control de distorsiones que establece la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente.

Figura 41:

Derivas de Entrepiso en dirección X-X



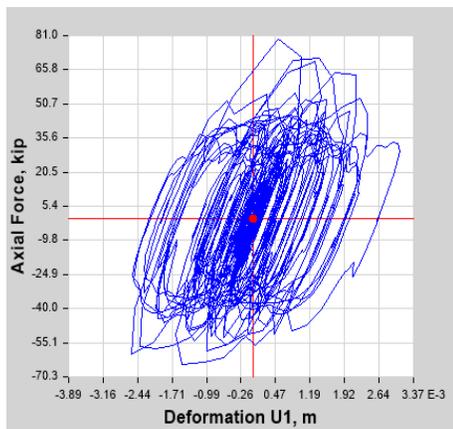
Fuente: Elaboración propia

b) Comportamiento histerético de los disipadores

Se muestran las curvas de histéresis para poder verificar el correcto comportamiento del dispositivo y su eficiencia. Para lo cual se muestran en las Figuras N°42 al N°61 los diagramas de histéresis del disipador central izquierda (Ejes Y2 y X2-X3) y disipador central derecha (Ejes Y2 y X3-X4) para todos los entresijos.

Figura 42:

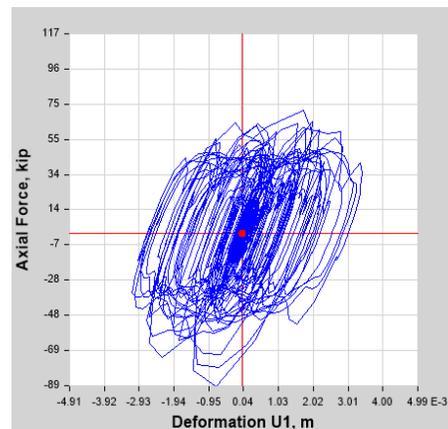
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Primer piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

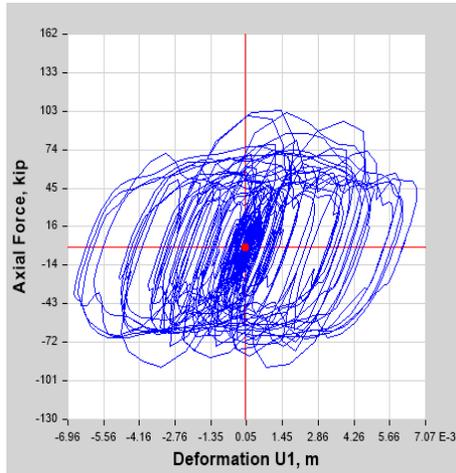
Figura 43:

Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Primer piso - Diagonal der.)



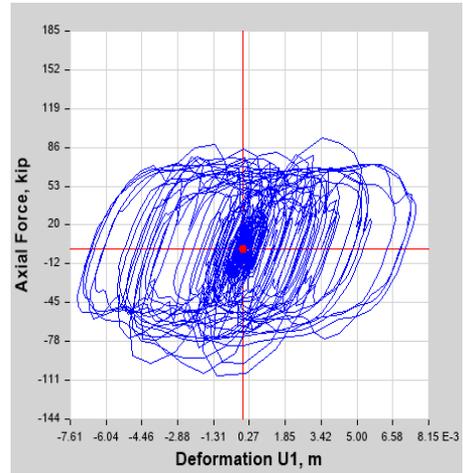
Fuente: Elaboración propia

Figura 44:
 Curva de histéresis para
 amortiguadores No-lineales con $\alpha =$
 0.5 (Tercer piso - Diagonal izq.)



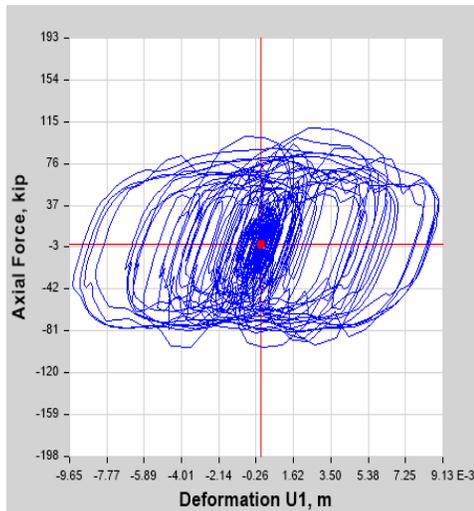
Fuente: Elaboración propia

Figura 45:
 Curva de histéresis para amortiguadores
 No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Tercer piso -
 Diagonal der.)



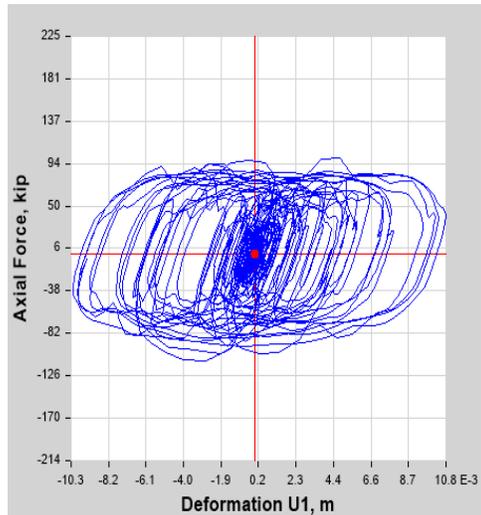
Fuente: Elaboración propia

Figura 46:
 Curva de histéresis para
 amortiguadores No-lineales con $\alpha =$
 0.5 (Quinto piso - Diagonal izq.)



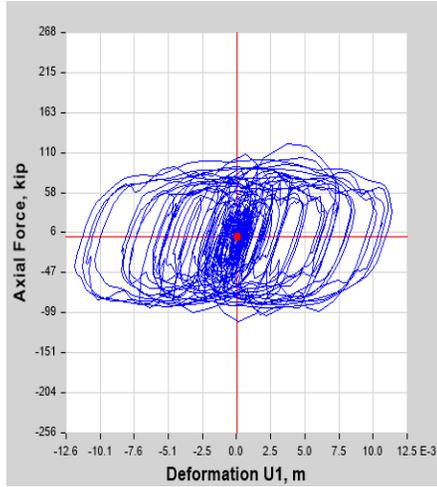
Fuente: Elaboración propia

Figura 47:
 Curva de histéresis para
 amortiguadores No-lineales con $\alpha =$
 0.5 (Quinto piso - Diagonal der.)



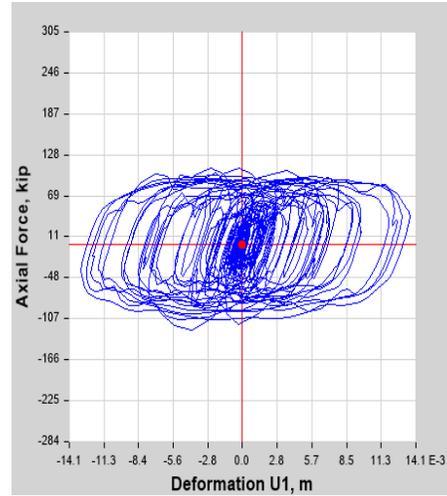
Fuente: Elaboración propia

Figura 48:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Séptimo piso - Diagonal izq.)



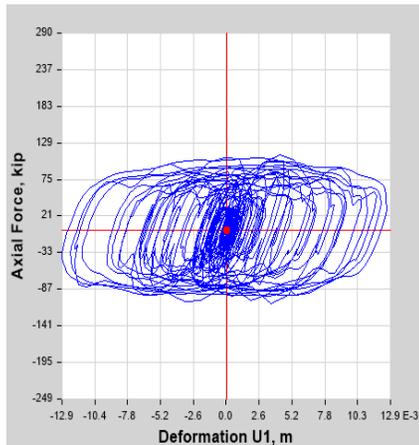
Fuente: Elaboración propia

Figura 49:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Séptimo piso - Diagonal der.)



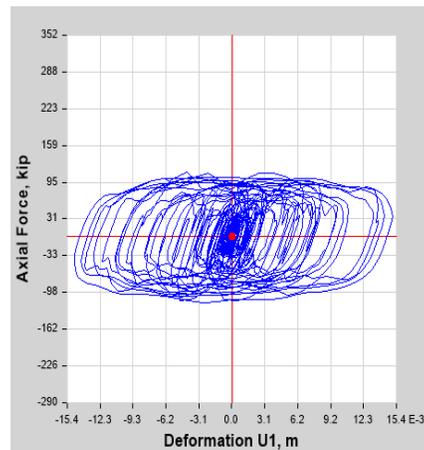
Fuente: Elaboración propia

Figura 50:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Noveno piso - Diagonal izq.)



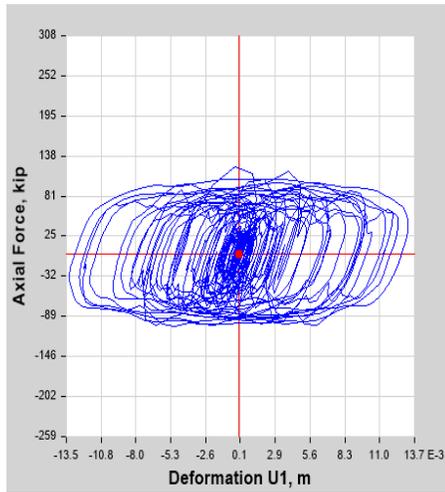
Fuente: Elaboración propia

Figura 51:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Noveno piso - Diagonal der.)



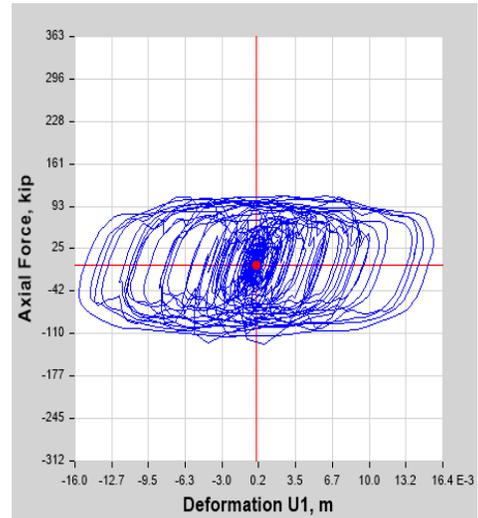
Fuente: Elaboración propia

Figura 52:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Onceavo piso - Diagonal izq.)



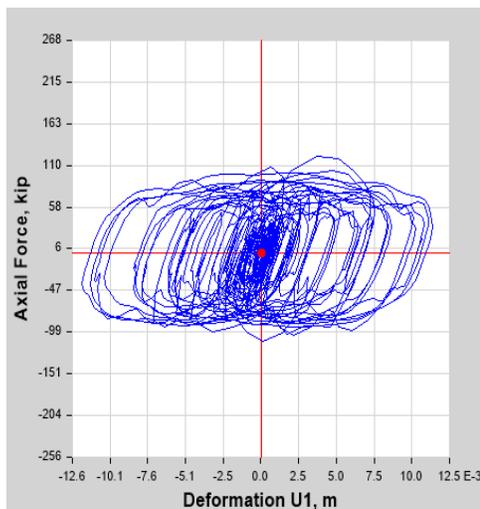
Fuente: Elaboración propia

Figura 53:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Onceavo piso - Diagonal der.)



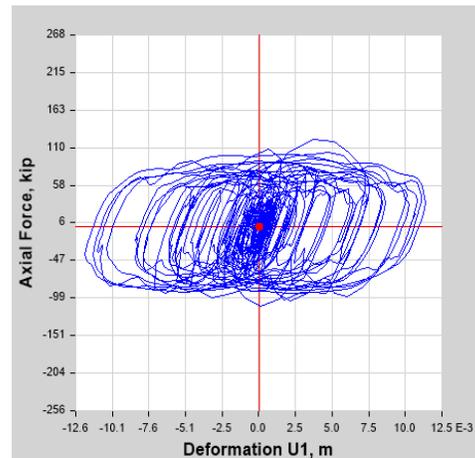
Fuente: Elaboración propia

Figura 54:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoterter piso - Diagonal izq.)



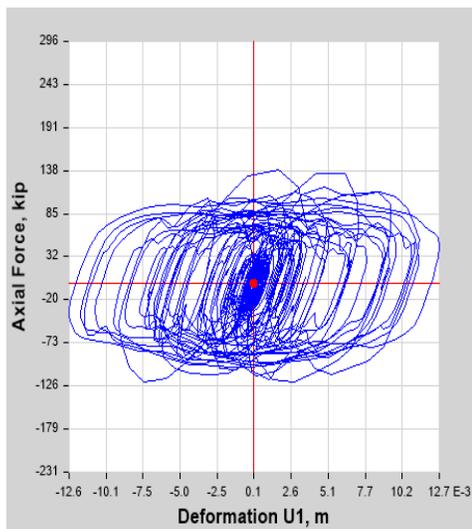
Fuente: Elaboración propia

Figura 55:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoterter piso - Diagonal der.)



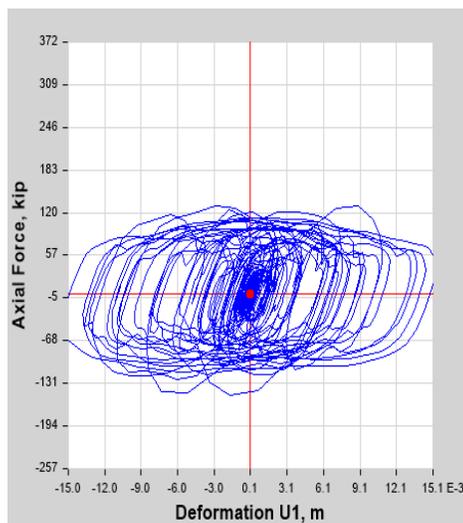
Fuente: Elaboración propia

Figura 57:
 Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoquinto piso - Diagonal izq.)



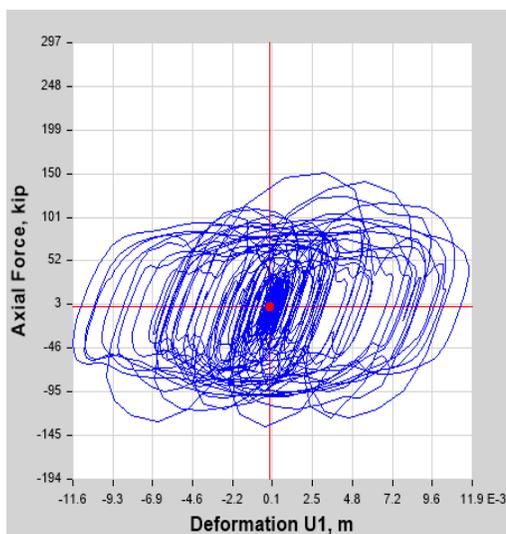
Fuente: Elaboración propia

Figura 56:
 Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoquinto piso - Diagonal der.)



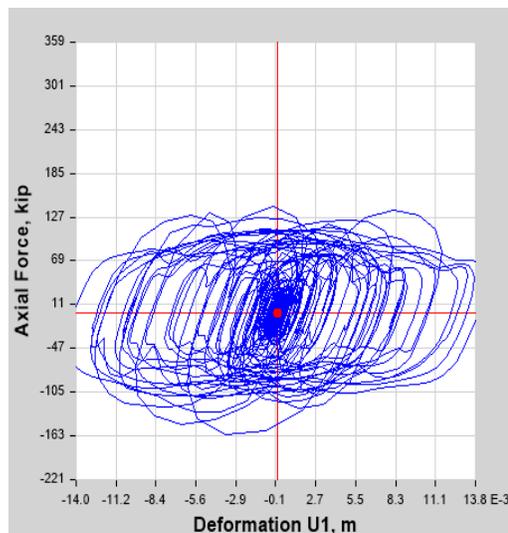
Fuente: Elaboración propia

Figura 59:
 Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoséptimo piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

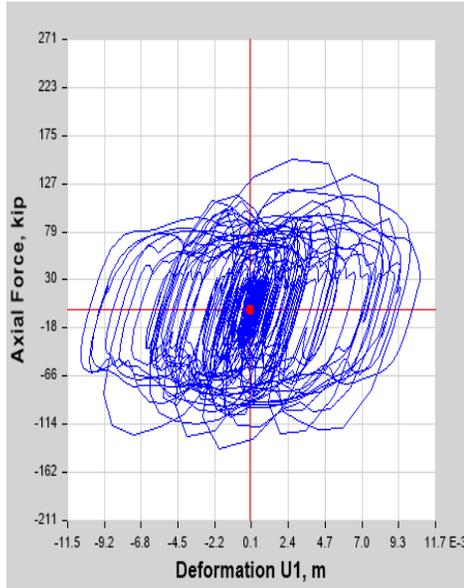
Figura 58:
 Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoséptimo piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 60:

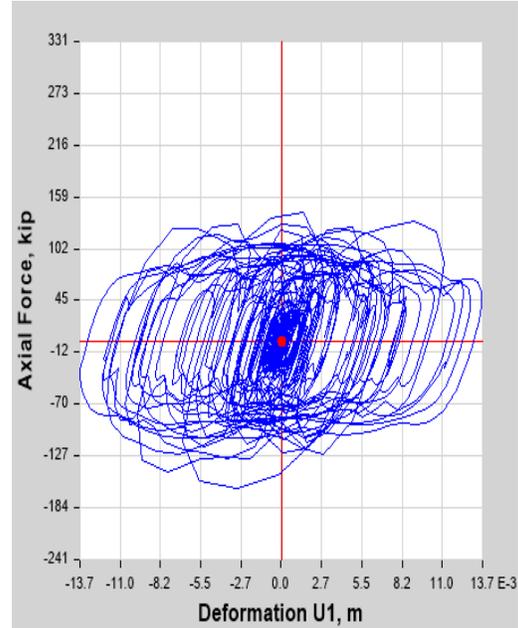
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimonoveno piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 61:

Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimonoveno piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

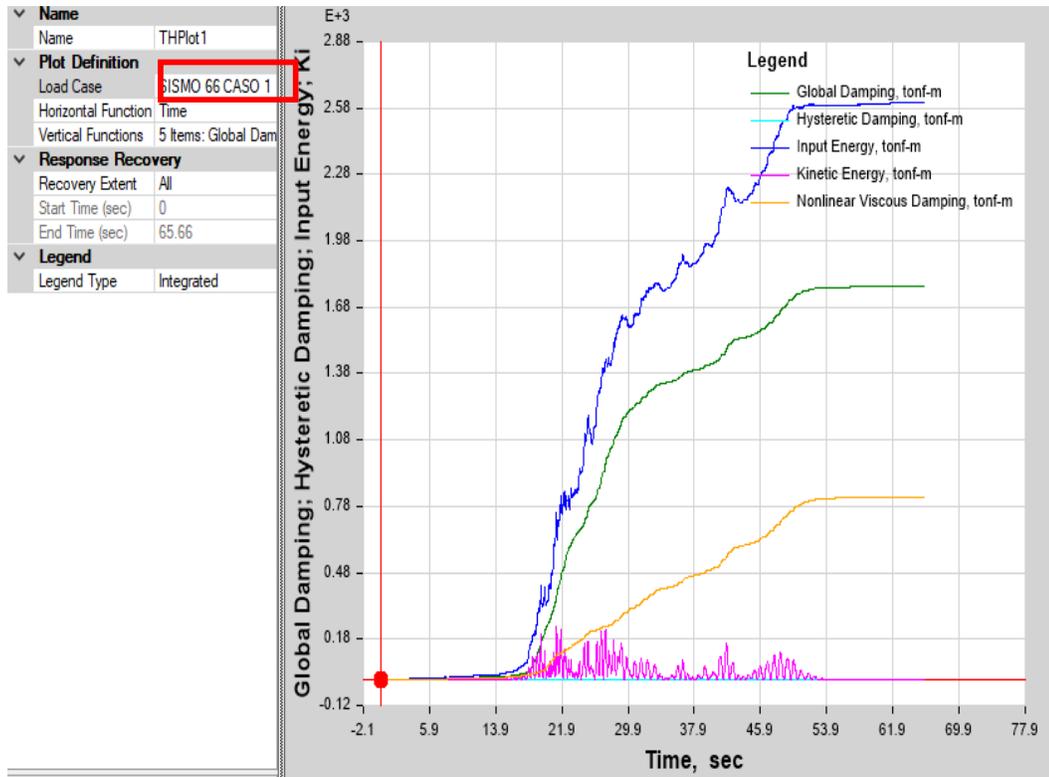
Se puede apreciar que gran parte de los comportamientos histeréticos de los disipadores por niveles que se ajustan a la forma elíptica, aportando significativamente en el incremento del amortiguamiento y en la reducción de las distorsiones están ubicadas entre los pisos 9 y 18, siendo posible reducir la cantidad de disipadores manteniendo el control de distorsiones según la deriva objetivo.

c) Balance de energía

Para el cálculo del porcentaje de disipación de energía se genera en el programa un Ploteo de la Energía de entrada (Input Energy) y la energía disipada por los dispositivos (Viscous Damping) para un cierto periodo de tiempo que sea representativo con el sismo de diseño Huaral 1966 – Caso de análisis 1, el cual se observa en la Figura N°62.

Figura 62:

Balance de energía ($\alpha = 0.50$) Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

- Eje Vertical Energía (T.m)
- Eje Horizontal Tiempo (s)

El porcentaje de disipación de energía se calcula de la siguiente manera:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{Energía\ del\ sistema\ de\ amortiguamiento}{Energía\ de\ entrada\ del\ sismo\ de\ diseño}$$

Empleando la relación de energías, para los disipadores de fluido viscoso se tendrá:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{826.455\ ton - m}{2607.91\ ton - m} \times 100 = 31.81\%$$

Para la energía inherente de la estructura:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{1780.21\ ton - m}{2607.91\ ton - m} \times 100 = 68.19\%$$

Tabla 42:

Porcentaje de Disipación de Energía en la Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso.

Energía (T.m)		
Entrada	Inherente de la estructura	Disipadores
2607.91	1780.21	826.455
100%	68.19%	31.81%

Fuente: Elaboración propia

En el gráfico de balance energético se puede apreciar que gran parte de la energía es tomada por el sistema de disipación (31.81% de la energía de entrada). Este porcentaje es significativo y se debe principalmente a la numerosa cantidad de disipadores fluido-viscosos empleados (40 dispositivos).

Con este porcentaje de disipación podemos esperar la disminución de desplazamientos en los centros de masa de los pisos, así como la reducción de fuerzas y momentos en los diferentes elementos estructurales.

5.6 Propuesta de diseño final de la estructura dual de 20 pisos con disipadores de fluido viscoso

La propuesta final de diseño cuenta con 20 disipadores en disposición Diagonal mejorado (2 disipadores por piso en la dirección X), desde el noveno hasta el decimoctavo nivel de entrepiso debido a que se ha comprobado que para los demás pisos no es necesario la inclusión de los disipadores, ya que su comportamiento no es eficiente para esos pisos superiores e inferiores, tal como se puede observar en los diagramas de histéresis expuesto anteriormente, en donde a partir del 1er al 8vo y del 19mo al 20mo piso los lazos de histéresis empiezan a inclinarse en mayor medida no siguiendo el comportamiento histerético óptimo de un disipador eficiente, con lo que se puede determinar que los disipadores están teniendo una eficiencia y comportamiento no adecuado, por lo tanto se decidió no colocar los disipadores en esos niveles. Por otra parte, se optó por un exponente de velocidad alfa ($\alpha=0.50$), ya que como se pudo observar en los resultados mostrados anteriormente para el modelo de 2 disipadores por dirección se reduce en mayor medida las derivas y desplazamientos de entrepiso en la dirección X-X, así como también es el exponente

de velocidad que más porcentaje de disipación de energía se tiene. Por último, se decidió optar por este exponente de velocidad dado que Los disipadores con un α de 0.4 a 0.5 han demostrado experimentalmente un buen comportamiento para el diseño de edificaciones con registros sísmicos.

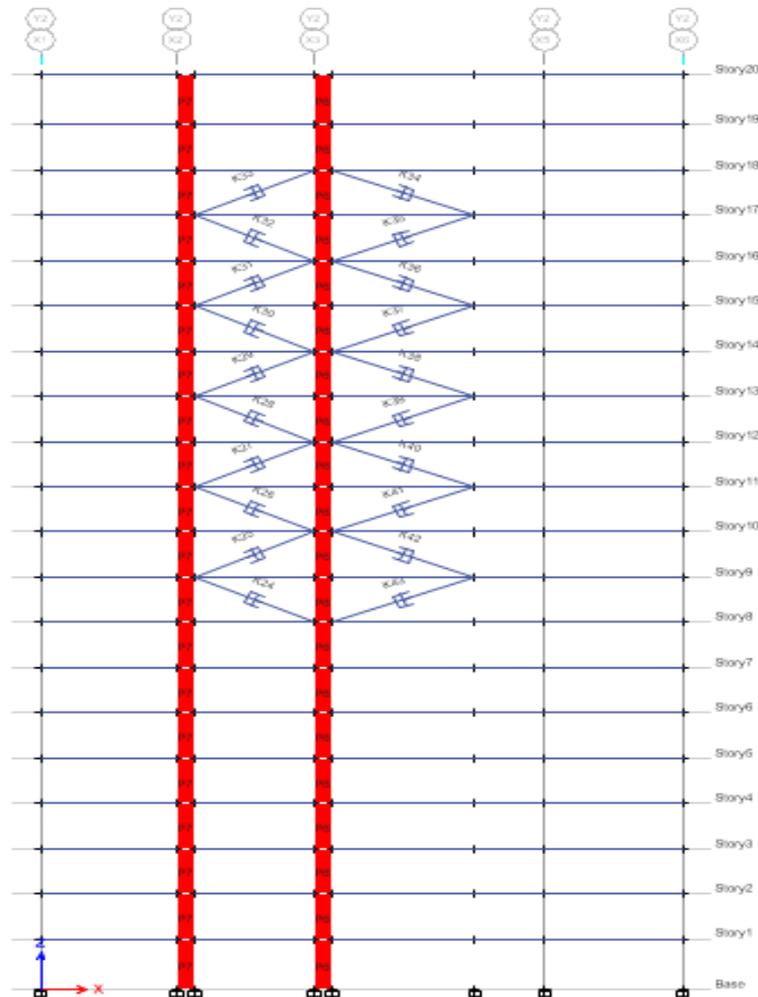
5.6.1 Cálculo del Coeficiente de Amortiguamiento Lineal (C)

Para valores de amortiguamiento $\beta_{H.xx} = 22\%$ y para un valor de coeficiente de velocidad $\alpha=0.50$ se obtiene un valor de coeficiente de amortiguamiento

$C_j = 200 \frac{T.s}{m}$, el cual viene a ser el mismo que se detalló en el capítulo anterior debido a que no varía por la elección tomada.

Figura 63:

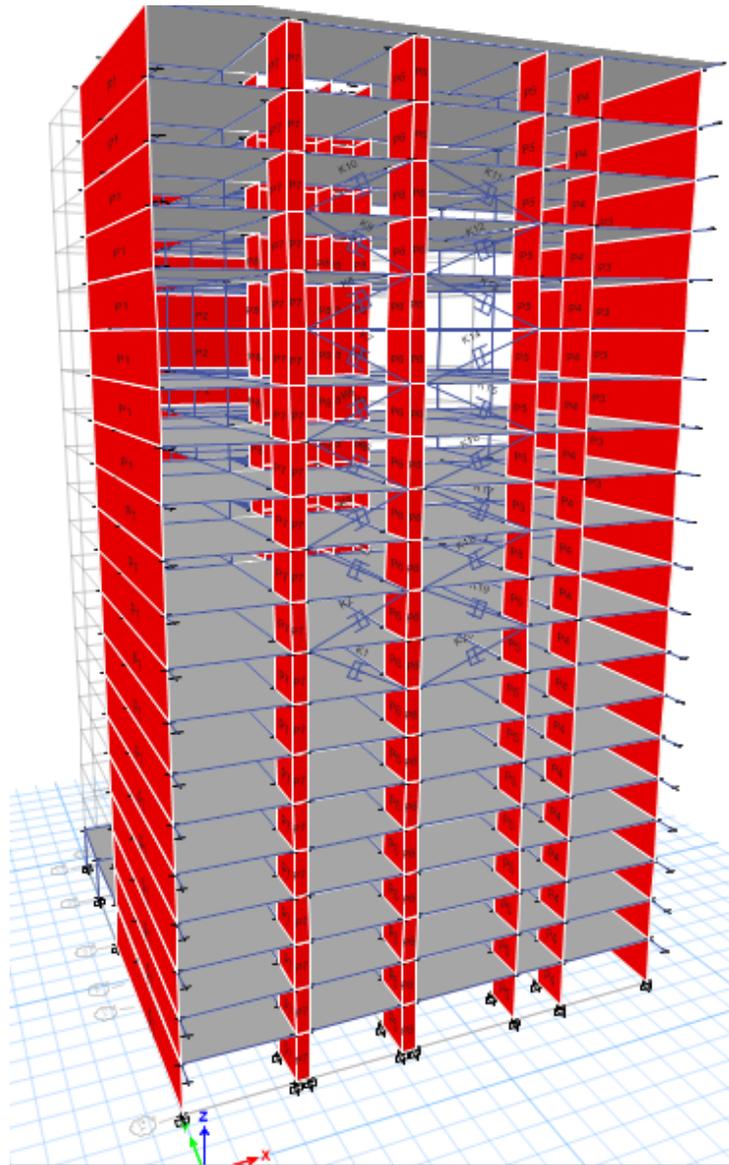
Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

Figura 64:

Ubicación de los Disipadores en la Dirección X (Vista en Elevación)



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

5.6.2 Respuesta de la Estructura con los Disipadores de Energía

a) Desplazamientos en los C.M. y control de distorsiones

Los desplazamientos y las distorsiones obtenidas del **Análisis Dinámico** y **Tiempo-Historia No-Lineal** de nuestro edificio con disipadores de energía se muestran a continuación.

En la siguiente Tabla N°43, se observa el incumplimiento de la Norma E.030 con respecto al control de distorsión obtenida con sismo de diseño Huaral 1966 – Caso 1 entre los pisos 9 y piso 17 sin la inclusión de disipadores de fluido viscoso.

Tabla 43:

Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio sin Disipadores)

Piso	Desplazamiento del C.M – X (m)	Distorsión en X-X	Norma E.030 (Distorsión Máxima)	Control E.030
20	0.2863	0.0061	0.007	SI
19	0.2714	0.0065	0.007	SI
18	0.2557	0.0067	0.007	SI
17	0.2396	0.0070	0.007	SI
16	0.2228	0.0072	0.007	NO
15	0.2055	0.0074	0.007	NO
14	0.1878	0.0075	0.007	NO
13	0.1699	0.0075	0.007	NO
12	0.1520	0.0075	0.007	NO
11	0.1342	0.0074	0.007	NO
10	0.1165	0.0072	0.007	NO
9	0.0993	0.0070	0.007	SI
8	0.0827	0.0066	0.007	SI
7	0.0669	0.0062	0.007	SI
6	0.0521	0.0057	0.007	SI
5	0.0386	0.0048	0.007	SI
4	0.0273	0.0042	0.007	SI
3	0.0175	0.0034	0.007	SI
2	0.0094	0.0025	0.007	SI
1	0.0034	0.0013	0.007	SI

Fuente: Elaboración propia

En la Tabla N°44, se observa el cumplimiento de la Norma E.030 con respecto al control de distorsión obtenida con sismo de diseño Huaral 1966 – Caso 1 en todos los niveles con la asignación de disipadores de fluido viscoso.

Tabla 44:

Control de Distorsiones en Dirección X-X (Edificio con Disipadores)

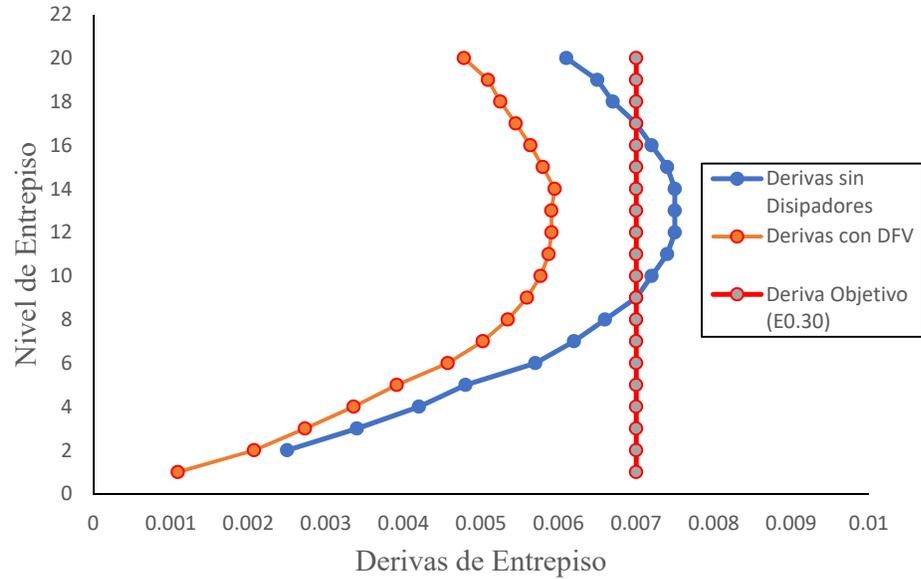
Piso	Desplazamiento del C.M – X (m)	Distorsión en X-X	Norma E.030 (Distorsión Máxima)	Control E.030
20	0.2287	0.0048	0.007	SI
19	0.2170	0.0051	0.007	SI
18	0.2047	0.0052	0.007	SI
17	0.1921	0.0054	0.007	SI
16	0.1790	0.0056	0.007	SI
15	0.1654	0.0058	0.007	SI
14	0.1515	0.0060	0.007	SI
13	0.1372	0.0059	0.007	SI
12	0.1229	0.0059	0.007	SI
11	0.1086	0.0059	0.007	SI
10	0.0945	0.0058	0.007	SI
9	0.0806	0.0056	0.007	SI
8	0.0672	0.0053	0.007	SI
7	0.0543	0.0050	0.007	SI
6	0.0422	0.0046	0.007	SI
5	0.0312	0.0039	0.007	SI
4	0.0221	0.0034	0.007	SI
3	0.0143	0.0027	0.007	SI
2	0.0077	0.0021	0.007	SI
1	0.0028	0.0011	0.007	SI

Fuente: Elaboración propia

Como se puede observar la distorsión máxima en la Dirección X de 7.5% (Edificio sin disipadores) se redujo hasta 6.00 % (piso 14), valor que es menor al máximo permitido (7%), de esta manera se satisfacen las condiciones en cuanto al control de distorsiones que establece la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente.

Figura 65:

Derivas de Entrepiso en Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia

b) Comportamiento histérico de los disipadores

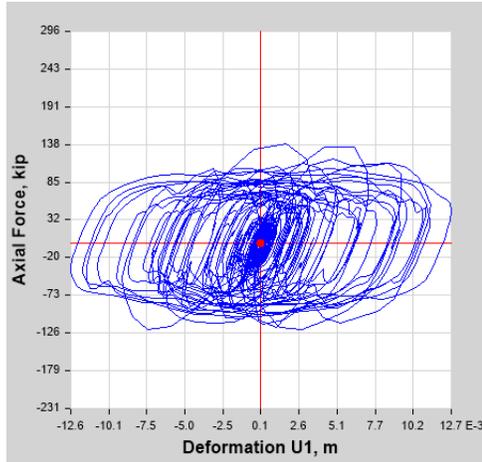
Se muestran las curvas de histéresis para poder verificar el correcto comportamiento del dispositivo y su eficiencia. Para lo cual se muestran en las Figuras N° 57-66 los diagramas de histéresis del disipador central izquierda (Ejes Y2 y X2-X3) y disipador central derecha (Ejes Y2 y X3-X4) para todos los entrepisos.

En las siguientes Figuras N°66 al N°75, se puede apreciar que todos de los comportamientos histéricos de los disipadores en estos niveles se ajustan a la forma elíptica, aportando significativamente en el incremento del amortiguamiento y en la reducción de las distorsiones ubicadas entre los pisos 9 y 18.

Al reducir la cantidad de disipadores, se mantiene el control de distorsiones cumpliendo así la deriva objetivo.

Figura 66:

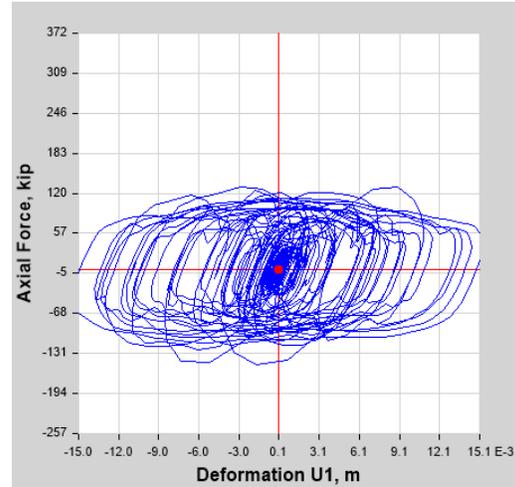
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Décimo piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 67:

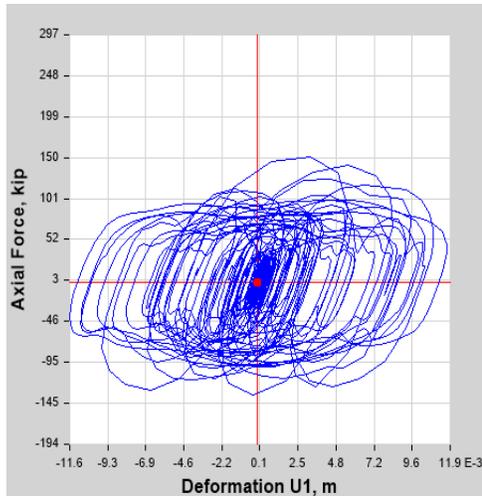
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Décimo piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 68:

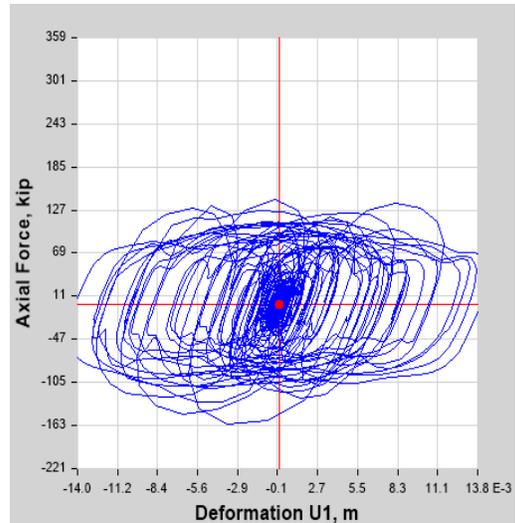
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Duodécimo piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 69:

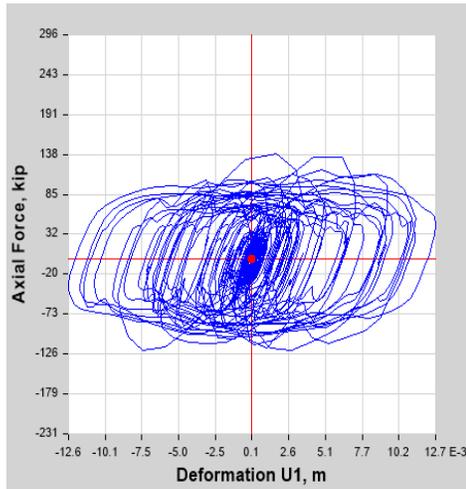
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Duodécimo piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 70:

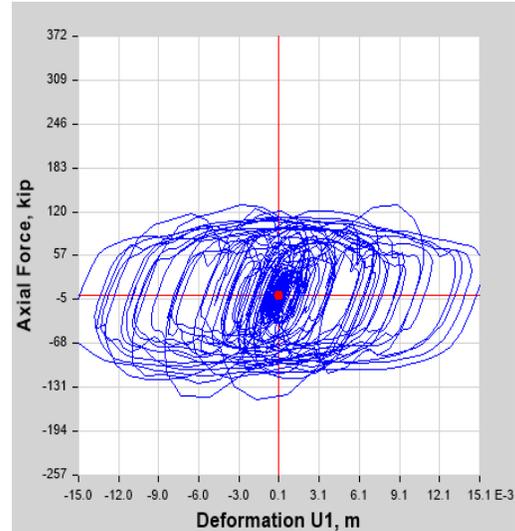
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimocuarto piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 71:

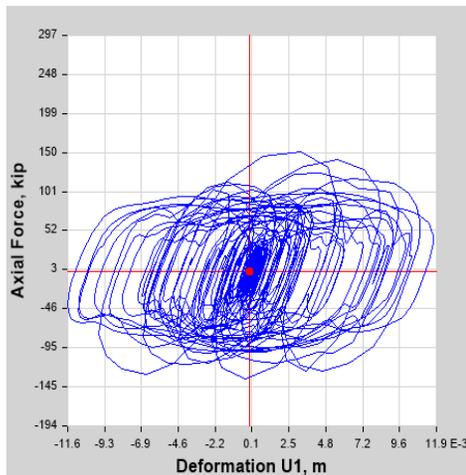
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimocuarto piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 72:

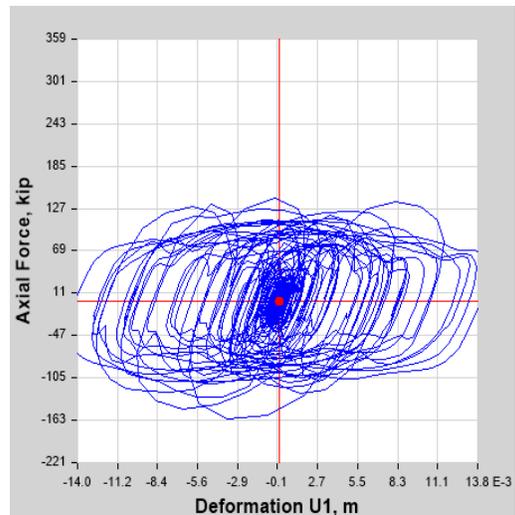
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimosexto piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

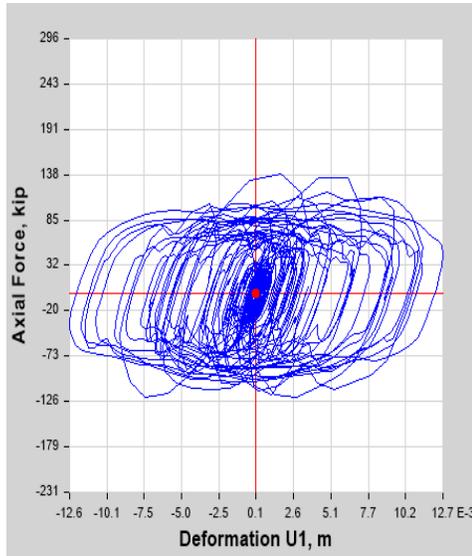
Figura 73:

Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimosexto piso - Diagonal der.)



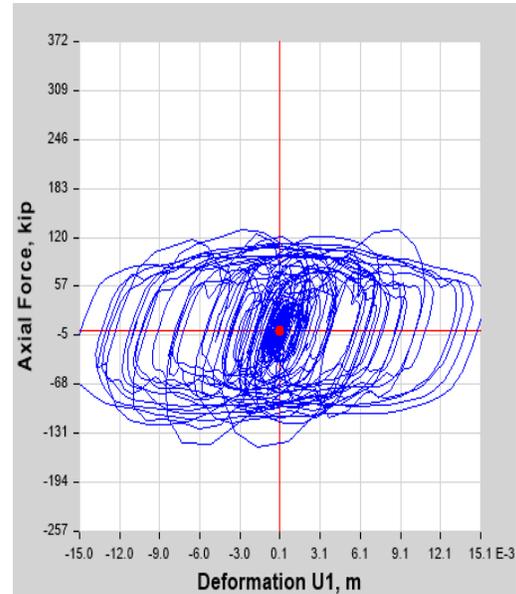
Fuente: Elaboración propia

Figura 74:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoctavo piso - Diagonal izq.)



Fuente: Elaboración propia

Figura 75:
Curva de histéresis para amortiguadores No-lineales con $\alpha = 0.5$ (Decimoctavo piso - Diagonal der.)



Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que todos de los comportamientos histeréticos de los disipadores en estos niveles se ajustan a la forma elíptica, aportando significativamente en el incremento del amortiguamiento y en la reducción de las distorsiones ubicadas entre los pisos 9 y 18.

Al reducir la cantidad de disipadores, se mantiene el control de distorsiones cumpliendo así la deriva objetivo.

c) Balance de energía

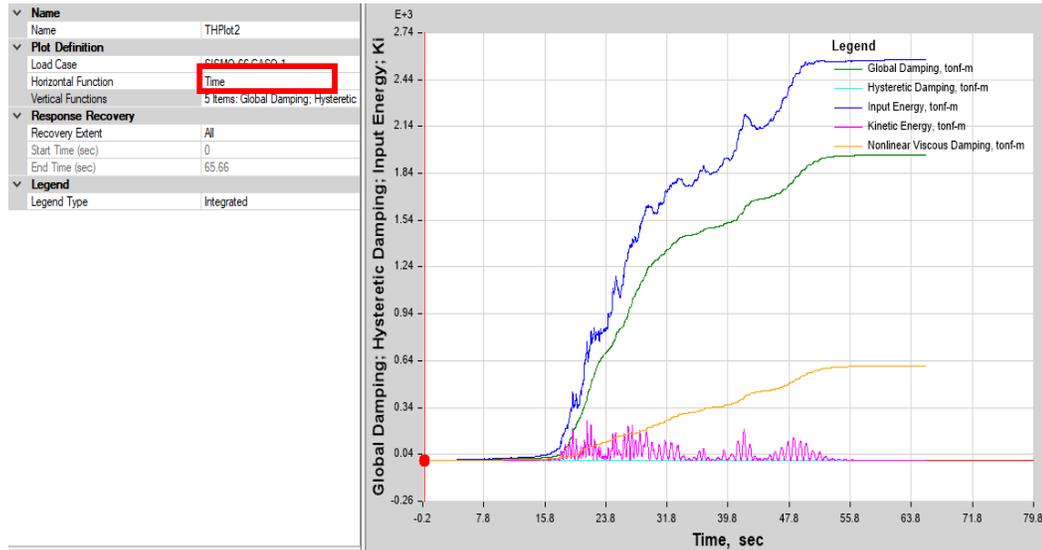
Para el cálculo del porcentaje de disipación de energía se genera en el programa un Ploteo de la Energía de entrada (Input Energy) y la energía disipada por los dispositivos (Viscous Damping) para un cierto periodo de tiempo que sea representativo con el sismo de diseño Huaral 1966 – Caso de análisis 1, el cual se observa en la Figura N°76.

En el gráfico de balance energético se puede apreciar que gran parte de la energía es tomada por el sistema de disipación (23.62% de la energía de entrada), cumpliendo con el amortiguamiento viscoso que es de $\beta_{Hxx} = 22\%$.

Con este porcentaje de disipación podemos esperar la disminución de desplazamientos en los centros de masa de los pisos, así como la reducción de fuerzas y momentos en los diferentes elementos estructurales.

Figura 76:

Balance de Energía ($\alpha = 0.50$) en Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

- Eje Vertical Energía (T.m)
- Eje Horizontal Tiempo (s)

El porcentaje de disipación de energía se calcula de la siguiente manera:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{Energía\ del\ sistema\ de\ amortiguamiento}{Energía\ de\ entrada\ del\ sismo\ de\ diseño}$$

Empleando la relación de energías, para los disipadores de fluido viscoso se tendrá:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{606.62\ ton - m}{2567.77\ ton - m} \times 100 = 23.62\%$$

Para la energía inherente de la estructura:

$$\%disipación\ de\ energía = \frac{1959.91\ ton - m}{2567.77\ ton - m} \times 100 = 76.38\%$$

Tabla 45:

Porcentaje de Disipación de Energía en la Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso.

Energía (T.m)		
Entrada	Inherente de la estructura	Disipadores
2567.77	1959.91	606.620
100%	76.38%	23.62%

Fuente: Elaboración propia

5.7 Elección del Disipador de Fluido Viscoso

5.7.1 Diseño de los Dispositivos de Amortiguamiento

a) Agrupación de los dispositivos por niveles de fuerza

Una vez seleccionado el modelo optimizado se procede a extraer las máximas fuerzas en compresión y tracción generadas en los disipadores. Cabe mencionar que la empresa CDV que representa a la empresa Taylor Devices Inc. tiene valores de fuerzas estandarizadas que serán tomadas en consideración para la elección del disipador, por lo cual se redondeará a la mayor fuerza estandarizada.

En la Tabla N°46, se muestra la tabla de la empresa CDV Ingeniería Antisísmica.

Tabla 46:

Tabla de Fuerza en Kips de los Disipadores

Taylor Fuerza (kip)	Peso (lbs)
55	98
110	215
165	400
220	560
330	675
440	1000
675	1750
900	2400
1450	consultar
1800	consultar

Fuente: CDV Ingeniería Antisísmica

Los valores de fuerzas en los disipadores para ambas direcciones se detallan en la Tablas N°47.

Tabla 47:

Fuerzas Internas en los Disipadores para la Dirección X-X.

Story	Link	Load Case/Combo	Fuerza tonf	Fuerza kip	Taylor Fuerza (kip)
Story 18	K11	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	74.01	163.17	165
Story 18	K10	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	69.94	154.18	165
Story 17	K12	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	74.08	163.32	165
Story 17	K9	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	68.57	151.17	165
Story 16	K13	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	70.91	156.33	165
Story 16	K8	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	64.96	143.21	165
Story 15	K14	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	67.46	148.72	165
Story 15	K7	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	61.55	135.69	165
Story 14	K15	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	62.99	138.87	165
Story 14	K6	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	57.10	125.88	165
Story 13	K16	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	62.19	137.10	165
Story 13	K5	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	57.22	126.15	165
Story 12	K17	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	61.69	135.99	165
Story 12	K4	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	55.97	123.38	165
Story 11	K18	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	58.84	129.72	165
Story 11	K3	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	53.89	118.81	165
Story 10	K19	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	56.49	124.54	165
Story 10	K2	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	53.51	117.97	165
Story 9	K20	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	57.46	126.67	165
Story 9	K1	DIRECCIÓN X (HUARAL 1966 CASO 1)	55.71	122.81	165

Fuente: Elaboración propia

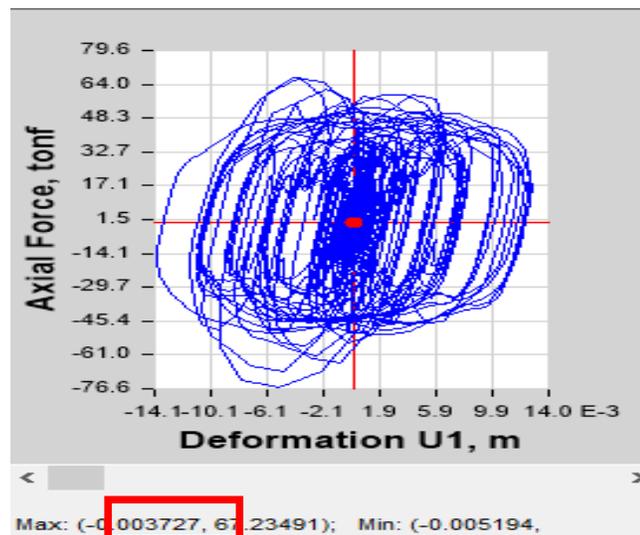
El número total de disipadores agrupados según la fuerza del disipador en kips proporcionados por la revista Taylor Devices es de 20 disipadores de 165kips desde noveno hasta el decimotavo nivel para nuestro diseño final.

b) Máximo Stroke

Se procede a determinar la deformación máxima que sufre el dispositivo con mayor fuerza axial, cabe mencionar que la empresa CDV impone un valor límite de 50 mm, el máximo Stroke es un requisito indispensable para la fabricación de la cámara de acumulación siliconado y requisito para poder adquirir mencionados dispositivos. Obteniendo un máximo de 3.727 mm como se muestra en la Figura N°77.

Figura 77:

Máxima Stroke del Disipador de Energía K11



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

c) Velocidades máximas

En el presente ítem se procede a determinar la velocidad máxima en cada tipo de disipador separado por fuerza axial de trabajo. Por lo tanto, se realizará un cálculo de la máxima velocidad para el disipador con 165 kips.

$$F = 165 \text{ kips} = 74.84 \text{ tonf}$$

$$C_j = 200 \text{ T. s/m}$$

$$\alpha = 0.5$$

$$V = \alpha \sqrt{\frac{F}{C_j}} \quad (5.5)$$

La velocidad para el disipador K11, que corresponde al disipador de 165 kip, en la dirección X-X:

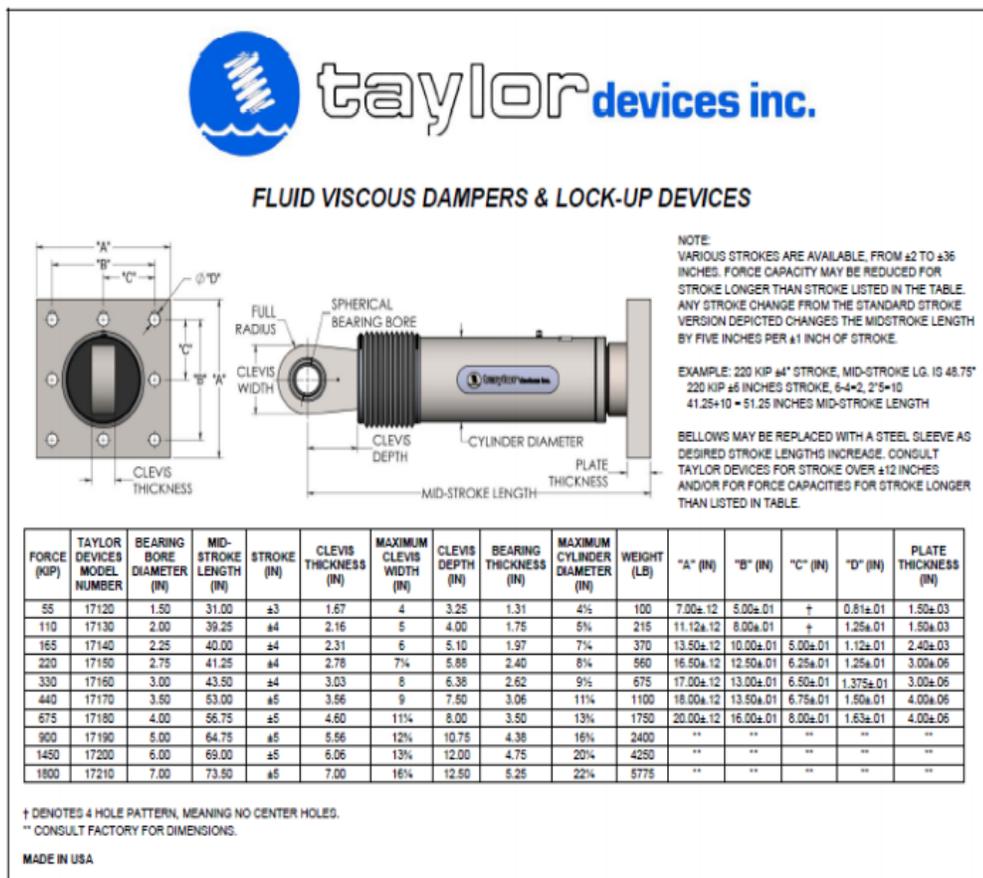
$$V = \sqrt[0.5]{\frac{74.84}{200}} = 0.140 \text{ m/s}$$

d) Elección de los disipadores de energía

Tomando en cuenta los niveles de fuerza obtenidos, se procede a determinar los dispositivos a emplear dependiendo de su capacidad de carga. Los disipadores que vamos a emplear son los manufacturados por la corporación TAYLOR DEVICES INC., principal fabricante de los disipadores de fluido viscosos. En las figuras 4.9 y 4.10 se muestran las dimensiones provistas por este fabricante para los diferentes niveles de fuerza.

Figura 78:

Propiedades de los Dispositivos Taylor Devices Inc.



Fuente: Taylor Devices Inc.

Como sabemos de la Tabla N°47, tenemos un tipo de disipadores agrupado por fuerza en kip, en la estructura, la cual se muestra a continuación:

Tabla 48:

Número de Dispositivos Totales (Propuesta Final).

Fuerza (kip)	Número de dispositivos
165	20

Fuente: Elaboración propia

Por lo tanto, el diseñador deberá brindar estos valores de fuerza en kip, los cuales ya cuentan con su propio factor de seguridad. Con sus propiedades y características según la Tabla 49 y 50.

Tabla 49:

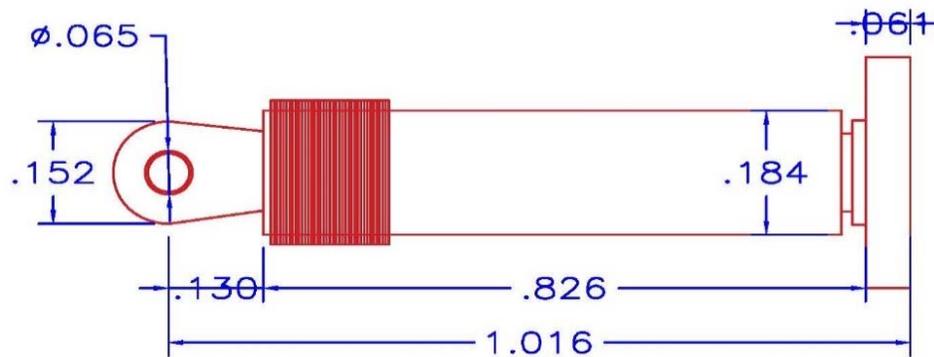
Propiedades del Dispositivo de Amortiguación

Force (kip)	Spherical Bearing Bore Dia (inches)	Mid-Stroke Length (inches)	Stroke (inches)	Clevis Thickness (inches)	Clevis Width (inches)	Clevis Depth (inches)	Cylinder Dia (inches)	Weight (lbs)
165	2.25	47	±4	2.31	6	5.1	7 ¼	300

Fuente: Taylor Devices Inc.

Figura 79:

Dimensiones en Metros Lineales del Disipador de Energía de 165 Kip



Fuente: Elaboración propia

Tabla 51:

Fuerzas Internas en los Disipadores en la Dirección X-X

Story	Disipador	Fuerza tonf	Fuerza kip
Story 18	K11	112.50	248.06
Story 18	K10	106.30	234.40
Story 17	K12	112.61	248.29
Story 17	K9	104.23	229.82
Story 16	K13	107.78	237.66
Story 16	K8	98.74	217.72
Story 15	K14	102.54	226.09
Story 15	K7	93.56	206.29
Story 14	K15	95.75	211.13
Story 14	K6	86.79	191.38
Story 13	K16	94.53	208.43
Story 13	K5	86.98	191.78
Story 12	K17	93.76	206.74
Story 12	K4	85.07	187.57
Story 11	K18	89.44	197.21
Story 11	K3	81.92	180.62
Story 10	K19	85.87	189.34
Story 10	K2	81.34	179.35
Story 9	K20	87.33	192.57
Story 9	K1	84.68	186.71

Fuente: Elaboración propia

Se utilizó el siguiente perfil tubular metálico Round HSS 7.50x0.50, para su posterior verificación y diseño con sus características detalladas en la Tabla N°52.

Tabla 52:

Perfil Tubular a Utilizar para el Arriostre Metálico

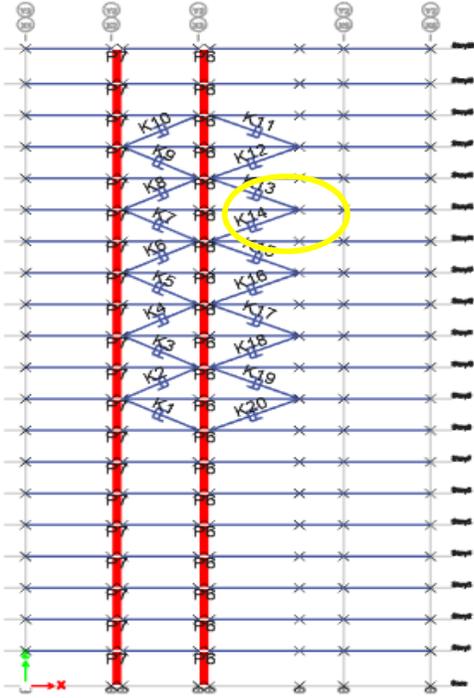
Área perfil metálico (in ²)	Radio perfil metálico (in)	Módulo de elasticidad del acero (KSI)	Esfuerzo de fluencia (KSI)
10.3	2.49	29000	42

Fuente: AISC Steel Construction Manual 13th.

Dado que el diseño de los brazos metálicos es un diseño estándar, se realizará el diseño para los arriostres que tengan mayor axial en cada eje, estos son para el arriostre del dissipador K12 perteneciente al piso 17 del Eje X-X, según la Figura N°81.

Figura 81:

Arriostre del Dissipador Característico a Diseñar en Dirección X-X



Fuente: Elaboración propia en programa ETABS V.18.0.2

Utilizamos las propiedades y características del arriostre metálico de la norma AISC Steel Construction manual 13th.

A continuación, se puede observar la Figura N°82 donde se encuentran sus propiedades y características geométricas de la sección a utilizar.

Figura 82:

Tabla de Propiedades del Perfil Tubular Metálico HSS 7.50 x 0.50 in



Nominal Size		Weight per Foot	Wall Thickness t	D/t	Cross Sectional Area	I	S	r	Z	Torsional Stiffness Constant J	Torsional Shear Constant C	Surface Area Per Foot
Outside Diameter	Wall											
in.	in.	lb.	in.		in. ²	in. ⁴	in. ³	in.	in. ³	in. ⁴	in. ³	ft. ²
7.625	x 0.375	29.06	0.349	21.8	7.98	52.9	13.9	2.58	18.5	106	27.8	2.00
	0.328	25.59	0.305	25.0	7.01	47.1	12.3	2.59	16.4	94.1	24.7	2.00
	0.125	10.02	0.116	65.7	2.74	19.3	5.06	2.66	6.54	38.6	10.1	2.00
7.500	x 0.500	37.42	0.465	16.1	10.3	63.9	17.0	2.49	23.0	128	34.1	1.96
	0.375	28.56	0.349	21.5	7.84	50.2	13.4	2.52	17.8	100	26.8	1.88
	0.312	23.97	0.291	25.8	6.59	42.9	11.4	2.55	15.1	85.8	22.9	1.96
7.000	x 0.500	34.74	0.465	15.1	9.55	51.2	14.6	2.32	19.9	102	29.3	1.83
	0.375	26.56	0.349	20.1	7.29	40.4	11.6	2.35	15.5	80.9	23.1	1.83
	0.312	22.31	0.291	24.1	6.13	34.6	9.88	2.37	13.1	69.1	19.8	1.83
7.000	x 0.250	18.04	0.233	30.0	4.95	28.4	8.11	2.39	10.7	56.8	16.2	1.83
	0.188	13.69	0.174	40.2	3.73	21.7	6.21	2.41	8.11	43.5	12.4	1.83
	0.125	9.19	0.116	60.3	2.51	14.9	4.25	2.43	5.50	29.7	8.49	1.83

Fuente: AISC Steel Construction manual 13th

Se calculó la longitud del brazo metálico en donde se descontó la longitud del dissipador el cual es 40” aproximadamente 1.016 metros.

$$L_{total} = 6.265m$$

$$L_{neta} = L_{brazo} = 6.265 - 1.016 = 5.249m = 206.65 in$$

- Pandeo por flexión sin elementos esbeltos

La resistencia de compresión nominal, P_n , debe ser determinada basada en el estado límite de pandeo por flexión:

$$P_n = F_{cr} \cdot A_g \tag{5.6}$$

La tensión de pandeo por flexión, F_{cr} , se determina como sigue:

a) Cuando: $\frac{KL}{r} \leq 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \cdot F_y \tag{5.7}$$

b) Cuando: $\frac{KL}{r} > 4.71 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$

$$F_{cr} = 0.877 \cdot F_e \tag{5.8}$$

Para el cálculo del esfuerzo de pandeo elástico se utilizó la siguiente formula:

$$F_e = \frac{\pi^2 x E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} \quad (5.9)$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del acero

$\frac{KL}{r}$ = relación de esbeltez

Obtenemos:

$$\frac{Lc}{r} = \frac{206.65}{2.49} = 82.99 < 200 \text{ (Cumple)}$$

$$F_e = \frac{\pi^2 x 29000}{\left(\frac{206.65}{2.49}\right)^2} = 41.558 \text{ ksi}$$

Debido a que el esfuerzo de pandeo crítico es menor que 42 ksi, entonces se sabe que el perfil trabaja en el rango de pandeo elástico.

Entonces:

$$\frac{206.65}{2.49} \leq 4.71 \sqrt{\frac{29000}{42}}$$

$$82.992 \leq 123.76$$

Después se calculó el esfuerzo de pandeo por flexión para el perfil que estamos analizando:

$$F_{cr} = \left(0.658^{\frac{42}{41.558}}\right) \cdot 42 = 27.513 \text{ ksi}$$

Luego se calcula la resistencia nominal mediante la metodología LRFD, según lo siguiente:

$$\Phi P_n = \Phi \times F_{cr} \times A_g \quad (5.10)$$

$$\Phi P_n = 0.9 \times 27.513 \times 10.3 = 255.045 \text{ kips} = 114.767 \text{ ton}$$

La resistencia del perfil metálico a la fluencia será:

$$\Phi T_n = \Phi \times F_y \times A_g \quad (5.11)$$

$$\Phi T_n = 0.9 \times 42 \times 10.3 = 389.34 \text{ kips} = 175.20 \text{ ton}$$

Entonces se puede comprobar que el perfil si cumple para las sollicitaciones impuestas:

$$\Phi P_{nx} = 114.767 \text{ ton} > 112.61 \text{ ton (Cumple)}$$

$$\Phi T_{nx} = 175.20 \text{ ton} > 112.61 \text{ ton (Cumple)}$$

CAPÍTULO VI: COMPARACIÓN TÉCNICA-ECONOMICA DE LA EDIFICACIÓN EXISTENTE Y LA PROPUESTA.

6.1 Estudio Comparativo de los Resultados y Costos

6.1.1 Comparación Técnica

El análisis comparativo de los 2 modelos refleja los siguientes resultados para un análisis con el control de la norma E 030 en el sentido X-X.

Según nuestra propuesta, se logra reducir las distorsiones un 30% aproximadamente, porcentaje que no solo asegura la estructura y brinda ductilidad, sino, además, es un valor suficiente para la revisión de la norma actual E.030

A continuación, se presentan los resultados comparativos en cuanto a desplazamientos, distorsiones, aceleraciones y otros del edificio en estudio (con y sin disipadores de energía) teniendo como sismo de diseño el de Huaral 1966 – Caso de análisis 1

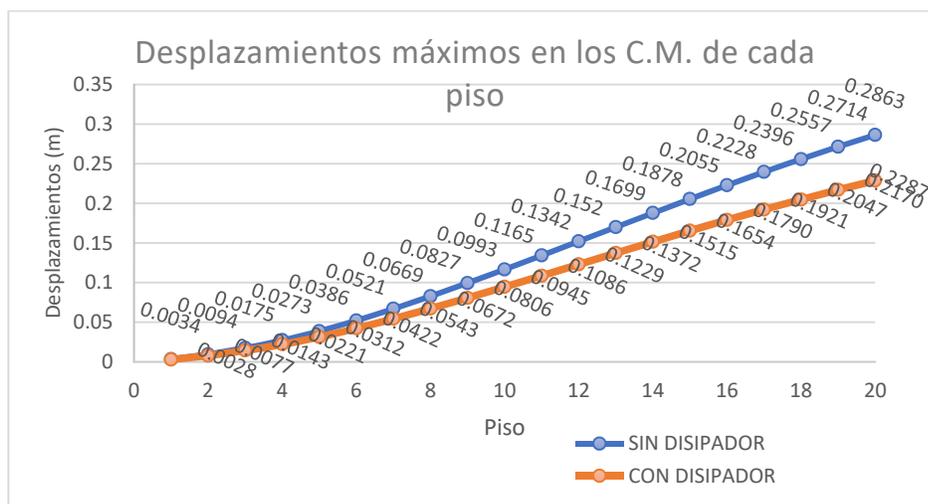
a) Desplazamientos en los centros de masa

Dirección X-X

La incorporación de disipadores de energía viscosos en la estructura reduce los desplazamientos de piso en la dirección X-X en un rango de entre 23 a 28% tal como se muestra en la figura N° 83 y tabla N°53.

Figura 83:

Desplazamientos Máximos Absolutos en los C.M. de cada Piso (Dirección X-X).



Fuente: Elaboración propia

Tabla 53:

Porcentaje de Reducción de los Desplazamientos Máximos en los C.M. de cada Piso.

Nivel	Sin disipador (m)	Con disipador (m)	% Reducción
20	0.2863	0.2287	28.82%
19	0.2714	0.2170	28.74%
18	0.2557	0.2047	28.59%
17	0.2396	0.1921	28.46%
16	0.2228	0.1790	28.32%
15	0.2055	0.1654	28.18%
14	0.1878	0.1515	28.01%
13	0.1699	0.1372	27.96%
12	0.152	0.1229	27.89%
11	0.1342	0.1086	27.87%
10	0.1165	0.0945	27.81%
9	0.0993	0.0806	27.90%
8	0.0827	0.0672	27.93%
7	0.0669	0.0543	27.95%
6	0.0521	0.0422	28.21%
5	0.0386	0.0312	27.20%
4	0.0273	0.0221	26.01%
3	0.0175	0.0143	24.57%
2	0.0094	0.0077	23.40%
1	0.0034	0.0028	23.53%

Fuente: Elaboración propia

b) Distorsiones de Entrepiso

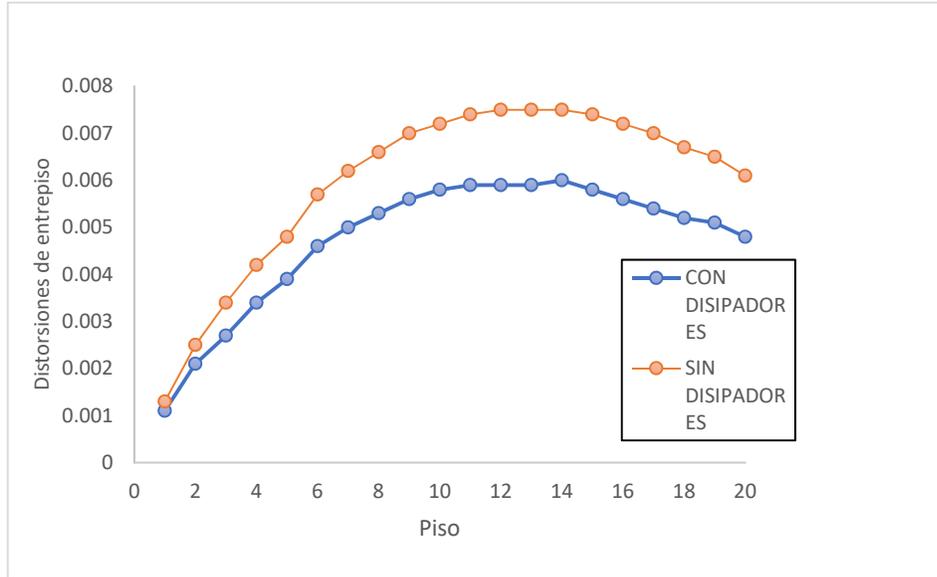
Dirección X-X

Las distorsiones de entrepiso en la dirección X-X se redujeron en un rango entre el 20% y 23% tal como se aprecia en la figura N°84 y tabla N°54. Es importante mencionar que la distorsión máxima en la estructura con disipadores de energía viscosos es igual a 5.59 ‰, valor que satisface la distorsión objetivo de 7.0 ‰

es decir la máxima distorsión permitida por la Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E030.

Figura 84:

Distorsiones de Entrepiso en Dirección X-X.



Fuente: Elaboración propia

Tabla 54:

Porcentaje de Reducción de las Distorsiones de Entrepiso en Dirección X-X

Nivel	Sin disipador (m)	Con disipador (m)	% Reducción
20	0.0061	0.0048	21.31%
19	0.0065	0.0051	21.54%
18	0.0067	0.0052	22.39%
17	0.007	0.0054	22.86%
16	0.0072	0.0056	22.22%
15	0.0074	0.0058	21.62%
14	0.0075	0.006	20.00%
13	0.0075	0.0059	21.33%
12	0.0075	0.0059	21.33%
11	0.0074	0.0059	20.27%
10	0.0072	0.0058	19.44%
9	0.007	0.0056	20.00%

Nivel	Sin disipador (m)	Con disipador (m)	% Reducción
8	0.0066	0.0053	19.70%
7	0.0062	0.005	19.35%
6	0.0057	0.0046	19.30%
5	0.0048	0.0039	18.75%
4	0.0042	0.0034	19.05%
3	0.0034	0.0027	20.59%
2	0.0025	0.0021	16.00%
1	0.0013	0.0011	15.38%

Fuente: Elaboración propia

c) Modos y periodos de vibración

En la siguiente Tabla N° 55, se puede apreciar que los períodos resultantes son los mismos a los de la estructura sin los disipadores de energía, esto se debe a que estos dispositivos no incrementan la rigidez de la estructura, lo que generaría que los periodos no varíen.

Tabla 55:

Periodos de Vibración de la Edificación con Disipadores de Energía

Modo	Periodo (seg)	% Masa Participante	Σ Acumulado %
		X-X	X-X
1	1.439	66.15%	66.15%
2	0.915	0.00%	66.15%
3	0.699	0.76%	66.91%
4	0.371	16.52%	83.43%
5	0.216	0.00%	83.43%
6	0.172	6.46%	89.90%
7	0.163	0.45%	90.35%
8	0.108	3.33%	93.67%
9	0.099	0.00%	93.67%
10	0.077	1.57%	95.24%
11	0.074	0.38%	95.62%
12	0.062	0.00%	95.62%
13	0.060	1.13%	96.76%
14	0.049	0.77%	97.53%

Modo	Periodo (seg)	% Masa Participante	Σ Acumulado %
		X-X	X-X
15	0.047	0.18%	97.71%
16	0.045	0.00%	97.71%
17	0.045	0.01%	97.71%
18	0.045	0.00%	97.71%
19	0.045	0.00%	97.71%
20	0.045	0.00%	97.71%
21	0.045	0.01%	97.72%
22	0.045	0.00%	97.72%
23	0.042	0.58%	98.30%
24	0.037	0.36%	98.66%
25	0.035	0.00%	98.66%
26	0.034	0.07%	98.73%
27	0.034	0.02%	98.75%
28	0.034	0.00%	98.75%
29	0.034	0.00%	98.76%
30	0.033	0.02%	98.78%
31	0.032	0.22%	99.00%
32	0.029	0.21%	99.21%
33	0.028	0.00%	99.21%
34	0.027	0.06%	99.27%
35	0.027	0.02%	99.29%
36	0.027	0.12%	99.41%
37	0.026	0.04%	99.45%
38	0.025	0.12%	99.57%
39	0.024	0.00%	99.57%
40	0.024	0.03%	99.61%
41	0.023	0.10%	99.71%
42	0.021	0.08%	99.79%
43	0.021	0.00%	99.79%
44	0.019	0.12%	99.91%
45	0.018	0.00%	99.91%

Modo	Periodo (seg)	% Masa Participante	Σ Acumulado %
		X-X	X-X
46	0.018	0.03%	99.94%
47	0.016	0.00%	99.94%
48	0.016	0.04%	99.98%
49	0.015	0.00%	99.98%
50	0.014	0.00%	99.98%
51	0.014	0.01%	99.99%
52	0.013	0.00%	99.99%
53	0.012	0.01%	100.00%
54	0.011	0.00%	100.00%
55	0.010	0.00%	100.00%
56	0.009	0.00%	100.00%
57	0.009	0.00%	100.00%
58	0.007	0.00%	100.00%
59	0.005	0.00%	100.00%
60	0.003	0.00%	100.00%

Fuente: Elaboración propia

Se puede apreciar que los períodos resultantes son los mismos a los de la estructura sin los disipadores de energía, esto se debe a que estos dispositivos no incrementan la rigidez de la estructura, lo que generaría que los periodos no varíen.

6.2 Comparación Económica

6.2.1 Generalidad

Para realizar un correcto análisis de costos en una estructura con disipadores de energía en comparación con una convencional se debería tener en cuenta lo siguiente:

- La ventaja del uso de disipadores económicamente llega a observarse con mayor claridad al ocurrir un terremoto, ya que su funcionalidad no se verá interrumpida antes, durante y después del evento sísmico, a diferencia del convencional.
- No se debe considerar solo la instalación de los disipadores y comparar con la convencional, sino se debe considerar las posibles fallas estructurales que llegaría a tener la estructura convencional ante un evento sísmico, ya que a lo largo

del tiempo los disipadores resultan más económicos ya que producen menos gastos económicos de reparación en comparación con el convencional, justificando así la inversión inicial adicional.

Es necesario considerar el principal beneficio directo del uso del sistema de disipación de energía que reduce el número víctimas y daños ante sismos severos, por lo tanto, se preserva la seguridad de las personas.

6.2.2 Estimación de costos

Para realizar la comparación económica se realizaron cuadros comparativos para demostrar la diferencia de precios de una estructura con disipadores de energía de fluido viscoso en comparación con la estructura convencional.

A continuación, en las tablas N° 56 y N°57 se observa los presupuestos del sistema convencional y aislado, respectivamente.

Tabla 56:

Presupuesto de Edificación Existente Convencional "Multifamiliar Huiracocha 2257"

Partidas	Parcial (MO) (S/.)	Parcial (Mat) (S/.)	Parcial (SC) (S/.)	COSTO (S/.)
Obras Provisionales	84866.67	209050.00	1493586.23	1787502.90
Seguridad y Salud	173960.00	338273.00	213601.20	725834.20
Estructuras Sótano	416063.39	1528821.37	1188277.12	3133161.88
Estructuras Torre	605538.61	2289599.95	1263783.65	4158922.21
Acabados Sótano (Resto de Partidas)	151274.88	34534.69	262180.33	447989.90
Puertas Contra Incendio	-	-	11375.00	11375.00
Puertas de Madera y Melamine	-	-	29627.90	29627.90
Acabados Torre (Resto de Partidas)	219067.15	545648.53	710218.26	1474933.93
Muros y Revoques Torre	465560.74	222636.78	1924641.50	2612839.02
Cerámicos y Porcelanatos	-	146050.76	45297.34	191348.11
Piso Laminado	-	193412.64	32561.05	225973.69
Contra zócalos	51168.94	80548.83	13043.78	144761.55
Puertas Contra Incendio	-	-	140527.00	140527.00
Puerta de Madera	-	-	551616.09	551616.09
Puertas de Melamine	-	-	28739.91	28739.91
Muebles de Cocina y Closets	-	-	800202.10	800202.10

Ventanas, Mamparas y Barandas	-	-	1120367.75	1120367.75
Tableros de Mármol y Granitos	-	-	201598.64	201598.64
Sanitarios y Griferías	-	-	335964.28	335964.28
Instalación Eléctrica	728253.84	1092380.76	-	1820634.60
Instalación Sanitaria	482368.64	723552.96	-	1205921.60
Agua Contra Incendio	-	-	371701.00	371701.00
Gas	-	-	329528.75	329528.75
Instalaciones Mecánicas	-	-	429648.76	429648.76
Equipamiento	-	-	-	-
Ascensores	-	-	599084.58	599084.58
Grupo Electrógeno	-	-	71345.06	71345.06
Sistema de CCTV	-	-	7485.69	7485.69
Detección de Alarma (inc. 2%dscto)	-	-	41197.23	41197.23
Intercomunicadores (inc. 2%dscto)	-	-	52818.13	52818.13
Costo Directo =	3378122.85	7404510.27	12270018.35	23052651.47
Gastos Generales = 11.27%	-	103644.00	2495050.00	2598694.00
Utilidades = 7.00%	-	754784.32	858901.28	1613685.60
COSTO TOTAL (sin IGV) =	3378122.85	8262938.58	15623969.64	27265031.08
IGV = 15.77%	-	1487328.95	2812314.53	4299643.48
COSTO TOTAL (con IGV) =	S/ 3,378,122.85	S/ 9,750,267.53	S/ 18,436,284.17	S/ 31,564,674.56

Fuente: Elaboración Propia

Adicional se presenta la siguiente cotización para los elementos de disipación de energía (considerando una tasa de cambio de S/. 3.58, noviembre del 2020).

Tabla 57:

Presupuesto de Disipadores de Fluido Viscoso.

Descripción	Cantidad	P.U.	Parcial
DISIPADOR 250 KN	20	S/ 10,740.00	S/ 214,800.00
CONEXIÓN	20	S/ 3,580.00	S/ 71,600.00
TOTAL			S/ 286,400.00

Fuente: Elaboración Propia

Se observa que la influencia del costo de los disipadores en el presupuesto general es de aproximadamente 1.05%, mientras que la influencia del costo

de los disipadores solo en la partida de estructuras torre es de 6,89%, este valor es mucho menor a lo que se obtendría por costos de reparación, ratio que se maneja entre el 15 a 20% del presupuesto, justificando así su uso.

Otro gran beneficio y que justifica la inversión inicial de los aisladores es el costo casi nulo de la reparación antes un sismo de gran magnitud, en comparación con el convencional, que podría llegar a tener grietas, fallas y quizás destrozos de algunos elementos estructurales, lo cual podría ocasionar el desalojamiento de la zona, provocando así incomodidad a los habitantes de la vivienda multifamiliar y grandes costos de reparación o reforzamiento de algunas zonas.

6.3 Contrastación de Hipótesis.

6.3.1 Hipótesis General

Incorporando disipadores de fluido viscoso al diseño estructural existente, mejora el comportamiento ante un sismo de gran magnitud y se reducen los costos en reparación estructural.

Se cumplió con la hipótesis general en verificación con los resultados obtenidos y presentados en el capítulo 6, demostrando la mejora del comportamiento estructural con el cumplimiento de todas las derivas y desplazamiento según la verificación con la norma E 030, al cumplir y reducir el esfuerzo de los elementos estructurales ante un sismo, implica que los daños se minimizan, por ende, también se reduciría el costo de reparación en caso se tuviera que presupuestar por reparación post sismo.

6.3.2 Hipótesis Específicas

a) La influencia del sistema estructural dual sobre el comportamiento sísmico de la edificación no es correcta frente a un sismo severo.

Se cumplió la hipótesis, puesto que se realizó la simulación de un sismo severo utilizando el método del análisis tiempo-historia con la edificación convencional como se muestra en el capítulo 5, obteniendo derivas no permisibles en control con la Norma E.030 en la dirección X-X.

b) La influencia del sistema estructural con disipadores de fluido viscoso sobre el comportamiento sísmico de la edificación es correcta frente a un sismo severo.

Se cumplió la hipótesis, puesto que se realizó la simulación de un sismo severo utilizando el método del análisis tiempo-historia con la edificación con disipadores de energía de fluido viscoso como se muestra en el capítulo 5, obteniendo derivas permisibles en control con la Norma E.030 en la dirección X-X.

c) Existe la influencia de los disipadores de fluido viscosos en la vida útil de la edificación después de un sismo severo.

Se cumplió la hipótesis, puesto que en nuestro análisis tiempo-historia con la asignación de disipadores de energía de fluido viscoso en la edificación como se muestra en el capítulo 5, se obtienen resultados favorables, reduciendo en un 30% las distorsiones, generando así una mejora en la vida útil del proyecto ante el sismo en mención.

d) La diferencia de costos en el presupuesto inicial y el presupuesto de la propuesta estructural con disipadores es menor que el monto que se gasta en reparaciones de la estructura inicial frente a un sismo severo.

Sí se cumplió la hipótesis en mención, puesto que los resultados en el capítulo 6, se presenta una influencia en el presupuesto puntual de la partida de estructuras del 6.89%, que es menor ratio de reparación para sismo que se maneja entre 10 a 15% del presupuesto, quedando así esta hipótesis demostrada.

CONCLUSIONES

1. La estructura analizada en su configuración existente mostró tener deficiencias estructurales tales como derivas frente a los requerimientos por la norma actual sismorresistente. Se observó que las distorsiones máximas en la dirección X-X fueron de 7.5 ‰ excediendo la verificación de la norma E.030 en un 6.67% que corresponde al Caso 1 del registro sísmico de Huaral 1966. Mientras que en el sentido de análisis Y, cumplió correctamente con las verificaciones propuestas de la normativa vigente.
Además, el desplazamiento máximo de la estructura se observa en el piso 20 siendo de 0.2863 m. y un periodo de vibración de $T = 1.439$ seg.
2. El modelo estructural propuesto, suple todas las deficiencias del modelo existente, mejorando en un 30% las distorsiones presentadas en la edificación actual en la dirección X de análisis.
Además, en el desplazamiento máximo de la estructura se observa una reducción de 28.82%, manteniendo el periodo de vibración de $T = 1.439$ segundos. Esto se debe a que los dispositivos de energía de fluido viscoso no incrementan la rigidez de la estructura, lo que genera que los periodos no varíen.
3. La propuesta de un espectro de diseño inelástico forzando el coeficiente de reducción sísmica a menor valor para el análisis dinámico espectral, y el análisis tiempo historia para registros de sismos severo el Caso 1 del sismo en Huaral 1966, el cual se escogió como sismo de diseño, hacen que nuestro modelo extienda su vida útil al cumplir con todas las verificaciones sísmicas para estas consideraciones.
4. Se presenta una influencia del 6.89% del presupuesto total de la partida de estructuras para los disipadores de fluido viscoso, este valor es menor al 15% que es una ratio aproximado destinado para las reparaciones estructurales por sismo severo para edificaciones como la nuestra. Dando pie a la justificación del uso de estos implementos para la disipación de energía.

RECOMENDACIONES

1. Se recomienda modelar la edificación empleando acelerogramas que hayan sido tomados en suelos con características similares al proyecto, estos valores reflejaran la realidad en la cual se presenta la edificación. Estos registros deberán ser obtenidos o provistos por el Instituto Geofísico del Perú o podrán obtenerse de la Red Acelerográfica del CISMID.
2. Se recomienda escalar los registros sísmicos a un espectro de pseudo-aceleración creado como lo establece la norma peruana de diseño sismorresistente utilizando un software especializado para obtener mejor ajuste del registro sísmico al comportamiento esperado.
3. Se recomienda una evaluación a detalle sobre los disipadores y mecanismos a usar, ya que un sobre dimensionamiento no solo es perjudicial para el comportamiento de la estructura sino además genera un sobre costo a mediano y largo plazo por motivos de mantenimiento del sistema propuesto.
4. Se recomienda un análisis a fondo sobre la ubicación de los disipadores en tipos de edificaciones como la presente, muchas veces en proyectos multifamiliares, la estética de las fachadas o detalles arquitectónicos priorizan de mala manera sobre las consideraciones estructurales, restringiendo así la libre ubicación de estos mecanismos, forzando la edificación a un comportamiento no deseado.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASCE (2010), Minimum Design Loads for Buildings and Others Structures (ASCE/SEI 7-10), American Society of Civil Engineers
- Bozzo, L., & Barbat, A. (2004). Diseño sismorresistente de Edificios, Técnicas convencionales y avanzadas. (Editorial). Recuperado de <https://stehven.files.wordpress.com/2015/06/disec3b1o-sismorresistente-de-edificios-escrito-por-luis-m-bozzo-rotondo-alex-h-barbat.pdf>
- Carlos Genatios & Marianela Lafuente (2016). Introducción al Uso de Aisladores y Disipadores en Estructuras. (Caracas, CCAF- Banco de Desarrollo de América Latina).
- Chopra, A. (2014). Dinámica de Estructuras (4ta Edición). México: Pearson Educación.
- Duque, Pilar & Oviedo, Juan (2006). Sistemas de control de respuesta sísmica en edificaciones.
- Farzad Naeim & James M. Kelly (1999). Design of seismic isolated structures.
- FEMA (2003), HAZUS-MH MR4 Earthquake Technical Manual, Federal Emergency Management Agency & National Institute of Buildings Sciences, Washington, D.C.
- HAZUS99 (2003). Multi-hazard Loss Estimation Methodology.
- Hernández, R., Fernández, C., & Baptista, P. (2014). Metodología de la investigación (6a ed.). México D.F., México: McGraw-Hill.
- Hwang, J.-S. (2002). Seismic Design of Structures with Viscous Dampers.
- IGP. (2000). Mapa de sismicidad ocurrida en el Perú entre 1900 – 2000. Recuperado de <https://portal.igp.gob.pe/sismos-reportados-anualmente>
- Juan C. Fuentes (2015) Análisis Sísmico de una Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso (Tesis por titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Juan P. Pardo Verdugo (2007) Control de la Respuesta Dinámica de Estructuras mediante el uso de Disipadores de Energía de Fluido Viscoso del tipo lineal. (Tesis de titulación). Universidad Austral de Chile

- Kuroiwa, J. (2016). Manual para la reducción de riesgos sísmicos de viviendas en el Perú. Lima.
- Leonardo Ramos B. y Luis Rodríguez C. (2019) Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica para el Diseño de Reforzamiento Estructural implementando disipadores de fluido viscoso en la vivienda multifamiliar de 8 niveles, Santiago de Surco. (Tesis de titulación, Universidad Ricardo Palma)
- Mahmoodi, P., Robertson, L. E., Yontar, M., Moy, C., & Feld, L. (1987). Performance of Viscoelastic Dampers in World Trade Center Towers (pp. 632–644). pp. 632–644. Retrieved from <http://cedb.asce.org/CEDBsearch/record.jsp?dockkey=0054051>
- Manuel Borja S. (2012). Metodología de investigación científica para ingenieros.
- Marco A. Montiel O. (2001) Casos en que los disipadores de energía constituyen una mejor opción que los contravientos para reforzar edificios. (Tesis para optar el grado de Maestro, Universidad Nacional Autónoma de México)
- Mario Eduardo Narváz Espinoza (2019). Análisis Comparativo Técnico-Económico de una Edificación de 12 pisos, empleando Amortiguadores de Fluido Viscoso y Disipadores Histeréticos. (Tesis para optar el grado de Magister, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Oviedo, J., & Duque, M. del P. (2006). Sistemas De Control De Respuesta Sísmica En Edificaciones. Revista EIA, (6), 105–120. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?pid=S1794-12372006000200010&script=sci_arttext&tlng=pt
- Oviedo, J., & Duque, M. del P. (2009). Metallic Hysteretic Dampers as A Seismic Response Control Technique in Colombian Buildings. Revista EIA, (11), 51–63. Retrieved from http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S1794-12372009000100005
- Ramiro I. Villagra G. (2011) Aplicación de disposiciones de Norma Chilena en estudio para Diseño de Edificios con Disipadores de Energía (Tesis de titulación, Universidad de Chile).

- Roberto Chacón A. y José Ramírez C. (2014) Análisis de una edificación de 4 pisos con disipadores de fluido viscoso. (Tesis de titulación, Pontificia Universidad Católica del Perú).
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). In Norma Técnica E.030.
- Sarmiento, R., & Villarreal, G. (2008). Edificaciones con Disipadores de Energía (1st ed.). Retrieved from https://www.academia.edu/5328500/EDIFICACIONES_CON_DISIPADORES_DE_ENERGIA
- Symans, M. D., Charney, F. A., Whittaker, A. S., Constantinou, M. C., Kircher, C. A., Johnson, M. W., & McNamara, R. J. (2008). Energy dissipation systems for seismic applications: current practice and recent developments. *Journal of Structural Engineering*, 134(1), 3–21.
- Taylor, D. (2003). Mega Brace Seismic Dampers for The Torre Mayor Project at Mexico City. 11. Retrieved from [http://www.taylordevices.eu/pdfs/Mega Brace Seismic Dampers-Taylor.pdf](http://www.taylordevices.eu/pdfs/Mega%20Brace%20Seismic%20Dampers-Taylor.pdf)
- T. T. Soong & G. F. Dargush (1997). *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*.
- Villaverde, R. (2009). *Fundamental concepts of earthquake engineering*. Boca Raton, Florida: CRC Press.
- Whittaker, A. (1989). *Earthquake Simulator Testing of Steel Plate Added Damping and Stiffness Elements*. California, EEUU.

ANEXOS

Anexo 1: Matriz de operacionalización de variables

Variable	Dimensiones	Indicadores	Instrumentos
INDEPENDIENTE		Estructuración y predimensionamiento	Simetría, homogeneidad, continuidad, diafragmas rígidos, rigidez lateral
		Metrado de cargas de gravedad	Carga viva, carga muerta
	Diseño y análisis estructural	Fuerza cortante Resultado de análisis Zonificación sísmica	Carga de sismo en X y Y. Fuerza axial, fuerza cortante y momento flector Zona 1,2,3 y 4.
	Sistema estructural dual	Categoría de la edificación Análisis de la estructura	Categoría A, B, C y D Análisis estático Análisis dinámico
Sistema estructural con disipadores de energía de fluido viscoso	Sistemas pasivos Desplazamientos	Disipador sísmico Disipador sísmico	Amortiguador viscoso lineal Amortiguador viscoso no lineal Reducción de los desplazamientos
DEPENDIENTE			
	Diseño arquitectónico	Diagnóstico urbano Funcionalidad	Número de viviendas Área de viviendas Número de habitantes Distribución de espacios Circulación Confortabilidad
		Tipo de suelo	Capacidad portante (Norma técnica E.050)
	Estructura	Resistencia estructural Materiales Albañilería	Resistencia de materiales (Norma técnica E.060) Controles de calidad Albañilería confinada (Norma técnica E.070) Cantidad de demanda máxima
Edificio multifamiliar	Instalaciones eléctricas	Puntos y salidas eléctricas	Circuitos Toma a tierra Cálculo de tensión
	Instalaciones sanitarias	Sistema de agua fría Sistema de bombeo Sistema contra incendio Desagüe y ventilación	Dotaciones, Caudal de diseño, diámetros y pendientes. (Norma IS.010)

Fuente: Elaboración propia

Anexo 2: Matriz de consistencia

Preguntas	Objetivos	Hipótesis	Alcance de Investigación	Tamaño, Muestra y Ensayo		
General						
¿Cómo realizar la comparación técnica y económica de un sistema dual y otro sistema con disipador de fluido viscoso para una edificación multifamiliar en Jesús María?	Realizar la comparación técnica y económica de un sistema estructural dual y otro sistema con disipadores de energía de fluido viscoso para una edificación multifamiliar en Jesús María	Incorporando disipadores de fluido viscoso al diseño estructural existente, mejora el comportamiento ante un sismo de gran magnitud y se reducen los costos en reparación estructural.	Descriptivo (Comparativo)	El desarrollo de la investigación consiste en la propuesta estructural de un edificio de uso multifamiliar de 21 niveles y 4 sótanos en el distrito de Jesús María, que será evaluado bajo la implementación de disipadores de fluido viscoso.		
Específicos						
¿Cómo influye el sistema estructural dual en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María?	Determinar cómo el sistema estructural dual influye en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María.	La influencia del sistema estructural dual sobre el comportamiento sísmico de la edificación no es correcta frente a un sismo severo.				
¿Cómo influye el sistema estructural con disipadores de fluido viscoso en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María?	Determinar cómo el sistema estructural con disipadores de fluido viscoso influye en el comportamiento sísmico de la edificación en el distrito de Jesús María.	La influencia del sistema estructural con disipadores de fluido viscoso sobre el comportamiento sísmico de la edificación es correcta frente a un sismo severo.				
¿Cómo determinar la influencia del uso del disipador de fluido viscoso en la vida útil de la edificación ante un sismo severo?	Determinar la influencia del uso del disipador de fluido viscoso en la vida útil de la edificación ante un sismo severo	Existe la influencia de los disipadores de fluido viscosos en la vida útil de la edificación después de un sismo severo				
¿Cómo determinar la diferencia del costo presupuestado del modelo de estructura dual con la estructura que usa disipadores de fluido viscoso?	Determinar la diferencia del costo presupuestado del modelo de estructura dual con la estructura que usa disipadores de fluido viscoso	La diferencia de costos en el presupuesto inicial y el presupuesto de la propuesta estructural con disipadores es menor que el monto que se gasta en reparaciones de la estructura inicial frente a un sismo severo				

Elaboración Propi

Anexo 3: Cronograma de actividades

COMPARACIÓN TÉCNICA- ECONÓMICA ENTRE UN SISTEMA DUAL Y OTRO CON DISIPADOR DE FLUIDO VISCOSO PARA UNA EDIFICACION MULTIFAMILIAR.	Plan de desarrollo de investigación								
	Año	2020							2021
	Meses	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE	ENERO
Plan de Tesis		■							
Planteamiento del problema		■							
Objetivos e hipótesis			■						
Marco Teórico			■						
Marco Metodológico				■					
Selección de Población y muestra de estudio				■					
Planteamiento de técnicas, instrumentos y procesamiento de información				■					
Análisis y Cálculos del Modelo									
Estructural									
Modelamiento de la propuesta dual									
Modelamiento de la propuesta con disipadores de fluido viscoso									
Propuesta final del modelo									
Análisis del Presupuesto inicial									
Cotización de modelo propuesto con disipadores de energía									
Conclusiones y Recomendación									
Análisis y discusión de los resultados obtenidos									
Elección de la propuesta más favorable									
Entregable Final y levantamiento de Observaciones									

Fuente: Elaboración propia.

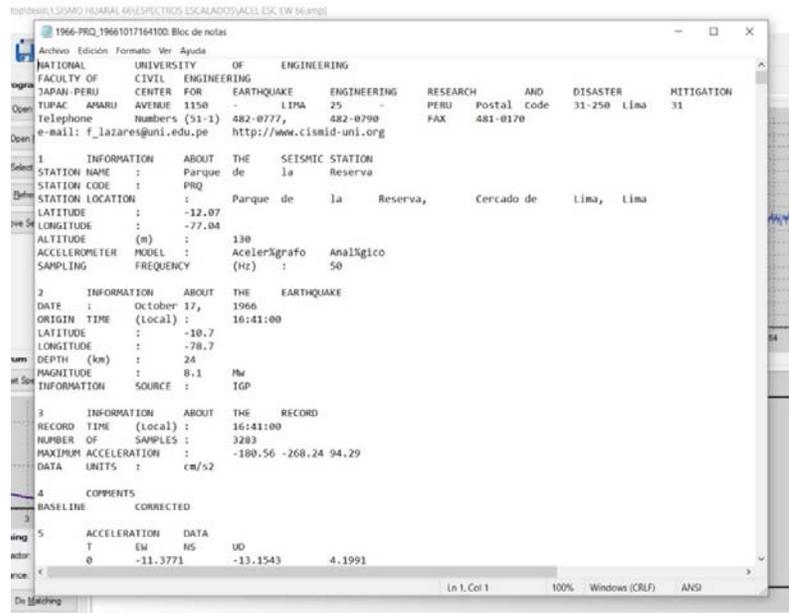
Anexo 4: Presupuesto de la investigación.

ITE M	Descripción	Cantidad	Unid	P.U (S/.)	Precio Parcial	Financiamiento
1	Recursos Físicos					
1.1	Útiles de Escritorio	1	GLB	70	70	Personal
1.2	Libros y Separatas	1	GLB	100	100	Personal
1.3	Impresiones	1	GLB	100	100	Personal
1.3	Empastado	1	GLB	40	40	Personal
1.4	Laptops y equipos electrónicos	1	GLB	1200	1200	Personal
2	Recursos Humanos					
2.1	Curso TITES 2020	2	GLB	6000	12000	Personal
2.2	Asesoramiento Estructural	1	GLB	400	400	Personal
2.3	Cotización de la propuesta	1	GLB	300	300	Personal
3	Servicios					
3.1	Licencia Microsoft Office365	8	MES	21.99	175.92	Personal
3.2	Acceso de Internet	8	MES	200	1600	Personal
PRECIO TOTAL					15985.92	Soles

Fuente: Elaboración propia

Anexo 5: Escalamientos de registros sísmicos con software SeismoMatch.

Valores tomados del CISMID para escalamientos de sismos de diseño



Aceleración en las direcciones EW Y NS

1966-PRQ_19661017164100: Bloc de notas

Archivo Edición Formato Ver Ayuda

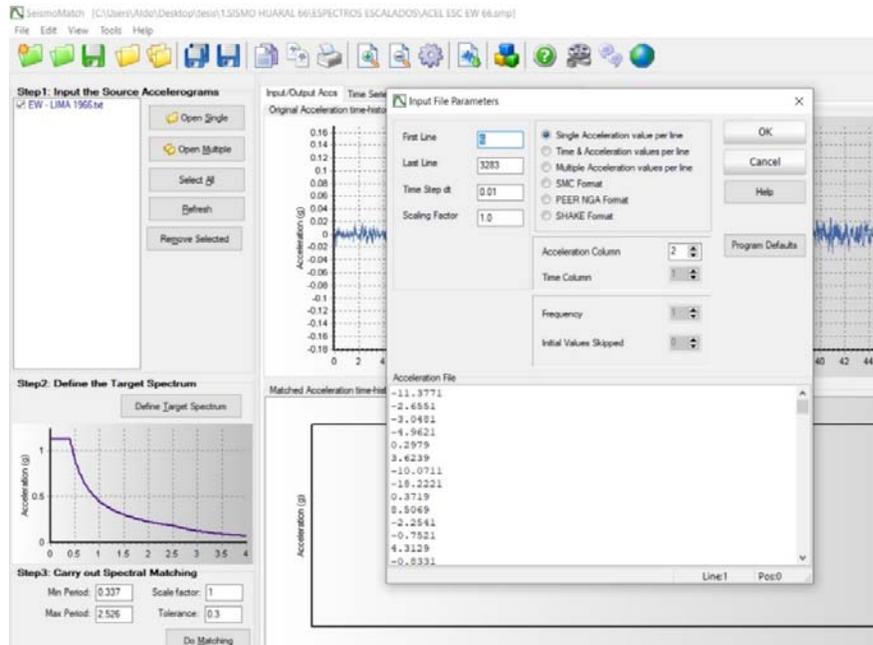
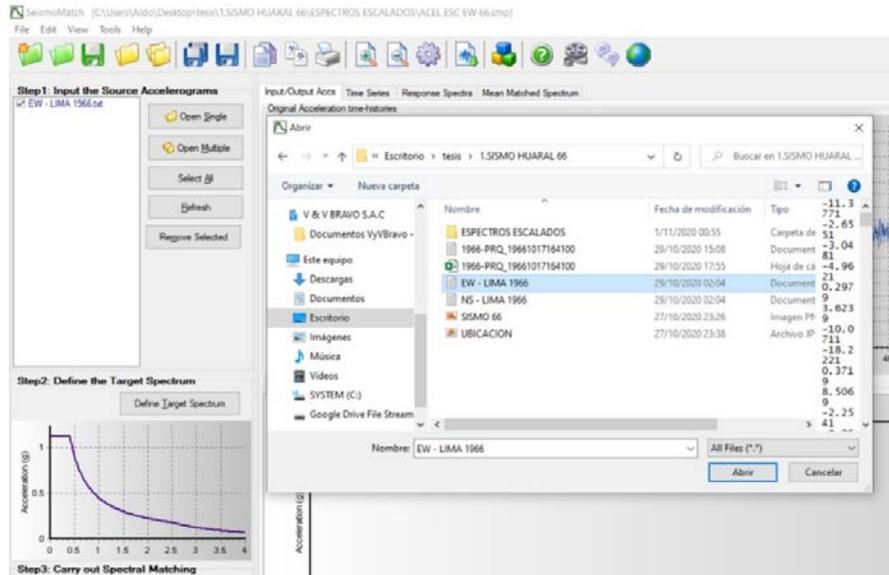
DATA UNITS : cm/s2

4 COMMENTS
 BASELINE CORRECTED

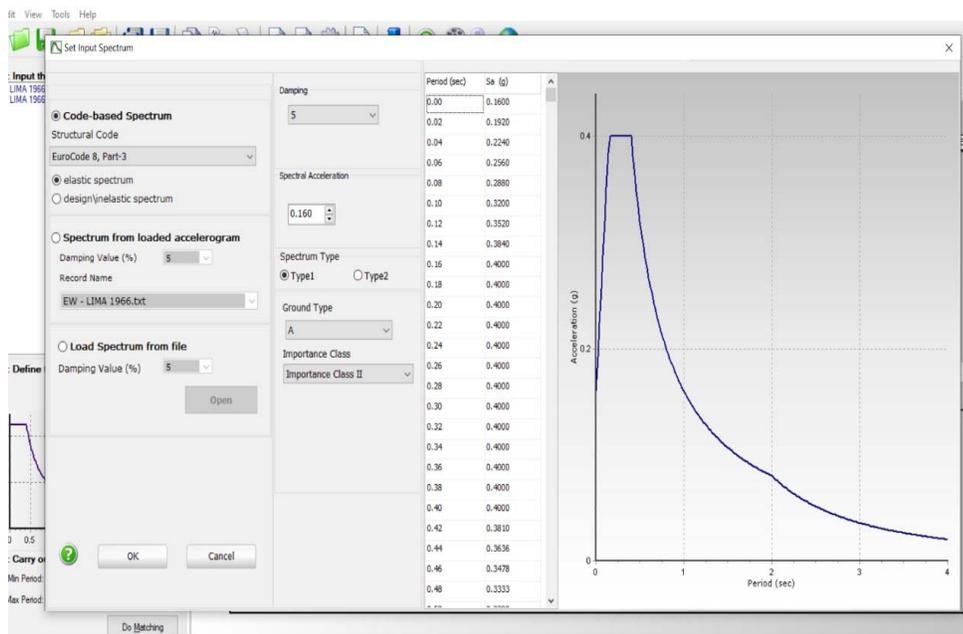
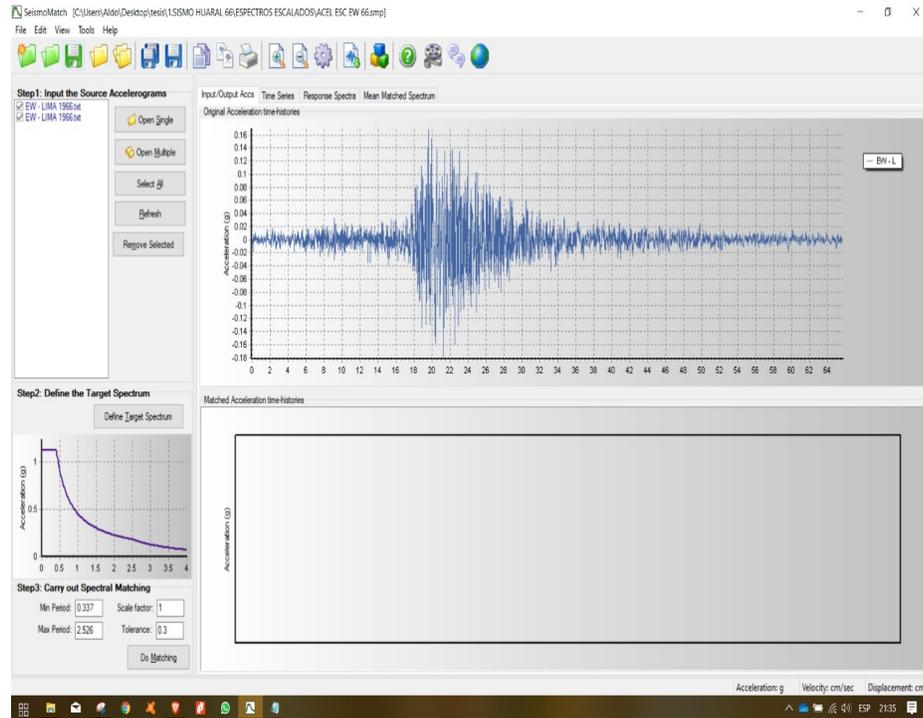
5 ACCELERATION DATA

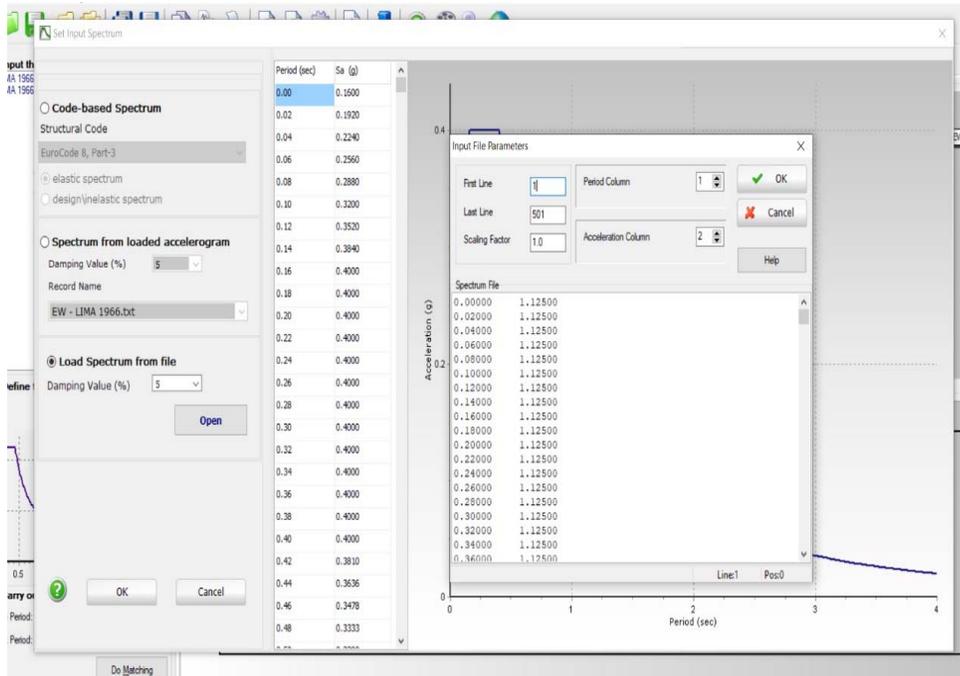
T	EW	NS	UD	
0	-11.3771	-13.1543	4.1991	
0.02	-2.6551	-6.6753	-4.9569	
0.04	-3.0481	-5.1973	-4.5209	
0.06	-4.9621	2.5887	0.9491	
0.08	0.2979	4.0947	9.0771	
0.1	3.6239	-0.6473	6.9631	
0.12	-10.0711	2.8327	-3.0019	
0.14	-18.2221	6.1607	-9.2369	
0.16	0.3719	1.2377	-10.0449	
0.18	8.5069	-3.4773	-0.9529	
0.2	-2.2541	1.3667	5.9311	
0.22	-0.7521	7.4387	2.8821	
0.24	4.3129	4.5367	-2.9659	
0.26	-0.8331	2.8127	-8.7999	
0.28	-1.6581	-1.2503	-9.3879	
0.3	8.1169	-3.0623	-0.0839	
0.32	11.2519	0.9987	6.8011	
0.34	3.2079	-3.2563	4.6901	
0.36	-1.4361	-2.6703	6.3781	
0.38	0.2559	4.2197	7.2261	
0.4	3.2759	1.4577	3.9761	
0.42	5.6979	3.9937	2.2471	
0.44	3.5819	9.4037	0.1731	
0.46	0.6449	0.2677	-4.5819	
0.48	2.1589	-4.9873	-7.4039	
0.5	1.5529	-1.0903	-6.1619	
0.52	-4.9821	-2.4093	-5.3489	
0.54	-1.3781	-5.1703	-6.0059	
0.56	0.8129	-1.8873	0.8561	
0.58	-5.2291	3.5177	3.3081	
0.6	-3.9711	2.6657	-3.7809	

Asignación de valores del CISMID al programa SeismoMatch

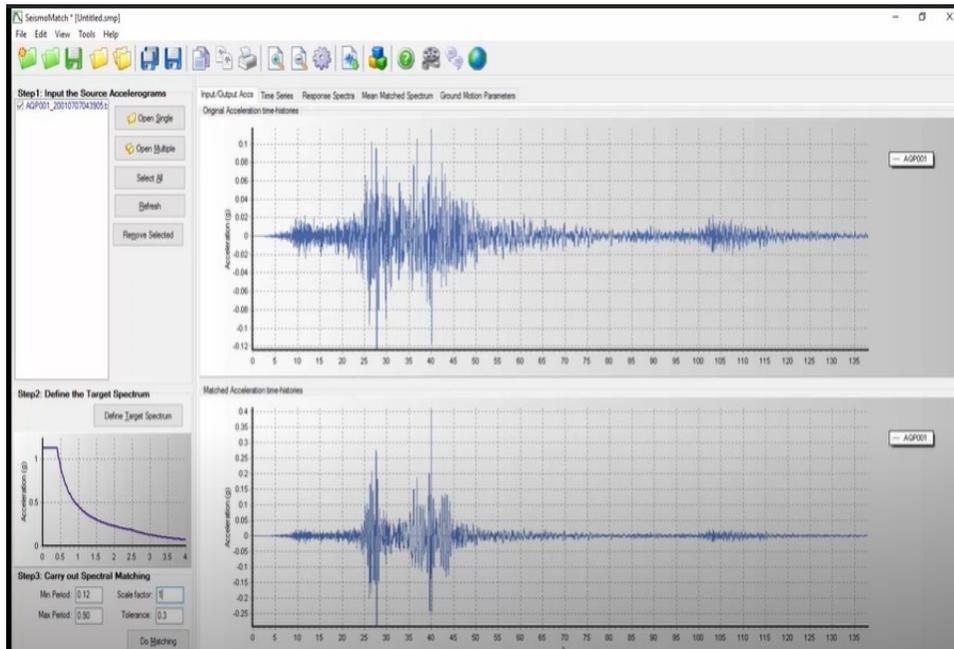


Escalamiento de registros sísmicos





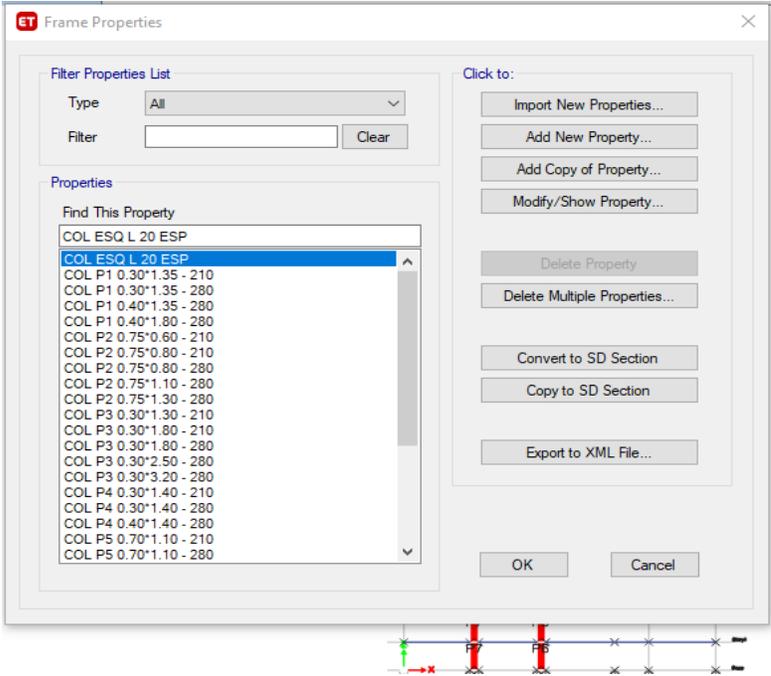
Definición de espectro escalado con R=1



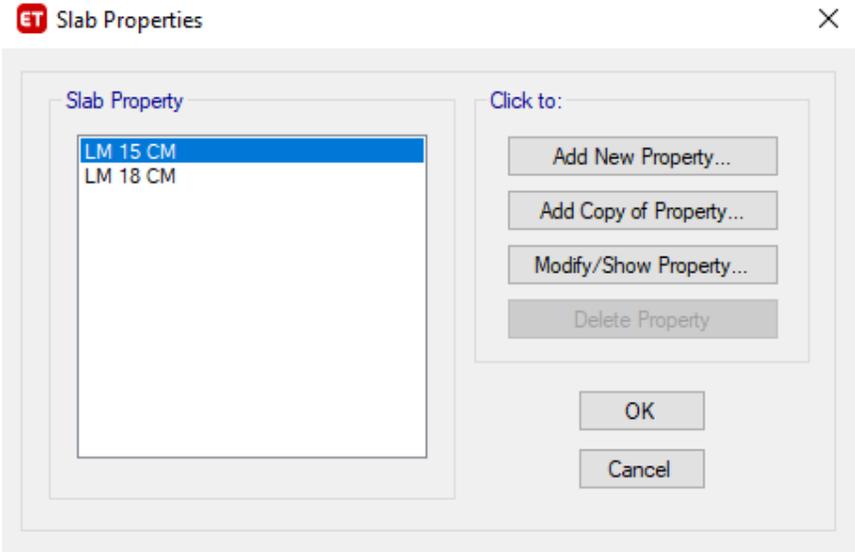
Anexo 6: Definición de elementos estructurales para modelado en programa ETABS

v.18.0.2

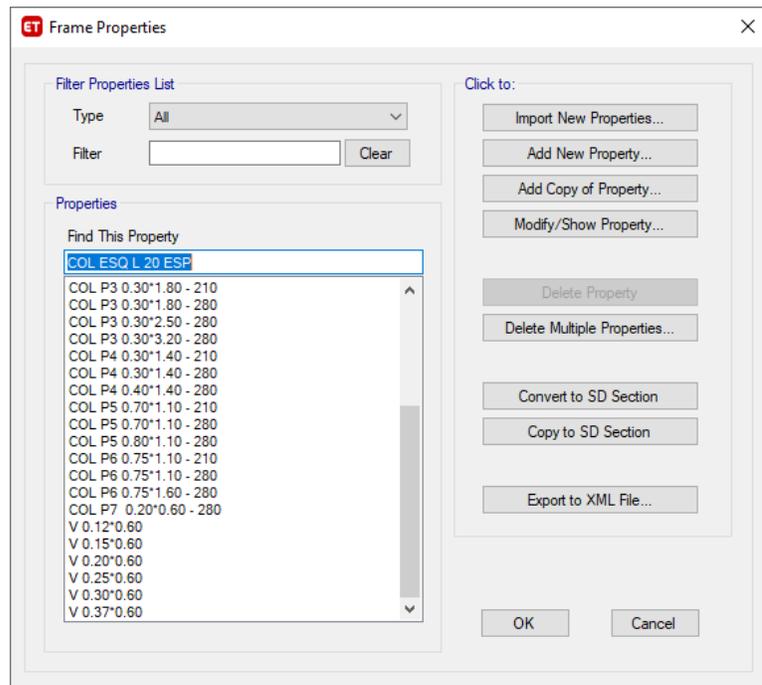
Definición de columnas



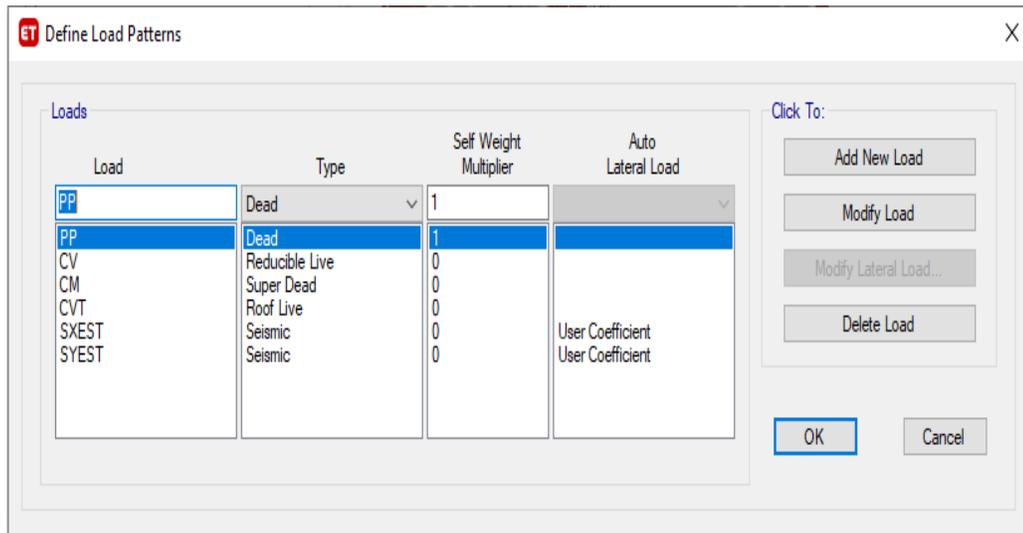
Definición de espesores de Losa Maciza



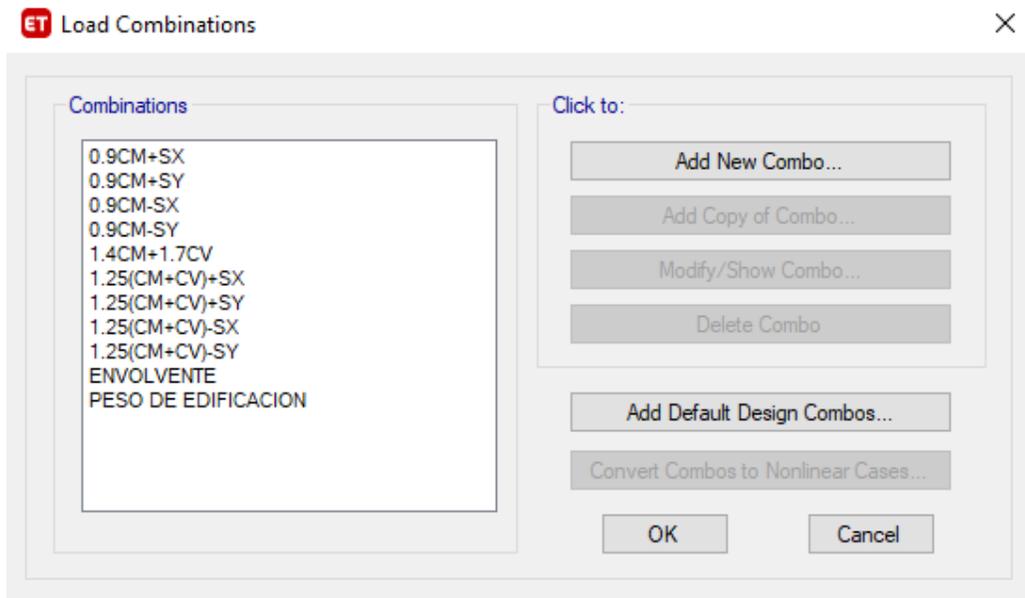
Definición de vigas peraltadas



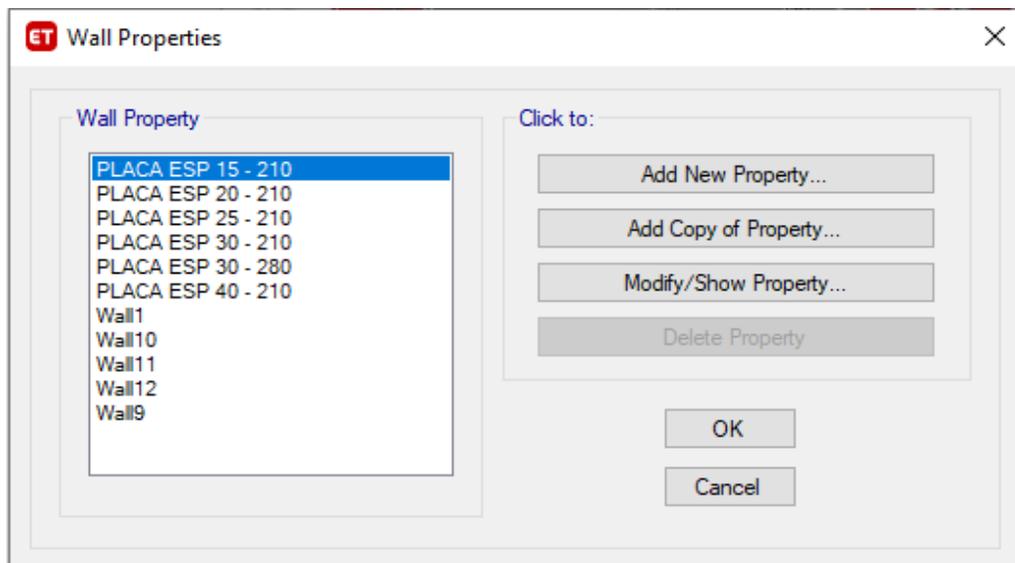
Definición de cargas



Definición de combinaciones de carga según Norma E.020



Definición de placas o muros de corte



Anexo 7: Diseño de disipadores de fluido viscoso

Calculo del periodo fundamental en la dirección X

PERIODO FUNDAMENTAL EN DIRECCIÓN X								
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	ai	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di2	Fi*Di
Piso 20	426.118	3.000	2141.210	0.051	28.326	14.379	88096.129	407.291
Piso 19	472.047	2.700	2031.768	0.048	26.879	14.308	96642.304	384.590
Piso 18	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 17	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 16	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 15	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 14	465.388	2.700	2003.106	0.047	26.499	14.316	95374.889	379.355
Piso 13	473.623	2.700	2038.551	0.048	26.968	14.300	96856.528	385.658
Piso 12	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 11	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 10	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 9	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 8	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 7	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 6	481.512	2.700	2072.509	0.049	27.418	14.292	98347.410	391.838
Piso 5	493.711	2.700	2125.015	0.050	28.112	14.278	100652.839	401.394
Piso 4	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Piso 3	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Piso 2	506.423	2.700	2179.731	0.052	28.836	14.258	102945.338	411.132
Piso 1	564.560	3.000	2836.872	0.067	37.529	13.313	100060.330	499.629
ΣSUMA	9646.853		42235.702	1.000	558.743		1956450.460	7951.601

Calculo del periodo fundamental en la dirección Y

PERIODO FUNDAMENTAL EN DIRECCIÓN Y								
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	Pi*H^K	ai	Fi (Ton)	Di (m)	Pi*Di2	Fi*Di
Piso 20	426.118	3.000	1605.660	0.049	43.480	15.234	98891.181	662.374
Piso 19	472.047	2.700	1566.235	0.048	42.412	15.238	109607.701	646.279
Piso 18	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 17	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 16	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 15	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 14	465.388	2.700	1544.140	0.048	41.814	15.238	108060.052	637.158
Piso 13	473.623	2.700	1571.463	0.048	42.554	15.286	110666.087	650.475
Piso 12	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 11	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 10	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 9	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 8	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 7	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 6	481.512	2.700	1597.640	0.049	43.263	15.323	113057.811	662.920
Piso 5	493.711	2.700	1638.116	0.050	44.359	15.376	116716.302	682.039
Piso 4	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Piso 3	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Piso 2	506.423	2.700	1680.295	0.052	45.501	15.449	120861.079	702.922
Piso 1	564.560	3.000	2127.326	0.066	57.606	16.516	153990.355	951.396
ΣSUMA	9646.853		32453.869	1.000	878.824		2284159.800	13527.560

Calculo de las fuerzas cortantes por nivel en dirección X-X

FUERZA CORTANTE POR NIVEL EN DIRECCIÓN X-X						
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	H Acum.	Pi*H^K	α_i	Fi (Ton)
Piso 20	426.118	3.000	54.600	152171.826	0.106	59.28
Piso 19	472.047	2.700	51.600	155140.028	0.108	60.44
Piso 18	465.388	2.700	48.900	141336.490	0.099	55.06
Piso 17	465.388	2.700	46.200	130018.849	0.091	50.65
Piso 16	465.388	2.700	43.500	119007.655	0.083	46.36
Piso 15	465.388	2.700	40.800	108312.865	0.076	42.19
Piso 14	465.388	2.700	38.100	97945.432	0.068	38.16
Piso 13	473.623	2.700	35.400	89473.169	0.062	34.85
Piso 12	481.512	2.700	32.700	80953.424	0.056	31.54
Piso 11	481.512	2.700	30.000	71324.212	0.050	27.78
Piso 10	481.512	2.700	27.300	62093.810	0.043	24.19
Piso 9	481.512	2.700	24.600	53282.727	0.037	20.76
Piso 8	481.512	2.700	21.900	44914.847	0.031	17.50
Piso 7	481.512	2.700	19.200	37018.469	0.026	14.42
Piso 6	481.512	2.700	16.500	29627.838	0.021	11.54
Piso 5	493.711	2.700	13.800	23362.824	0.016	9.10
Piso 4	506.423	2.700	11.100	17402.673	0.012	6.78
Piso 3	506.423	2.700	8.400	11554.263	0.008	4.50
Piso 2	506.423	2.700	5.700	6535.396	0.005	2.55
Piso 1	564.560	3.000	3.000	2836.872	0.002	1.11
ΣSUMA	9646.853	-	-	1434313.670	1.000	558.74

Calculo de las fuerzas cortantes por nivel en dirección X-X

PERIODO FUNDAMENTAL EN DIRECCIÓN Y						
Nivel	Pi (ton)	Hi (m)	H Acum.	Pi*H^K	ai	Fi (Ton)
Piso 20	426.118	3.000	54.600	53356.800	0.095	83.525
Piso 19	472.047	2.700	51.600	55208.970	0.098	86.424
Piso 18	465.388	2.700	48.900	51010.007	0.091	79.851
Piso 17	465.388	2.700	46.200	47628.853	0.085	74.558
Piso 16	465.388	2.700	43.500	44288.474	0.079	69.329
Piso 15	465.388	2.700	40.800	40990.865	0.073	64.167
Piso 14	465.388	2.700	38.100	37738.257	0.067	59.076
Piso 13	473.623	2.700	35.400	35144.224	0.063	55.015
Piso 12	481.512	2.700	32.700	32465.621	0.058	50.822
Piso 11	481.512	2.700	30.000	29257.096	0.052	45.799
Piso 10	481.512	2.700	27.300	26108.006	0.047	40.870
Piso 9	481.512	2.700	24.600	23022.975	0.041	36.040
Piso 8	481.512	2.700	21.900	20007.534	0.036	31.320
Piso 7	481.512	2.700	19.200	17068.428	0.030	26.719
Piso 6	481.512	2.700	16.500	14214.093	0.025	22.251
Piso 5	493.711	2.700	13.800	11745.649	0.021	18.387
Piso 4	506.423	2.700	11.100	9262.780	0.016	14.500
Piso 3	506.423	2.700	8.400	6615.780	0.012	10.356
Piso 2	506.423	2.700	5.700	4142.216	0.007	6.484
Piso 1	564.560	3.000	3.000	2127.326	0.004	3.330
ΣSUMA	9646.853			561403.954	1.000	878.824

Análisis dinámico tiempo-historia X-X con sismos de diseño

Piso	A.D. Espectral	ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA X-X					
		HUARAL 1966		ANCASH 1970		ICA 1974	
		CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Piso 20	0.0052	0.0061	0.004	0.0066	0.0073	0.0069	0.0068
Piso 19	0.0056	0.0065	0.0045	0.007	0.0079	0.0074	0.0074
Piso 18	0.0058	0.0067	0.0047	0.0072	0.0082	0.0076	0.0076
Piso 17	0.0059	0.007	0.0049	0.0075	0.0084	0.0078	0.0077
Piso 16	0.0060	0.0072	0.0049	0.0077	0.0084	0.008	0.0078
Piso 15	0.0061	0.0074	0.0047	0.0079	0.0084	0.0081	0.0079
Piso 14	0.0061	0.0075	0.004	0.008	0.0081	0.0083	0.0078
Piso 13	0.0059	0.0075	0.0039	0.0079	0.0076	0.0082	0.0076
Piso 12	0.0059	0.0075	0.0037	0.0079	0.0071	0.0082	0.0076
Piso 11	0.0058	0.0074	0.0036	0.008	0.0071	0.0081	0.0076
Piso 10	0.0057	0.0072	0.0036	0.0081	0.0071	0.0079	0.0075
Piso 9	0.0055	0.007	0.0037	0.0081	0.0069	0.0078	0.0073

		ANÁLISIS DINÁMICO TIEMPO-HISTORIA X-X					
Piso	A.D. Espectral	HUARAL 1966		ANCASH 1970		ICA 1974	
		CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2	CASO 1	CASO 2
Piso 8	0.0053	0.0066	0.0038	0.008	0.0067	0.0075	0.007
Piso 7	0.0051	0.0062	0.0037	0.0076	0.0063	0.0072	0.0065
Piso 6	0.0047	0.0057	0.0036	0.0071	0.0058	0.0066	0.006
Piso 5	0.0041	0.0048	0.0031	0.0061	0.0048	0.0057	0.0052
Piso 4	0.0036	0.0042	0.0027	0.0054	0.0045	0.005	0.0045
Piso 3	0.0030	0.0034	0.0023	0.0044	0.0039	0.0041	0.0039
Piso 2	0.0023	0.0025	0.0017	0.0033	0.0031	0.0031	0.003
Piso 1	0.0012	0.0013	0.001	0.0017	0.0017	0.0016	0.0016

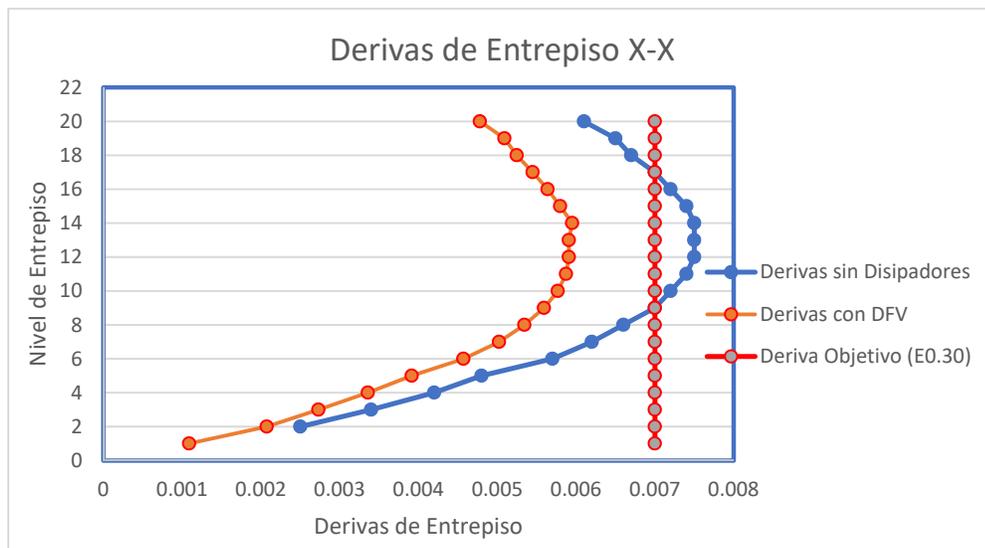
Ángulo de inclinación de los disipadores en la ubicación propuesta.

PISO	ϕ_i	ϕ_{i+1}	ϕ_{rj} diferencia
Base	0.0000	0.0034	0.0034
1	0.0034	0.0094	0.0060
2	0.0094	0.0175	0.0081
3	0.0175	0.0273	0.0098
4	0.0273	0.0386	0.0113
5	0.0386	0.0521	0.0135
6	0.0521	0.0669	0.0148
7	0.0669	0.0827	0.0158
8	0.0827	0.0993	0.0166
9	0.0993	0.1165	0.0172
10	0.1165	0.1342	0.0177
11	0.1342	0.1520	0.0178
12	0.1520	0.1699	0.0179
13	0.1699	0.1878	0.0179
14	0.1878	0.2055	0.0177
15	0.2055	0.2228	0.0173
16	0.2228	0.2396	0.0168
17	0.2396	0.2557	0.0161
18	0.2557	0.2714	0.0157
19	0.2714	0.2863	0.0149
20	0.2863		

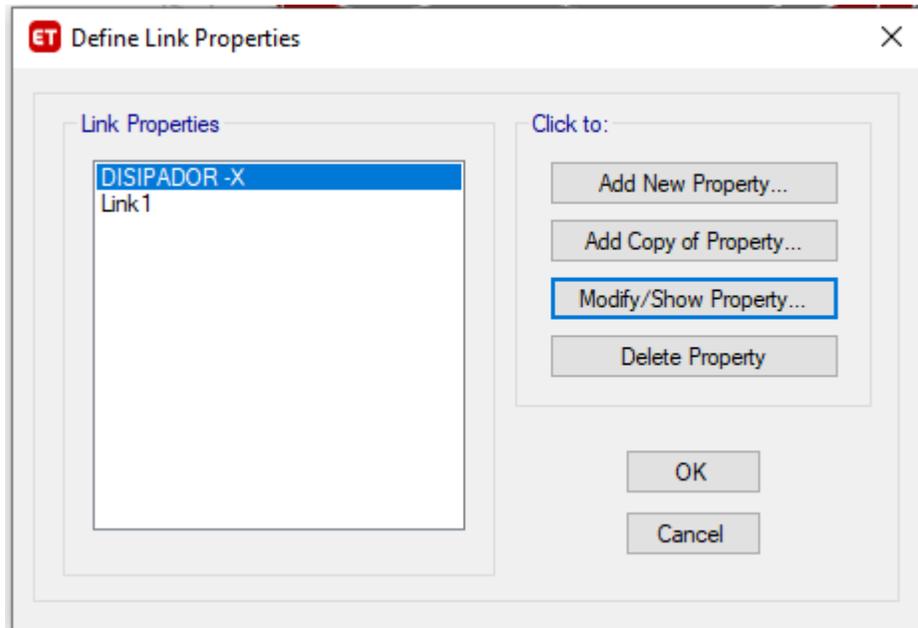
Calculo de parámetros para obtener el coeficiente de amortiguamiento

Nivel	Masa (T)	cosθ	cosθ ^(1+α) *φ _{rj} ^(1+α)	m*φ _i ²
1	57.569	0.875	0.000162	0.0007
2	51.641	0.899	0.000396	0.0046
3	51.641	0.899	0.000621	0.0158
4	51.641	0.899	0.000827	0.0385
5	50.344	0.899	0.001024	0.0750
6	49.100	0.899	0.001337	0.1333
7	49.100	0.899	0.001535	0.2198
8	49.100	0.899	0.001693	0.3358
9	49.100	0.899	0.001823	0.4842
10	49.100	0.899	0.001923	0.6664
11	49.100	0.899	0.002007	0.8843
12	49.100	0.899	0.002024	1.1344
13	48.296	0.899	0.002041	1.3941
14	47.456	0.899	0.002041	1.6737
15	47.456	0.899	0.002007	2.0041
16	47.456	0.899	0.001940	2.3557
17	47.456	0.899	0.001856	2.7244
18	47.456	0.899	0.001741	3.1028
19	48.135	0.899	0.001677	3.5455
20	43.452	0.899	0.001550	3.5616
		Σ	0.030227	24.3546

Diagrama de derivas de entrepiso en control con la norma E.030



Definición de amortiguador en programa ETABS



ET Link Property Data

General

Link Property Name: Link Type:

Link Property Notes: P-Delta Parameters:

Total Mass and Weight

Mass: tonf-s²/m Rotational Inertia 1: tonf-m-s²

Weight: tonf Rotational Inertia 2: tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

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

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

Directional Properties

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

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases:

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping:

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor:

ET Link/Support Directional Properties

Identification

Property Name: DISIPADOR -X

Direction: U1

Type: Damper - Exponential

NonLinear: Yes

Linear Properties

Effective Stiffness: 0 tonf/m

Effective Damping: 0 tonf-s/m

Nonlinear Properties

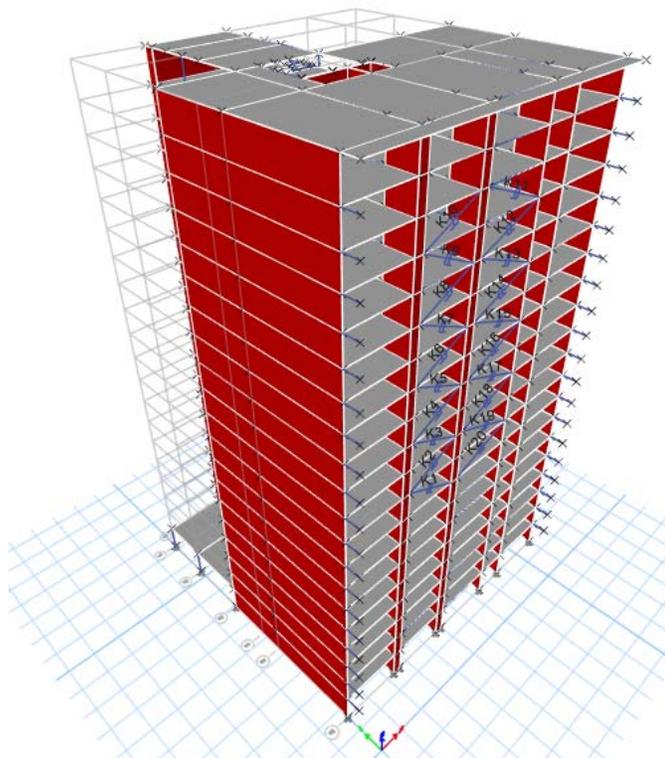
Stiffness: 25337.94 tonf/m

Damping: 200 tonf*(s/m)^Cexp

Damping Exponent: 0.5

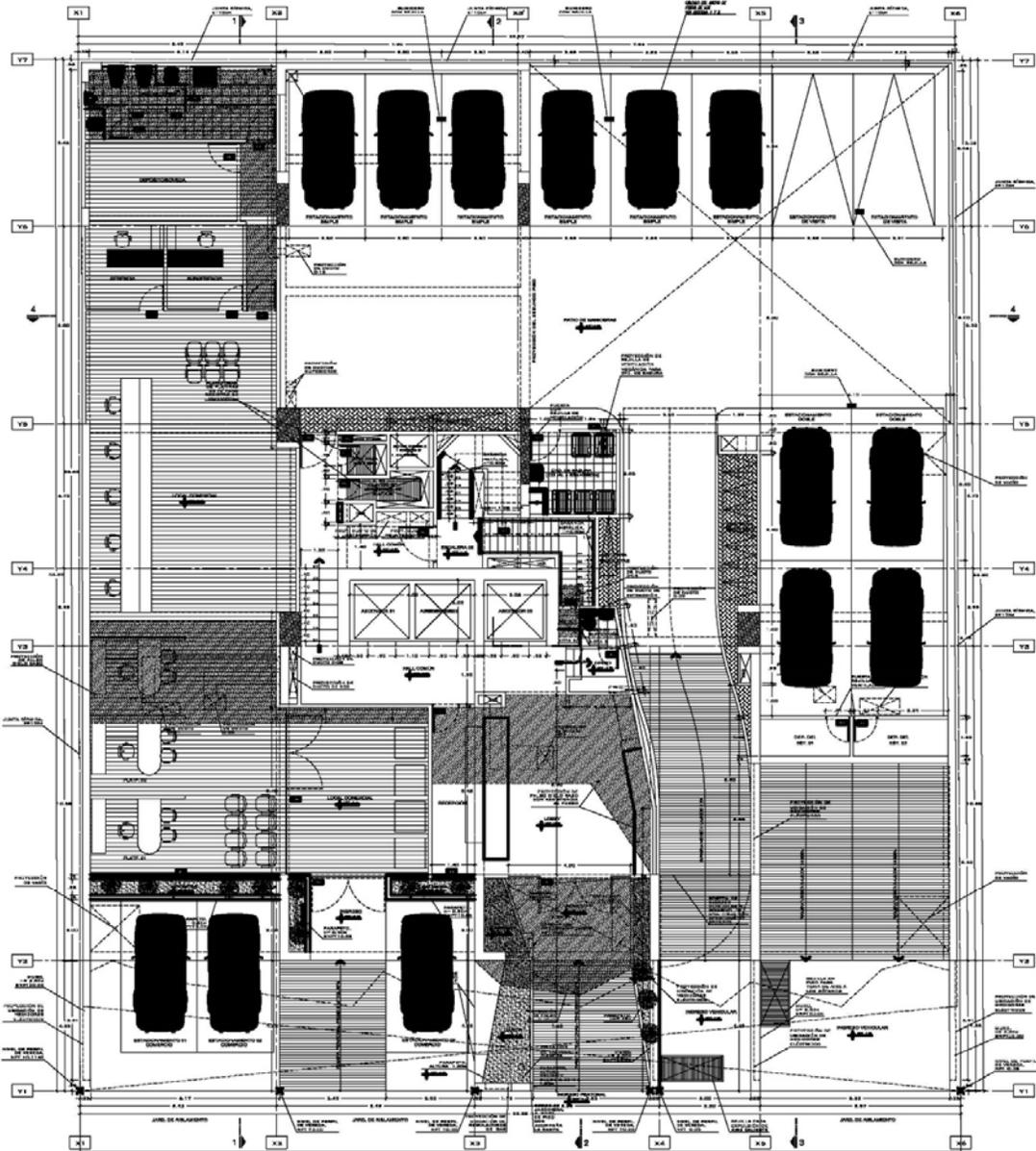
OK Cancel

Ubicación de disipadores en modelado ETABS



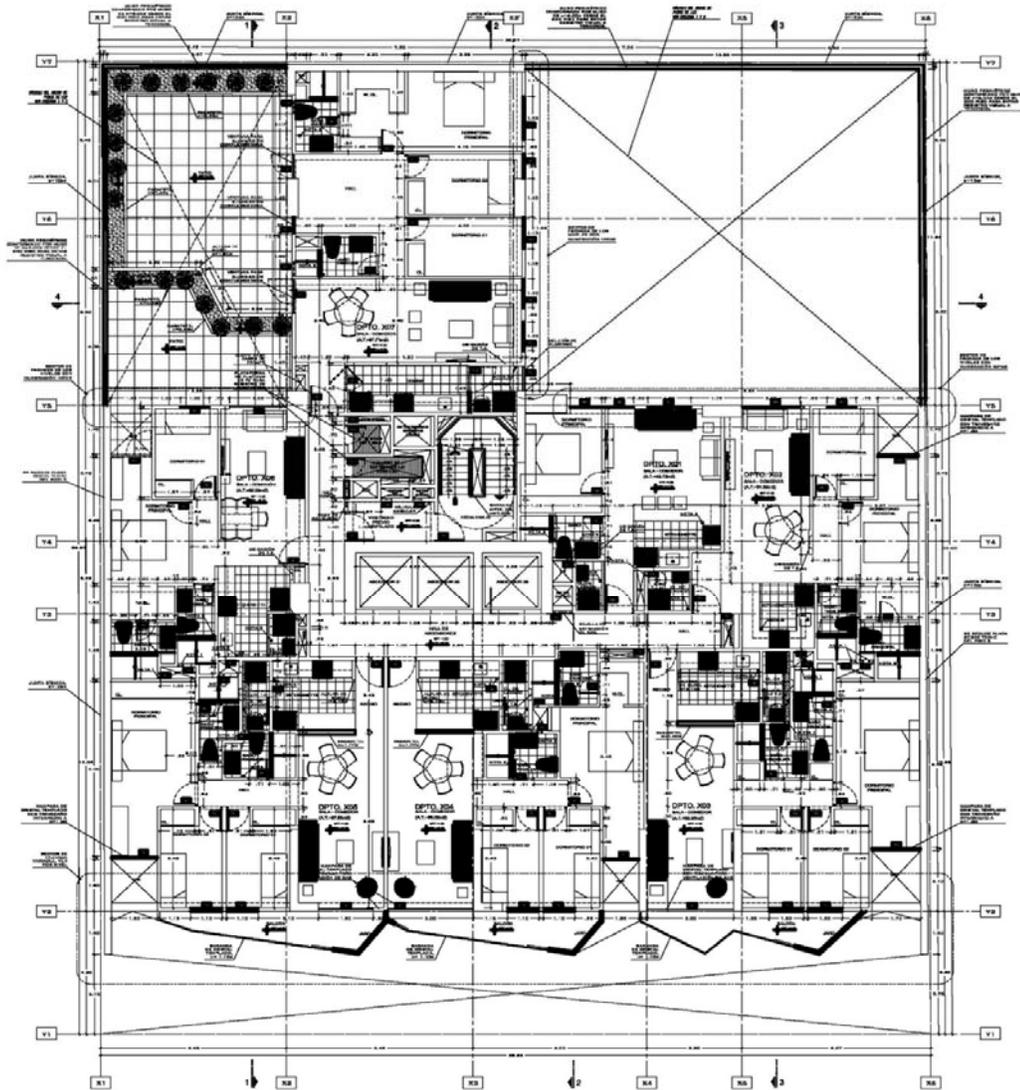
Anexo 8: Planos arquitectónicos

Plano en planta de piso 1



PLANTA 1ER PISO
ESC. 1/75
NOTAS:
NOTA 1: EN LOS BAÑOS DEL PROYECTO SE ESTÁ CONSIDERANDO UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECÁNICA A TRAVÉS DE EXTRACTORES AXIALES.
NOTA 2: UBICACIÓN DE SUCUBIDORES EN AMBIENTES TECHADOS DE BAÑOS Y LAVANDERÍA DEBIDAMENTE EN EL CASO DE COCINAS ESTAR DIBUJEN LA EVACUACIÓN DE AGUA AL ÁREA DE LAVANDERÍA.

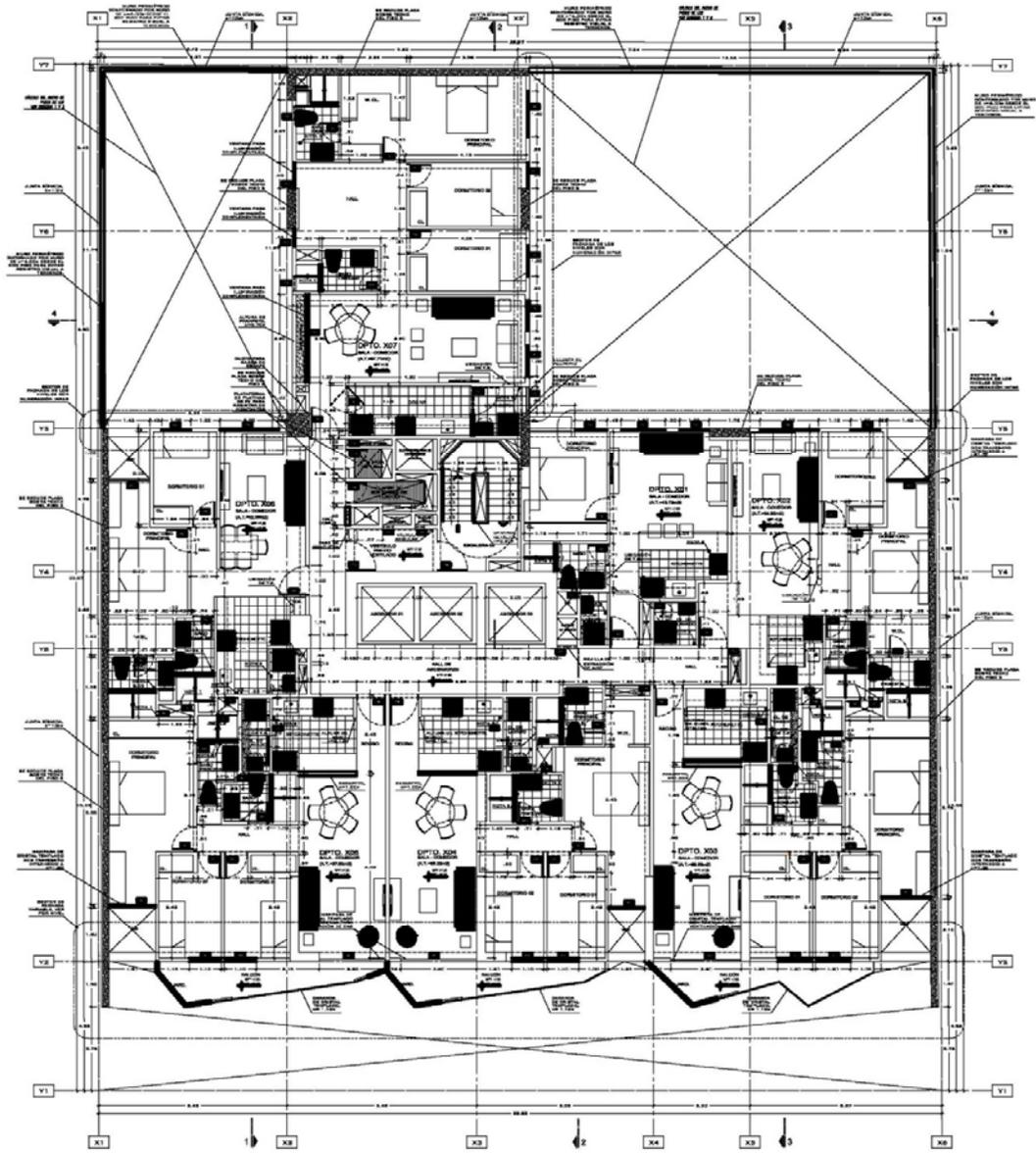
Plano en planta de piso 2



PLANTA 2DO PISO
Esc. 1/75

NOTA:
NOTA 1: EN LOS BAÑOS DEL PROYECTO SE ESTÁ CONSIDERANDO UN SISTEMA DE EXHAUSTIÓN VENTILADA A TRAVÉS DE EXPANCTORES EN EL CASO DE ELIMINACIÓN DE DETERGENTES RESIDUALES DE BAÑOS Y LAVANDERÍAS DOMESTICAS. EN EL CASO DE DORMIR ESTAS DORMIR LA EXHAUSTIÓN DE AGUA AL ÁREA DE LAVANDERÍA.
NOTA 2: PROYECTO DE DERIVACIÓN DE SUPLENTES EN VENTILACIÓN MECÁNICA. PRESENCIA DE UN BAÑO

Plano de piso típico

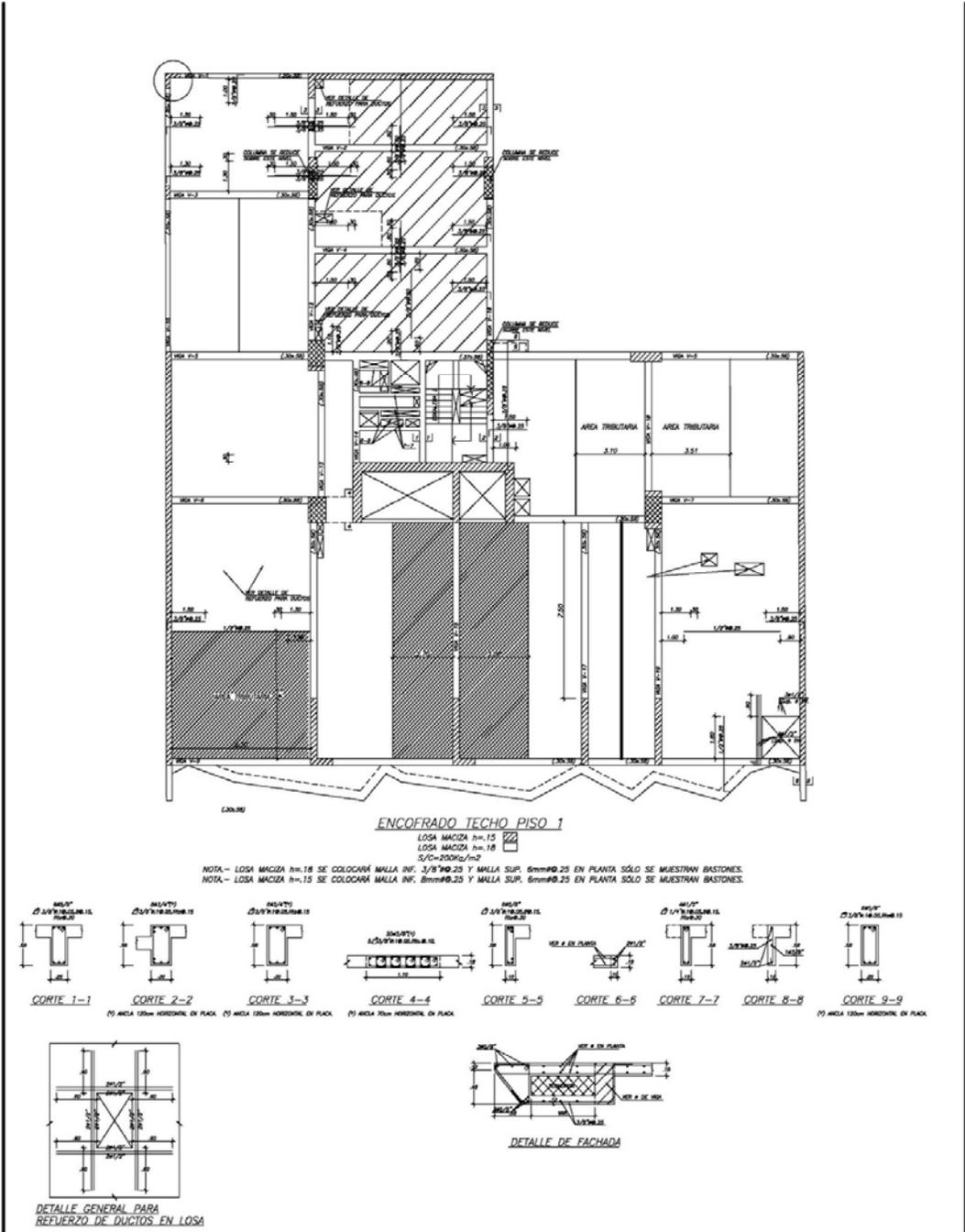


PLANTA TÍPICA
ESC. 1/75

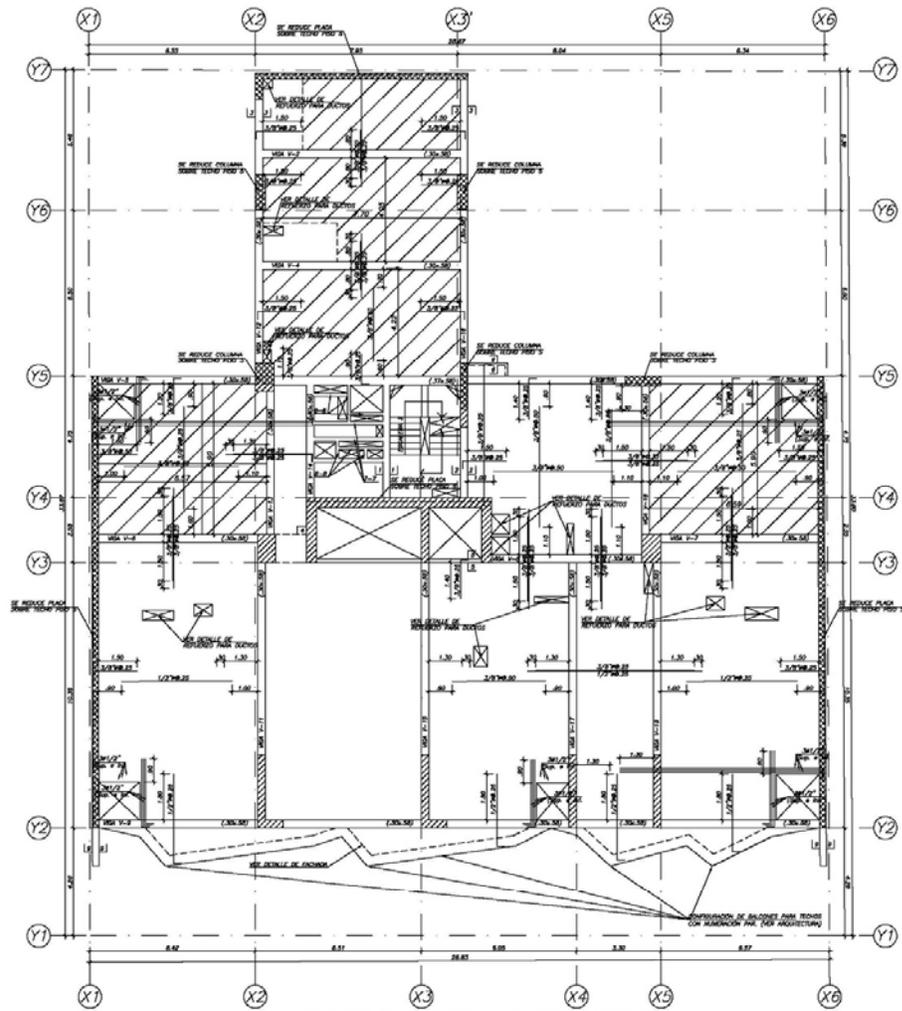
NOTA:
NOTA 1) EN LOS BAÑOS DEL PROYECTO SE ESTÁ COMBINANDO UN SISTEMA DE EXTRACCIÓN MECÁNICA A TRAVÉS DE EXTRACTORES CIRCULARES Y SUCUIONES CON TUBOS DE PUNTO Y TUBOS DE BARRAS Y LAVANDERAS CONECTADAS. EN EL CASO DE EDIFICIOS ESTOS DIRIGEN LA EXHAUSTIÓN DE VAPORES AL BAÑO DE LAVANDERÍA.
NOTA 2) PREVISIÓN DE CERRAJÓN DE OROFENIA EN VENTILACIÓN MECÁNICA PRESURIZADA DEL BAÑO

Anexo 9: Planos estructurales

Plano de encofrado de techo de primer nivel



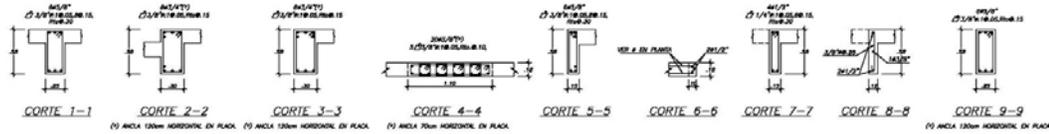
Plano de encofrado de techo de segundo nivel



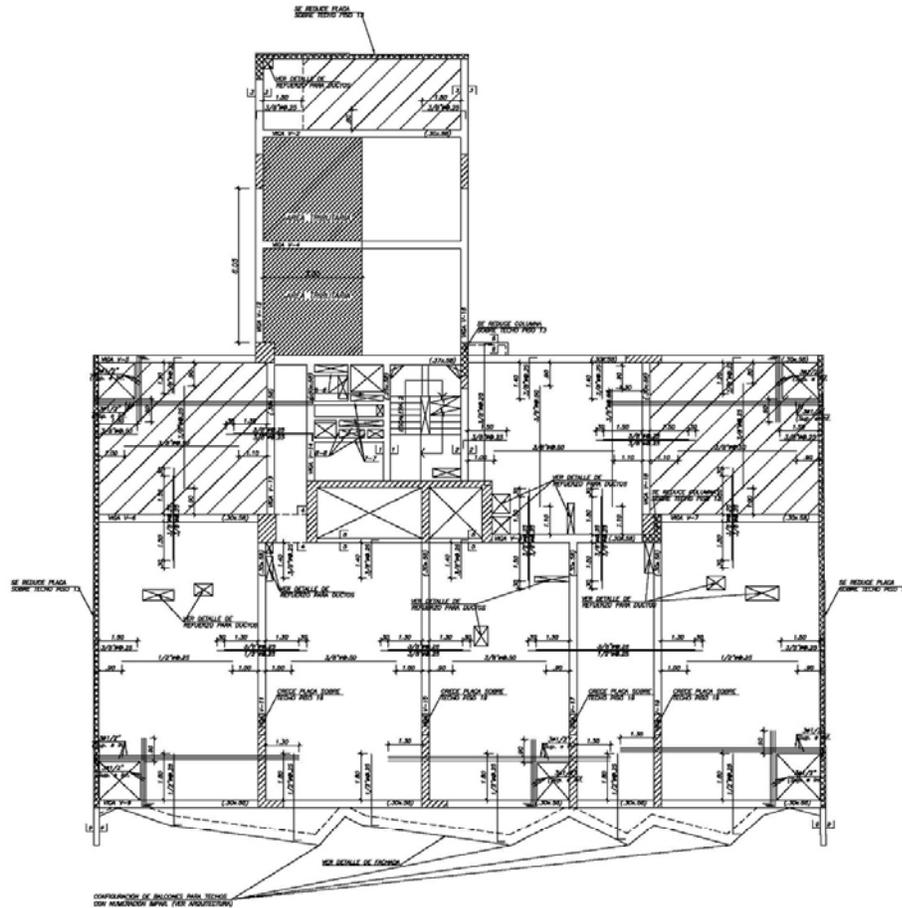
ENCOFRADO TECHO PISO 2 AL TECHO PISO 5

LOSA MACIZA h=15
LOSA MACIZA h=18
LOSA MACIZA h=18

NOTA.- LOSA MACIZA h=18 SE COLOCARÁ MALLA INF. 3/8"Ø0.25 Y MALLA SUP. 8mmØ0.25 EN PLANTA SÓLO SE MUESTRAN BASTONES.
NOTA.- LOSA MACIZA h=15 SE COLOCARÁ MALLA INF. 8mmØ0.25 Y MALLA SUP. 8mmØ0.25 EN PLANTA SÓLO SE MUESTRAN BASTONES.



Plano de encofrado de techo de pisos superiores



ENCOFRADO TECHO PISO 6 AL TECHO PISO 19

LOSA MACIZA h=15
LOSA MACIZA h=18

NOTA - LOSA MACIZA h=18 SE COLOCARÁ MALLA INF. 3/8"Ø0.25 Y MALLA SUP. 6mmØ0.25 EN PLANTA SÓLO SE MUESTRAN BASTONES.
NOTA - LOSA MACIZA h=15 SE COLOCARÁ MALLA INF. 8mmØ0.25 Y MALLA SUP. 6mmØ0.25 EN PLANTA SÓLO SE MUESTRAN BASTONES.

