



Universidad
Continental

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**Análisis comparativo de desempeño sísmico
entre el sistema de reforzamiento convencio-
nal con muros estructurales y los sistemas de
disipación pasiva de energía viscoelásticos e
histeréticos para el edificio multifamiliar
“Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo**

Anthony Abel Medina Lopez

Huancayo, 2017

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Civil



Repositorio Institucional Continental
Tesis digital



Obra protegida bajo la licencia de [Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/2.5/peru/)

ASESOR

Ing. Klaus Arauco Ricse.

AGRADECIMIENTO

Expreso mi agradecimiento a los docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Continental, por el apoyo prestado en el desarrollo del presente trabajo de investigación, en particular al Ing. Klaus Arauco Ricse, por su constante guía y consejos.

Al Ph. D. Genner Villarreal Castro, por su asesoramiento externo y consejos brindados.

Finalmente, agradecer a mis amigos y colegas Junior, Edward, Anthony y Alexander, quienes aportaron bibliografía especializada para el desarrollo y culminación del presente tema de investigación.

DEDICATORIA

A mis amados padres Neyza y Fredy, por estar siempre a mi lado y tener las palabras y consejos adecuados frente a momentos adversos; por ser ejemplos de vida y creer en que podría alcanzar mis metas.

A mi hijo Rodrigo, por darme tanta alegría, satisfacción y ser el motivo para superarme cada mañana.

A mis queridos hermanos Neysha y Alberth, por el apoyo incondicional.

A mis abuelos Estela y Augusto, a quienes llevo en mi corazón y por quienes guardo cariño y respeto por todo lo que me dieron en vida.

INDICE

| | |
|--|------|
| ASESOR..... | ii |
| AGRADECIMIENTO | iii |
| DEDICATORIA | iv |
| INDICE | v |
| LISTA DE TABLAS | viii |
| LISTA DE IMAGENES | x |
| RESUMEN..... | xiii |
| ABSTRACT | xiv |
| INTRODUCCIÓN..... | xv |
| CAPITULO I EL PROBLEMA DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA | 1 |
| 1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA..... | 3 |
| 1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL..... | 3 |
| 1.2.2. PROBLEMA SECUNDARIO | 3 |
| 1.3. OBJETIVOS | 4 |
| 1.3.1. OBJETIVO GENERAL..... | 4 |
| 1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS..... | 4 |
| 1.4. HIPOTESIS | 5 |
| 1.4.1. HIPOTESIS GENERAL | 5 |
| 1.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS..... | 5 |
| 1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN..... | 5 |
| 1.6. METODOLOGÍA..... | 6 |
| 1.6.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA | 6 |
| 1.6.2. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN | 7 |
| 1.6.3. POBLACIÓN Y MUESTRA | 8 |
| 1.7. ORGANIZACIÓN DE TESIS..... | 9 |
| 1.7.1. DESARROLLO SISTEMICO DE LA INVESTIGACIÓN (DSI)..... | 9 |
| 1.7.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES..... | 10 |
| CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO..... | 11 |
| 2.1. SISMICIDAD EN EL PERÚ..... | 11 |
| 2.2. DISEÑO SISMORRESISTENTE CONVENCIONAL Y SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA..... | 12 |
| 2.2.1. BALANCE ENERGÉTICO DE ESTRUCTURAS | 12 |

| | | |
|---|--|-----|
| 2.2.2. | DISEÑO SISMORRESISTENTE CONVENCIONAL | 13 |
| 2.2.3. | DISEÑO SISMO RESISTENTE CON DISPARADORES DE ENERGÍA..... | 14 |
| 2.2.4. | TIPOS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA | 15 |
| 2.3. | DISIPADORES CON COMPORTAMIENTO HISTERÉTICOS | 22 |
| 2.3.1. | PROPIEDADES DEL ACERO | 22 |
| 2.3.2. | DISIPADORES HISTERÉTICOS DE FLUENCIA DE METALES | 24 |
| 2.4. | DISIPADORES CON COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICOS | 29 |
| 2.4.1. | DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO | 29 |
| 2.4.2. | MODELO MATEMÁTICO | 31 |
| 2.4.3. | ECUACIÓN GENERAL..... | 33 |
| 2.4.4. | CRITERIOS DE DISPOSICIÓN DE DISIPADORES | 38 |
| CAPÍTULO III ANÁLISIS SÍSMICO DE PROYECTO | | 40 |
| 3.1. | UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROYECTO..... | 40 |
| 3.2. | ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS..... | 41 |
| 3.3. | ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN CONVENCIONAL | 41 |
| 3.3.1. | PREDIMENSIONAMIENTO..... | 41 |
| 3.3.2. | ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO..... | 47 |
| 3.3.3. | MODELAMIENTO ESTRUCTURAL | 49 |
| 3.3.4. | ANÁLISIS SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN CON UN SISTEMA TRADICIONAL..... | 51 |
| 3.3.5. | ANÁLISIS SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES PASIVOS DE ENERGÍA | 83 |
| CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS..... | | 125 |
| 4.1. | ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO | 125 |
| 4.1.1. | ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE CONTROL DE ENTREPISO 125 | |
| 4.1.2. | ANÁLISIS COMPARATIVO DE DESPLAZAMIENTOS DE CENTROS DE MASA 127 | |
| 4.1.3. | ANÁLISIS COMPARATIVO DE FUERZAS..... | 128 |
| 4.1.4. | ANÁLISIS COMPARATIVO DE ACELERACIONES Y VELOCIDADES | 135 |
| 4.1.5. | ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS | 136 |
| CAPÍTULO V CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES | | 139 |
| 5.1. | CONCLUSIONES..... | 139 |
| 5.1.1. | CONTROL DE DERIVAS..... | 139 |
| 5.1.2. | CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS DE MASA..... | 139 |

| | |
|--|-----|
| 5.1.3. CONTROL DE FUERZAS Y MOMENTOS | 139 |
| 5.1.4. COSTOS, MANTENIMIENTO..... | 140 |
| 5.2. RECOMENDACIONES..... | 140 |
| 5.2.1. ANÁLISIS SÍSMICO | 140 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS..... | 142 |
| ANEXOS..... | 143 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|--|-----|
| Tabla 1: Principales sismos Ocurridos en el Perú | 12 |
| Tabla 2: Tabla de peraltes de losa aligerado para luces típicas | 42 |
| Tabla 3: Valores de Dimensionamiento de Vigas..... | 44 |
| Tabla 4: Cuadro resumen de dimensionamiento de columnas..... | 46 |
| Tabla 5: Propiedades de Diseño de concreto armado..... | 49 |
| Tabla 6: Peso específico de Materiales para cálculo de peso de edificación | 50 |
| Tabla 7: Sobrecargas de ambientes de diseño según la Norma de Cargas E.020 de Reglamento Nacional de Edificaciones..... | 50 |
| Tabla 8: Derivas permisibles para edificaciones según RNE | 53 |
| Tabla 9: Parámetros sísmicos de diseño de edificación..... | 53 |
| Tabla 10: Tabla de factor de suelo y zona sísmica según periodo de vibración | 54 |
| Tabla 11: Rangos de modo de vibración fundamental | 54 |
| Tabla 12: Periodo fundamental de la edificación..... | 55 |
| Tabla 13: Cálculo de peso de la edificación | 56 |
| Tabla 14: Cálculo de cortante estática de diseño..... | 57 |
| Tabla 15: Espectro de diseño | 58 |
| Tabla 16: Obtención de la cortante sísmica dinámica en el eje XX..... | 60 |
| Tabla 17: Obtención de la cortante sísmica dinámica en el eje YY | 61 |
| Tabla 18: Determinación de FE Sísmica para eje X e Y..... | 62 |
| Tabla 19: Resumen de irregularidades en altura en el eje XX..... | 65 |
| Tabla 20: Resumen de irregularidades en altura eje YY | 65 |
| Tabla 21: Tabla de irregularidad de rigidez eje XX..... | 66 |
| Tabla 22: Tabla de irregularidad de rigidez eje YY..... | 67 |
| Tabla 23: Irregularidad de resistencia eje x-x..... | 69 |
| Tabla 24: Irregularidad de resistencia eje y-y..... | 70 |
| Tabla 25: Tabla de irregularidad de masa..... | 71 |
| Tabla 26: Resumen de irregularidades de planta en xx | 75 |
| Tabla 27: Resumen de irregularidades de planta en yy | 75 |
| Tabla 28: Irregularidad torsional eje XX | 76 |
| Tabla 29: Tabla de desplazamiento de Centro de Masa para XX | 77 |
| Tabla 30: Irregularidad torsional eje YY | 77 |
| Tabla 31: Desplazamiento de Centro de masa Eje YY..... | 78 |
| Tabla 32: Derivas de diseño Eje XX..... | 83 |
| Tabla 33: Derivas de diseño Eje YY..... | 83 |
| Tabla 34: Objetivos de diseño según el comité VISION 2000 | 84 |
| Tabla 35: Parámetros de diseño de espectro inelástico | 86 |
| Tabla 36: Desplazamiento con R=1 YY | 88 |
| Tabla 37: Desplazamiento con R=1 XX | 89 |
| Tabla 38: Estaciones de Registro Acelerométrico..... | 93 |
| Tabla 39: Derivas para Acelerogramas escalados XX | 94 |
| Tabla 40: Derivas para Acelerogramas escalados YY | 94 |
| Tabla 41: Determinación de Registro Sísmico de Diseño para XX..... | 96 |
| Tabla 42: Determinación de Registro Sísmico de Diseño para YY..... | 97 |
| Tabla 43: Periodo fundamental para espectro objetivo R=1 | 100 |

| | |
|--|-----|
| Tabla 44: Deriva XX para tiempo historia Pisco 2001 | 101 |
| Tabla 45: Determinación de amplitud de desplazamiento | 101 |
| Tabla 46: Cálculo de valores para amortiguamiento fluido viscoso | 102 |
| Tabla 47: Sección de Perfil Metálico | 104 |
| Tabla 48: Derivas con inclusión de disipadores Fluido Viscoso | 105 |
| Tabla 49: Esfuerzo normal sobre disipadores Fluido Viscosos | 109 |
| Tabla 50: Diseño de Disipadores Fluido Viscoso | 110 |
| Tabla 51: Derivas con disipadores de fluencia de metales..... | 120 |
| Tabla 52: Sección TADA de diseño | 123 |
| Tabla 53: Comparación de derivas de diseño eje X | 126 |
| Tabla 54: Derivas de diseño eje Y | 127 |
| Tabla 55: Desplazamiento de CM | 128 |
| Tabla 56: Comparación de axiales de diseño elemento C1..... | 129 |
| Tabla 57: Comparación de fuerza cortante elemento C1 | 130 |
| Tabla 58: Comparación de Momentos elemento C1 | 131 |
| Tabla 59: Comparación de Axiales C2..... | 132 |
| Tabla 60: Comparación de Cortantes C2..... | 133 |
| Tabla 61: Comparación de Momentos C2..... | 134 |
| Tabla 62: Aceleración comparativa en el Centro de Masa | 135 |
| Tabla 63: Costo de edificación convencional (elaboración propia | 136 |
| Tabla 64: Costo de edificación con Disipadores Fluido Viscoso (elaboración propia) | 137 |
| Tabla 65: Costo de edificación con Disipadores Fluencia de Metales (elaboración propia) | 137 |

LISTA DE IMAGENES

| | |
|--|----|
| Imagen 1: Concepción Estructural Convencional..... | 14 |
| Imagen 2: Sistemas de protección Sísmica | 14 |
| Imagen 3: Respuesta de Disipación de Energía Activa..... | 15 |
| Imagen 4: Esquema de Disipación de Energía Mediante Sistemas Hibridos | 16 |
| Imagen 5: Esquema de disipación de energía con sistemas semi activos | 17 |
| Imagen 6: Edificación con aislamiento en la base..... | 18 |
| Imagen 7: Oficinas de la empresa Graña Montero..... | 19 |
| Imagen 8: Sistema Inercial acoplado en el edificio Holguín..... | 20 |
| Imagen 9: Disipadores Pasivos de Energía | 21 |
| Imagen 10: Edificio Javier Prado dotado con disipadores fluido viscoso (lado izquierdo), Torre las Orquídeas incorporado con disipadores de fluencia tipo TADAS (lado derecho) | 22 |
| Imagen 11: Curva de Esfuerzo- Deformación del Acero | 23 |
| Imagen 12: Comportamiento del acero ante Cargas Cíclicas..... | 24 |
| Imagen 13: (a) Disipadores tipo ADAS, (b) Disipadores tipo TADAS | 25 |
| Imagen 14: Disipador tipo TADA..... | 26 |
| Imagen 15: Comportamiento Histeréticos modelo Bilineal | 27 |
| Imagen 16: Disposición Chevron para Disparadores Histeréticos..... | 29 |
| Imagen 17: Disipador de Energía Fluido Viscoso..... | 30 |
| Imagen 18: Comparación de valores experimentales teóricos de amortiguamiento rigidez para DFV (Constantino y Symans 1992)..... | 32 |
| Imagen 19: Valores de tabulación de FEMA 274 para λ para α | 35 |
| Imagen 20: Fuerza desplazamiento para disipadores fluido viscoso..... | 37 |
| Imagen 21: Comportamiento histerético esperado para disipador Fluido Viscoso..... | 39 |
| Imagen 22: Disposición Diagonal..... | 39 |
| Imagen 23: Ubicación de proyecto de análisis sísmico | 40 |
| Imagen 24: Esquema de dimensionamiento de losas | 42 |
| Imagen 25: Esquema de disposición de Vigas..... | 44 |
| Imagen 26: Esquema de áreas tributarias para dimensionamiento de columnas..... | 45 |
| Imagen 27: Relación de esbeltez de muros | 47 |
| Imagen 28: Esquema de compatibilización preliminar arquitectura – estructura 1° Nivel . | 48 |
| Imagen 29: Esquema de compatibilización preliminar de arquitectura 2° - 13° Nivel | 48 |
| Imagen 30: Esquema de Estructuración preliminar | 48 |
| Imagen 31: Esquema de Reforzamiento con muros de corte 1° Nivel..... | 52 |
| Imagen 32: Esquema de Reforzamiento con muros de corte 2°-13° Nivel | 52 |
| Imagen 33: Espectro de Diseño Sísmico | 59 |
| Imagen 34: Distribución de Cortante sísmica Eje XX de Muros en altura..... | 62 |
| Imagen 35: Distribución de Cortante sísmica Eje YY de Muros en altura..... | 63 |
| Imagen 36: Clasificación de Sistemas Estructurales de Concreto..... | 64 |
| Imagen 37: Planta de Verificación de Irregularidad de Resistencia..... | 67 |
| Imagen 38: Distribución estructural altura planta | 71 |
| Imagen 39: Criterio de Evaluación por Geometría Vertical..... | 72 |
| Imagen 40: Distribución de Geometría Vertical Proyecto en Análisis | 73 |

| | |
|---|-----|
| Imagen 41: Criterios de evaluación para determinar irregularidad por sistemas resistentes | 73 |
| Imagen 42: Elevación de Continuidad Eje X | 74 |
| Imagen 43: Elevación de Continuidad Eje Y | 74 |
| Imagen 44: Criterio de Evaluación de rigidez por esquinas entrantes | 79 |
| Imagen 45: Análisis de verificación por esquinas entrantes | 79 |
| Imagen 46: Criterios de Evaluación de Irregularidad por Diafragma | 80 |
| Imagen 47: Esquema de distancia para determinar Irregularidad por diafragma..... | 80 |
| Imagen 48: Planta de Análisis Típica para análisis de sistemas no Paralelos | 82 |
| Imagen 49 Tabla de objetivos de diseño según el comité VISION 2000 | 85 |
| Imagen 50: Tabla de daño desempeño según comité VISION 2000 | 86 |
| Imagen 51: Espectro de pseudo aceleración con factor de reducción R=1 | 87 |
| Imagen 52: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Arequipa 2005 Dirección EW | 90 |
| Imagen 53: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Arequipa 2005 Dirección N-S | 90 |
| Imagen 54: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Ica 2007 Dirección E-W | 91 |
| Imagen 55: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Ica 2007 Dirección N-S | 91 |
| Imagen 56: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Moquegua 2001 Dirección E-W | 92 |
| Imagen 57: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Moquegua 2001 Dirección E-W | 92 |
| Imagen 58: Comparativo entre Registros Sísmicos y espectro objetivo R=1 | 93 |
| Imagen 59: Valores λ para α de diseño de disipador viscoelástico | 102 |
| Imagen 60: Propiedades Perfil HSS..... | 103 |
| Imagen 61: Esquema de disposición de disipadores fluido viscoso con un ángulo de inclinación de 32° (para el primer nivel) y de 26° (para los niveles posteriores). | 104 |
| Imagen 62: Distribución de Disipadores Fluido Viscoso..... | 106 |
| Imagen 63: Disposición de Disipadores Fluido Viscosos Eje 1 | 106 |
| Imagen 64: Comportamiento histerético K22 Izquierda, K28 derecha..... | 107 |
| Imagen 65: Comportamiento histerético K41 Izquierda, K55 derecha..... | 107 |
| Imagen 66: Comportamiento histerético K43 Izquierda, K53 derecha..... | 108 |
| Imagen 67: Comportamiento histerético K45 (izquierda), comportamiento irregular de un disipador (derecha). | 108 |
| Imagen 68: Cuadro de Propiedades de disipador Taylor | 111 |
| Imagen 69: Respuesta de Decremento Logarítmico para Disipador Fluido Viscoso | 112 |
| Imagen 70: Balance Energético Con Disipadores Fluido Viscosos | 113 |
| Imagen 71: Geometría de Disipador tipo TADA | 114 |
| Imagen 72: Esquema general de disipador tipo TADA..... | 114 |
| Imagen 73: Esquema de dimensionamiento de disipador | 115 |
| Imagen 74: Disposición de Disipadores Tipo TADAS Eje 1..... | 120 |
| Imagen 75: Distribución de Disipadores Tipo TADAS | 121 |
| Imagen 76: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K3 Izquierda, K8 Derecha | 121 |

| | |
|---|-----|
| Imagen 77: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K15 Izquierda, K12 Derecha..... | 122 |
| Imagen 78: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K27 Izquierda comportamiento esperado de disipador histerético Derecha..... | 122 |
| Imagen 79: Decremento Logarítmico Disipador de Fluencia..... | 123 |
| Imagen 80: Balance Energético con Disipadores de Fluencia de Metales..... | 124 |
| Imagen 81: Comparación de derivas de diseño..... | 126 |
| Imagen 82: Desplazamiento de CM..... | 127 |
| Imagen 83: Esquema de Verificación de Fuerzas para columnas Eje 1X..... | 129 |
| Imagen 84: Comparación de axiales de diseño C1..... | 130 |
| Imagen 85: Comparación de cortantes C1..... | 131 |
| Imagen 86: Comparación de Momentos C1..... | 132 |
| Imagen 87: Comparación de Axiales C2..... | 133 |
| Imagen 88: Comparación de cortantes en C2..... | 134 |
| Imagen 89: Comparación Momentos C2..... | 135 |
| Imagen 90: Aceleración comparativa en el Centro de Masa..... | 135 |
| Imagen 91: Costo Comparativo entre Sistemas Sísmicos..... | 137 |

RESUMEN

El diseño sismorresistente convencional de una estructura, frente a un fenómeno sísmico, está fundamentado en un sistema resistente capaz de absorber energía y disiparla de manera estable, lo cual implica la inclusión de elementos estructurales costosos y que perjudican muchas veces la arquitectura.

Sin embargo, realizando la evaluación, experiencia y comparación en países como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda, México, Chile, Ecuador, entre otros, sobre el conocimiento adquirido en el campo de estudio de análisis sismorresistente, encontramos una alternativa de diseño sísmico que contempla el empleo de sistemas de protección sísmica en una edificación, la cual nos incrementa la rigidez y resistencia de la estructura a fin de mejorar la capacidad de absorber y disipar energía de manera estable.

En la presente tesis se realizó un análisis sísmico de una edificación de 13 niveles, aplicando un reforzamiento con un sistema estructural tradicional de muros de concreto, en el cual se obtuvo una reducción de desplazamiento de 37.07%, empleando disipadores de fluencia de metales, y de 43.58% con disipadores fluido viscosos, así como la reducción de fuerzas normales; concluyendo que en términos económicos y técnicos, ambos disipadores de estudio son alternativas óptimas para incluir en un proyecto cuando este lo requiera.

ABSTRACT

Conventional earthquake resistant design of a structure against seismic phenomenon is based on a resilient system capable of absorbing and dissipating energy stably which implies the inclusion of structural elements expensive and often harm architecture.

However conducting the evaluation, experience and comparison in countries like Japan, the US, New Zealand, Mexico, Chile, Ecuador and others on the knowledge gained in the field of study analysis Seismic find an alternative seismic design which provides employment seismic protection systems in a building which increases the rigidity and strength us of the structure in order to improve the capacity to absorb and dissipate energy stably.

In this thesis a seismic analysis of a building of 13 levels applying a reinforcement with a traditional structural system of concrete walls in which a reduced displacement of 37.07% using sinks creep of metals and 43.58% as obtained was conducted viscous fluid heat sinks, as well as reducing normal forces concluding that in economic and technical terms both sinks study are optimal to include in a project when it requires alternatives.

INTRODUCCIÓN

En la actualidad los movimientos sísmicos son uno de los fenómenos naturales que ocasionan una gran inquietud a nivel mundial en la sociedad debido a su efecto destructivo, el cual ha originado pérdidas materiales y humanas a lo largo de la historia. El Perú no es indiferente a afrontar este fenómeno, ya que pertenece a una de las zonas con mayor actividad dentro del planeta.

Con el propósito de disminuir el daño humano y material, se realizaron estudios para analizar el comportamiento de las edificaciones frente a eventos sísmicos; como resultado de estos estudios, crearon normas de diseño de edificaciones que permitan mejorar las prácticas y tendencias constructivas, considerando variables y parámetros sísmicos.

Actualmente, en el Perú, el diseño sismorresistente de estructuras para edificaciones está basado en una composición de resistencia, ductilidad y capacidad de disipar energía de la misma frente a un evento sísmico sin perder la ductilidad, lo que implica la inclusión de elementos estructurales costosos y que perjudican muchas veces la arquitectura y no satisface las demandas de la misma.

Sin embargo, actualmente a nivel mundial se han propuesto procedimientos de diseño sísmico mediante sistemas de protección sísmica que permitan incrementar la rigidez y resistencia de la estructura, lo cual proporciona a la misma la característica de absorber y disipar energía de manera estable, evitando la inclusión de muros de corte en su concepción estructural.

El propósito de la presente tesis es desarrollar el análisis sísmico de una edificación empleando una concepción estructural tradicional con muros de concreto, para luego aplicar el sistema estructural de sistemas pasivos de disipación de energía viscoelásticos, los cuales son dispositivos que incrementan rigidez mediante la deformación de fluidos viscoelásticos y los dispositivos de fluencia que incrementan la resistencia de la edificación basados en la fluencia de metales, considerando las disposiciones técnicas de la Norma E.030 Versión 2016 del RNE para una edificación común de 13 niveles destinada a vivienda multifamiliar localizada en el distrito de El Tambo, Huancayo; con la finalidad de observar la variabilidad de los parámetros sísmicos obtenidos al aplicar estos sistemas estructurales que nos brindará en proyectos futuros una alternativa de concepción estructural sismorresistente.

CAPITULO I

EL PROBLEMA DEL PROBLEMA

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En países como Japón, Estados Unidos, Nueva Zelanda, México, Chile, Ecuador, entre otros, se vienen empleando procedimientos alternativos de diseño sísmico mediante sistemas de protección sísmica, los que permiten incrementar la rigidez y resistencia de la estructura, manteniendo la propiedad de absorción y disipación de energía de manera estable, evitando la inclusión de muros de corte en su concepción estructural.

(Rivadeneira, 2014) en su tesis “Análisis y Evaluación de la Aplicación de Disipadores Histeréticos de Fluencia para el Mejoramiento del Desempeño Sísmico de Estructuras de Hormigón Armado en la Ciudad de Guayaquil”, planteó un análisis comparativo de una edificación de aporticada de 4,8 y 12 niveles entre un sistema tradicional de columnas y viga frente al mismo sistemas con adición de sistemas de disipación pasiva de energía histerética, obteniendo como conclusión la importancia del disipador tipo ADAS, el cual presenta flexibilidad de diseño para la capacidad de calibración de sus parámetros de rigidez, fuerza que los hacen adaptables y económicos a cualquier tipo de edificación.

En el Perú el diseño sismorresistente de estructuras para edificaciones está basado en una composición de resistencia, ductilidad y capacidad de disipar energía de la misma, frente a un evento sísmico sin perder la ductilidad, lo cual implica mayormente la inclusión de elementos estructurales costosos que perjudican y no satisfacen muchas veces la arquitectura.

Sin embargo, los sistemas de protección sísmica han empezado a ser una alternativa de diseño sísmico por su presencia comercial, lo cual está empezando a originar el empleo de esta tecnología sobre las edificaciones.

Estudios y trabajos de investigación han incurrido en el desarrollo de esta tecnología en el Perú, dentro de los cuales, según el marco de investigación, tenemos a (Oviedo, 2008) quien realizó el estudio titulado “Dispositivos Pasivos de Energía para Diseño Sismorresistente de Estructuras”, donde se realizó el análisis y diseño para edificios incluyendo disipadores pasivos de energía dando a conocer las características, idealización y utilización de los disipadores de energía pasivos, y se hizo una aplicación de análisis dinámico tiempo historia en la Clínica Angloamericana la que cuenta con 10 niveles y un sótano.

Como conclusiones del estudio se llegó a resaltar la reducción de desplazamientos, velocidades y aceleraciones de los entrepisos en un rango promedio de 20% a 40% con respecto a una edificación convencional.

(Cano & Zumaeta, 2012) presentaron en su tesis titulada “Diseño Estructural de una Edificación con Disipadores de Energía y Análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo”, quienes realizaron el diseño sísmico de una estructura aporticada de 3 niveles correspondiente al Gran Mercado Mayorista de Lima, empleando disipadores pasivos de energía del tipo fluido viscosos y viscoelásticos, utilizando las disposiciones de la norma americana ASCE (American Society Civil Engineers), la norma de FEMA (Federal Emergency Management Agency) y la norma americana ACI (American Concrete Institute) de donde la conclusión más resaltante fue el empleo de disipadores fluido viscosos, incrementando el amortiguamiento al 30% para obtener una deriva menor a 5.8‰, mientras que un sistema viscoelástico logró incrementar el amortiguamiento en un 25% para obtener la deriva anteriormente mencionada.

(Assereto & Gamboa, 2013) en su tesis titulada “Análisis Sísmico Comparativo entre el Reforzamiento Tradicional con Placas y el sistema de Reforzamiento con Disipadores de Fluido Viscoso para el edificio Administrativo Centro Empresarial Intisuyo en el Distrito de San Miguel”, realizaron el diseño sísmico de una estructura de 5 niveles correspondiente al Edificio Intisuyo, considerando disipadores pasivos de energía del tipo viscoelástico según la norma chilena (NCh2369), donde se concluye que para la edificación reforzada con placas disminuyó en un 52% su periodo de vibración, mientras que la edificación reforzada con disipadores fluido viscoso conservaron su periodo inicial, el balance de energía en un sistema tradicional no disipa energía de sismo, por el contrario el sistema fluido viscoso disipa el 85% de energía sísmica; por otro lado, la incorporación de

disipadores disminuyen los desplazamientos promedio de 40% a 45%, mientras que el sistema tradicional lo hace en un 60%.

(Fuentes, 2015) en su tesis titulada “Análisis Sísmico de una Edificación con Disipadores de Fluido Viscoso”, realizó el diseño sísmico de una estructura aporricada de 5 niveles de carácter académico en donde se utilizó disipadores viscoelásticos con disposición Chevron, diagonal y doble diagonal, con un análisis lineal para $\alpha=1$ y análisis no lineal $\alpha=0.25$, donde se concluye que el análisis no lineal produce fuerzas menores que el elástico, donde la intensidad de la fuerza es proporcional a la fuerza en el disipador.

A nivel regional el poco uso difusivo de disipadores sísmicos está orientado al empleo del tipo fluido viscoso; sin embargo, el propósito de la investigación está orientado a incluir en un análisis sísmico comparativo el empleo de disipadores de fluencia como una alternativa factible de protección sísmica y compararlo frente a los disipadores viscoelásticos y a una edificación tradicional con muros de corte, con la finalidad de establecer las diferencias y aplicaciones de los dispositivos mencionados.

1.2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

1.2.1. PROBLEMA PRINCIPAL

¿En qué medida el sistema de reforzamiento con muros estructurales presentará menor desempeño sísmico en comparación a los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e histeréticos para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo?

1.2.2. PROBLEMA SECUNDARIO

¿Cuáles serán las fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes al realizar el análisis de desempeño sísmico con un sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo?

¿Cuáles serán las fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes al realizar el análisis de desempeño sísmico con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e histeréticos para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo?

¿Cuál será la variación de fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes entre el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales y los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos al realizar el análisis de desempeño sísmico para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo?

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar el análisis sísmico comparativo de desempeño sísmico entre el sistema reforzamiento convencional con muros estructurales y los Sistemas de Disipación Pasiva de Energía Viscoelásticos e Histeréticos para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

1.3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

Determinar las fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes al realizar el análisis de desempeño sísmico con un sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

Determinar las fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes al realizar el análisis de desempeño sísmico con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

Determinar la variación de fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes del sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales con respecto a los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos al realizar el análisis de desempeño sísmico para el Edificio Multifamiliar “Vílchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

1.4. HIPOTESIS

1.4.1. HIPOTESIS GENERAL

El empleo de un sistema de reforzamiento con muros estructurales presentará menor desempeño sísmico en comparación a los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos para el Edificio Multifamiliar “Vilchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

1.4.2. HIPOTESIS ESPECIFICAS

El análisis de desempeño sísmico con un sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales para el Edificio Multifamiliar “Vilchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo, genera elevada magnitud de fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes.

El análisis de desempeño sísmico con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos para el Edificio Multifamiliar “Vilchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo, genera menores magnitudes de fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes.

El análisis de fuerzas, momentos, desplazamientos y aceleraciones resultantes del sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales presentará variación con respecto a los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos al realizar el análisis de desempeño sísmico para el Edificio Multifamiliar “Vilchez” en el distrito de El Tambo, Huancayo.

1.5. JUSTIFICACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La zona centro del Perú es una región de elevada actividad sísmica donde se puede esperar la manifestación de eventos sísmicos de gran intensidad durante la vida útil de un proyecto, producto de la liberación de energía por la subducción de la placa oceánica bajo la placa continental sudamericana.

La ciudad de Huancayo al ser considerada una zona sísmica tipo 3, se encuentra sujeta y propensa a sufrir daños severos en edificaciones producto de un evento sísmico; frente a ello, el diseño sísmico nos presenta múltiples alternativas de diseño, dentro de las cuales,

para edificios altos se consideran el empleo de muros estructurales y sistema de disipadores de energía.

El propósito de la presente investigación se justifica en obtener el mejor comportamiento sísmico, realizando un análisis sísmico de una edificación con un sistema estructural tradicional de muros de concreto y un sistema estructural donde se incluyen dispositivos para la disipación de energía, a fin de observar variabilidad de parámetros sísmicos obtenidos al aplicar estos sistemas estructurales.

La finalidad de obtener un comportamiento sísmico óptimo de edificaciones es conseguir una estructura sismorresistente para evitar que estas colapsen y presenten daños que conlleven a pérdidas humanas y materiales, para lo cual se necesita difundir el empleo de este nuevo sistema estructural de disipadores de energía para su uso en proyectos futuros concebidos en la región centro.

1.6. METODOLOGÍA

1.6.1. DESCRIPCIÓN DE LA METODOLOGÍA

Se tomará como proyecto de análisis, con fines académicos, el Edificio Multifamiliar "Vílchez", el cual cuenta con 13 niveles y está ubicado en el distrito de El Tambo de la provincia de Huancayo, departamento de Junín.

El proyecto de edificación en análisis considera las disposiciones arquitectónicas normativas correspondientes, el cual presenta las siguientes características: trece (13) niveles; el área de cada nivel es aproximadamente 410.94 m² y cada nivel está conformado por viviendas destinadas a un uso específico. En el primer nivel se encuentran 5 ambientes típicos destinados a vivienda de aproximadamente 80 m², comprendiendo dormitorio, sala, servicios higiénicos y kitchenette en todos los niveles.

Se efectuará el análisis frente a un evento sísmico de la edificación considerando el planteamiento arquitectónico propuesto, seguidamente se incorporará un planteamiento estructural en el edificio para que cumpla el criterio normativo sismorresistente considerando la inclusión de un reforzamiento tradicional, para luego incorporar el reforzamiento existente; la adición del sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso, fluencia para determinar cuál de ellos tiene un mejor comportamiento frente a un evento sísmico.

El desarrollo del análisis sísmico para la edificación se realizará respetando las disposiciones establecidas en la Norma E.030 (Diseño Sismorresistente); la Norma AISC7 para el caso de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso y fluencia, ya que en el Perú no se cuenta con una norma técnica de disipadores de energía, pero sugiere el empleo de la norma americana AISC7 como guía de diseño sismorresistente.

1.6.2. MÉTODO, TIPO Y NIVEL DE LA INVESTIGACIÓN

1.6.2.1. MÉTODO

Cuantitativo

1.6.2.2. TIPO

De acuerdo al propósito de investigación, naturaleza del problema y los objetivos formulados en el trabajo, el presente estudio reúne las condiciones para ser considerado como una investigación aplicada, en razón que para el desarrollo de la parte conceptual se apoyará sobre conocimientos de edificaciones con refuerzo tradicional, así como de disipadores viscoelásticos y de fluencia de metales.

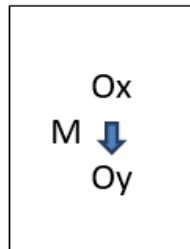
1.6.2.3. NIVEL

Será una investigación descriptiva en un primer momento, luego explicativa y, finalmente, correlacionada.

1.6.2.4. DISEÑO DE LA INVESTIGACIÓN

No Experimental, ya que dada la naturaleza de la investigación responde a una investigación por objetivos.

1.6.2.5. ESQUEMA



OX: Sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales

Sistema de disipación pasiva de energía viscoelásticos e histeréticos

OY: Análisis de desempeño sísmico

M: Edificio Multifamiliar “Vílchez”

1.6.3. POBLACIÓN Y MUESTRA

1.6.3.1. POBLACIÓN

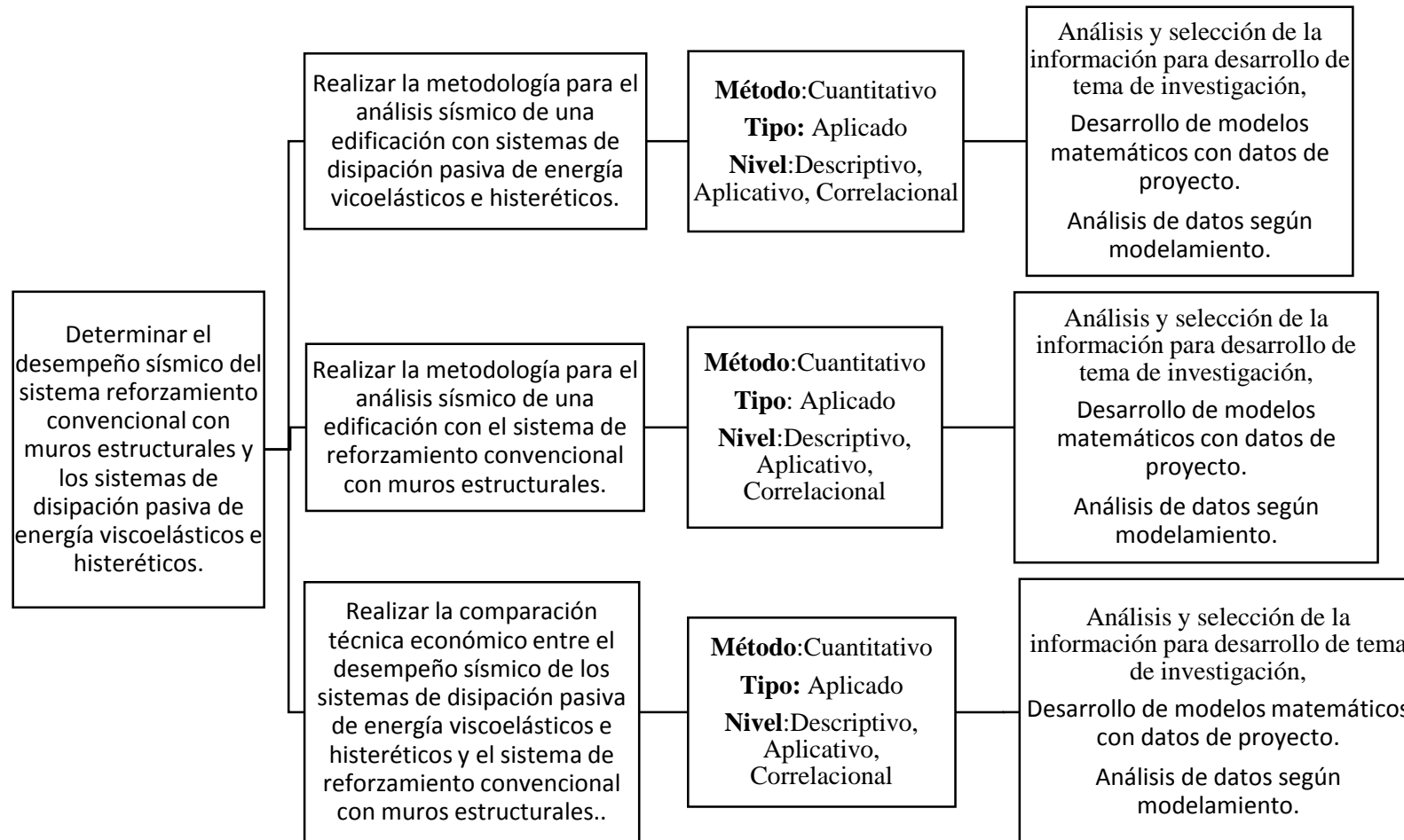
Proyectos multifamiliares de edificación de 5 a más niveles en la ciudad de Huancayo.

1.6.3.2. MUESTRA

Edificio Multifamiliar “Vílchez” de 13 niveles

1.7. ORGANIZACIÓN DE TESIS

1.7.1. DESARROLLO SISTEMICO DE LA INVESTIGACIÓN (DSI)



1.7.2. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

| N° | ACTIVIDADES | 2015 | | | | | | |
|----|---|-----------|---------|-----------|-----------|-------|---------|---|
| | | SETIEMBRE | OCTUBRE | NOVIEMBRE | DICIEMBRE | ENERO | FEBRERO | |
| 1 | Entrega y aprobación del Plan de Tesis | X | | | | | | |
| 2 | Búsqueda de información bibliográfica | | X | | | | | |
| 3 | Análisis de información | | X | | | | | |
| 4 | Selección de la información bibliográfica | | | X | | | | |
| 5 | Desarrollo y descripción del problema | | | X | | | | |
| 6 | Investigación y selección de información para estado del arte | | | | | X | | |
| 7 | Desarrollo y redacción del estado de arte | | | | | X | X | |
| 8 | Desarrollo de metodología de investigación | | | | | | X | X |

| N° | ACTIVIDADES | 2016 | | | | | | | |
|----|---|-------|-------|------|-------|-------|--------|-----------|-----------|
| | | MARZO | ABRIL | MAYO | JUNIO | JULIO | AGOSTO | SETIEMBRE | OCT. NOV. |
| 9 | Organización y recolección de datos | X | | | | | | | |
| 10 | Análisis e interpretación de datos | | X | X | | | | | |
| 11 | Elaboración de conclusiones y recomendaciones | | | | X | X | | | |
| 12 | Presentación de borrador de tesis | | | | | X | X | | |
| 13 | Subsanación de observaciones | | | | | | X | X | |
| 14 | Redacción y presentación de informe final | | | | | | | X | |
| 15 | Aprobación y designación de fecha de sustentación | | | | | | | X | X |
| 16 | Sustentación de tesis y aprobación | | | | | | | | X |

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. SISMICIDAD EN EL PERÚ

América del Sur se caracteriza en su borde occidental por presentar a una de las zonas con mayor actividad sísmica a nivel mundial, ya que se encuentra agrupada dentro de la zona denominada como “cinturón de fuego”. El Perú, al ser parte de la región sudamericana, ha experimentado a lo largo de su historia gran actividad sísmica producto del proceso de subducción de la Placa de Nazca (Oceánica) sobre la Placa Sudamericana (Continental).

Históricamente el Perú ha sido afectado por eventos sísmicos desde épocas antiguas (Ver Tabla N°01) con magnitudes de hasta 8.4 grados registradas en la Escala de Richter.

El daño severo y colapso de estructuras durante eventos sísmicos propició y dio lugar al estudio, modelación e idealización de las fuerzas sísmicas, las cuales dieron origen a normas de diseño para una concepción estructural que pueda soportar fenómenos sísmicos para conseguir la reducción de pérdidas humanas y materiales.

La zona centro del Perú es una región de elevada actividad sísmica donde se puede esperar la manifestación de eventos sísmicos de gran intensidad durante la vida útil de un proyecto, producto de la liberación de energía por la subducción de la Placa Oceánica bajo la Placa Continental Sudamericana.

La ciudad de Huancayo al ser considerada una zona sísmica tipo 3, se encuentra sujeta y propensa a sufrir daños severos en edificaciones producto de un evento sísmico, admitiendo según datos del Instituto Geofísico del Perú (IGP) la posibilidad de alcanzar magnitudes de hasta 7.5 grados en la Escala de Richter.

Tabla 1: Principales sismos Ocurridos en el Perú

| Sismo | Año | Magnitud Mw | Datos Adicionales | | |
|------------|------|-------------|-------------------|---------|--------------|
| | | | Muertes | Heridos | Damnificados |
| Ica | 2012 | 6.3 | | 105 | 800 |
| Ica | 2011 | 6.9 | 1 | 103 | 1000 |
| Pucallpa | 2011 | 7.0 | 1 | 20 | |
| Pisco | 2007 | 7.9 | 519 | 2000 | 340000 |
| Moyobamba | 2005 | 7.5 | 10 | 164 | 12600 |
| Arequipa | 2001 | 8.4 | 240 | 2400 | 340000 |
| Arequipa | 1999 | 6.8 | 1 | 20 | |
| Nazca | 1996 | 7.7 | 20 | 2000 | 200000 |
| San Martin | 1993 | 6.5 | 40 | 800 | 235000 |
| San Martin | 1990 | 7.0 | 400 | 2800 | 500000 |
| Cuzco | 1986 | 6.0 | 153 | 1200 | 180000 |
| Lima | 1974 | 8.0 | 254 | 3600 | 300000 |
| Chimbote | 1970 | 7.9 | 100000 | 358000 | 3000000 |
| Lima | 1966 | 7.5 | 220 | 1800 | 258000 |
| Arequipa | 1960 | 7.5 | 687 | 2000 | 170000 |
| Arequipa | 1958 | 7.3 | 228 | 845 | 100000 |

Fuente: Elaboración propia, datos de IGP

2.2. DISEÑO SISMORRESISTENTE CONVENCIONAL Y SISTEMAS DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA

2.2.1. BALANCE ENERGÉTICO DE ESTRUCTURAS

En el análisis sísmico el comportamiento y efectos de la inclusión de sistemas de disipación, así como el reforzamiento tradicional sísmica frente a eventos sísmicos, consideran que la repartición para la energía de entrada en la estructura en un evento sísmico es convertida en energía cinética y potencial, las cuales son absorbidas o disipadas como calor ya sea de manera irrecuperable; es decir, la energía es disipada por el amortiguamiento inherente del material de la estructura o por los dispositivos de amortiguamiento suplementario. Esto se muestra claramente en la siguiente relación de la conservación de la energía:

$$E = E_k + E_s + E_i + E_d$$

Donde:

E: Energía de entrada del movimiento sísmico.

E_k : Energía cinética.

E_s : Energía de deformación elástica recuperable.

E_i : Energía irrecuperable, disipada por el sistema estructural a través de la inelasticidad u otras formas de acción.

E_d : Energía disipada por los dispositivos de amortiguamientos suplementarios.

2.2.2. DISEÑO SISMORRESISTENTE CONVENCIONAL

En el Perú, actualmente, según Morales (2002) las técnicas de diseño sísmico de una estructura durante un evento sísmico está basado en un sistema resistente capaz de absorber y disipar energía de una manera estable por un largo número de ciclos, con la finalidad que la misma tenga la capacidad de incursionar en el rango inelástico, lo cual se obtiene al realizar una combinación de rigidez y ductilidad (ver imagen N°01) de la concepción estructural de una edificación.

Las técnicas de reforzamiento tradicional están sujetas a soportar solicitaciones sísmicas leves o moderadas en las cuales es de esperarse un comportamiento elástico de la edificación, sin embargo, frente a eventos sísmicos severos es de esperarse un comportamiento inelástico de la misma.

La disipación de energía en un sistema convencional se presentará con la formación de rótulas plásticas, las cuales generalmente se producirán en las vigas y columnas en el cual se liberará energía producto de la formación de rótulas plásticas las cuales, al ser zonas de daño concentrado, son muy difíciles de reparar y ocasiona un elevado costo de reparación.

Las técnicas de reforzamiento tradicional utilizadas en la construcción dependen de las solicitaciones y del diagnóstico estructural de la edificación. Entre las más usuales tenemos el empleo pórticos, muros estructurales, albañilería, sistemas mixtos, arriostrados, entre otros.

Imagen 1: Concepción Estructural Convencional



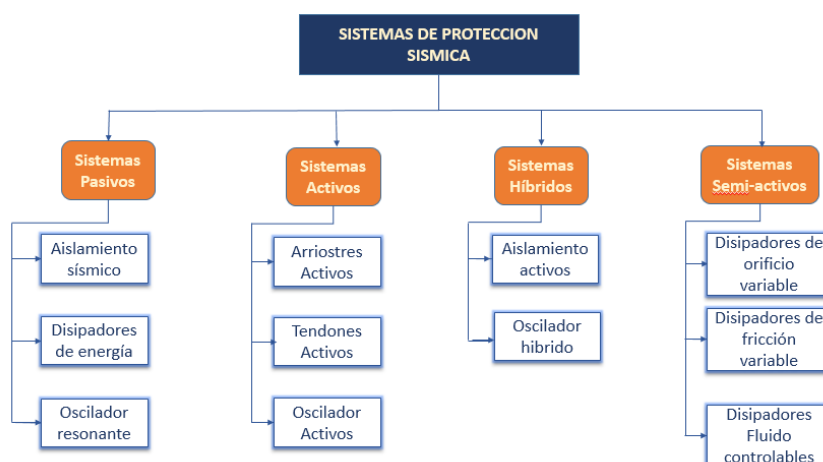
Fuente: Exposición Diseño Sísmico de Edificaciones Colegio de Ingenieros de Lima, por Ing. Alejandro Muñoz

2.2.3. DISEÑO SISMO RESISTENTE CON DISPARADORES DE ENERGÍA

Los sistemas de protección sísmica, actualmente, son procedimientos de diseño alternativo, los cuales pueden tomar la forma de sistemas de aislamiento sísmico o dispositivos suplementarios de disipación de energía que, frente a eventos sísmicos, proporcionan y aseguran el comportamiento estructural dentro del rango elástico, con la finalidad de limitar la incursión en el rango inelástico y la formación de rótulas plásticas.

Actualmente, se pueden emplear múltiples sistemas para una protección sísmica que posean varias ventajas para el empleo de los sistemas sísmicos convencionales; dentro de estos dispositivos tenemos a los sistemas pasivos, activos, híbridos y semi-activos (ver imagen N°02).

Imagen 2: Sistemas de protección Sísmica



Fuente: Elaboración propia

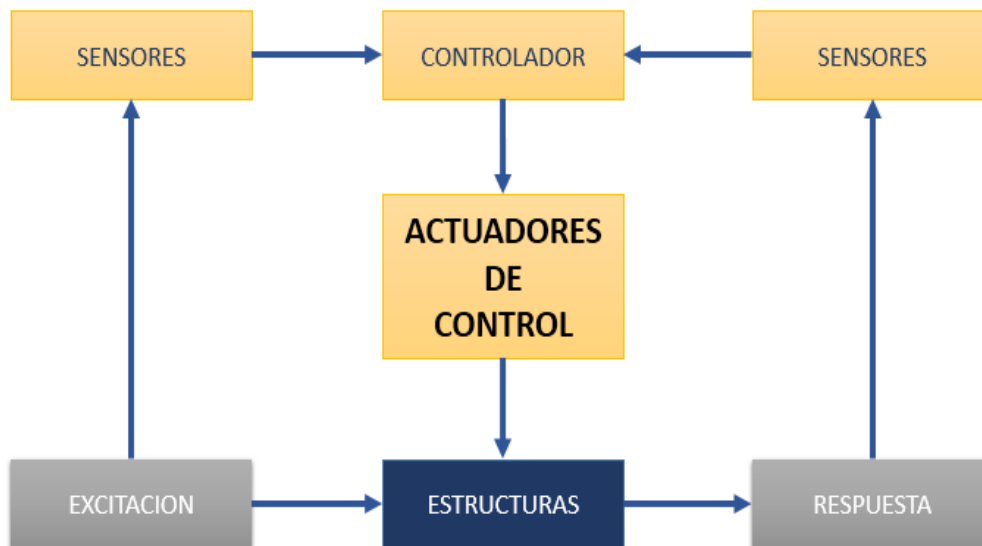
Los dispositivos para el control pasivo se encuentran basados en elementos que aportan de forma inercial a la fuerza sísmica a diferencia a otros dispositivos como los activos que necesitan de una fuente energética para su funcionamiento.

2.2.4. TIPOS DE SISTEMAS DE PROTECCIÓN SÍSMICA

2.2.4.1. SISTEMAS ACTIVOS DE PROTECCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA

Los sistemas de protección sísmica activos son aquellos que contrarrestan los efectos sísmicos mediante fuerzas aplicadas a actuadores y sensores de control, los cuales miden la perturbación externa para procesar y calcular la intensidad necesaria para estabilizar a la estructura mediante un sistema de masa activa (AMD); estos sistemas muestran la desventaja de ser poco robustos y presentar una gran fuente de energía para su desempeño.

Imagen 3: Respuesta de Disipación de Energía Activa

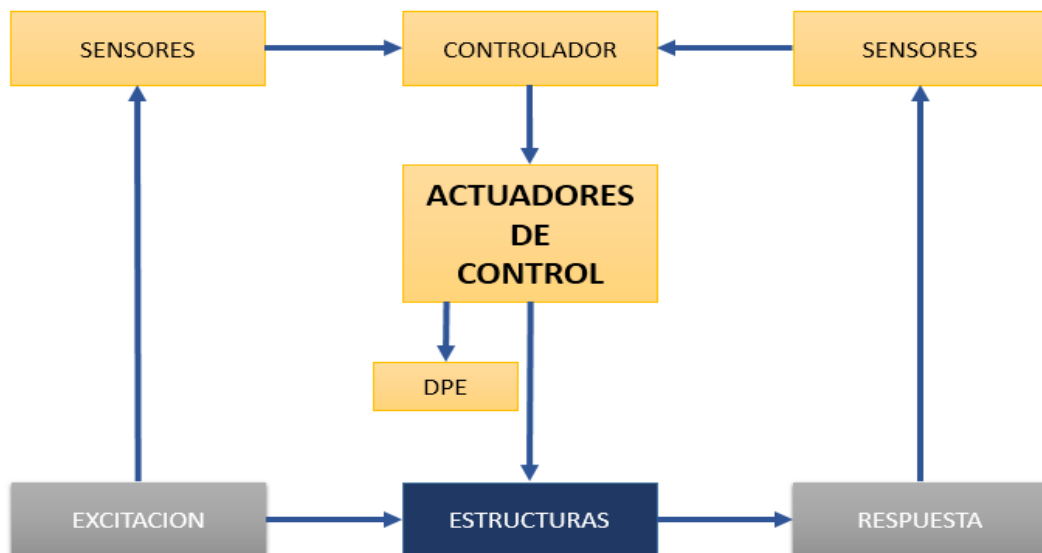


Fuente: Elaboración propia

2.2.4.2. SISTEMAS HÍBRIDOS DE PROTECCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA

Los sistemas de protección híbridos resultan de la combinación de sistemas activos y pasivos para incrementar la eficiencia y confiabilidad del control estructural frente a un evento sísmico, es así que el control se consigue a partir de un dispositivo pasivo de energía (DPE); estos sistemas presentan un menor requerimiento de energía para su funcionamiento a la vez que, en caso de algún déficit el sistema activo, cumplirá con la función de control.

Imagen 4: Esquema de Disipación de Energía Mediante Sistemas Híbridos



Fuente: Elaboración propia

2.2.4.3. SISTEMAS SEMI ACTIVOS DE PROTECCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA

Los sistemas semi activos no emplean dispositivos de control activos, sin embargo, presentan actuadores con fuente de energía que pueden modificar las características resistentes de acuerdo a las solicitaciones externas; dentro de las ventajas de este sistema tenemos el uso de pequeñas fuentes de energía.

Imagen 5: Esquema de disipación de energía con sistemas semi activos



Fuente: Elaboración propia

2.2.4.4. SISTEMAS PASIVO DE PROTECCIÓN DE ENERGÍA SÍSMICA

Los sistemas de protección sísmica pasivos son mecanismos de carácter reactivo, donde la respuesta sísmica no puede ser controlable, pues la misma depende de las condiciones iniciales que presenten. Los sistemas pasivos frente a un evento sísmico actúan modificando propiedades dinámicas en el edificio para, así, generar la reducción de respuesta estructural. Económicamente su uso adecuado nos permite obtener muchas ventajas.

Los sistemas de protección pasivo se clasifican en: aislamiento de base, sistemas inerciales acoplados y disipadores pasivos de energía.

2.2.4.4.1. SISTEMA DE AISLADORES SÍSMICOS

El sistema de aisladores sísmicos es la técnica de análisis y diseño sísmico fundamentada en el principio de desacoplar a la estructura del suelo de fundación empleando elementos

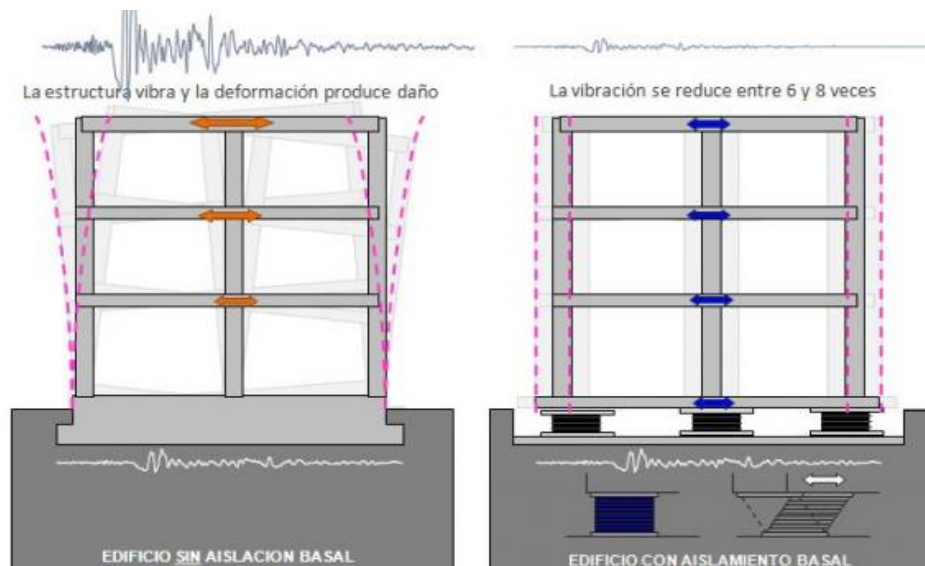
flexibles, con la finalidad de reducir desplazamientos de la estructura.

A nivel mundial, actualmente, existen diferentes sistemas de aislamiento; sin embargo, son tres los más usados a nivel mundial dentro de los cuales tenemos: los aisladores elastómeros sin núcleo de plomo (de bajo amortiguamiento LDR y de alto amortiguamiento HDR), los elastómeros con núcleo de plomo (LRB) y de tipo péndulo friccional.

Dentro de las ventajas del empleo de aisladores tenemos la reducción de fuerzas sísmicas con un aproximado de 90% la no invasión de espacios arquitectónicos, sin embargo, también, presentan desventajas como la limitación en su aplicación para terrenos rígidos y no se recomienda el empleo en edificios altos ($H/A > 4$), ya que en su empleo se generarían grandes momentos de volteo ocasionando pérdidas de equilibrio sobre el aislamiento, mayor dimensión de juntas sísmicas.

En nuestro país viene siendo una tendencia en el diseño sísmico. Prueba de ello, tenemos edificaciones como las oficinas de la empresa Graña y Montero (ver imagen N°06).

Imagen 6: Edificación con aislamiento en la base



Fuente: Grupo Prisma

Imagen 7: Oficinas de la empresa Graña Montero



Fuente: Grupo Prisma

2.2.4.4.2. SISTEMA INERCIAL ACOPLADO

Los sistemas de inercia acoplados denominados Tuned Mass Dampers (TMD) son aquellos que emplean masas adicionales ubicadas sobre la parte alta de los edificios, de tal manera que frente a una sollicitación externa el sistema de masa planteado tenga la función de absorber porción de energía cinética originada por un evento sísmico.

Dentro de las características positivas de este sistema tenemos su robustez, ya que son mecánicamente simples con un costo accesible.

En el Perú, bajo este enfoque estructural, podemos mencionar al edificio de oficinas Holguín que cuenta con un sistema de masa que representa el 3% del peso de la edificación.

Imagen 8: Sistema Inercial acoplado en el edificio Holguín



Fuente: Grupo Prisma

2.2.4.4.3. SISTEMA DE DISIPADORES PASIVOS DE ENERGÍA

Los mecanismos pasivos de energía presentan una respuesta sísmica sin considerar la inclusión de una fuente de energía.

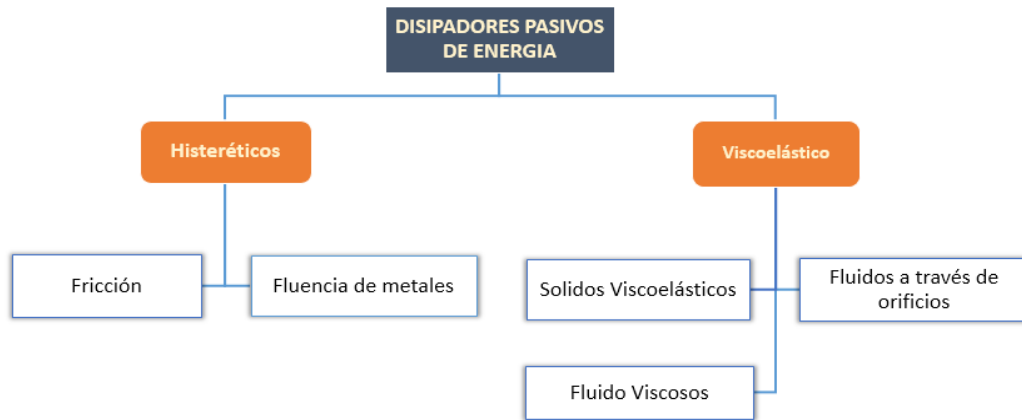
En el Perú se viene trabajando con sistemas de disipación de energía fluido viscosos con mayor incidencia; como muestra de ello, tenemos a las edificaciones de Panorama Plaza de negocios y edificio Javier Prado donde se obtuvo en las edificaciones un promedio de 28, 30% de disipación de energía; así como los disipadores de fluencia de metales tipo TADAS, prueba de ello tenemos a la Torre Barlovento y las Orquídeas que disipan 28, 35% de energía respectivamente.

Los dispositivos de disipación pasiva de energía se encuentran clasificados en dispositivos histéricos y viscoelásticos.

Según Villareal (2008) los disipadores histéricos son aquellos que dependen básicamente del desplazamiento y se encuentran basados en la plastificación de metales por flexión, cortante o extrusión y la fricción entre superficies.

Por otro lado, los disipadores viscoelásticos dependen fundamentalmente de la velocidad y se basan en los dispositivos del tipo sólidos viscoelásticos, fluidos conducidos a través de orificios y los de tipo fluidos viscoelásticos.

Imagen 9: Disipadores Pasivos de Energía



Fuente: Elaboración propia

El presente tema de investigación se enfocará en el siguiente título sobre la descripción de los sistemas de disipación pasiva de energía histéricos y viscoelásticos, recordando que para el presente estudio comparativo emplearemos los dispositivos fluido viscosos y de fluencia de metales tipo TADAS como parámetros de comparación con un sistema tradicional de diseño sísmico.

Imagen 10: Edificio Javier Prado dotado con disipadores fluido viscoso (lado izquierdo), Torre las Orquídeas incorporado con disipadores de fluencia tipo TADAS (lado derecho)



Fuente: Elaboración propia

2.3. DISIPADORES CON COMPORTAMIENTO HISTERÉTICOS

Los sistemas histeréticos son aquellos que disipan energía basados en el principio de plastificación de metales, la cual se origina a partir de esfuerzos estructurales o mediante la extrusión a través de un mecanismo que es independiente del rango de aplicación de la carga.

Debido a su bajo costo, características y propiedades apropiadas, el acero se considera el material más utilizado para la fabricación de disipadores mediante plastificación de metales y plomo en el caso de emplear disipadores de extrusión de metales. (Oviedo, 2008)

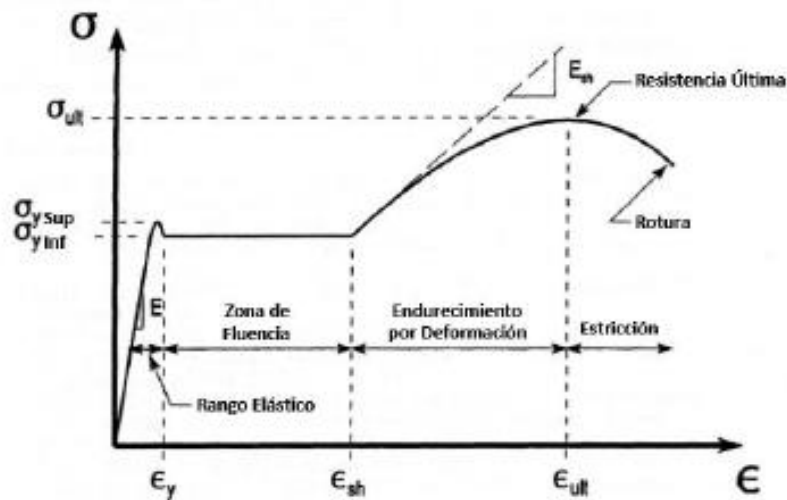
2.3.1. PROPIEDADES DEL ACERO

Existe diversidad de dispositivos metálicos empleados en la disipación de energía con distinta configuración y geometría, los cuales nos presentan una respuesta histerética obtenida a partir de ensayos de materiales de los mismos que permitieron lograr modelos matemáticos experimentales calibrados y ajustados por medio del ensayo de cargas a soportar.

2.3.1.1. CURVA ESFUERZO - DEFORMACIÓN

Las propiedades del acero se visualizan mediante la curva de esfuerzo-deformación y permiten el diseño de elementos estructurales, ya que la curva es la base de caracterización del comportamiento del acero ante cargas estáticas obtenidas a partir de ensayos de tensión uniaxial incrementada a una velocidad muy lenta hasta la rotura.

Imagen 11: Curva de Esfuerzo- Deformación del Acero



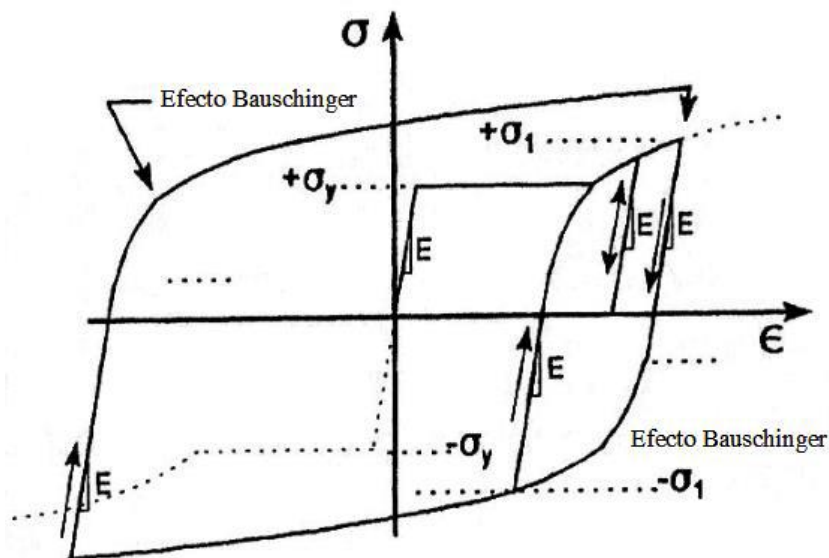
Fuente: Whitaker, 1998

La imagen N°11 indica las 4 zonas del diagrama esfuerzo-deformación iniciando la curva en la zona de rango elástico. Existe una recuperación del material, es decir, no hay deformaciones permanentes debido a la proporcionalidad entre el esfuerzo y la deformación unitaria, la cual culmina en el punto de fluencia o f_y donde inicia la zona de fluencia caracterizada por un considerable aumento de deformación unitaria sin un aumento de esfuerzo aparente para luego pasar a la zona de endurecimiento por deformación caracterizado por un incremento gradual de esfuerzo-deformación obteniéndose la máxima resistencia aparente del acero para, finalmente, terminar en la zona de estricción caracterizada por una reducción de de sección de material y rotura.

2.3.1.2. COMPORTAMIENTO DEL ACERO ANTE CARGAS CÍCLICAS

Cuando el acero se somete a procesos repetitivos de carga, descarga y esfuerzos por encima del rango elástico, se origina una trayectoria paralela a la curva en el rango elástico hasta alcanzar nuevamente el rango inelástico; proceso que puede repetirse en ciclos de decenas o miles de veces satisfactoriamente sin llegar a la rotura del material por fatiga.

Imagen 12: Comportamiento del acero ante Cargas Cíclicas



Fuente: Edificación con Disipadores de Energía (G. Villareal, 2008)

2.3.2. DISIPADORES HISTERÉTICOS DE FLUENCIA DE METALES

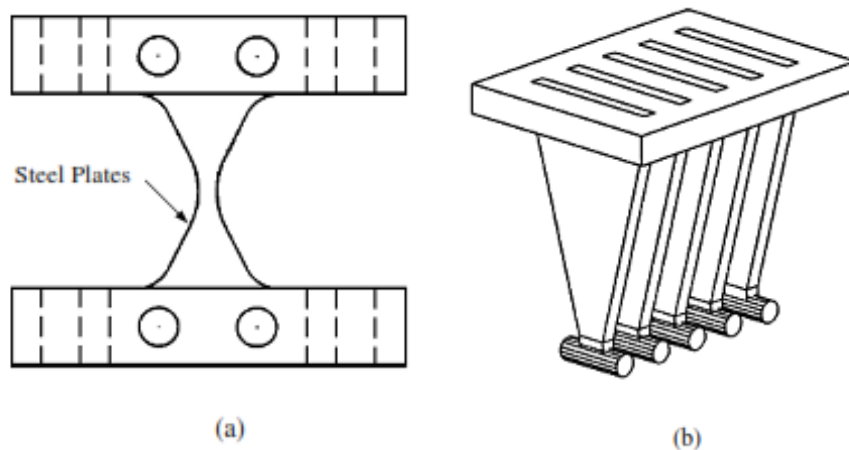
Los disipadores de fluencia son aquellos que están formados por un sistema de placas paralelas que se activan producto de un desplazamiento relativo de entre pisos frente a un evento sísmico. Estos sistemas basan su principio de disipación en el comportamiento del material por encima del rango elástico producidos por fuerzas de flexión, cortante, torsión o axial.

Los disipadores histeréticos han recibido gran atención y énfasis en nuestra investigación al ser constituidos en su mayoría de acero dulce de carbono (0.15%

$\leq C < 0.30\%$) debido a su bajo costo de operación y mantenimiento, así como de propiedades beneficiosas como la ductilidad que le permite al material la resistencia de deformaciones y la disipación de energía estable en numerosos ciclos.

Innumerables han sido los dispositivos ensayados y desarrollados en países como Japón, Estados Unidos, México, Chile, entre otros; donde la mayor atención en el diseño sísmico son los tipo ADAS, y TADAS (ver imagen N° 11) por lo que en un caos general no lineal la energía disipada en un ciclo de deformación, por un sistema de reducción de vibración cualquiera, está relacionado con el área demarcado por la representación histerética fuerza- deformación, por lo cual es posible determinar un sistema equivalente de comportamiento lineal y no lineal. (Vidal, 2008).

Imagen 13: (a) Disipadores tipo ADAS, (b) Disipadores tipo TADAS



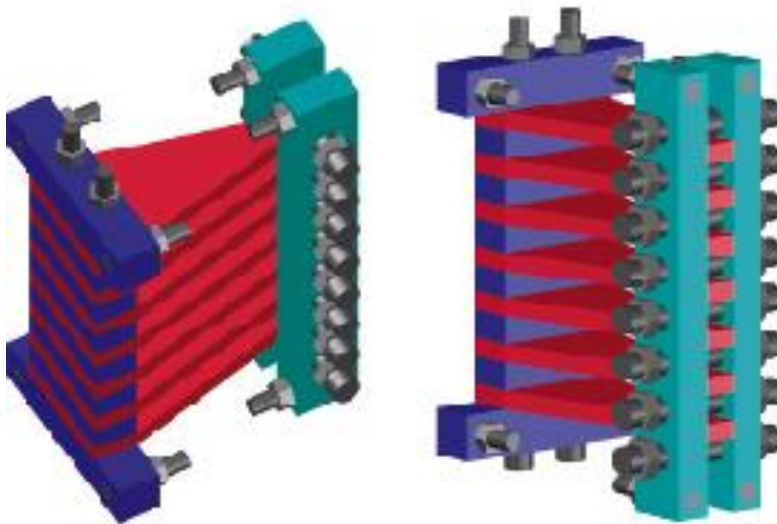
Fuente: Análisis sísmico de estructuras con disipadores de Energía Tipo Adas o Tadas (M. Rodríguez, 2016)

Para fines de investigación en la presente tesis, y debido a su poco uso y difusión en nuestro país, nos enfocaremos en el modelamiento y análisis de los disipadores tipo TADAS.

2.3.2.1. DISPOSITIVOS TIPO TADAS

Disipadores tipo TADAS son aquellos basados en placas de forma triangular colocadas en paralelo y en disposición espacial, donde estos dispositivos presentan la particularidad de no encontrarse empotrado en ambos extremos, es decir, el disipador se encuentra empotrado en su conexión con la viga (mayor dimensión de la placa) y articulado en la conexión de arriostramiento tipo Chevron.

Imagen 14: Disipador tipo TADA



Fuente: Análisis sísmico de estructuras con disipadores de Energía Tipo Adas o Tadas (M. Rodríguez, 2016)

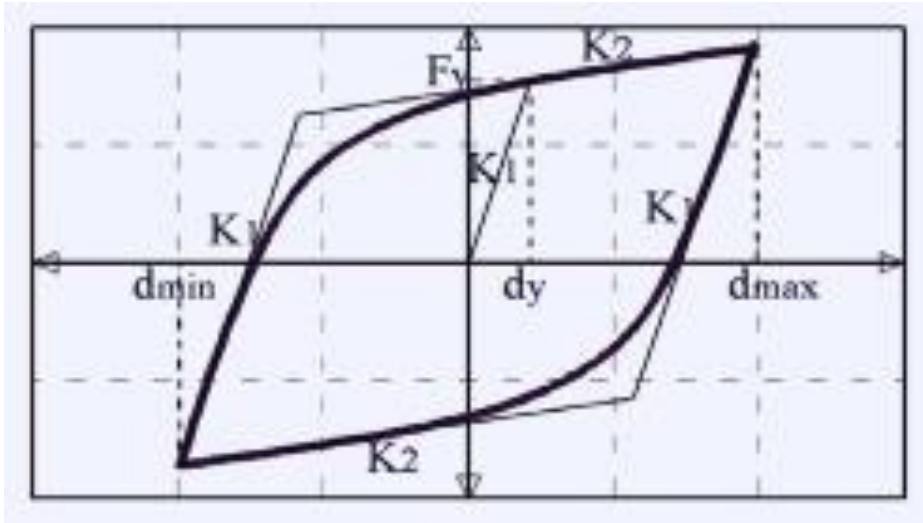
2.3.2.1.1. MODELO MATEMÁTICO

La ecuación de movimiento de una estructura para un comportamiento no lineal, considerando un factor de reducción de vibraciones (FRV), puede ser expresada mediante el modelo bilineal y de Bouc .Wen, ya que son los modelos más destacados para representar disipadores con comportamiento histerico. Para efectos de nuestro estudio, denotaremos como modelo a considerar el modelo bilineal.

2.3.2.1.2. MODELO BILINEAL

Es aquel modelo con un f (FRV) el cual se obtiene a través de un modelo bilineal que depende de los parámetros k_1 , k_2 , F_y y d_y , donde la histéresis obtenida para cargas cíclicas se puede obtener como muestra la imagen N° 15.

Imagen 15: Comportamiento Histeréticos modelo Bilineal



Fuente: Aplicación de Disipadores Histeréticos (A. Sánchez, 2014)

De la imagen tenemos una rigidez inicial (k_1) la cual denota la reacción de los disipadores frente a cargas de baja intensidad en el rango elástico, la cual se genera al trazar la tangente en las zonas con menor carga de ciclo.

La rigidez, después de la fluencia, se encuentra relacionada con las cargas más altas por ciclo, la cual es resultado de trazar una tangente por el punto de desplazamiento más alto del desplazamiento de la histéresis.

La principal ventaja del modelo bilineal es la simplicidad de modelar la curva histerética, sin embargo, presenta una desventaja al graficar la zona de transición en el estado elastoplástico, la cual se aproxima mejor mediante una curva y no con una recta, originando deformaciones menores a las reales.

2.3.2.1.3. LINEARIZACIÓN DE EQUIVALENCIA PARA MODELO BILINEAL

El cálculo aproximado del amortiguamiento viscoso equivalente, implica reducir la integral en un ciclo del error cuadrático entre la verdadera fuerza de reducción y la estimación en un comportamiento lineal de ella, de donde se obtiene:

$$Ke = \frac{\int_0^{2\pi} f(x,v,z,t) \delta_0 \sin(\omega t) d\omega t}{\pi \delta_0^2} \quad (1.2)$$

$$Ce = \frac{\int_0^{2\pi} f(x,v,z,t) \delta_0 \cos(\omega t) d\omega t}{\pi \delta_0^2 \omega} \quad (1.3)$$

El ciclo para fuerza-deformación bilineal es descrito mediante las rigideces expresadas mediante las pendientes de las rectas de rigidez inicial k_1 para la zona elástica y de rigidez post-fluencia k_2 , con las que se obtienen las propiedades equivalentes en un modelo bilineal. Aplicando las fórmulas 1.2 y 1.3 con una carga armónica tenemos:

$$Ke = \frac{\delta_y}{\delta_0 \pi} ((k_1 - k_2) \left[\left(2 - \frac{\delta_0}{\delta_y} \right) A + B \right] + (k_1 + k_2) \frac{\delta_0 \pi}{2 \delta_y}), \text{ donde} \quad (1.4)$$

$$A = 2 \sqrt{\frac{(\delta_0 - \delta_y) \delta_y}{\delta_0^2}} \quad B = -\frac{\delta_0}{\delta_y} \arcsin\left(\frac{\delta_0 - 2\delta_y}{\delta_0}\right) \quad (1.5)$$

$$Ce = \frac{4(k_1 - k_2)(\delta_0 - \delta_y)}{\delta_0^2 \omega \pi} \delta_y \quad (1.4)$$

Donde:

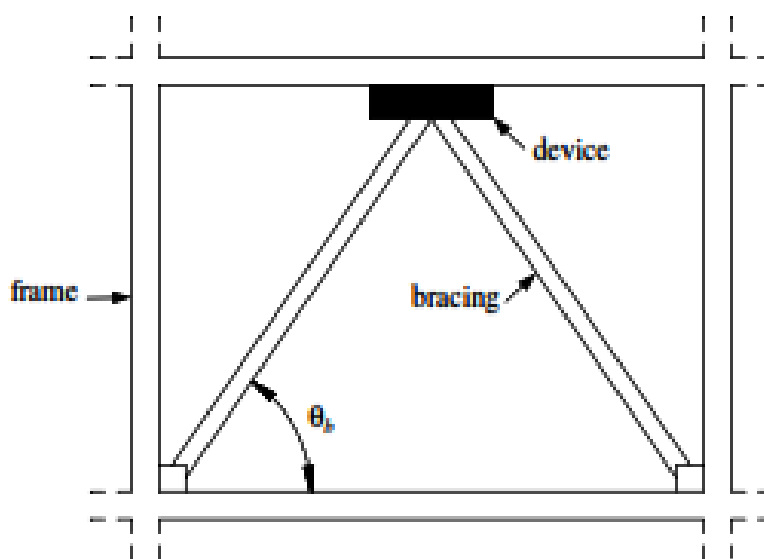
δ_0 : Deformación máxima de ciclo histerético

δ_y : Deformación de fluencia

2.3.2.1.4. CRITERIOS DE DISPOSICIÓN DE DISIPADORES

Para los disipadores de fluencia tipo TADAS, son típicamente instalados en un pórtico entre un brazo Chevron y la viga superior.

Imagen 16: Disposición Chevron para Disparadores Histeréticos



Fuente: Análisis sísmico de estructuras con disipadores de Energía Tipo Adas o Tadas (M. Rodríguez, 2016)

2.4. DISIPADORES CON COMPORTAMIENTO VISCOELÁSTICOS

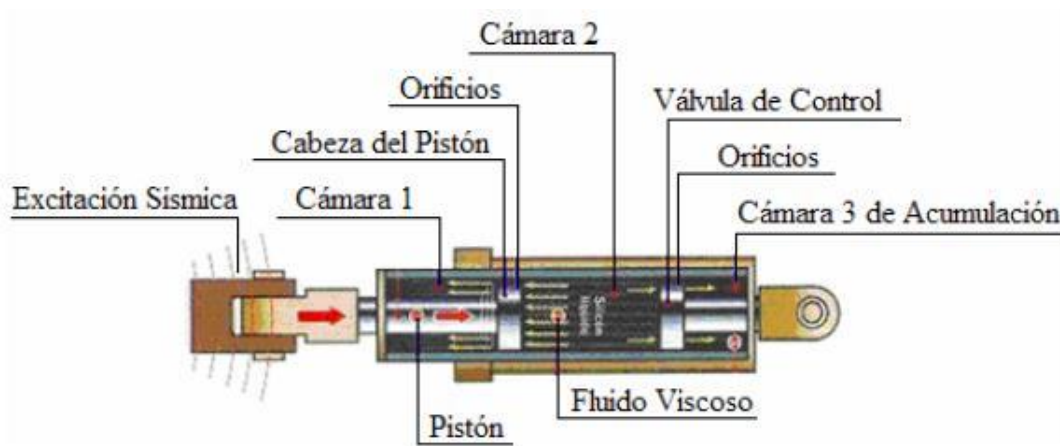
2.4.1. DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Uno de los mecanismos en la disipación de energía más eficiente son los del tipo fluido viscoso, estos tiene la propiedad de disminuir en forma al mismo tiempo esfuerzos y las deflexiones en una estructura, debido a que los dispositivos de fluido varían su fuerza resistente solamente con la velocidad a la que es comprimido, lo que origina una velocidad de cero para una deformación máxima. La magnitud de fuerza de salida resistiva en el dispositivo actúa en la dirección contraria al movimiento de entrada, ya que el disipador presenta un comportamiento regido a las leyes de la mecánica de fluidos, donde el valor de la fuerza resistiva presenta

una variación con respecto a la velocidad traslacional del dispositivo para cualquier punto en el tiempo.

Los dispositivos de disipación energética fluido viscoso se encuentran llenos de fluido y deben tener la capacidad de mantenerse en servicio para grandes períodos de tiempo sin necesitar mantenimiento, debido a que estos materiales deben presentar la característica de ser resistentes a la corrosión, despostillamiento y gran resistencia al alto impacto donde el cilindro disipador debe ser capaz de resistir esfuerzos triaxiales.

Imagen 17: Disipador de Energía Fluido Viscoso



Fuente: Taylor 2002

La industria americana presenta varios estándares de materiales viscoelásticos, siendo las más resaltantes las siguientes organizaciones:

- Sociedad de Ingenieros Automovilísticos “Aerospace Materials Specifications” (AMS).
- Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos “ASME Standards”.
- Departamento de Defensa de los Estados Unidos, MIL – Handbook 5, “Metallic Materials and Elements for Aerospace Vehicle Structures”.
- NASA, Goddard Space Flight Center “Materials Selection Guide”.

Por muchos años, estos dispositivos han sido utilizados con mayor frecuencia y aplicaciones para el control de vibraciones en edificaciones.

2.4.2. MODELO MATEMÁTICO

Los materiales elásticos consideran al esfuerzo en función de una deformación unitaria, sin embargo, los materiales viscoelásticos consideran al esfuerzo proporcional a la deformación unitaria así como a la velocidad con la que se origina la deformación; es decir, presentan el fenómeno flujo dependiente e implica una deformación gradual bajo esfuerzo. Como ejemplo de material bajo este comportamiento podemos mencionar el asfalto, polímeros plásticos, el concreto, entre otros.

Para entender el comportamiento viscoelástico de estos disipadores de energía se presentarán algunos modelos de materiales linealmente viscoelásticos para un estado uniaxial de esfuerzo.

2.4.2.1. MODELO DE SÓLIDO MAXWELL

Este modelo establece la disposición de un resorte hookeano y un amortiguador newtoniano en serie, puesto que al soportar un esfuerzo presentará la misma intensidad tanto para el resorte e_d y amortiguador e_s . La deformación unitaria total se considerará como la suma de esfuerzos en sus componentes.

$$\sigma_d = \sigma_s = \sigma$$

$$e = e_s + e_d$$

2.4.2.2. MODELO DE MAXWELL A NIVEL MACROSCÓPICO

En base a datos experimentales (Constantinou y Symans, 1992) se ha encontrado que, en un gran rango de frecuencias, los disipadores tienen un comportamiento de fluido viscoelástico. Se puede emplear el modelo de Maxwell para representar el comportamiento de los disipadores a nivel macroscópico:

$$F(t) + \lambda F(t) = C_0 u(t) \quad (1.5)$$

Donde F es la fuerza resultante del disipador, λ es el intervalo de relajación, C es la constante de amortiguamiento para frecuencia cero y \dot{u} es la velocidad de la cabeza del pistón respecto del cilindro.

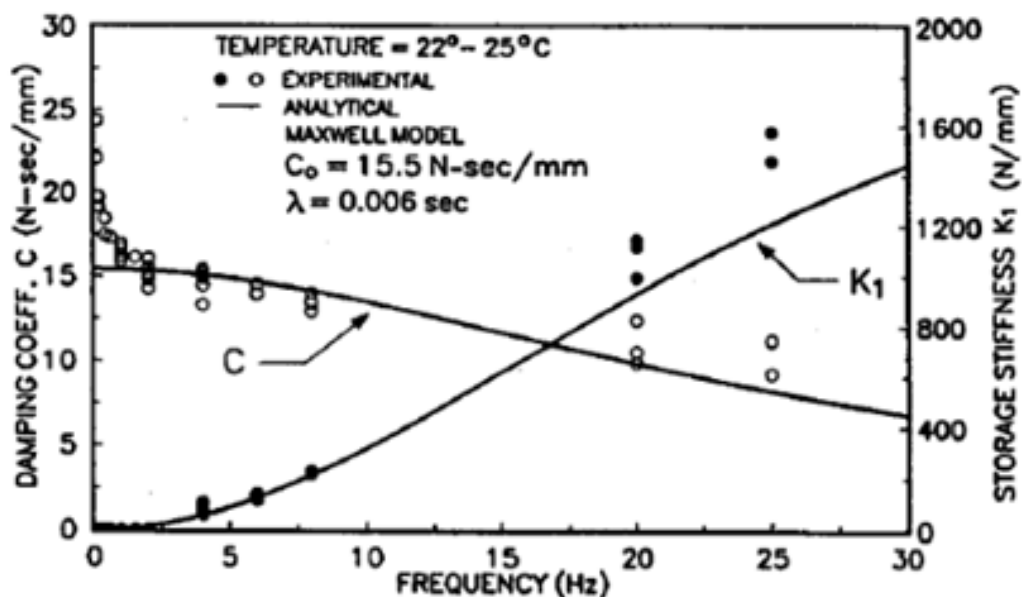
El modelo de Maxwell más general proviene de la calibración del modelo 1.5, en el cual las derivadas son de orden fraccionario y se emplea para describir comportamiento de fluido viscoelástico complejo.

$$F(t) + \lambda D^r [F(t)] = C_0 D^q [u(t)] \quad (1.6)$$

Donde $D^r [F(t)]$ es la derivada fraccionaria de orden r de la función F que depende del tiempo, este modelo fue calibrado en los experimentos realizados a temperatura ambiente por Constantinou y Symans en disipadores de dimensiones específicas. Los parámetros obtenidos de la calibración fueron $r = 1$, $q = 1$, $\lambda = 0.006$ s y $C = 15.45$ N-s/mm. Por lo tanto, el modelo calibrado puede representarse con la Ecuación 1.5.

En la imagen N°15 se muestra una comparación de las propiedades derivadas analíticamente y las obtenidas del experimento (coeficiente de amortiguamiento y rigidez almacenada). Los datos analíticos concordaron muy bien con los datos experimentales, excepto para frecuencias mayores a 20 Hz, en donde el modelo subestima la rigidez almacenada. Puesto que el disipador tiene un intervalo de relajación de solo 0.006 s; esto indica que para tasas de cambio bajas de la fuerza del disipador, el término (t) de la ecuación 1.5 puede despreciarse.

Imagen 18: Comparación de valores experimentales teóricos de amortiguamiento rigidez para DFV (Constantinou y Symans 1992)



Considerando el gráfico de la imagen N° 15, se concluye que para frecuencias límites de 4hz como rango promedio máximo de estructuras civiles típicas, podemos modelar el comportamiento de un disipador fluido viscoso bajo la siguiente expresión:

$$F(t)=C\omega^\alpha(t) \quad (1.7)$$

2.4.3. ECUACIÓN GENERAL

Para efectos de cálculo estructural, la expresión 1.7 queda definida de la siguiente manera:

$$F=C.\Delta^\alpha \quad (1.8)$$

De donde la fuerza “F” es una función de Δ (velocidad relativa entre dos extremos del disipador), la constante de amortiguamiento “C” (que depende de la frecuencia, temperatura y la amplitud del movimiento) y un exponente de velocidad “ α ”.

Los disipadores con exponente $\alpha = 1$, denominados disipadores lineales, fueron los primeros en ser desarrollados históricamente y con ellos se obtuvieron elevadas respuestas de amortiguamiento. Posteriormente, aparecieron los disipadores no lineales con exponente $\alpha < 1$ con los que se obtuvieron mejores soluciones en problemas de vibración e impacto.

2.4.3.1. COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO

El coeficiente de amortiguamiento depende del fluido inmerso dentro del dispositivo de disipación y representa la constante de amortiguación del dispositivo, el cual definiremos según el comportamiento lineal o no lineal que presente el mismo en un análisis sísmico.

2.4.3.1.1. AMORTIGUADOR LINEAL

Para dispositivos lineales con exponente de velocidad igual a la unidad, se define al coeficiente de amortiguamiento “C” con la siguiente expresión:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{T \cdot \sum_j C_j \cdot \cos^2 \theta_j \cdot \phi_{rj}^2}{4\pi \cdot \sum_i \left(\frac{w_i}{g}\right) \cdot \phi_i^2} \quad (1.9)$$

Donde:

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del sistema estructura.

T: Periodo fundamental de la estructura.

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.

w_i : Peso del nivel i.

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j.

ϕ_{rj} : Desplazamiento relativo del disipador j.

2.4.3.1.2. AMORTIGUADOR NO LINEAL

Para dispositivos lineales con exponente de velocidades menores a la unidad, se define al coeficiente de amortiguamiento "C" con la siguiente expresión:

$$\beta_{\text{eff}} = \frac{\sum_j \lambda \cdot C_j \cdot \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi \cdot A^{1-\alpha} \cdot W^{2-\alpha} \cdot \sum_i \left(\frac{w_i}{g}\right) \cdot \phi_i^2} \quad (2.0)$$

Donde:

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma^2(1+\frac{\alpha}{2})}{\Gamma(2+\alpha)} \quad (2.1)$$

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del sistema estructura.

C_j : Coeficiente de Amortiguamiento del disipador j.

w_i : Peso del nivel i.

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j.

ϕ_i : Desplazamiento del nivel i

ϕ_{rj} : Desplazamiento relativo del disipador j.

A: Desplazamiento del primer modo

w : Frecuencia angular

λ : Parámetro Lambda

Γ : Función Gamma.

El parámetro lambda depende de la función gamma $\Gamma(\alpha)$ definida por Euler, la cual extiende el concepto de factorial a los números complejos y es ampliamente usada en temas de probabilidad y estadística. Las funciones gamma $\Gamma^2(1+\alpha/2)$ y $\Gamma(2+\alpha)$ se resuelven mediante la integración por partes.

El FEMA 274 facilita una tabla que permite obtener el parámetro lambda directamente con el valor del exponente de α :

Imagen 19: Valores de tabulación de FEMA 274 para λ para α

| Coefficiente de velocidad α | Valores del parámetro lambda λ |
|--|--|
| 0.25 | 3.7 |
| 0.50 | 3.5 |
| 0.75 | 3.3 |
| 1.00 | 3.1 |
| 1.25 | 3.0 |
| 1.50 | 2.9 |
| 1.75 | 2.8 |
| 2.00 | 2.7 |

2.4.3.1.3. EXPONENTE DE VELOCIDAD " α "

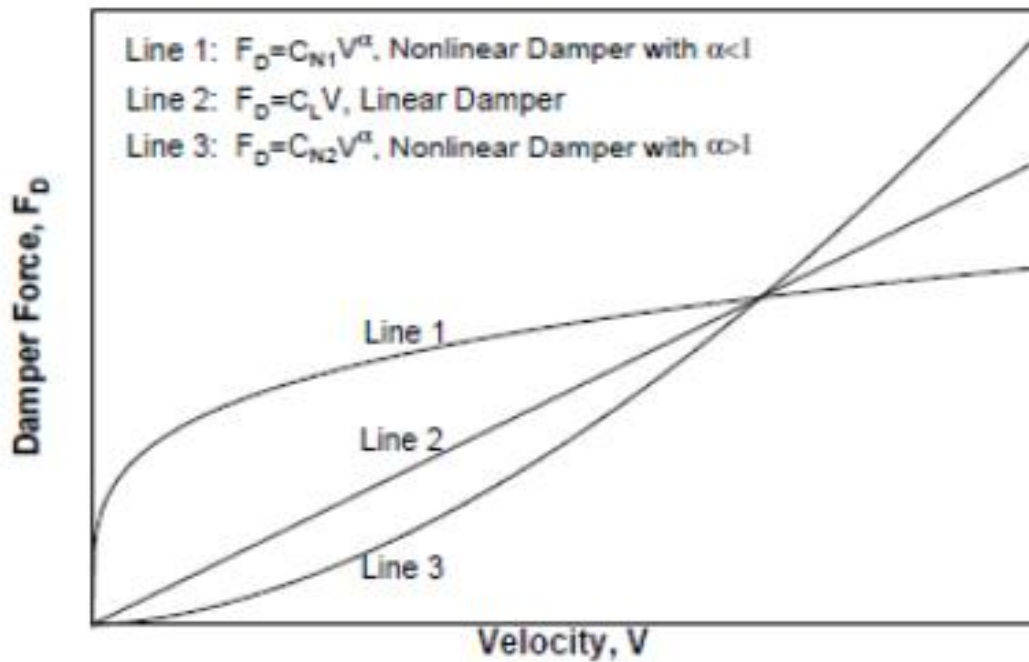
El exponente de velocidad " α " nos describe el comportamiento histerético de los dispositivos de disipación energética, considerando el comportamiento de los lazos histeréticos.

En el análisis de edificaciones es recomendable emplear un exponente de velocidad < 1 , el cual es un valor usado en un disipador no lineal, debido a que de presentarse esta condición el amortiguador permite reducir golpes de velocidad mediante una baja magnitud de fuerza aplicada sobre el amortiguador, mientras que en amortiguadores lineales con valor de α igual a 1, la fuerza sobre el mismo es proporcional a la velocidad relativa, originando en la estructura una fuerza máxima pero una fuerza mínima en el disipador.

Finalmente, amortiguadores con " α " >1 no son utilizados comúnmente en edificaciones debido a que requieren velocidades grandes para aumentar de manera significativa la fuerza sobre el amortiguador. La imagen N°16 representa el comportamiento de un dispositivo amortiguador considerando el rango de valores que pudiese tomar " α ", de lo cual se determina la gran eficiencia de los dispositivos no-lineales por la característica de aminorar altos requerimientos de velocidad en comparación de los amortiguadores lineales, sin embargo, debemos considerar que, ante bajas velocidades relativas, los dispositivos no lineales reaccionan mediante mayor fuerza de amortiguamiento.

Según los especialistas de MIYAMOTO INTERNATIONAL se recomienda utilizar valores de α entre 0.4 y 0.6 para estructuras comunes.

Imagen 20: Fuerza desplazamiento para disipadores fluido viscoso



Fuente: Edificaciones con Disipadores de Energía (Villareal, 2008)

2.4.3.1.4. RIGIDEZ DEL DISPOSITIVO "K"

Se considera que la resistencia a la deformación (rigidez) del sistema de amortiguamiento, es decir, la del brazo metálico en la estructura, se determina con la siguiente ecuación:

$$K = EA/L \quad (2.2)$$

Donde:

E: Coeficiente de Elasticidad del Acero.

A: Área de la sección del brazo metálico.

L: Longitud del brazo metálico.

En edificaciones comunes se recomienda emplear perfiles HSS o tipo por motivos de estética y facilidad de instalación.

El desarrollo de diseño para el brazo metálico así como en estructuras metálicas, se debe validar en las siguientes expresiones:

$$\phi T_n = \phi F_y * A_g < T_u \quad (2.3)$$

Donde:

T_n : Tensión nominal.

ϕ : Factor de reducción (0.9).

A_g : Área bruta de la sección del brazo metálico.

T_u : Tensión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador.

$$\phi P_n = \phi F_y * A_g < P_u \quad (2.4)$$

Donde:

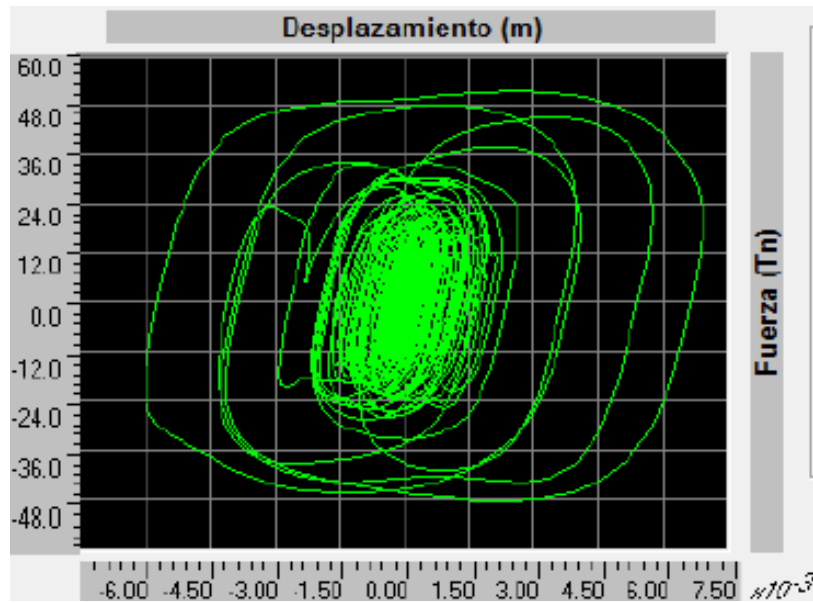
P_n : Compresión nominal.

P_u : Compresión última obtenida a partir de las fuerzas en el disipador.

2.4.4. CRITERIOS DE DISPOSICIÓN DE DISIPADORES

La ubicación, disposición y número de amortiguadores en una edificación son recomendaciones que inciden de manera significativa en la eficiencia del sistema de disipación de energía. Numerosas han sido las investigaciones en el campo, resaltando para esta investigación y por efectos de poder realizar una comparación objetiva con los disipadores de fluencia, describiremos la disposición tipo Chevron con la finalidad de obtener un comportamiento esperado como se puede observar en la imagen.

Imagen 21: Comportamiento histerético esperado para disipador Fluido Viscoso

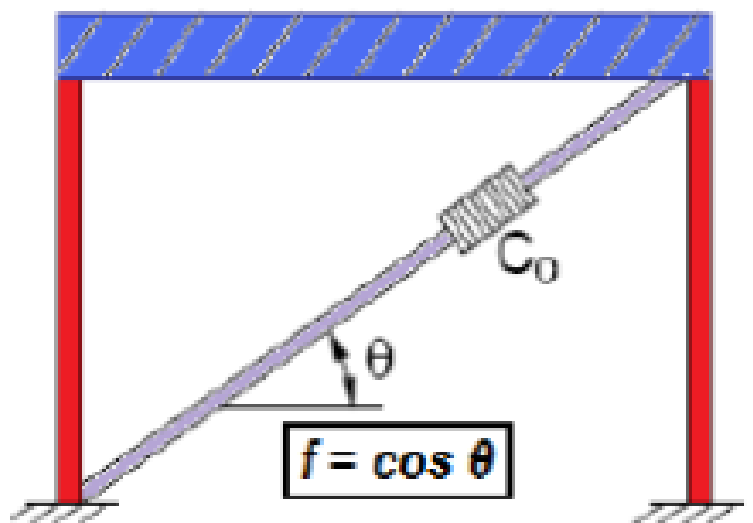


Fuente: Elaboración propia

2.4.4.1. DISPOSICIÓN DIAGONAL

La disposición diagonal está caracterizada por colocar el dispositivo de amortiguamiento de inclinada, considerada la más económica de las disposiciones, donde la eficiencia de la misma depende del ángulo de inclinación del brazo metálico.

Imagen 22: Disposición Diagonal



CAPÍTULO III

ANÁLISIS SÍSMICO DE PROYECTO

3.1. UBICACIÓN Y DESCRIPCIÓN ARQUITECTÓNICA DEL PROYECTO

La edificación en análisis, con fines de investigación, será la correspondiente a un Edificio Multifamiliar de 13 niveles denominada Edificación “Vílchez”, ubicado en la calle Antonio Lobato N°1120, distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, departamento de Junín; el cual presenta una arquitectura con áreas destinadas a vivienda y un área de proyecto de 885.96 m².

Imagen 23: Ubicación de proyecto de análisis sísmico



Fuente: Google Maps

La distribución de cada nivel presenta:

El 1° nivel comprende 05 departamentos con dormitorios, cocinas, ss.hh., guardianía, donde la altura de piso terminado a techo es de 3.10m.

Del 2° al 13° nivel comprenden 05 departamentos con dormitorios, cocinas y ss.hh.

La distribución expuesta se podrá contemplar en el plano arquitectónico adjunto, con una altura típica de 2.50m.

3.2. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

Para el presente proyecto en análisis con fines académicos, y considerando las disposiciones de la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones, se considerará cimentar el edificio expuesto por medio de zapatas y cimientos corridos, apoyados en el depósito de grava arenosa de 2 kg/cm^2 a una profundidad de desplante de 1.80m.

3.3. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN CONVENCIONAL

Para el análisis de la edificación se emplearán los parámetros y disposiciones expuestos según la Norma Técnica Peruana E.030 Diseño Sismorresistente Versión 2016, ya que el diseño sísmico de edificaciones debe cumplir con las disposiciones mínimas establecidas.

El análisis en mención considerará para la edificación un tiempo de vida de 50 años, incluyendo en el análisis los requerimientos de durabilidad y resistencia, con la finalidad de cumplir con las disposiciones ya expuestas de la Norma Técnica Peruana.

Para el análisis expuesto se partirá de una edificación a la cual se reforzarán muros estructurales y disipadores de energía.

3.3.1. PREDIMENSIONAMIENTO

La determinación de dimensiones de los elementos estructurales a considerar en la siguiente edificación, se realizó considerando las disposiciones del RNE peruano, así como de la norma americana ACI 318S-14 y otras fuentes confiables.

3.3.1.1. LOSAS

3.3.1.1.1. LOSAS ALIGERADAS

LOSAS ALIGERADAS EN UNA DIRECCIÓN

Para el proyecto en estudio hemos optado por considerar la sugerencia de pre dimensionamiento del Ing. Gianfranco Otazzi para el aligerado armado en una dirección, donde emplearemos la siguiente fórmula:

$$h = \frac{ln}{25}, \text{ Para } S/C \leq 300 \text{ kg/ [cm]}^2$$

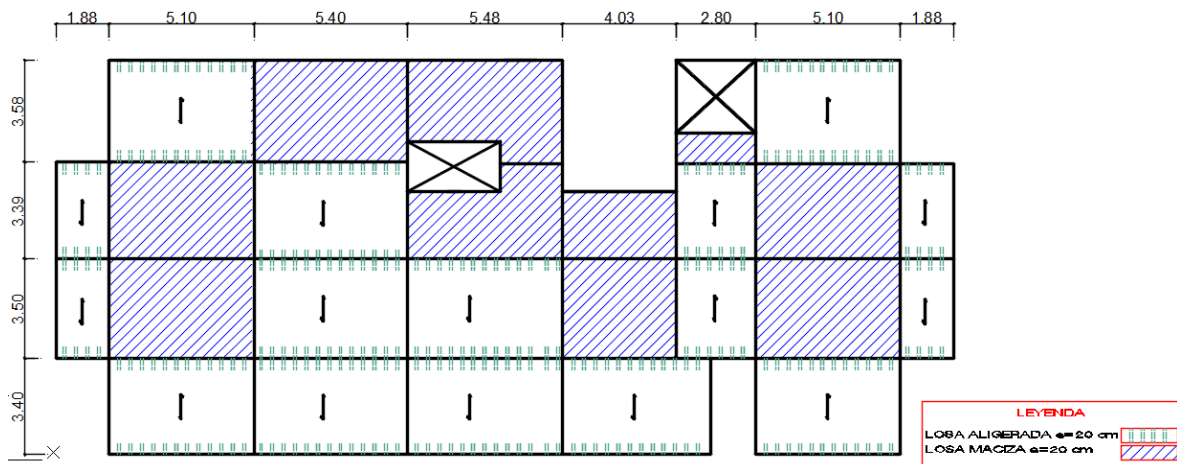
$$h = \frac{ln}{21} \text{ Para } S/C > 300 \text{ kg/ [cm]}^2$$

Tabla 2: Tabla de peraltes de losa aligerado para luces típicas

| Peralte | Luces de Aligerado |
|----------|-------------------------------|
| h = 17cm | $L_n < 4.00 \text{ m}$ |
| h = 20cm | $4.00 < L_n < 5.50 \text{ m}$ |
| h = 25cm | $5.00 < L_n < 6.50 \text{ m}$ |
| h = 30cm | $6.5 < L_n < 7.50 \text{ m}$ |

Fuente: Apuntes de Concreto Armado de Gianfranco Ottazzi

Imagen 24: Esquema de dimensionamiento de losas



Fuente: Elaboración propia

Considerando la dimensión crítica de 3.58m y orientación de la losa según el esquema presente en la imagen N° 18, obtendremos:

$$h = \frac{ln}{25} = \frac{3.58}{25} = 0.143=0.20m$$

Para el proyecto en análisis partiremos considerando un espesor de losa aligerada de 20 cm.

3.3.1.1.2. LOSAS MACIZAS

LOSAS MACIZAS EN UNA DIRECCIÓN

Para el proyecto en estudio hemos empleado la sugerencia de pre dimensionamiento del Ing. Gianfranco Otazzi para una losa maciza en una dirección, para lo cual utilizamos la siguiente fórmula:

$$h = \frac{ln}{30},$$

Considerando la dimensión crítica de 3.45m y orientación de la losa según el esquema presente en la imagen N° 18, obtendremos:

$$h = \frac{ln}{30} = \frac{3.58}{30} = 0.119 m$$

Para el proyecto en análisis, optaremos por un espesor de losa aligerada de e= 20cm, y por un criterio de uniformidad de espesor de losa consideraremos un espesor de losa maciza de e= 20cm.

En el proyecto se ha optado por la inclusión de losas macizas, debido a la densidad de muros en los paños expuestos en la imagen N° 18 que sustenta lo expuesto en el plano arquitectónico, lo cual hace inapropiado considerar una losa aligerada ya que la misma no cumpliría los criterios de evaluación a corte al momento de diseño.

3.3.1.2. VIGAS

Teniendo en cuenta las disposiciones de la Norma ACI 318S-14, emplearemos las siguientes relaciones para la determinación de la sección de viga:

$$h = \frac{1}{12} a \frac{1}{10}$$

$$b = \frac{1}{3} a \frac{1}{2}$$

Considerando para el dimensionamiento la distancia entre las columnas y respetando la dimensión mínima de base de 0.25 metros.

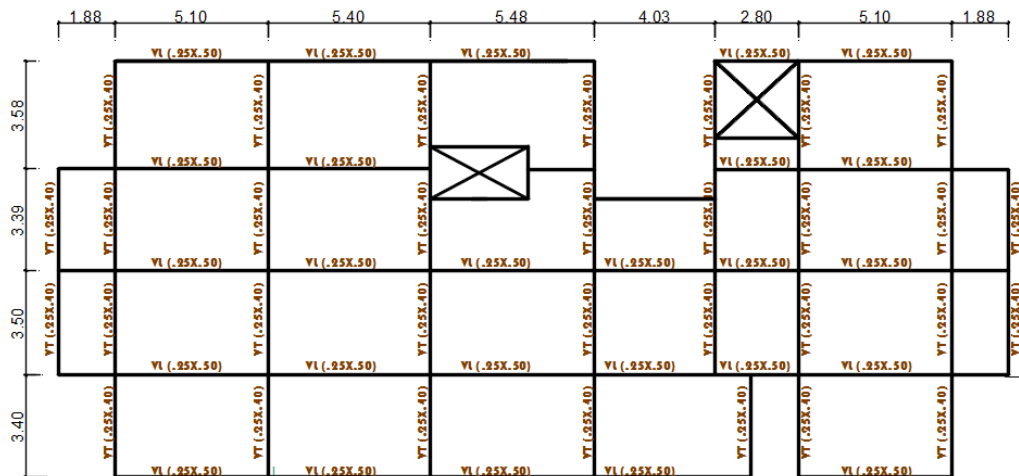
Considerando para la dirección longitudinal una dimensión crítica de 5.40 m y de 3.58 m en la dirección transversal, se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 3: Valores de Dimensionamiento de Vigas

| Vigas | | L/10 | L/12 | Usar |
|-----------|---------|------|------|------|
| V1(trans) | h (m) = | 0.55 | 0.46 | 0.50 |
| | b (m) = | 0.27 | 0.23 | 0.25 |
| V2(long) | h (m) = | 0.36 | 0.30 | 0.40 |
| | b (m) = | 0.18 | 0.15 | 0.25 |

De la Tabla N°3, se determinó emplear vigas de 25x50 para el eje longitudinal y de 25 x 40 para el eje transversal.

Imagen 25: Esquema de disposición de Vigas



Fuente: Elaboración propia

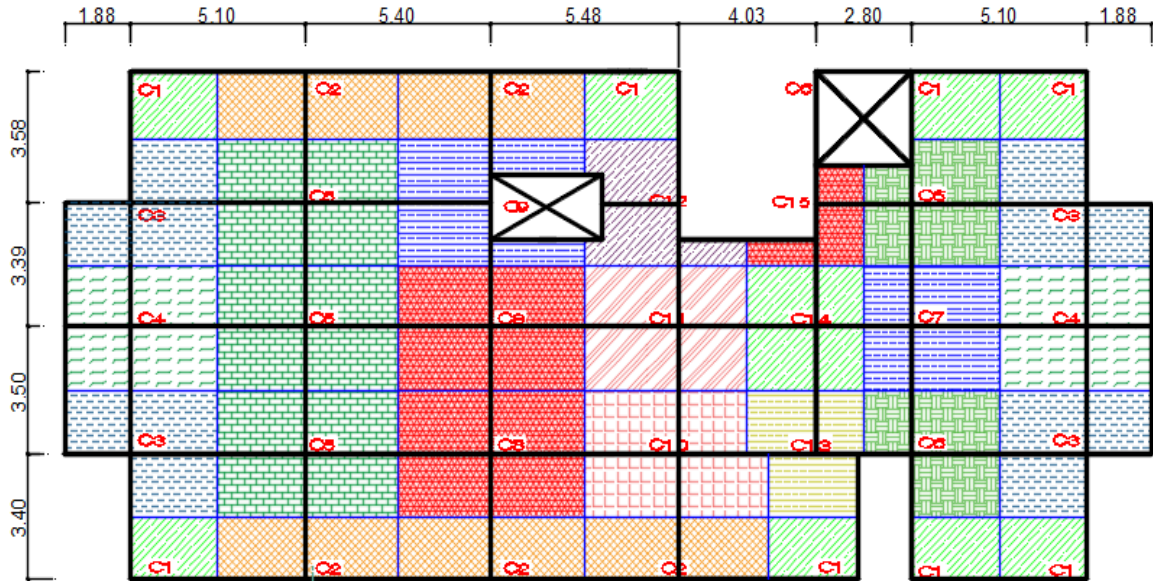
3.3.1.3. COLUMNAS

Teniendo a las columnas como los elementos estructurales más esenciales dentro de una edificación, usaremos las siguientes fórmulas utilizando para dicho efecto un peso promedio de 1000 kg/ [cm] ^2 para la edificación al tratarse de una edificación común así como un f'c de 280 kg/ [cm] ^2.

$$A_{col} = \frac{PxAtxN}{0.45 * f'c} \text{ Columnas Interiores}$$

$$A_{col} = \frac{PxAtxN}{0.35 * f'c} \text{ Columnas Exteriores}$$

Imagen 26: Esquema de áreas tributarias para dimensionamiento de columnas



Fuente: Elaboración propia

Tabla 4: Cuadro resumen de dimensionamiento de columnas

| COLUMNAS | | | | | | | | |
|-----------|---------------------------|---------------------------|---|----|-----------|--------|-------|---------------|
| TIPO | P (kg/m ²) | Área (m ²) | f _c (kg/cm ²) | N | Área | a (cm) | a (m) | Sección Usada |
| C1 (ext) | 1000 | 5.09 | 280 | 13 | 75.204082 | 25.98 | 0.3 | 0.5 |
| C2 (ext) | 1000 | 10.13 | 280 | 13 | 343.77551 | 36.66 | 0.4 | 0.5 |
| C3 (ext) | 1000 | 12.03 | 280 | 13 | 595.81633 | 39.95 | 0.4 | 0.5 |
| C4 (ext) | 1000 | 15.13 | 280 | 13 | 007.04082 | 39.51 | 0.4 | 0.5 |
| C5 (int) | 1000 | 18.08 | 280 | 13 | 865.39683 | 48.97 | 0.5 | 0.5 |
| C6 (int) | 1000 | 12.56 | 280 | 13 | 295.87302 | 40.82 | 0.4 | 0.5 |
| C7 (int) | 1000 | 13.51 | 280 | 13 | 393.88889 | 42.33 | 0.4 | 0.5 |
| C8 (int) | 1000 | 18.76 | 280 | 13 | 935.55556 | 43.99 | 0.4 | 0.5 |
| C9 (int) | 1000 | 18.72 | 280 | 13 | 931.42857 | 49.83 | 0.5 | 0.5 |
| C10 (int) | 1000 | 17.40 | 280 | 13 | 1795.2381 | 48.04 | 0.5 | 0.5 |
| C11 (int) | 1000 | 16.24 | 280 | 13 | 675.55556 | 46.41 | 0.5 | 0.5 |
| C12 (ext) | 1000 | 10.84 | 280 | 13 | 437.95918 | 33.44 | 0.3 | 0.5 |
| C13 (ext) | 1000 | 10.41 | 280 | 13 | 380.91837 | 37.16 | 0.4 | 0.5 |
| C14 (int) | 1000 | 11.67 | 280 | 13 | 204.04762 | 39.35 | 0.4 | 0.5 |
| C15 (ext) | 1000 | 5.21 | 280.00 | 13 | 91.122449 | 26.29 | 0.3 | 0.5 |

Fuente: Elaboración propia

De la Tabla N°04, se empleará una sección de columna de 50 x 50 como la más óptima, sin embargo, la disposición estructural realizada en el siguiente trabajo se acoplará al planteamiento arquitectónico así como a las solicitaciones sísmicas en ambos sentidos, por lo cual, la distribución y planteamiento estructural de columnas queda sujeta al criterio del ejecutor del proyecto, el cual tomará como referencia y punto de partida el área obtenida en el predimensionamiento.

3.3.1.4. PLACAS O MUROS DE CORTE

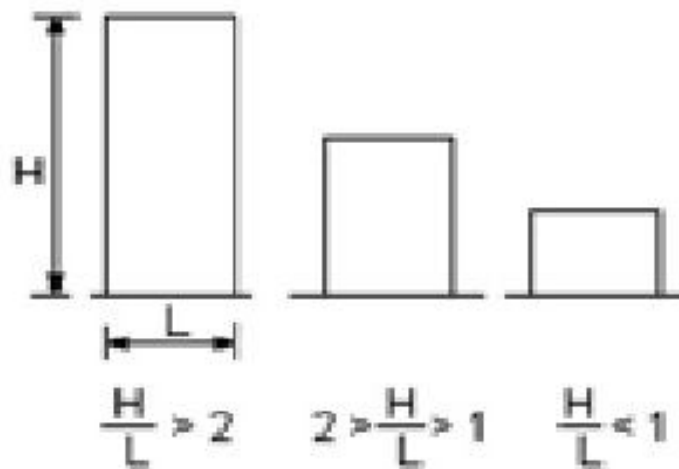
En edificaciones altas, las placas son de uso requerido con la finalidad de dotar de rigidez a la estructura debido a la capacidad de la misma de soportar fuerzas de corte producto de fuerzas sísmicas o de viento.

Para el dimensionamiento de placas se emplean cierta relación en función a la sección de la misma y su capacidad de resistencia por corte, sin embargo, es complicado fijar el dimensionamiento de placas.

Para el presente proyecto consideraremos a criterio del diseñador la colocación y seccionamiento de placas que serán verificadas en el modelamiento respectivo.

Los muros a considerarse en el proyecto son de distribución elevación simétrica y de forma continua de donde la relación $H/L > 2$ para garantizar un comportamiento dúctil y evitar colapsar al resistir cargas ya que una relación $1 < H/L < 2$ marcaría un comportamiento intermedio y una relación $H/L < 1$ marcaría un comportamiento frágil.

Imagen 27: Relación de esbeltez de muros

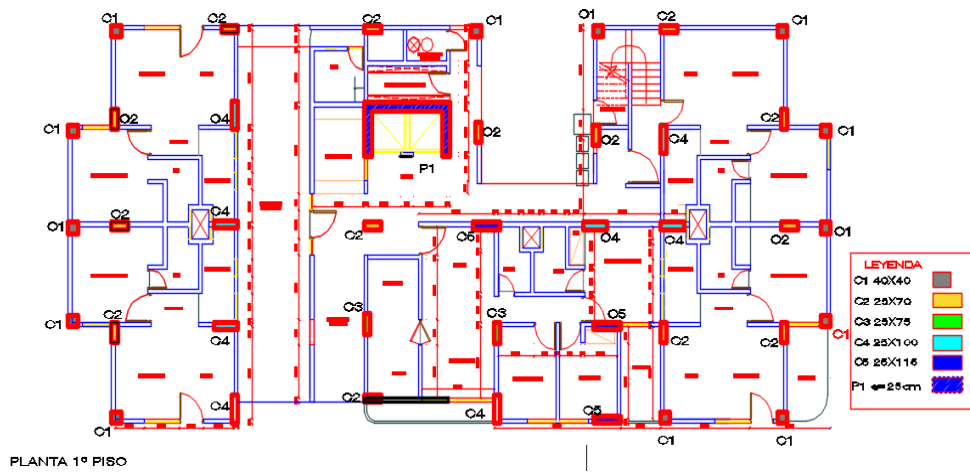


Fuente: Diseño de Concreto Armado (R. Morales, 2002)

3.3.2. ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

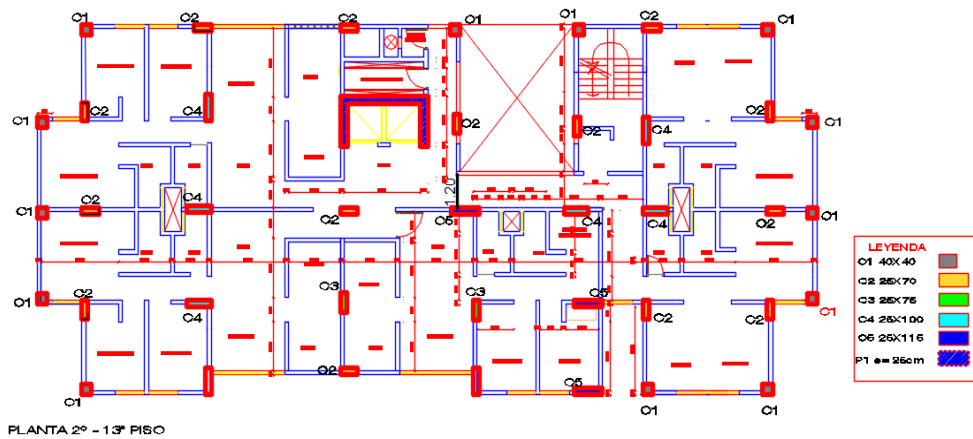
Considerando el dimensionamiento preliminar de los elementos estructurales expuestos, presentaremos el plano adjunto con el planteamiento estructural propuesto.

Imagen 28: Esquema de compatibilización preliminar arquitectura – estructura 1° Nivel



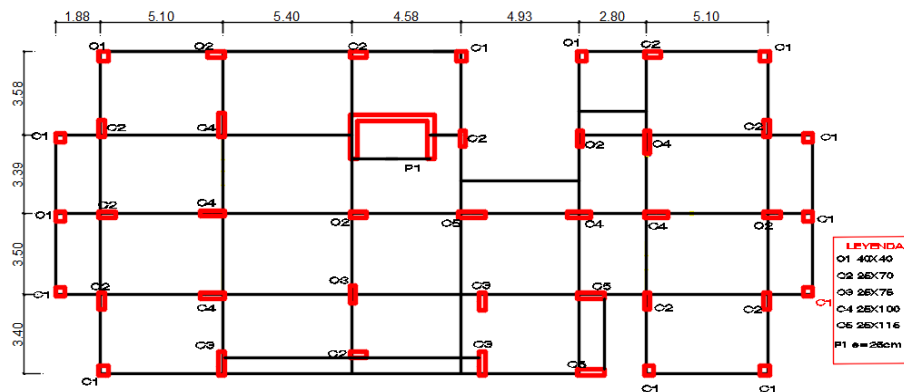
Fuente: Elaboración propia

Imagen 29: Esquema de compatibilización preliminar de arquitectura 2° - 13° Nivel



Fuente: Elaboración propia

Imagen 30: Esquema de Estructuración preliminar



Fuente: Elaboración propia

3.3.3. MODELAMIENTO ESTRUCTURAL

Para el presente análisis se realizará el análisis sísmico empleando el programa ETABS 2016, para el cual se consideró una altura de idealización para el primer nivel de 3.30m y de 2.70m para los niveles de 2° - 13° nivel.

3.3.3.1. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

A continuación, en la Tabla N° 5, mostramos propiedades de los materiales a utilizar en el análisis y modelo de la estructura expuesta.

Propiedades del Concreto

Tabla 5: Propiedades de Diseño de concreto armado

| Propiedades del Concreto | |
|--------------------------|--------------------|
| $f'c_{1-6}$ | 280 kg/cm^2 |
| $f'c_{7-13}$ | 210 kg/cm^2 |
| $E_{c_{210}}$ | 217371 kg/cm^2 |
| $E_{c_{280}}$ | 250998 kg/cm^2 |
| ν | 0.15 |
| Propiedades del Acero | |
| $f'y$ | 4200 kg/cm^2 |
| E_s | 20000000 kg/cm^2 |

Fuente: Fuente Elaboración propia

3.3.3.2. CARGAS CONSIDERADAS PARA EL ANÁLISIS

Para la cuantificación de cargas aplicadas a la edificación se considerará la normativa expuesta Norma de Cargas E.020 de nuestro RNE.

3.3.3.2.1. CARGA MUERTA

Para el modelamiento y análisis sísmico pertinente se considerará el peso real de las edificaciones que han sido calculados en base a los pesos unitarios expuestos en la siguiente tabla:

Tabla 6: Peso específico de Materiales para cálculo de peso de edificación

| Material | Peso (Ton/m³) |
|----------------------------|---------------------------------|
| Concreto Armado | 2.4 |
| Concreto Simple | 2.1 |
| Muro de Albañilería | 1.8 |
| Muro de Albañilería Armada | 2.0 |
| Relleno, suelos, Jardines | 2.0 |

Fuente: Diseño de concreto armado de Ing. Erik Benito Trujillo

En el presente trabajo se empleará para el modelamiento el valor de 2.4 Tn/m³ para el concreto armado, así como una carga de 300 kg/m² para una losa aligerada de e=20cm, 480 kg/ [cm] ² para la losa maciza de e=20cm; además, consideraremos 100kg/m² por acabados y se usará para tabiquería móvil de 0.15 tn/m² y 0.65 tn/m² para añadir el peso de escalera detalle que se mostrará en los cálculos posteriores.

3.3.3.2.2. CARGA VIVA

Para el modelamiento y análisis sísmico pertinente se considerará el peso real de las edificaciones, los cuales han sido expresados en la siguiente tabla:

Tabla 7: Sobrecargas de ambientes de diseño según la Norma de Cargas E.020 de Reglamento Nacional de Edificaciones

| Ambiente | Sobrecarga (Tn/m²) |
|-----------------|--------------------------------------|
| Vivienda | 0.2 |
| Pasadizos | 0.4 |
| Escaleras | 0.4 |
| Oficinas | 0.25 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

En el presente trabajo se empleará para el modelamiento el valor de 0.2 Tn/m^2 para sobrecarga de viviendas y será distribuida a través de toda la planta.

3.3.3.2.3. PESO DE LA EDIFICACIÓN

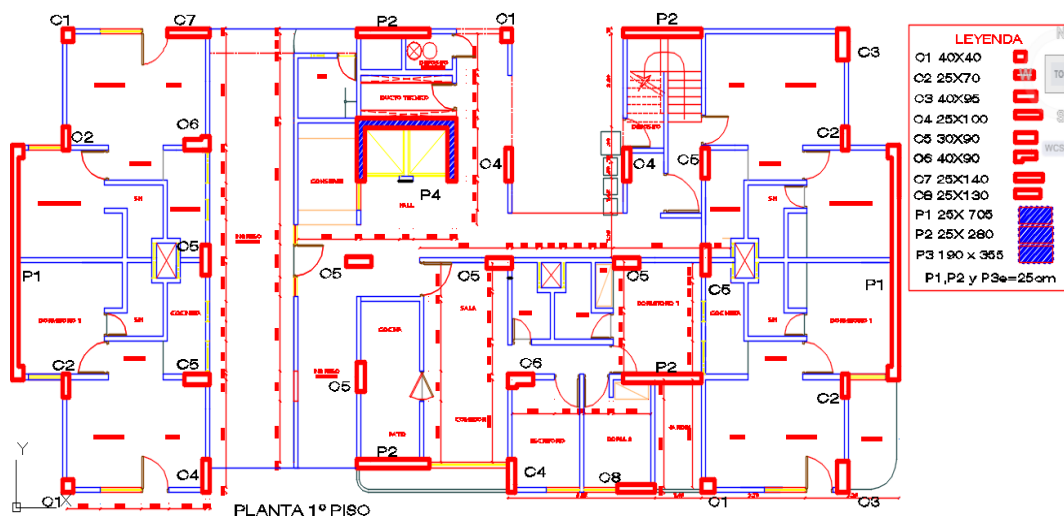
El peso de cada nivel considerará lo dispuesto en la norma para edificaciones comunes, es decir, el peso de la edificación se obtendrá como el 100% de la carga muerta, más un 25% de la carga viva.

3.3.4. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN CON UN SISTEMA TRADICIONAL

Para la edificación expuesta en este trabajo, el análisis sísmico se realizará empleando el método Modal Espectral, contenido en la norma Sismorresistente E.030 del RNE, ya que el análisis tiempo historia en los últimos años en el Perú, ha quedado como un procedimiento complementario al análisis de estático y al dinámico espectral y este frecuentemente se emplea solo para proyectos con características especiales (edificios con disipadores de energía, aisladores en la base, etc.).

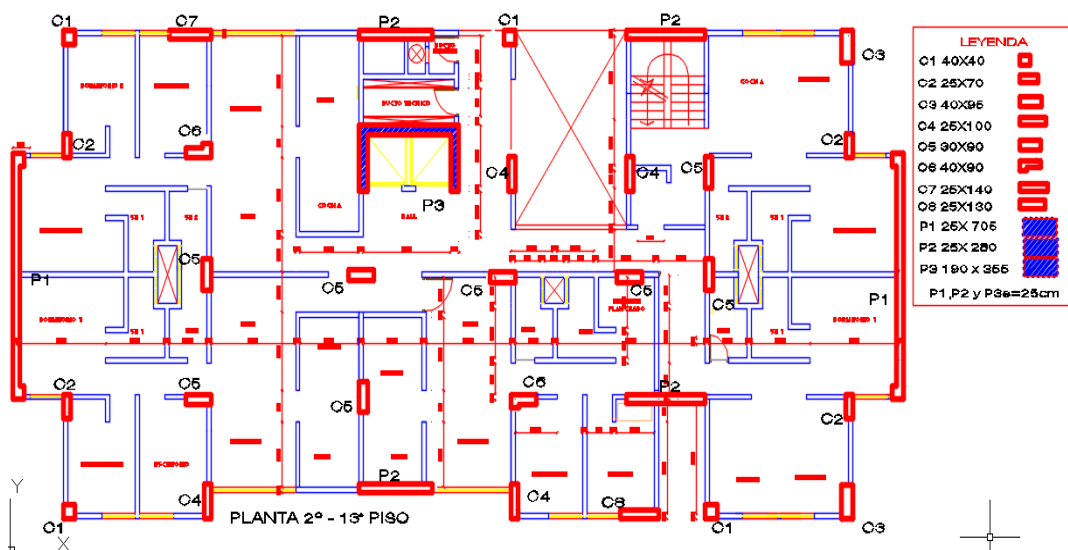
La evaluación del proyecto se complementará al esquema de estructuración preliminar (ver imagen N° 24), la cual se reforzó con muros de corte que son producto de iteraciones y disposiciones de los mismos apoyados en un software de diseño (ver imagen N° 25 y N° 26).

Imagen 31: Esquema de Reforzamiento con muros de corte 1° Nivel



Fuente: Elaboración propia

Imagen 32: Esquema de Reforzamiento con muros de corte 2°-13° Nivel



Fuente: Elaboración propia

En el proyecto se realizó un análisis dinámico espectral, pero previo a este se realizó el análisis estático, con el propósito de analizar la cortante que toman las placas y columnas del primer nivel para verificar si el sistema estructural es efectivamente de muros estructurales o si es un sistema dual; así mismo, para escalar la cortante dinámica con respecto a la cortante estática ya que la cortante estática que será empleada para el ajuste de la cortante dinámica debe ser 80% del valor de cortante estática si el edificio es regular y 90% si el edificio es irregular.

3.3.4.1. CONSIDERACIONES NORMATIVAS

Para el análisis sísmico se considera una cimentación como un elemento empotrado, es decir, cero grados de libertad tanto para las restricciones trasnacionales como rotacionales, con lo cual se considera que la interacción suelo-estructura no existe por lo que asumiremos un suelo infinitamente rígido.

Teniendo en cuenta las disposiciones del RNE, el análisis sísmico considerará la restricción de desplazamiento lateral producto de la acción sísmica, limitando la tabla a los valores expuestos a continuación:

Tabla 8: Derivas permisibles para edificaciones según RNE

| Material Predominante | Δ |
|------------------------------|----------------------------|
| Concreto Armado | 0.007 |
| Acero | 0.010 |
| Albañilería | 0.005 |
| Madera | 0.010 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE)

3.3.4.2. PARÁMETROS SÍSMICOS

Teniendo en cuenta las disposiciones de la norma sismorresistente, exponemos los parámetros a usar en la presente tesis en la tabla N°10.

Tabla 9: Parámetros sísmicos de diseño de edificación

| PARÁMETRO | VALOR |
|---------------------------------|--------------|
| Zona (Z3) | 0.35 |
| Uso (U) | 1.0 |
| Suelo (S2) | 1.15 |
| T _P | 0.60 |
| T _L | 2.00 |
| Factor de Reducción Sísmica (R) | 6 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Tabla 10: Tabla de factor de suelo y zona sísmica según periodo de vibración

| TIPO DE SUELO | | | | |
|------------------------------|-----------------|----------------|----------------|----------------|
| ZONA / SUELO | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| Z4 | 0.80 | 1.00 | 1.05 | 1.10 |
| Z3 | 0.80 | 1.00 | 1.15 | 1.20 |
| Z2 | 0.80 | 1.00 | 1.20 | 1.40 |
| Z1 | 0.80 | 1.00 | 1.60 | 2.00 |
| PERIODOS “Tp” y “ Tl” | | | | |
| PERIODOS | PERFIL DE SUELO | | | |
| | S ₀ | S ₁ | S ₂ | S ₃ |
| T _P (S) | 0.30 | 0.40 | 0.60 | 1.0 |
| T _L (S) | 3.00 | 2.50 | 2.00 | 1.60 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

Definiremos la amplificación sísmica (C) para el presente trabajo como:

$$T = \frac{hn}{CT} = \frac{35.7}{35} = 1.02s$$

Sin embargo, según el análisis modal realizado con el programa ETABS se obtuvo un periodo 1.048 s para el Eje X, 0.82 s para el Eje Y; valores que emplearemos en el cálculo siguiente:

Tabla 11: Rangos de modo de vibración fundamental

| RANGO DE VIBRACIÓN MODO FUNDAMENTAL | | |
|--|--------------------|-------------|
| Nº Pisos | Nº Mínimo de Modos | 1º Periodo |
| <5 | 3 | < 0.5 s |
| 6-10 | 5 | 0.6 – 1 s |
| 11-15 | 8 | 1.1 – 1.5 s |
| >=16 | 10 | >= 1.6 |

Fuente: Elaboración propia

Según el Doctor Genner Villareal se puede considerar el valor del periodo fundamental con un valor aproximado de 10% del número de niveles para un amortiguamiento de 5%, por lo cual al comparar los valores obtenidos según la regla práctica de la norma y los resultados de ETABS emplearemos el valor de 1.048 s.

Considerando el periodo fundamental de 1.048 calcularemos el coeficiente de amplificación sísmica utilizando las siguientes disposiciones de la Norma E.030.

Tabla 12: Periodo fundamental de la edificación

| Case | Modo | Periodo | UX | UY |
|-------|------|---------|-----------|-----------|
| | | sec | | |
| Modal | 1 | 1.048 | 0.7258 | 0.0001 |
| Modal | 2 | 0.82 | 0.0002 | 0.6929 |
| Modal | 3 | 0.574 | 0.0001 | 1.786E-05 |
| Modal | 4 | 0.288 | 0.1411 | 3.501E-06 |
| Modal | 5 | 0.2 | 3.72E-06 | 0.1752 |
| Modal | 6 | 0.135 | 0.0268 | 0.0005 |
| Modal | 7 | 0.134 | 0.0304 | 0.0007 |
| Modal | 8 | 0.09 | 6.256E-06 | 0.0625 |
| Modal | 9 | 0.08 | 0.0289 | 5.208E-07 |
| Modal | 10 | 0.06 | 0.0001 | 0.0005 |
| Modal | 11 | 0.055 | 1.169E-06 | 0.0294 |
| Modal | 12 | 0.054 | 0.0166 | 0 |
| Modal | 13 | 0.039 | 0.0104 | 9.37E-07 |
| Modal | 14 | 0.039 | 3.858E-06 | 0.0146 |
| Modal | 15 | 0.036 | 4.364E-05 | 0.0006 |
| Modal | 16 | 0.03 | 0.0067 | 0 |
| Modal | 17 | 0.03 | 1.28E-06 | 0.0084 |
| Modal | 18 | 0.026 | 2.494E-05 | 0.0003 |
| Modal | 19 | 0.024 | 0.0045 | 0 |
| Modal | 20 | 0.024 | 0 | 0.005 |
| Modal | 21 | 0.02 | 1.017E-05 | 0.0031 |
| Modal | 22 | 0.02 | 0.0031 | 1.103E-05 |
| Modal | 23 | 0.02 | 8.863E-06 | 0.0001 |
| Modal | 24 | 0.018 | 0 | 0.0022 |
| Modal | 25 | 0.017 | 0.002 | 0 |
| Modal | 26 | 0.017 | 6.967E-06 | 0.0001 |
| Modal | 27 | 0.015 | 0 | 0.0014 |
| Modal | 28 | 0.015 | 0.0016 | 0 |
| Modal | 29 | 0.014 | 3.483E-06 | 0.0001 |
| Modal | 30 | 0.014 | 0 | 0.0012 |
| Modal | 31 | 0.013 | 0.0009 | 0 |
| Modal | 32 | 0.012 | 2.688E-06 | 0.0001 |
| Modal | 33 | 0.012 | 0 | 0.0007 |
| Modal | 34 | 0.012 | 0.0008 | 0 |
| Modal | 35 | 0.011 | 0 | 0.0001 |
| Modal | 36 | 0.011 | 0 | 0.0006 |
| Modal | 37 | 0.01 | 0 | 4.992E-06 |
| Modal | 38 | 0.009 | 0 | 1.911E-06 |
| Modal | 39 | 0.009 | 0 | 9.478E-07 |

Fuente: Elaboración propia

Considerando $T=1.0$, $TP=0.6$ y $TL=2.00$, emplearemos la expresión donde el coeficiente de amplificación sísmica quedaría definido por la expresión:

$$C_x = 2.5 \left(\frac{0.6}{1.048} \right) = 1.43$$

$$C_y = 2.5 \left(\frac{0.6}{0.82} \right) = 1.83$$

3.3.4.3. CÁLCULO DEL PESO DE LA EDIFICACIÓN

El cálculo del peso de la estructura se considera con las disposiciones de fuente de masa establecidas en la Norma de Edificación Peruana E.030 Sismorresistente para construcciones comunes donde al ser una edificación del tipo C el peso de la misma quedará definido como 100% de la Carga Muerta o permanente más el 25% de la Carga viva o temporal.

Tabla 13: Cálculo de peso de la edificación

| Story | Diaphragm | Mass X | Mass Y |
|---------|-----------|------------------------|------------------------|
| | | tonf-s ² /m | tonf-s ² /m |
| PISO 1 | D1 | 42.63 | 42.63 |
| PISO 2 | D2 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 3 | D3 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 4 | D4 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 5 | D5 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 6 | D6 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 7 | D7 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 8 | D8 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 9 | D9 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 10 | D10 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 11 | D11 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 12 | D12 | 41.49 | 41.49 |
| PISO 13 | D13 | 36.39 | 36.39 |
| | Masa | 535.41 | tonf-s ² /m |
| | Peso | 5252.3721 | ton |

Fuente: Elaboración propia

3.3.4.4. CÁLCULO DE LA CORTANTE SÍSMICA ESTÁTICA

Según la Norma Peruana Sismorresistente, la cortante basal quedará definida con la siguiente expresión:

$$V_{x,y} = \frac{ZUCS}{R} * P$$

Tabla 14: Cálculo de cortante estática de diseño

| | | | | | |
|----|-------|---|----|------|--|
| Tx | 1.048 | s | Kx | 1.27 | |
| Ty | 0.82 | s | Ky | 1.16 | |

| Vx | | Vy | | |
|-----------|---------------|-----------|---------------|-------|
| Z | 0.35 | Z | 0.35 | |
| U | 1 | U | 1 | |
| S | 1.15 | S | 1.15 | |
| C | 1.43 | C | 1.83 | 0.750 |
| Rx | 6 | Ry | 5.4 | |
| C/R≥0.125 | 0.2385 | C/R≥0.125 | 0.3388 | |
| 0.096 | 504.31 | 0.136 | 716.15 | |

| | |
|----|-----|
| Tp | 0.6 |
| TL | 2 |

Fuente: Elaboración propia

De las expresiones expuestas obtuvimos un cortante estático de:

Vx: 504.31 Tn

Vy: 716.15 Tn

3.3.4.5. CÁLCULO DE LA CORTANTE SÍSMICA DINÁMICA

Para el cálculo de la cortante sísmica dinámica emplearemos el método sugerido por la Norma Sismorresistente referido al empleo del análisis modal espectral.

3.3.4.5.1. DEFINICIÓN DEL ESPECTRO DE DISEÑO

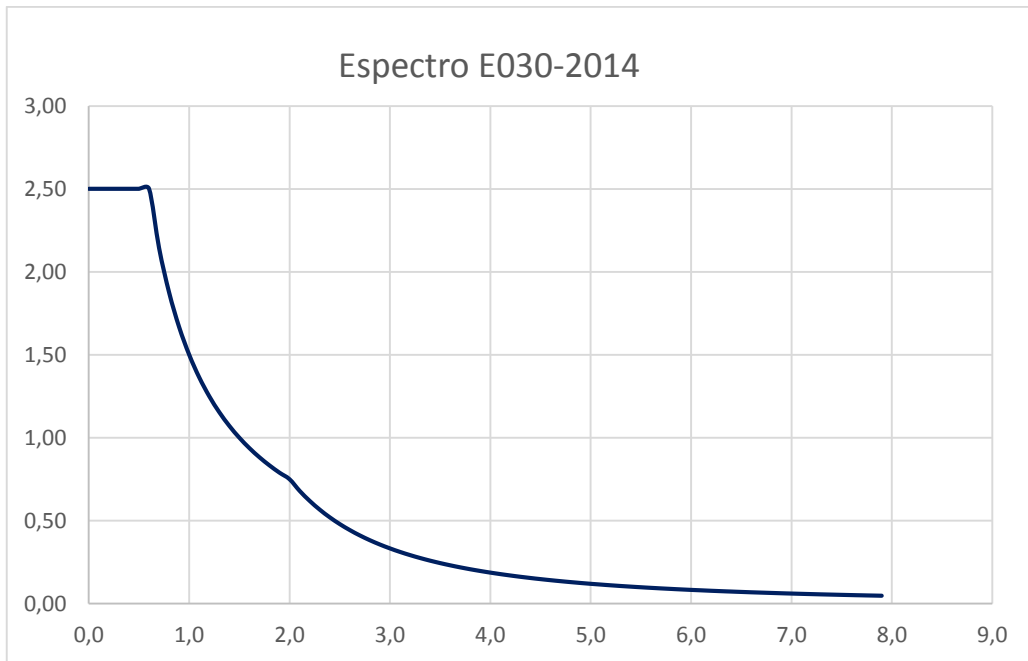
Para el presente proyecto se creó el espectro de diseño considerando las variables de C vs T, obteniendo los siguientes valores para los ejes X y Y.

Tabla 15: Espectro de diseño

| T (s) | C | T (s) | C |
|--------------|----------|--------------|----------|
| 0.0 | 2.50 | 4.0 | 0.19 |
| 0.1 | 2.50 | 4.1 | 0.18 |
| 0.2 | 2.50 | 4.2 | 0.17 |
| 0.3 | 2.50 | 4.3 | 0.16 |
| 0.4 | 2.50 | 4.4 | 0.15 |
| 0.5 | 2.50 | 4.5 | 0.15 |
| 0.6 | 2.50 | 4.6 | 0.14 |
| 0.7 | 2.14 | 4.7 | 0.14 |
| 0.8 | 1.88 | 4.8 | 0.13 |
| 0.9 | 1.67 | 4.9 | 0.12 |
| 1.0 | 1.50 | 5.0 | 0.12 |
| 1.1 | 1.36 | 5.1 | 0.12 |
| 1.2 | 1.25 | 5.2 | 0.11 |
| 1.3 | 1.15 | 5.3 | 0.11 |
| 1.4 | 1.07 | 5.4 | 0.10 |
| 1.5 | 1.00 | 5.5 | 0.10 |
| 1.6 | 0.94 | 5.6 | 0.10 |
| 1.7 | 0.88 | 5.7 | 0.09 |
| 1.8 | 0.83 | 5.8 | 0.09 |
| 1.9 | 0.79 | 5.9 | 0.09 |
| 2.0 | 0.75 | 6.0 | 0.08 |
| 2.1 | 0.68 | 6.1 | 0.08 |
| 2.2 | 0.62 | 6.2 | 0.08 |
| 2.3 | 0.57 | 6.3 | 0.08 |
| 2.4 | 0.52 | 6.4 | 0.07 |
| 2.5 | 0.48 | 6.5 | 0.07 |
| 2.6 | 0.44 | 6.6 | 0.07 |
| 2.7 | 0.41 | 6.7 | 0.07 |
| 2.8 | 0.38 | 6.8 | 0.06 |
| 2.9 | 0.36 | 6.9 | 0.06 |
| 3.0 | 0.33 | 7.0 | 0.06 |
| 3.1 | 0.31 | 7.1 | 0.06 |
| 3.2 | 0.29 | 7.2 | 0.06 |
| 3.3 | 0.28 | 7.3 | 0.06 |
| 3.4 | 0.26 | 7.4 | 0.05 |
| 3.5 | 0.24 | 7.5 | 0.05 |
| 3.6 | 0.23 | 7.6 | 0.05 |
| 3.7 | 0.22 | 7.7 | 0.05 |
| 3.8 | 0.21 | 7.8 | 0.05 |
| 3.9 | 0.20 | 7.9 | 0.05 |

Fuente: Elaboración propia

Imagen 33: Espectro de Diseño Sísmico



Fuente: Elaboración propia

3.3.4.5.2. DEFINICIÓN DEL FACTOR DE ESCALA

Según la norma la aceleración sísmica tenemos la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} * g$$

Debido a que en la gráfica expuesta solo se consideró la influencia de T vs C, es necesario amplificar el espectro de diseño por un factor de escala que considere los valores obviados, en el empleo del espectro de diseño se usará de manera preliminar una estructura irregular por lo cual según la norma peruana $\frac{3}{4}$ del valor de reducción para pórticos en ambos sentidos.

$$FE_x = \frac{ZUS}{R} * g \quad FE_y = \frac{ZUS}{R} * g$$

$$FE_x = \frac{0.35 * 1 * 1.15}{6} * 9.81 \quad FE_y = \frac{0.35 * 1 * 1.15}{4.5} * 9.81$$

3.3.4.5.3. CÁLCULO DE LAS CORTANTES DINÁMICAS

Empleando el software ETABS mediante el análisis modal espectral obtuvimos los siguientes valores:

Tabla 16: Obtención de la cortante sísmica dinámica en el eje XX

| Story | Load Case/Combo | Location | P | VX | VY |
|---------|-----------------|----------|------|--------|------|
| SISMOX | | | tonf | tonf | tonf |
| PISO 13 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 67.20 | 1.40 |
| PISO 13 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 67.20 | 1.40 |
| PISO 12 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 125.20 | 2.68 |
| PISO 12 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 125.20 | 2.68 |
| PISO 11 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 171.47 | 3.81 |
| PISO 11 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 171.47 | 3.81 |
| PISO 10 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 209.82 | 4.83 |
| PISO 10 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 209.82 | 4.83 |
| PISO 9 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 242.63 | 5.72 |
| PISO 9 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 242.63 | 5.72 |
| PISO 8 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 271.55 | 6.47 |
| PISO 8 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 271.55 | 6.47 |
| PISO 7 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 297.63 | 7.09 |
| PISO 7 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 297.63 | 7.09 |
| PISO 6 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 321.36 | 7.57 |
| PISO 6 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 321.36 | 7.57 |
| PISO 5 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 342.77 | 7.94 |
| PISO 5 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 342.77 | 7.94 |
| PISO 4 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 361.42 | 8.21 |
| PISO 4 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 361.42 | 8.21 |
| PISO 3 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 376.57 | 8.39 |
| PISO 3 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 376.57 | 8.39 |
| PISO 2 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 387.25 | 8.50 |
| PISO 2 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 387.25 | 8.50 |
| PISO 1 | ESPECCXX Max | Top | 0 | 392.63 | 8.54 |
| PISO 1 | ESPECCXX Max | Bottom | 0 | 392.63 | 8.54 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 17: Obtención de la cortante sísmica dinámica en el eje YY

| Story | Load Case/Combo | Location | P | VX | VY |
|---------|-----------------|----------|------|-------|--------|
| SISMOY | | | tonf | tonf | tonf |
| PISO 13 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 1.45 | 107.64 |
| PISO 13 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 1.45 | 107.64 |
| PISO 12 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 2.74 | 204.82 |
| PISO 12 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 2.74 | 204.82 |
| PISO 11 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 3.97 | 283.26 |
| PISO 11 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 3.97 | 283.26 |
| PISO 10 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 5.23 | 348.50 |
| PISO 10 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 5.23 | 348.50 |
| PISO 9 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 6.45 | 404.18 |
| PISO 9 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 6.45 | 404.18 |
| PISO 8 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 7.58 | 452.72 |
| PISO 8 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 7.58 | 452.72 |
| PISO 7 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 8.59 | 495.60 |
| PISO 7 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 8.59 | 495.60 |
| PISO 6 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 9.44 | 533.53 |
| PISO 6 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 9.44 | 533.53 |
| PISO 5 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 10.14 | 566.66 |
| PISO 5 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 10.14 | 566.66 |
| PISO 4 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 10.68 | 594.55 |
| PISO 4 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 10.68 | 594.55 |
| PISO 3 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 11.06 | 616.52 |
| PISO 3 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 11.06 | 616.52 |
| PISO 2 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 11.29 | 631.85 |
| PISO 2 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 11.29 | 631.85 |
| PISO 1 | ESPECCYY Max | Top | 0 | 11.38 | 639.74 |
| PISO 1 | ESPECCYY Max | Bottom | 0 | 11.38 | 639.74 |

Fuente: Elaboración propia

De los resultados expuestos se obtuvo como cortante dinámica $V_x=392.63$ y $V_y=639.74$

3.3.4.5.4. FACTOR DE ESCALA DE CORTANTE DE DISEÑO

Según lo establecido en la Norma Sismorresistente, la cortante sísmica dinámica deberá ser como mínimo el 80 %

de la cortante en el caso de estructuras regulares y de 90% para estructuras irregulares, donde el factor de escala de diseño quedará definido como:

Tabla 18: Determinación de FE Sísmica para eje X e Y

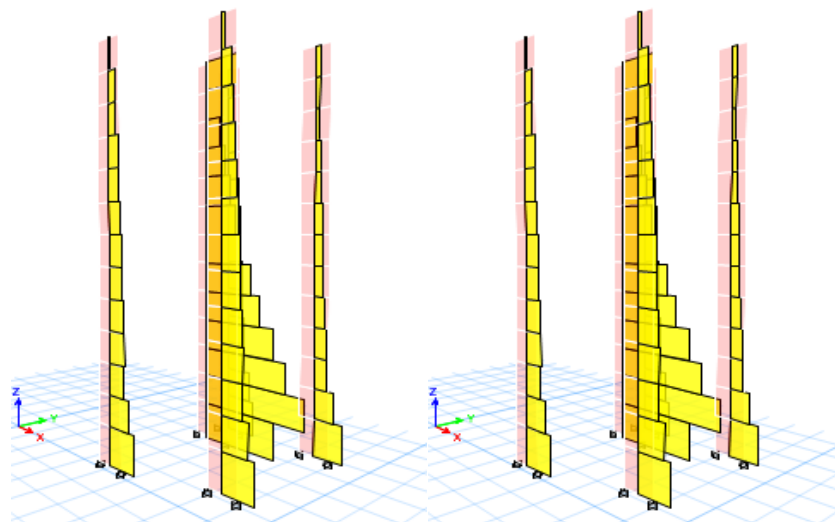
| | | | | | |
|---------|---------------|--------|-----------|---------------|--------|
| regular | V estática xx | 504.31 | irregular | V estática yy | 716.15 |
| | V dinámica xx | 392.63 | | V dinámica yy | 639.74 |
| | 80%Vestática | 403.45 | | 90%Vestática | 644.54 |
| | f.e. | 1.03 | | f.e. | 1.01 |

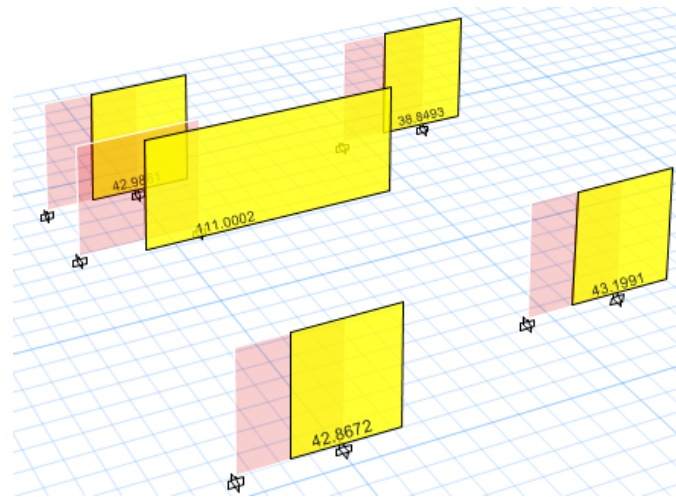
Fuente: Elaboración propia

3.3.4.5.5. FACTOR DE REDUCCIÓN SÍSMICA

El análisis sísmico parte de la hipótesis de emplear un factor de reducción sísmica, el cual después del análisis sísmico se contrasta con los resultados obtenidos en el modelamiento para el presente proyecto. Tenemos para la dirección X una base cortante basal absorbida por muros de $V_{xmuros}=42.96+42.86+111+38.85+43.20=278.87$ (ver imagen N°34) para un cortante total de 392.63 obteniendo que los muros absorben el 71%.

Imagen 34: Distribución de Cortante sísmica Eje XX de Muros en altura

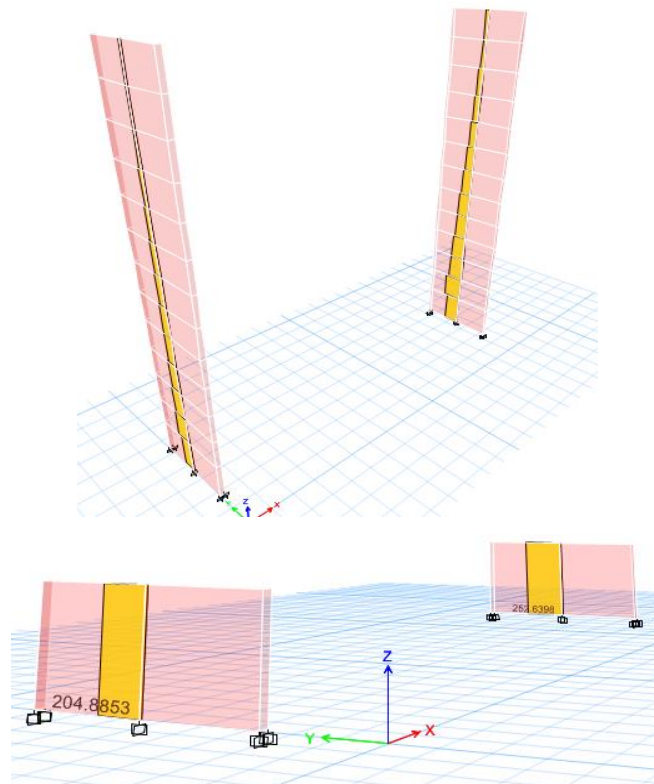




Fuente: Elaboración propia

Para la dirección YY tenemos una cortante resistente de placas en la base de $V_{xmuros}=204.89+252.64=457.53$ (ver imagen N°35) para una cortante total de 639.74 de lo cual se obtiene que los muros absorben el 71.5%.

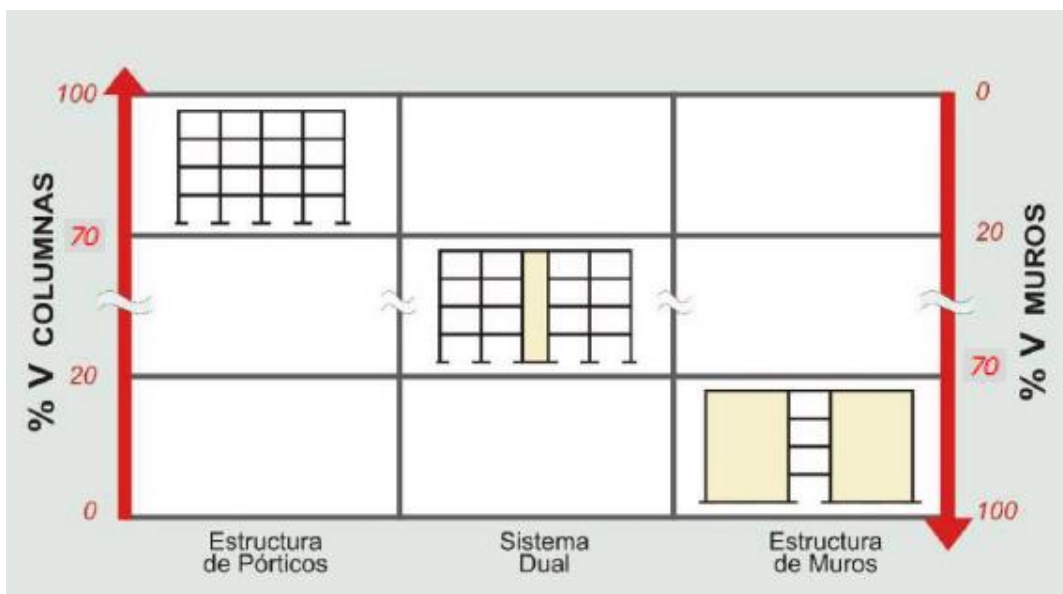
Imagen 35: Distribución de Cortante sísmica Eje YY de Muros en altura



Fuente: Elaboración propia

De los resultados expuestos, concluimos que tanto para el eje X e Y tenemos una estructura de muros de corte con $R=6$, ya que según las disposiciones de la Norma Peruana E.030 Diseño Sismorresistente se considera como sistema estructural de corte una edificación cuando los muros de la misma absorben más del 70% de la fuerza sísmica (ver imagen N° 36).

Imagen 36: Clasificación de Sistemas Estructurales de Concreto



Fuente: Elaboración propia

Para la determinación del factor de reducción sísmica en el presente análisis, la Norma Peruana establece la evaluación de la estructura por criterios de irregularidad en altura y planta. Para un análisis preliminar, se hizo una inspección rápida de dichos parámetros obteniéndose el parámetro de reducción sísmica empleado en el análisis, para efecto de sustento en los ítems posteriores se justifica la obtención de los valores plasmados en la siguiente relación de factor de reducción sísmica:

$$R = R * I_p * I_a$$

$$R_x = R * I_p * I_a$$

$$R_y = R * I_p * I_a$$

$$R_x = 6 * 1 * 1$$

$$R_y = 6 * 1 * 0.75$$

$$R_x = 6$$

$$R_y = 4.5$$

3.3.4.5.6. IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA

Para la determinación del factor de reducción sísmica se estableció las condiciones de irregularidad en altura establecidas en la Norma E.030, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 19: Resumen de irregularidades en altura en el eje XX

| IRREGULARIDAD X-X | | |
|----------------------------------|----------------------|----|
| IRREGULARIDAD EN ALTURA | Existe irregularidad | Ia |
| irregularidad de rigidez | NO | 1 |
| irregularidad de resistencia | NO | 1 |
| irregularidad de masa | NO | 1 |
| irregularidad geometría vertical | NO | 1 |
| Discontinuidad de sistemas | NO | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 20: Resumen de irregularidades en altura eje YY

| IRREGULARIDADES Y-Y | | |
|----------------------------------|----------------------|----|
| IRREGULARIDAD EN ALTURA | Existe irregularidad | Ia |
| irregularidad de rigidez | NO | 1 |
| irregularidad de resistencia | NO | 1 |
| irregularidad de masa | NO | 1 |
| irregularidad geometría vertical | NO | 1 |
| Discontinuidad de sistemas | NO | 1 |

Fuente: Elaboración propia

a) IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ

De acuerdo a los cálculos realizados, la estructura planteada no presenta la irregularidad de piso blando, ya que, para presenciar dicha irregularidad, según lo dispuesto en la norma, se deben cumplir con las siguientes condiciones:

$$\Delta_{\varepsilon(i)} = \text{Distorsión de entrepiso } i$$

$$\Delta_{inf.} = \text{Deriva de piso inferior}$$

$$\Delta_{sup.} = \text{Deriva de piso superior}$$

$$\Delta_{\varepsilon(i)} = \frac{\Delta_{inf.} + \Delta_{sup.}}{2}$$

Existirá piso blando cuando para algún entrepiso i se cumpla por lo menos unas de las siguientes condiciones:

$$\Delta_{\varepsilon(i)} > 1.4\Delta_{\varepsilon(i+1)}$$

$$\Delta_{\varepsilon(i)} > 1.25 \frac{(\Delta_{\varepsilon(i+1)} + \Delta_{\varepsilon(i+2)} + \Delta_{\varepsilon(i+3)})}{3}$$

Tabla 21: Tabla de irregularidad de rigidez eje XX

| ANÁLISIS EN DIRECCIÓN X-X | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------|----------|---------|----------|
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | max=1.4 | max=1.25 |
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.004049 | | |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.004438 | 1.10 | |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.004827 | 1.09 | |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.005219 | 1.08 | 1.18 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.00555 | 1.06 | 1.15 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.005798 | 1.04 | 1.12 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.005922 | 1.02 | 1.07 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.005877 | 0.99 | 1.02 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.005694 | 0.97 | 0.97 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.005323 | 0.93 | 0.91 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.004653 | 0.87 | 0.83 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.003637 | 0.78 | 0.70 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.001632 | 0.45 | 0.36 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 22: Tabla de irregularidad de rigidez eje YY

| ANÁLISIS EN DIRECCIÓN Y-Y | | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------|----------|---------|----------|
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | max=1.4 | max=1.25 |
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.005756 | | |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.005977 | 1.04 | |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.006123 | 1.02 | |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.006247 | 1.02 | 1.05 |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.006299 | 1.01 | 1.03 |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.006329 | 1.00 | 1.02 |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.00622 | 0.98 | 0.99 |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.005935 | 0.95 | 0.94 |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.005546 | 0.93 | 0.90 |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.004991 | 0.90 | 0.85 |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.004189 | 0.84 | 0.76 |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.003211 | 0.77 | 0.65 |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.001513 | 0.47 | 0.37 |

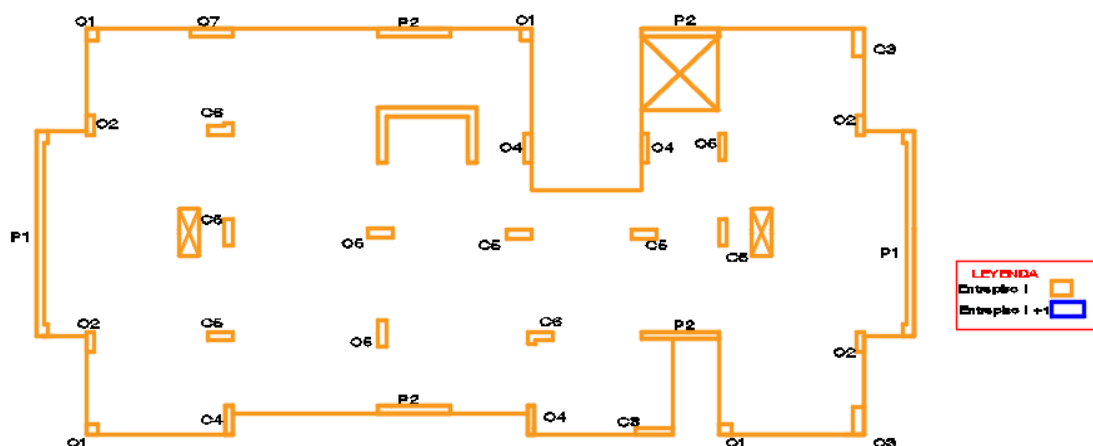
Fuente: Elaboración propia

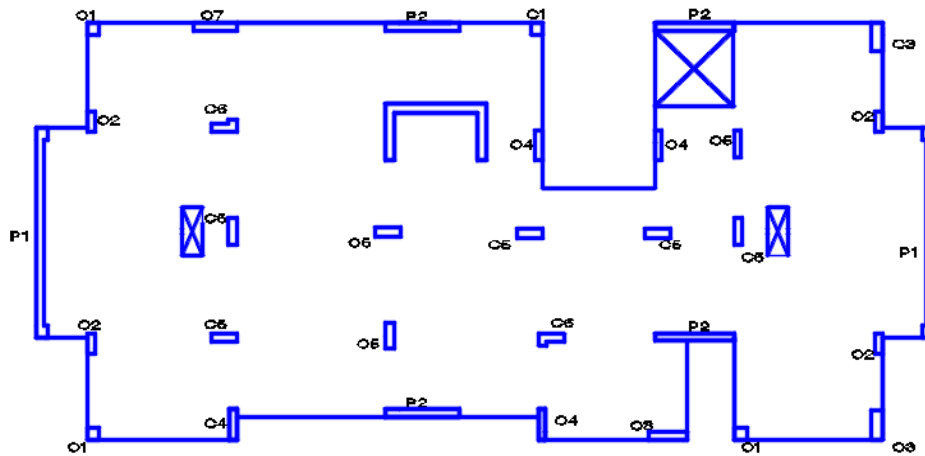
De lo expuesto, se confirma que el presente proyecto no presenta irregularidad por rigidez.

b) IRREGULARIDAD DE RESISTENCIA

De acuerdo a los cálculos realizados la estructura planteada, no presenta la irregularidad de piso blando ya que para presenciar dicha irregularidad, según lo dispuesto en la norma, se deben cumplir con las siguientes condiciones:

Imagen 37: Planta de Verificación de Irregularidad de Resistencia





Fuente: Elaboración propia

$$\left(\frac{A_d}{A_{d+1}}\right)\left(\frac{h_{d+1}}{h_d}\right) < 0.80$$

A_d = Suma de áreas resistentes a corte del entrepiso d .

A_{d+1} = Suma de áreas resistentes a corte del entrepiso $d+1$.

h_d = Altura del entrepiso d .

h_{d+1} = Altura del entrepiso $d+1$.

Tabla 23: Irregularidad de resistencia eje x-x

| Story | Área Corte (m2) | h | max=0.80 |
|---------|-----------------|-----|----------|
| Story13 | 9.67 | 2.7 | |
| Story12 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story11 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story10 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story9 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story8 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story7 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story6 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story5 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story4 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story3 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story2 | 9.67 | 2.7 | 1.00 |
| Story1 | 9.67 | 3.3 | 0.82 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 24: Irregularidad de resistencia eje y-y

| Story | Área Corte (m2) | h | min=0.80 |
|---------|-----------------|-----|----------|
| Story13 | 14.80 | 2.7 | |
| Story12 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story11 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story10 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story9 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story8 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story7 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story6 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story5 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story4 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story3 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story2 | 14.80 | 2.7 | 1.00 |
| Story1 | 14.80 | 3.3 | 0.82 |

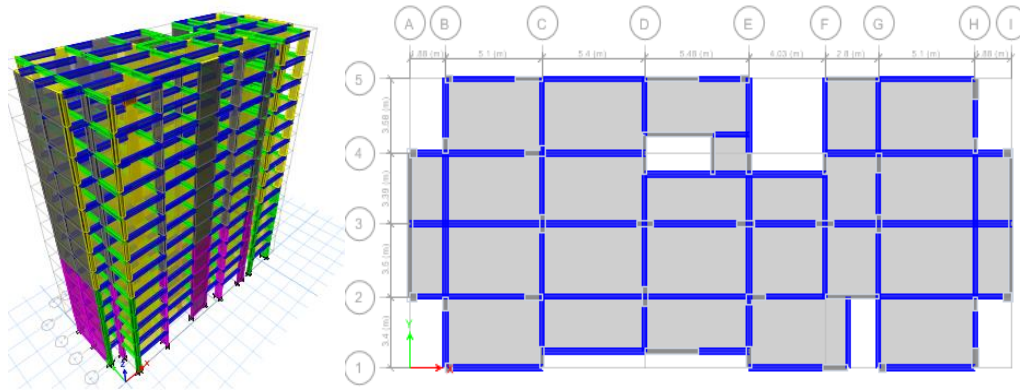
Fuente: Elaboración propia

De lo expuesto, se confirma que para ninguna de las direcciones de análisis presentan una irregularidad de resistencia.

c) IRREGULARIDAD DE MASA

De acuerdo a los cálculos realizados, la estructura planteada no presenta la irregularidad de piso blando ya que para presenciar dicha irregularidad, según lo dispuesto en la norma, se deben cumplir con las siguientes condiciones:

Imagen 38: Distribución estructural altura planta



Fuente: Elaboración propia

Tabla 25: Tabla de irregularidad de masa

| ANÁLISIS EN DIRECCIÓN X-X=Y-Y | | | | |
|-------------------------------|-----------|------------------------|----------|----------|
| Story | Diaphragm | Mass | max=1.50 | max=1.50 |
| | | tonf-s ² /m | | |
| Story1 | D1 | 42.63 | | 1.03 |
| Story2 | D2 | 41.49 | 0.97 | 1.00 |
| Story3 | D3 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story4 | D4 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story5 | D5 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story6 | D6 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story7 | D7 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story8 | D8 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story9 | D9 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story10 | D10 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story11 | D11 | 41.49 | 1.00 | 1.00 |
| Story12 | D12 | 41.49 | 1.00 | 1.14 |
| Story13 | D13 | 36.39 | 0.88 | |

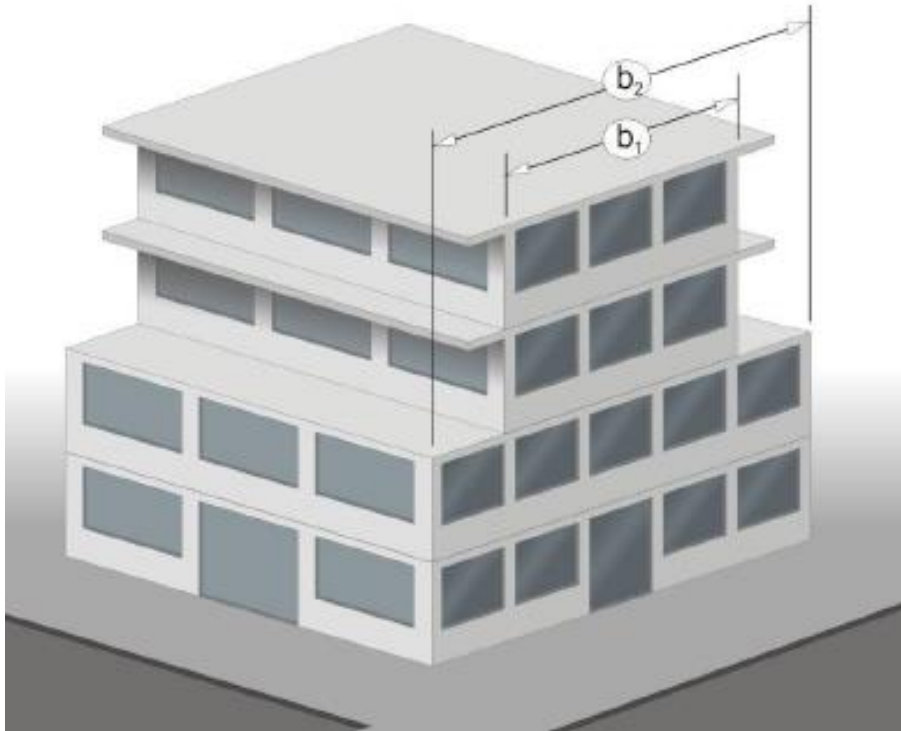
Fuente: Elaboración propia

De lo expuesto, se confirma que para ninguna de las direcciones de análisis presentan una irregularidad de masa.

d) IRREGULARIDAD DE GEOMETRÍA VERTICAL

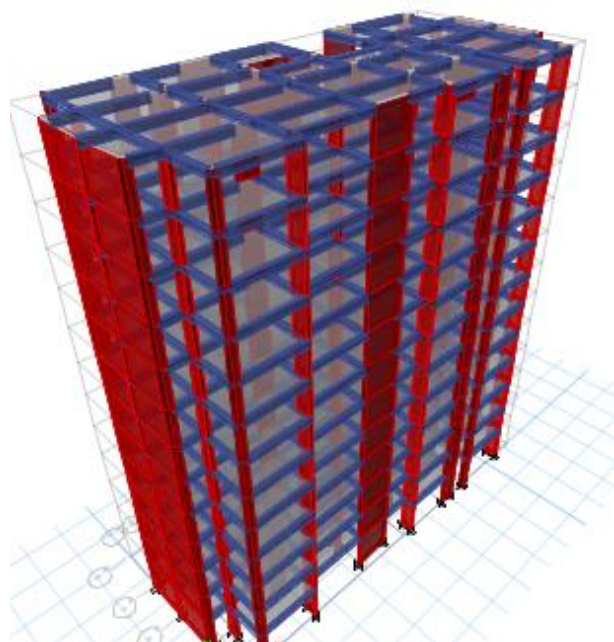
Consideramos irregular a nuestra edificación, bajo esta condición, cuando en alguna de las direcciones de análisis la medida en planta de su estructura resistente a cargas laterales es superior a 1,3 veces la medida de su piso adyacente. De la evaluación al presente proyecto, este criterio no aplica a la estructura según lo que puede apreciarse en la imagen N° 39, donde se denota la continuidad de todos los elementos estructurales.

Imagen 39: Criterio de Evaluación por Geometría Vertical



Fuente: Elaboración propia

Imagen 40: Distribución de Geometría Vertical Proyecto en Análisis

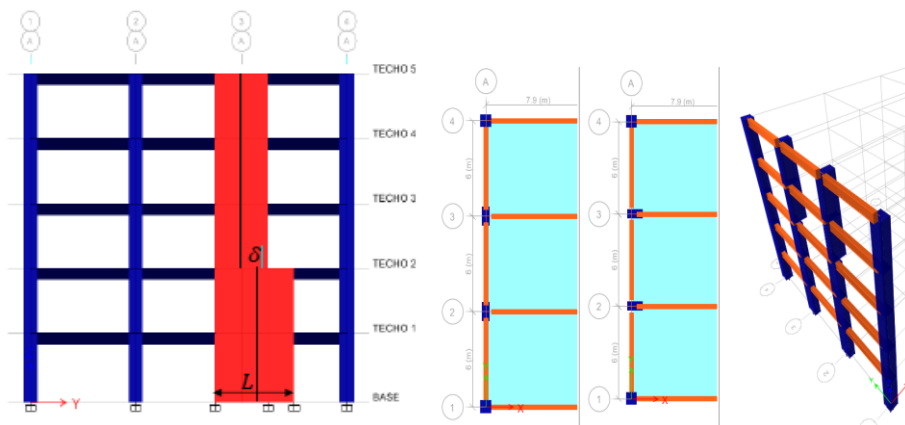


Fuente: Elaboración propia

e) DISCONTINUIDAD DE SISTEMAS RESISTENTES

Se considera a una estructura irregular, bajo este criterio, cuando un elemento que resista más de 10% de la fuerza cortante presenta un desalineamiento vertical, expresado en un cambio de orientación o un desplazamiento del eje de magnitud superior al 25% de la dimensión del elemento.

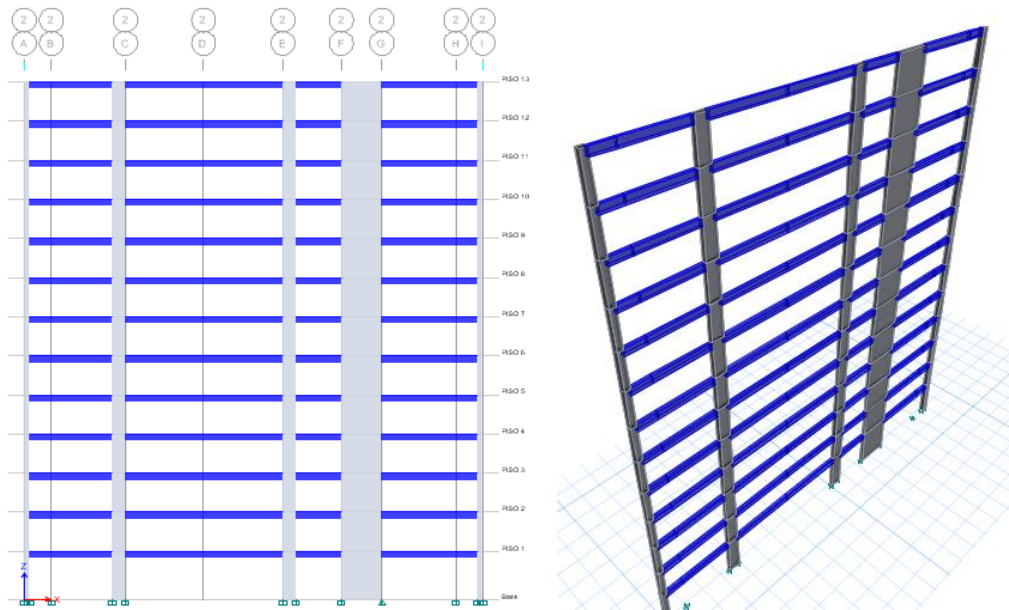
Imagen 41: Criterios de evaluación para determinar irregularidad por sistemas resistentes



Fuente: Criterio de Irregularidad (E. Trujillo, 2015)

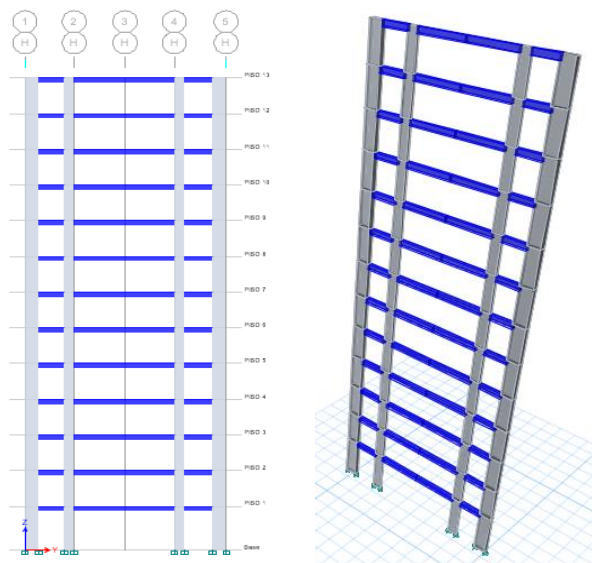
Del análisis de la edificación se concluye que nuestro proyecto no presenta irregularidad en altura (ver imagen N° 42 y N° 43).

Imagen 42: Elevación de Continuidad Eje X



Fuente: Elaboración propia

Imagen 43: Elevación de Continuidad Eje Y



Fuente: Elaboración propia

3.3.4.5.7. IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA

Para la determinación del factor de reducción sísmica se determinó las condiciones de irregularidad en planta establecidas en la Norma E.030, obteniéndose los siguientes resultados:

Tabla 26: Resumen de irregularidades de planta en xx

| IRREGULARIDADES X-X | | |
|-------------------------|---------------|----|
| IRREGULARIDAD EN PLANTA | Irregularidad | Ip |
| Irregularidad torsional | NO | 1 |
| Esquinas entrantes | NO | 1 |
| Diafragma | NO | 1 |
| Sistemas no paralelos | NO | 1 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 27: Resumen de irregularidades de planta en yy

| IRREGULARIDADES Y-Y | | |
|-------------------------|---------------|------|
| IRREGULARIDAD EN PLANTA | Irregularidad | Ip |
| Irregularidad torsional | SI | 0.75 |
| Esquinas entrantes | SI | 0.9 |
| Diafragma | NO | 1 |
| Sistemas no paralelos | NO | 1 |

Fuente: Elaboración propia

a) IRREGULARIDAD TORSIONAL

Consideramos irregularidad torsional en cualquiera de las direcciones de análisis cuando el máximo desplazamiento relativo del edificio, producto de una excentricidad accidental ($\Delta_{m\acute{a}x.}$), es superior a 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo (Δ_{cm}).

$$\Delta_{max} > 1.2 \Delta_{C.M.} \quad y \quad \Delta_{max} > 0.5 \Delta_{Permisible}$$

Tabla 28: Irregularidad torsional eje XX

| ANÁLISIS EN DIRECCIÓN X-X | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------|----------|--------------|
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | max=1.2 |
| Story13 | ESPECXX Max | X | 0.0009 | 1.200 |
| Story12 | ESPECXX Max | X | 0.000986 | 0.887 |
| Story11 | ESPECXX Max | X | 0.001073 | 0.966 |
| Story10 | ESPECXX Max | X | 0.00116 | 1.044 |
| Story9 | ESPECXX Max | X | 0.001233 | 1.110 |
| Story8 | ESPECXX Max | X | 0.001289 | 1.160 |
| Story7 | ESPECXX Max | X | 0.001316 | 0.888 |
| Story6 | ESPECXX Max | X | 0.001306 | 1.175 |
| Story5 | ESPECXX Max | X | 0.001265 | 0.854 |
| Story4 | ESPECXX Max | X | 0.001183 | 1.065 |
| Story3 | ESPECXX Max | X | 0.001034 | 0.931 |
| Story2 | ESPECXX Max | X | 0.000808 | 1.091 |
| Story1 | ESPECXX Max | X | 0.000363 | 1.198 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 29: Tabla de desplazamiento de Centro de Masa para XX

| Story | Diaphragm | Load Case/Combo | UX | Δrel | h | Δcm |
|---------|-----------|-----------------|-------|--------|-----|----------|
| | | | m | | | |
| Story13 | D13 | ESPECXX Max | 0.037 | 0.0020 | 2.7 | 0.000741 |
| Story12 | D12 | ESPECXX Max | 0.035 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story11 | D11 | ESPECXX Max | 0.032 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story10 | D10 | ESPECXX Max | 0.029 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story9 | D9 | ESPECXX Max | 0.026 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story8 | D8 | ESPECXX Max | 0.023 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story7 | D7 | ESPECXX Max | 0.02 | 0.0040 | 2.7 | 0.00148 |
| Story6 | D6 | ESPECXX Max | 0.016 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story5 | D5 | ESPECXX Max | 0.013 | 0.0040 | 2.7 | 0.00148 |
| Story4 | D4 | ESPECXX Max | 0.009 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story3 | D3 | ESPECXX Max | 0.006 | 0.0030 | 2.7 | 0.00111 |
| Story2 | D2 | ESPECXX Max | 0.003 | 0.0020 | 2.7 | 0.00074 |
| Story1 | D1 | ESPECXX Max | 0.001 | 0.0010 | 3.3 | 0.00030 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 30: Irregularidad torsional eje YY

| ANÁLISIS EN DIRECCIÓN Y-Y | | | | |
|---------------------------|-----------------|-----------|----------|-------------|
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | max=1.2 |
| Story13 | ESPECYY Max | Y | 0.001279 | 1.15 |
| Story12 | ESPECYY Max | Y | 0.001328 | 0.90 |
| Story11 | ESPECYY Max | Y | 0.001361 | 1.22 |
| Story10 | ESPECYY Max | Y | 0.001388 | 0.94 |
| Story9 | ESPECYY Max | Y | 0.0014 | 0.95 |
| Story8 | ESPECYY Max | Y | 0.001406 | 1.27 |
| Story7 | ESPECYY Max | Y | 0.001382 | 0.93 |
| Story6 | ESPECYY Max | Y | 0.001319 | 0.89 |
| Story5 | ESPECYY Max | Y | 0.001232 | 1.11 |
| Story4 | ESPECYY Max | Y | 0.001109 | 1.00 |
| Story3 | ESPECYY Max | Y | 0.000931 | 1.26 |
| Story2 | ESPECYY Max | Y | 0.000714 | 0.96 |
| Story1 | ESPECYY Max | Y | 0.000336 | 1.11 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 31: Desplazamiento de Centro de masa Eje YY

| Story | Diaphragm | Load Case/Combo | UY | Δ_{rel} | h | Δ_{cm} |
|---------|-----------|-----------------|-------|----------------|-----|---------------|
| | | | m | | | |
| Story13 | D13 | ESPECYY Max | 0.04 | 0.003 | 2.7 | 0.001111111 |
| Story12 | D12 | ESPECYY Max | 0.037 | 0.004 | 2.7 | 0.00148148 |
| Story11 | D11 | ESPECYY Max | 0.033 | 0.003 | 2.7 | 0.001111111 |
| Story10 | D10 | ESPECYY Max | 0.03 | 0.004 | 2.7 | 0.00148148 |
| Story9 | D9 | ESPECYY Max | 0.026 | 0.004 | 2.7 | 0.00148148 |
| Story8 | D8 | ESPECYY Max | 0.022 | 0.003 | 2.7 | 0.001111111 |
| Story7 | D7 | ESPECYY Max | 0.019 | 0.004 | 2.7 | 0.00148148 |
| Story6 | D6 | ESPECYY Max | 0.015 | 0.004 | 2.7 | 0.00148148 |
| Story5 | D5 | ESPECYY Max | 0.011 | 0.003 | 2.7 | 0.001111111 |
| Story4 | D4 | ESPECYY Max | 0.008 | 0.003 | 2.7 | 0.001111111 |
| Story3 | D3 | ESPECYY Max | 0.005 | 0.002 | 2.7 | 0.00074074 |
| Story2 | D2 | ESPECYY Max | 0.003 | 0.002 | 2.7 | 0.00074074 |
| Story1 | D1 | ESPECYY Max | 0.001 | 0.001 | 3.3 | 0.00030303 |

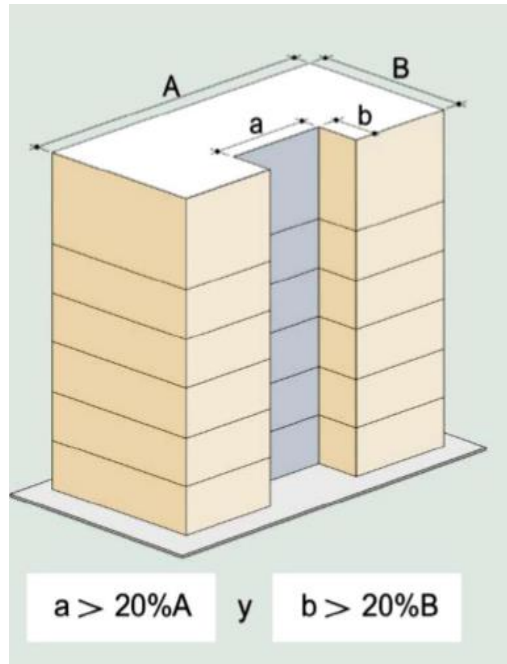
Fuente: Elaboración propia

De lo expuesto, se confirma que para la dirección YY existe la presencia de irregularidad torsional.

b) IRREGULARIDAD DE ESQUINAS ENTRANTES

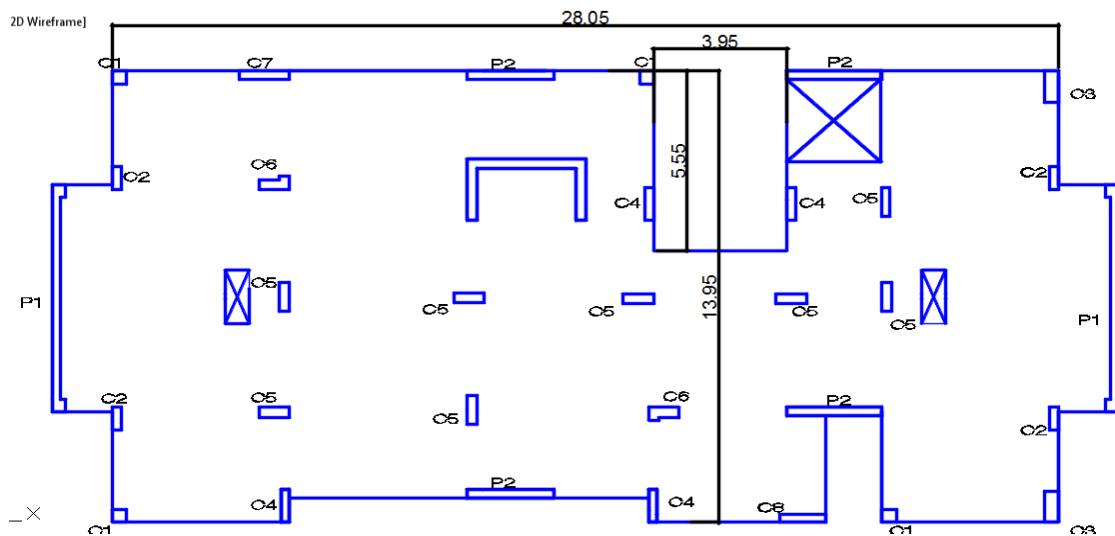
La estructura se considera irregular, bajo este criterio, cuando las dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20% de la dimensión total en planta (ver imagen N° 44).

Imagen 44: Criterio de Evaluación de rigidez por esquinas entrantes



Del análisis realizado, según la imagen 36, se demostró que para la dirección XX se tiene $3.95 > 0.2 \cdot 28.05 = 5.79$, mientras que en el eje YY $5.55 > 0.2 \cdot 13.95 = 2.79$; concluyendo que para el presente proyecto se presenta una irregularidad por esquinas entrantes solo en el eje YY.

Imagen 45: Análisis de verificación por esquinas entrantes



Fuente: Elaboración propia

c) DISCONTINUIDAD DE DIAFRAGMA

La estructura se considera como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades o variaciones de gran magnitud en rigidez, incluyendo aberturas mayores a 50% del área bruta del diafragma, adicionalmente al criterio expuesto se considera que existe irregularidad por diafragma cuando, en cualquiera de los pisos, y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor a 25% del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta.

Imagen 46: Criterios de Evaluación de Irregularidad por Diafragma

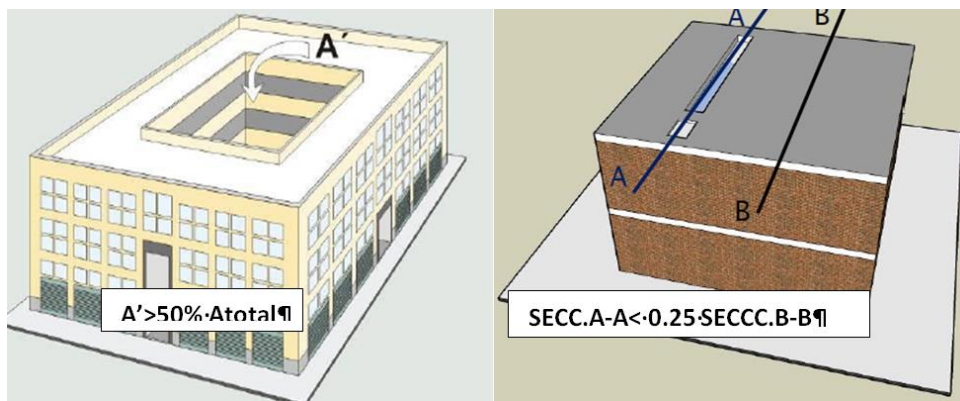
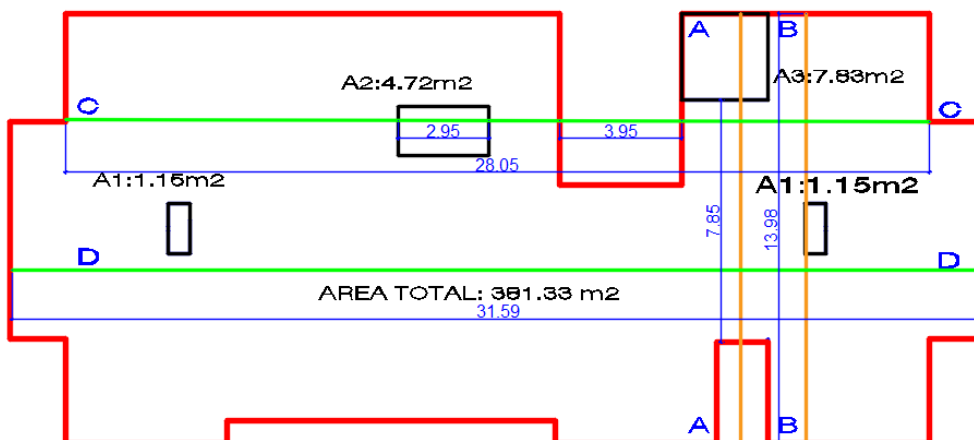


Imagen 47: Esquema de distancia para determinar Irregularidad por diafragma



Fuente: Elaboración propia

Del análisis realizado (ver imagen N° 47) se obtiene que considerando la primera condición de irregularidad por diafragma que comprende $AV > 50\% AT$ con $AT = 381.3,3$ por lo cual $0.5AT = 190.67 \text{ m}^2$ y teniendo que el área de vacíos es la suma de $2 \cdot A1 + A2 + A3 = AV = 2 \cdot 1.15 + 4.72 + 7.63 = 14.65 \text{ m}^2$, por lo cual verificamos que $AV = 14.65 < 190.67$, no tendríamos irregularidad de diafragma bajo esta condición.

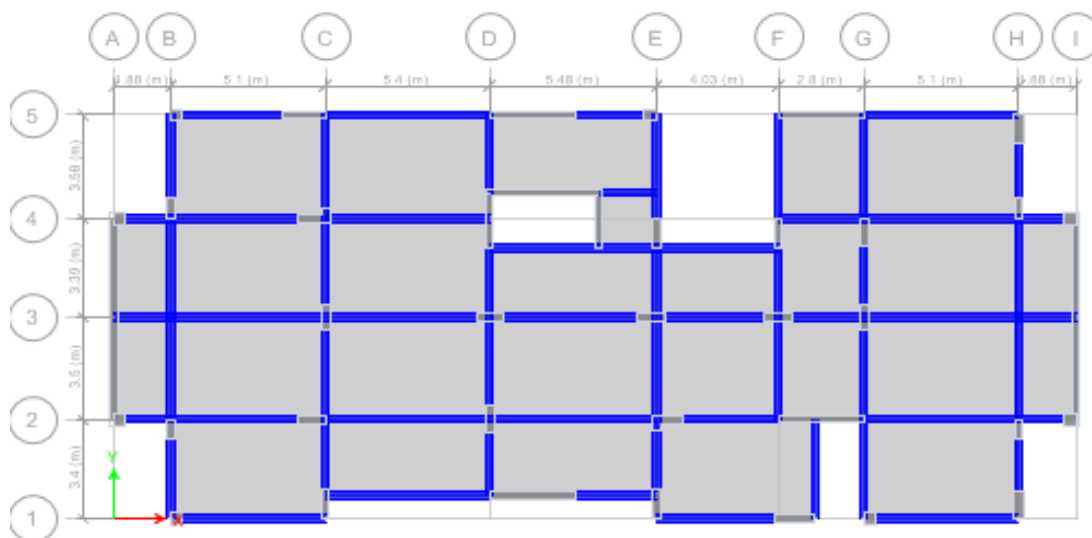
Considerando la segunda condición de irregularidad por diafragma que comprende $SECC.AA < 25\% SECC.BB$, de donde $SECC.AA = 7.85 \text{ m}$ y $SECC.BB = 13.98 \text{ m}$ $7.85 < 0.25 \cdot 13.98 = 3.495$ para la dirección Y, mientras que $SECC.CC < 25\% SECC.DD$ $28.05 - 2.95 - 3.95 = 21.2 < 31.59 \cdot 0.25 = 7.90$, por lo cual no tendríamos irregularidad bajo esta condición en ningún sentido.

Del análisis realizado se expone que no existe irregularidad de diafragma para la edificación en estudio.

d) SISTEMAS NO PARALELOS

Se considera la presencia de irregularidad de sistemas no paralelos cuando en las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos, se considera que este criterio no se aplica si los ejes de los pórticos o muros forman ángulos $< 30^\circ$ o los elementos no paralelos resisten menos que 10% de la fuerza cortante del piso en análisis.

Imagen 48: Planta de Análisis Típica para análisis de sistemas no Paralelos



Fuente: Elaboración propia

Del análisis de la planta en el proyecto en estudio se observan ejes paralelos para la dirección X e Y (ver imagen N° 48), de donde se concluye que la estructura no presenta esta irregularidad.

3.3.4.6. DESPLAZAMIENTO Y CONTROL DE DERIVAS

Del análisis sísmico se obtuvieron las siguientes derivas inelásticas, considerando el desplazamiento relativo multiplicado por 0.75 R para estructuras regulares en el eje XX y por R para estructuras irregulares eje YY:

Tabla 32: Derivas de diseño Eje XX

| 0 | Load Case/Combo | Direction | Drift |
|----------|------------------------|------------------|--------------|
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.0058 |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.0060 |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.0061 |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.0063 |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.0063 |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.0063 |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.0062 |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.0060 |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.0056 |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.0050 |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.0042 |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.0032 |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.0015 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 33: Derivas de diseño Eje YY

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift |
|--------------|------------------------|------------------|--------------|
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.0041 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.0045 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.0048 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.0052 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.0056 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.0058 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.0059 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.0059 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.0057 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.0053 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.0047 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.0036 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.0016 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.5. ANÁLISIS SÍSMICO DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES PASIVOS DE ENERGÍA

En el ítem anterior se ha considerado para la optimización de la estructura el enfoque de diseño sismoresistente tradicional, es decir, hemos provisto de una combinación de resistencia y ductilidad a nuestra estructura para lograr un mejor comportamiento ante sollicitaciones sísmicas.

Sin embargo, el desempeño estructural puede ser optimizado incrementando el amortiguamiento interno a través de disipadores de energía, es por esto que adicionalmente ahora consideraremos la inclusión de disipadores de energía, así se pretende incrementar el amortiguamiento del sistema y aminorar la demanda de disipación de energía a través de la inelasticidad en los elementos estructurales, evitando así la posible falla de estos ante un evento sísmico.

Con la finalidad de demostrar el procedimiento de análisis con disipadores de energía, detallaremos en los ítems siguientes el proceso de análisis.

3.3.5.1. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

Para el comité VISION 2000 los movimientos sísmicos son representados en intervalos de recurrencia y la probabilidad de excedencia de los mismos, lo cual se muestra en la tabla N°34.

Tabla 34: Objetivos de diseño según el comité VISION 2000

| SISMO DE DISEÑO | PERIODO DE RETORNO (AÑOS) | PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA (%) |
|-----------------|---------------------------|--------------------------------|
| Sismo frecuente | 43 | 50 % en 30 años |
| Sismo ocasional | 72 | 50 % en 50 años |
| Sismo raro | 475 | 10 % en 50 años |
| Sismo muy raro | 950 | 10 % en 100 años |

Fuente: Comité VISION 2000

3.3.5.2. NIVEL DE DESEMPEÑO

Se define como nivel de desempeño a aquel que define el estado de daño límite, el cual representa la condición límite o aceptable definida en función de posibles daños físicos que se pueden ocasionar sobre la edificación.

El comité VISION 2000 del SEAOC establece cinco niveles de desempeño relacionando el comportamiento del sistema estructural y de los componentes no estructurales en general (ver imagen N° 49).

Imagen 49 Tabla de objetivos de diseño según el comité VISION 2000

| Nivel de Desempeño | Descripción |
|------------------------|---|
| Totalmente Operacional | El daño es despreciable o nulo. La edificación permanece segura y estable para sus ocupantes. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones continúan prestando servicio. |
| Funcional | Daños leves en elementos estructurales. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones funcionan con normalidad. Se requieren algunas reparaciones menores. |
| Resguardo de Vida | Daño moderado en elementos estructurales, no estructurales y contenido de la edificación. Pérdida de resistencia y rigidez del sistema resistente de cargas laterales. Los sistemas de evacuación y todas las instalaciones quedan fuera de servicio. El edificio requerirá reparaciones importantes. |
| Próximo al Colapso | Daños severos en elementos estructurales. Gran degradación de la rigidez lateral y capacidad resistente del sistema. Inseguridad para los ocupantes y costo de reparación puede ser no factible económicamente. |
| Colapso | Pérdida parcial o total de soporte. Colapso parcial o total. No es posible la reparación. |

Fuente: Comité Visión 2000

3.3.5.3. DETERMINACIÓN DE DAÑO Y NIVEL DE DESEMPEÑO

Considerando los niveles permisibles de daño relacionados el desempeño sísmico, según el tipo de edificación y la intensidad sísmica, determinan la funcionalidad de la edificación (ver imagen N° 50).

Imagen 50: Tabla de daño desempeño según comité VISION 2000

| Movimiento Sísmico de Diseño | Nivel de Desempeño | | | |
|------------------------------|------------------------|---------------------|----------------------|-------------------|
| | Totalmente Operacional | Funcional | Resguardo de la Vida | Proximo Colapso |
| Sismo frecuente | Estructura Basica | | | |
| Sismo ocasional | Estructura Esencial | Estructura Basica | | |
| Sismo Raro | Estructura Critica | Estructura Esencial | Estructura Basica | |
| Sismo Muy Raro | Estructura Critica | Estructura Critica | Estructura Esencial | Estructura Basica |

Fuente: Comité Visión 2000

3.3.5.4. DETERMINACIÓN DE LA DERIVA OBJETIVO

En el análisis sísmico para edificaciones con dispositivos pasivos de energía, es primordial realizar la determinación de la deriva objetivo, para lo cual nos basamos en la disposición de la Norma Sismorresistente Peruana que considera para edificaciones de concreto armado una deriva de 7 ‰.

3.3.5.5. ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL CON R=1

Para el análisis sísmico de la edificación mediante disipadores de energía consideraremos el valor de R =1.

Tabla 35: Parámetros de diseño de espectro inelástico

| PARÁMETRO | VALOR |
|-------------------------------------|-------|
| Zona (Z3) | 0.35 |
| Uso (C) | 1.0 |
| Suelo (S2) | 1.15 |
| Factor de Amplificación Sísmica (C) | 2.5 |
| T _p | 0.60 |
| T _L | 2.00 |
| Factor de Reducción Sísmica X-Y (R) | 1 |

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones

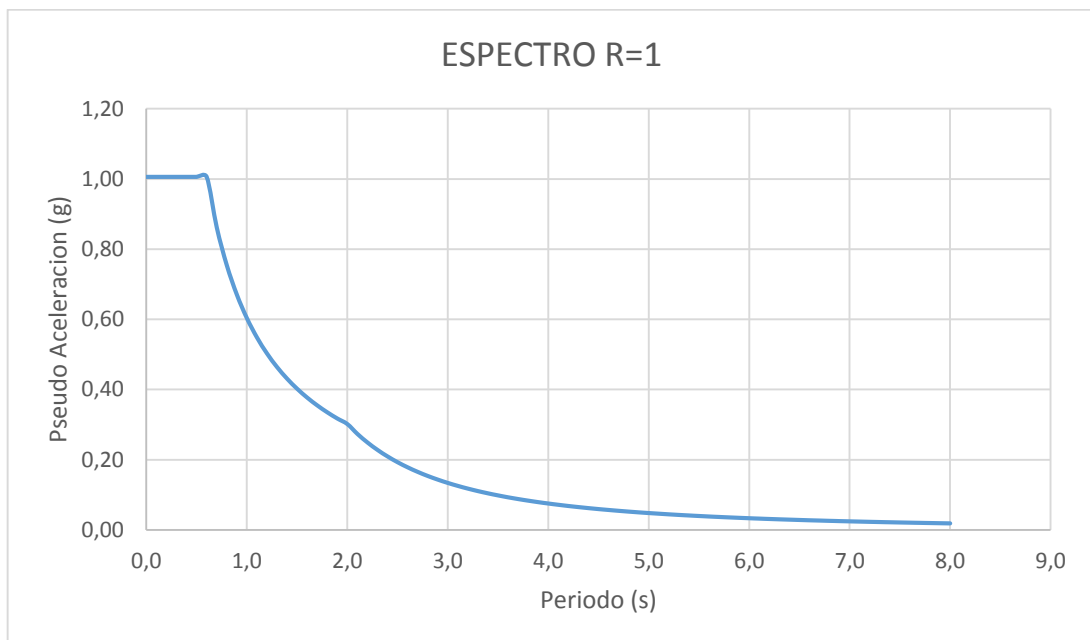
Con los parámetros en la tabla N° 35 graficaremos el espectro de pseudo aceleración S_a , considerando:

$$S_a = \frac{ZUSC}{R*T} * g$$

$$S_a = \frac{0.35*1*1.15*2.5}{1*T} * g = \frac{1.01}{T} * g$$

Se considerará una función de S_a vs T (s), por lo cual el espectro objetivo quedará expresado como:

Imagen 51: Espectro de pseudo aceleración con factor de reducción $R=1$



Fuente: Elaboración propia

La imagen N° 51 representa el espectro de pseudo aceleración objetivo, el cual servirá de punto de partida para escalar los acelerogramas a emplear en el análisis tiempo-historia.

Como resultado del análisis sísmico espectral, se consideró un factor de reducción $R=1$ con la finalidad de inducir a la estructura un comportamiento en el rango inelástico, obteniéndose las derivas expuestas en las tablas N° 36 y N° 37.

Tabla 36: Desplazamiento con R=1 YY

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | CONTROL RNE | ESTADO |
|---------|-----------------|-----------|----------|-------------|--------|
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.00594 | 0.007 | OK! |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.006156 | 0.007 | OK! |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.006296 | 0.007 | OK! |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.006414 | 0.007 | OK! |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.006441 | 0.007 | OK! |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.006371 | 0.007 | OK! |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.006164 | 0.007 | OK! |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.005798 | 0.007 | OK! |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.005384 | 0.007 | OK! |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.004846 | 0.007 | OK! |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.004069 | 0.007 | OK! |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.003123 | 0.007 | OK! |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.001467 | 0.007 | OK! |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 37: Desplazamiento con R=1 XX

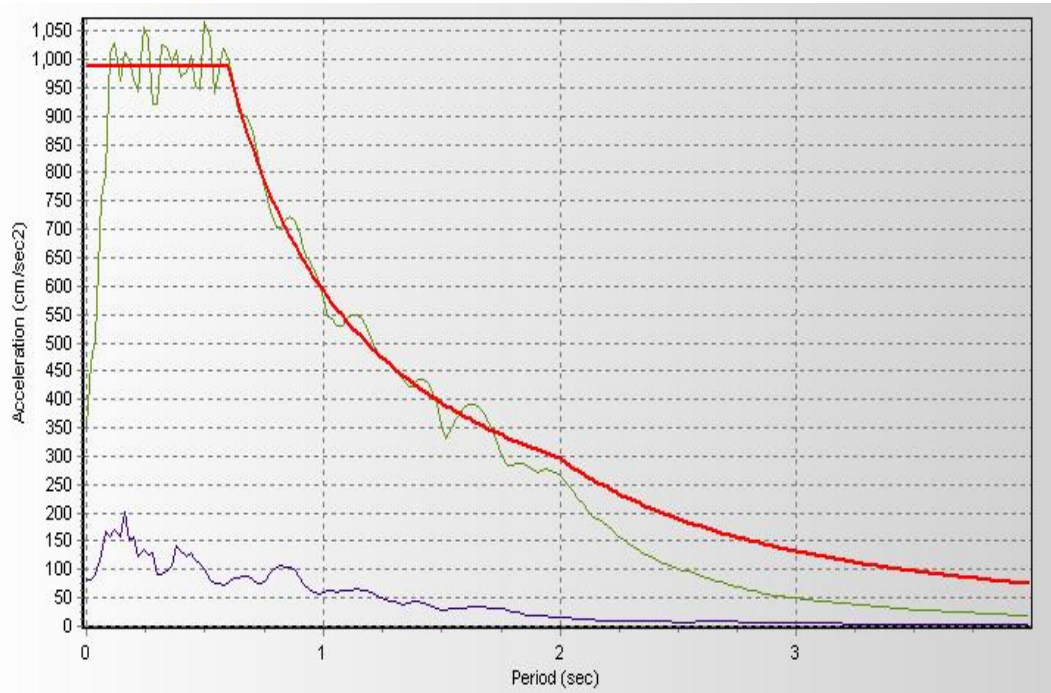
| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift | CONTROL RNE | ESTADO |
|---------|-----------------|-----------|----------|-------------|--------|
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.005267 | 0.007 | OK! |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.005984 | 0.007 | OK! |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.006606 | 0.007 | OK! |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.007223 | 0.007 | ERROR! |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.007766 | 0.007 | ERROR! |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.008211 | 0.007 | ERROR! |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.008481 | 0.007 | ERROR! |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.008507 | 0.007 | ERROR! |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.00834 | 0.007 | ERROR! |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.0079 | 0.007 | ERROR! |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.007035 | 0.007 | ERROR! |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.005799 | 0.007 | OK! |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.002744 | 0.007 | OK! |

Fuente: Elaboración propia

3.3.5.6. ESCALAMIENTO DE ACELEROGRAMAS AL ESPECTRO OBJETIVO CON R=1

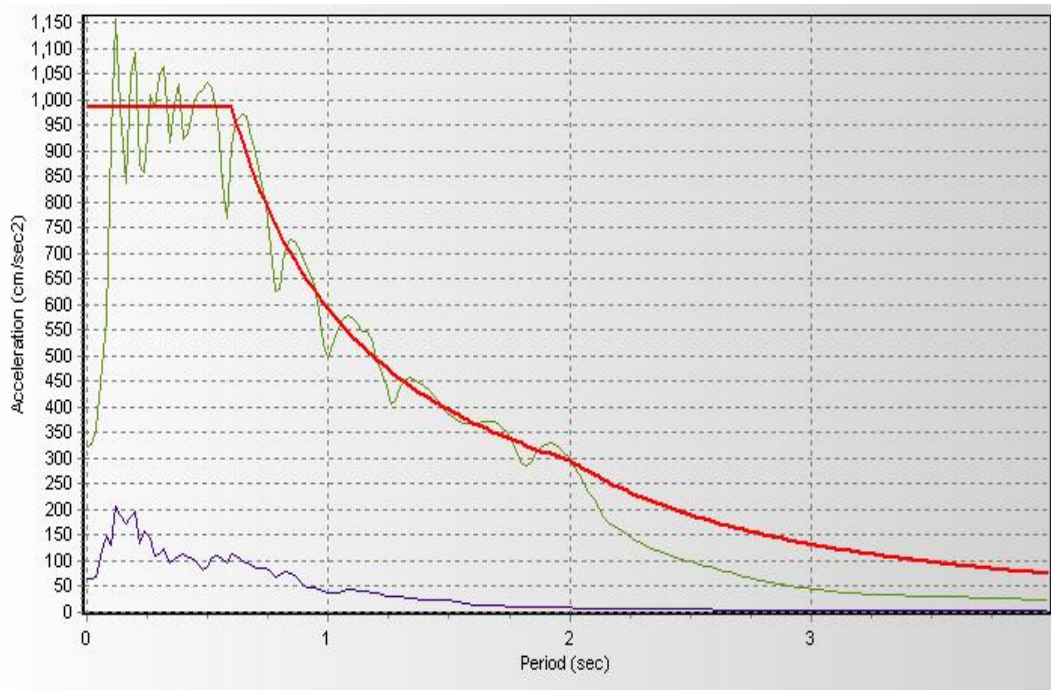
Para el análisis sísmico de nuestra investigación se consideraron 3 registros sísmicos en ambas direcciones, considerando el efecto N-S y E-W para las direcciones X e Y; condiciones expuestas en la Norma Peruana Sismorresistente (ver tabla N° 38).

Imagen 52: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Arequipa 2005 Dirección EW



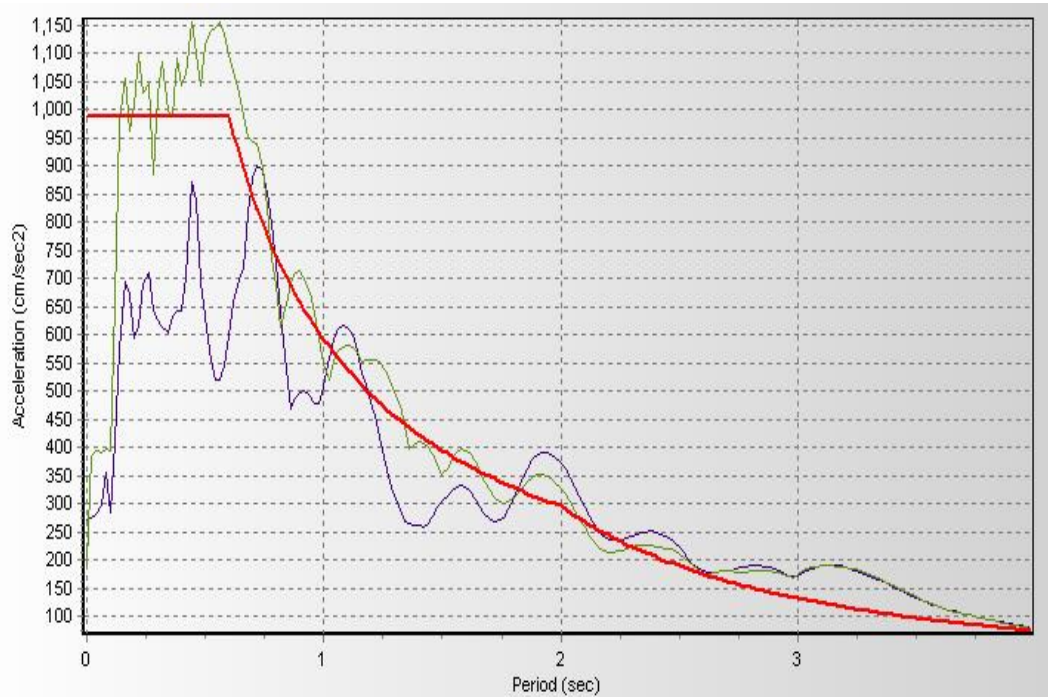
Fuente: Elaboración propia

Imagen 53: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Arequipa 2005 Dirección N-S



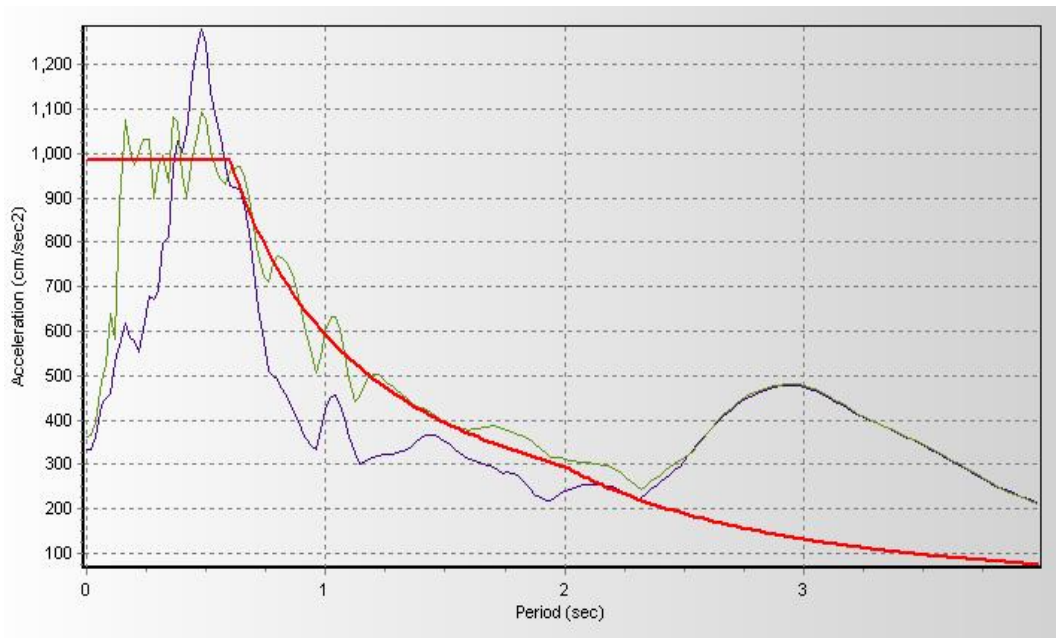
Fuente: Elaboración propia

Imagen 54: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Ica 2007 Dirección E-W



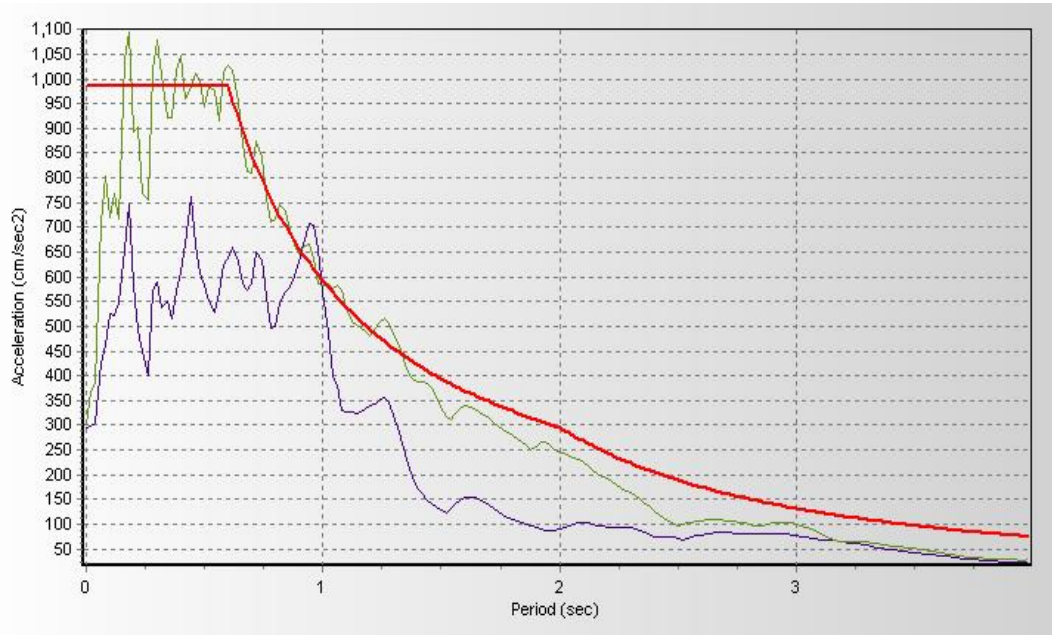
Fuente: Elaboración propia

Imagen 55: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Ica 2007 Dirección N-S



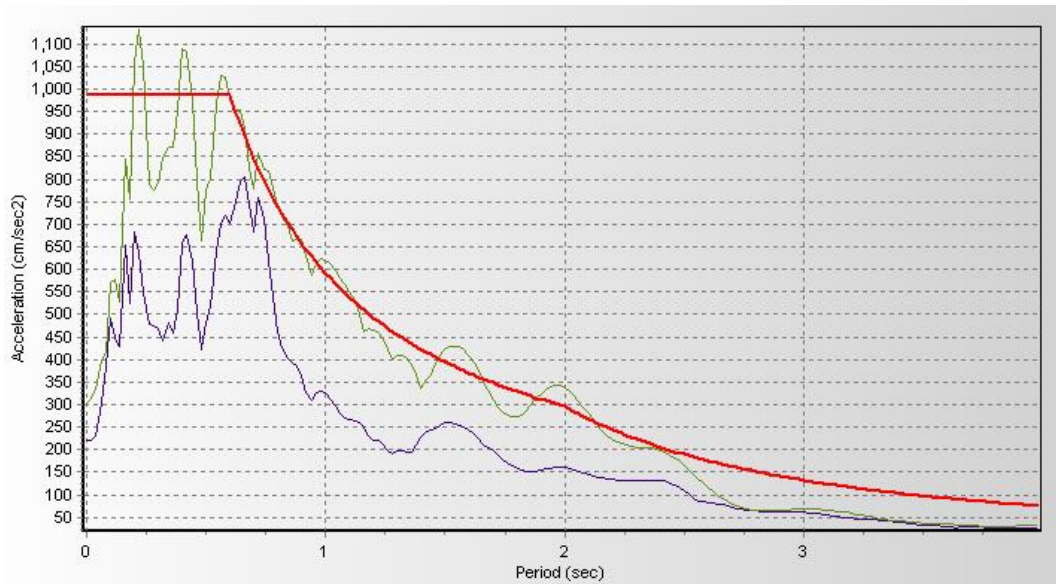
Fuente: Elaboración propia

Imagen 56: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Moquegua 2001 Dirección E-W



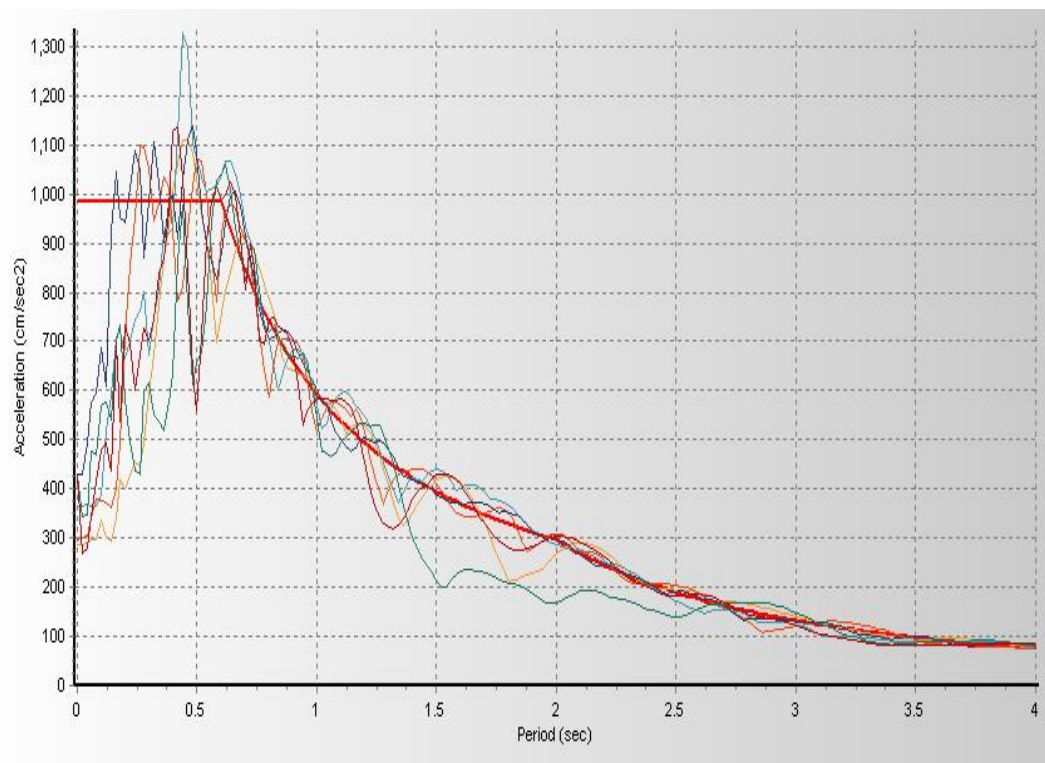
Fuente: Elaboración propia

Imagen 57: Espectro Objetivo (color rojo), registro sin escalar (morado) y registro escalado (verde) de Reg. Sísmico Moquegua 2001 Dirección E-W



Fuente: Elaboración propia

Imagen 58: Comparativo entre Registros Sísmicos y espectro objetivo R=1



Fuente: Elaboración propia

3.3.5.7. ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

Para la edificación en estudio se emplearán los registros sísmicos detallados en la tabla N° 38.

Tabla 38: Estaciones de Registro Acelerométrico

| SISMO | UBICACIÓN DE LA ESTACIÓN | COMPONENTES | MAGNITUD | DURACIÓN (s) |
|----------------------|---|-------------|----------|--------------|
| 13 de Junio de 2005 | Estación UNSA (Arequipa) | E-W N.S | 7.2 | 176.00 |
| 15 de Agosto de 2007 | Universidad Nacional San Luis Gonzaga (Ica) | E-W N.S | 7.0 | 218.06 |
| 23 de Junio de 2001 | Gobierno Regional (Moquegua) | E-W N.S | 6.9 | 198.91 |

Los registros sísmicos empleados fueron obtenidos de la página de REDACIS UNI, los que son expresados en cm/ss2.

Considerando los registros sísmicos descritos se obtuvieron las derivas correspondientes expresadas en la tabla N° 39 y N° 40.

Tabla 39: Derivas para Acelerogramas escalados XX

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/OO) | Dir. | Drift | AREQUIPA 2005 | | ICA 2001 | | MOQUEGUA 2005 | |
|---------|---------------------------|------|--------|---------------|--------|----------|--------|---------------|--------|
| | | | | EW | NS | EW | NS | EO | NS |
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.0053 | 0.0053 | 0.0050 | 0.0061 | 0.0043 | 0.0048 | 0.0047 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.0060 | 0.0061 | 0.0057 | 0.0069 | 0.0047 | 0.0055 | 0.0054 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.0066 | 0.0068 | 0.0064 | 0.0075 | 0.0051 | 0.0061 | 0.0061 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.0072 | 0.0075 | 0.0072 | 0.0078 | 0.0054 | 0.0068 | 0.0067 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.0078 | 0.0081 | 0.0079 | 0.0080 | 0.0056 | 0.0074 | 0.0074 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.0082 | 0.0086 | 0.0084 | 0.0083 | 0.0060 | 0.0078 | 0.0079 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.0085 | 0.0089 | 0.0088 | 0.0086 | 0.0066 | 0.0081 | 0.0082 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.0085 | 0.0089 | 0.0088 | 0.0087 | 0.0070 | 0.0081 | 0.0083 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.0083 | 0.0087 | 0.0086 | 0.0086 | 0.0072 | 0.0079 | 0.0081 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.0079 | 0.0081 | 0.0081 | 0.0081 | 0.0072 | 0.0075 | 0.0076 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.0070 | 0.0071 | 0.0072 | 0.0072 | 0.0067 | 0.0067 | 0.0067 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.0058 | 0.0057 | 0.0059 | 0.0058 | 0.0057 | 0.0055 | 0.0055 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.0027 | 0.0026 | 0.0028 | 0.0027 | 0.0028 | 0.0026 | 0.0026 |

Fuente: Elaboración propia

Tabla 40: Derivas para Acelerogramas escalados YY

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/OO) | Dir. | Drift | AREQUIPA 2005 | | ICA 2001 | | MOQUEGUA 2005 | |
|---------|---------------------------|------|--------|---------------|--------|----------|--------|---------------|--------|
| | | | | EW | NS | EW | NS | NS | Ew |
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.0059 | 0.0046 | 0.0054 | 0.0044 | 0.0049 | 0.0059 | 0.0047 |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.0062 | 0.0048 | 0.0056 | 0.0044 | 0.0051 | 0.0061 | 0.0054 |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.0063 | 0.0051 | 0.0058 | 0.0045 | 0.0052 | 0.0063 | 0.0061 |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0054 | 0.0059 | 0.0046 | 0.0050 | 0.0063 | 0.0067 |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0056 | 0.0057 | 0.0046 | 0.0051 | 0.0061 | 0.0074 |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0058 | 0.0057 | 0.0045 | 0.0051 | 0.0060 | 0.0079 |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.0062 | 0.0058 | 0.0056 | 0.0044 | 0.0050 | 0.0060 | 0.0082 |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.0058 | 0.0058 | 0.0054 | 0.0043 | 0.0048 | 0.0058 | 0.0083 |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.0054 | 0.0056 | 0.0050 | 0.0041 | 0.0045 | 0.0055 | 0.0081 |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.0048 | 0.0052 | 0.0045 | 0.0038 | 0.0040 | 0.0050 | 0.0076 |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.0041 | 0.0045 | 0.0038 | 0.0032 | 0.0034 | 0.0042 | 0.0067 |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.0031 | 0.0034 | 0.0029 | 0.0025 | 0.0025 | 0.0033 | 0.0055 |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.0015 | 0.0015 | 0.0014 | 0.0012 | 0.0012 | 0.0015 | 0.0026 |

Fuente: Elaboración propia

3.3.5.8. DETERMINACIÓN DEL SISMO DE DISEÑO

Para el proyecto se tomó el registro de Pisco 2007, dirección E –W para X, y de Moquegua E –W para Y, ya que estos presentan variación mínima a 1.5 ‰ de derivas con respecto al espectro objetivo con $R=1$; con este criterio se calcularon las propiedades del disipador.

Tabla 41: Determinación de Registro Sísmico de Diseño para XX

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/OO) | Dir. | Drift | AREQUIPA 2005 | | | | ICA 2001 | | | | MOQUEGUA 2005 | | | |
|---------|---------------------------|------|--------|---------------|------------------------|--------|------------------------|----------|------------------------|--------|------------------------|---------------|------------------------|--------|------------------------|
| | | | | EW | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo | EW | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo | EO | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo |
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.0053 | 0.0053 | 0.0000 | 0.005 | -0.0003 | 0.006004 | -0.001 | 0.0043 | -0.001 | 0.0048 | -0.001 | 0.0047 | -0.001 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.006 | 0.0061 | -0.0001 | 0.0057 | -0.0003 | 0.006823 | -0.001 | 0.0047 | -0.001 | 0.0055 | -0.001 | 0.0054 | -0.001 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.0066 | 0.0068 | -0.0002 | 0.0064 | -0.0002 | 0.007502 | -0.001 | 0.0051 | -0.002 | 0.0061 | -0.001 | 0.0061 | -0.001 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.0072 | 0.0075 | -0.0003 | 0.0072 | 0.0000 | 0.008122 | -0.001 | 0.0054 | -0.002 | 0.0068 | 0.000 | 0.0067 | -0.001 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.0078 | 0.0081 | -0.0003 | 0.0079 | 0.0001 | 0.008578 | 0.000 | 0.0056 | -0.002 | 0.0074 | 0.000 | 0.0074 | 0.000 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.0082 | 0.0086 | -0.0004 | 0.0084 | 0.0002 | 0.008825 | 0.000 | 0.006 | -0.002 | 0.0078 | 0.000 | 0.0079 | 0.000 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.0085 | 0.0089 | -0.0004 | 0.0088 | 0.0003 | 0.008834 | 0.000 | 0.0066 | -0.002 | 0.0081 | 0.000 | 0.0082 | 0.000 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.0085 | 0.0089 | -0.0004 | 0.0088 | 0.0003 | 0.008751 | 0.000 | 0.007 | -0.002 | 0.0081 | 0.000 | 0.0083 | 0.000 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.0083 | 0.0087 | -0.0004 | 0.0086 | 0.0003 | 0.008611 | 0.000 | 0.0072 | -0.001 | 0.0079 | 0.000 | 0.0081 | 0.000 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.0079 | 0.0081 | -0.0002 | 0.0081 | 0.0002 | 0.008158 | 0.000 | 0.0072 | -0.001 | 0.0075 | 0.000 | 0.0076 | 0.000 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.007 | 0.0071 | -0.0001 | 0.0072 | 0.0002 | 0.007224 | 0.000 | 0.0067 | 0.000 | 0.0067 | 0.000 | 0.0067 | 0.000 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.0058 | 0.0057 | 0.0001 | 0.0059 | 0.0001 | 0.005879 | 0.000 | 0.0057 | 0.000 | 0.0055 | 0.000 | 0.0055 | 0.000 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.0027 | 0.0026 | 0.0001 | 0.0028 | 0.0001 | 0.002742 | 0.000 | 0.0028 | 0.000 | 0.0026 | 0.000 | 0.0026 | 0.000 |

Tabla 42: Determinación de Registro Sísmico de Diseño para YY

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/OO) | Dir. | Drift | AREQUIPA 2005 | | | | ICA 2001 | | | | MOQUEGUA 2005 | | | |
|---------|---------------------------|------|--------|---------------|------------------------|--------|------------------------|----------|------------------------|--------|------------------------|---------------|------------------------|------------|------------------------|
| | | | | EW | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo | EW | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo | EO | Δ_{max} 1.5°/oo | NS | Δ_{max} 1.5°/oo |
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.0059 | 0.0046 | 0.001 | 0.0054 | -0.001 | 0.0044 | 0.002 | 0.0049 | -0.001 | 0.0059 | 0.000 | 0.00567778 | 0.000 |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.0062 | 0.0048 | 0.001 | 0.0056 | -0.001 | 0.0044 | 0.002 | 0.0051 | -0.001 | 0.0061 | 0.000 | 0.00588889 | 0.000 |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.0063 | 0.0051 | 0.001 | 0.0058 | -0.001 | 0.0045 | 0.002 | 0.0052 | -0.001 | 0.0063 | 0.000 | 0.00602963 | 0.000 |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0054 | 0.001 | 0.0059 | -0.001 | 0.0046 | 0.002 | 0.005 | -0.001 | 0.0063 | 0.000 | 0.00577778 | -0.001 |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0056 | 0.001 | 0.0057 | -0.001 | 0.0046 | 0.002 | 0.0051 | -0.001 | 0.0061 | 0.000 | 0.0059 | -0.001 |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 | 0.0058 | 0.001 | 0.0057 | -0.001 | 0.0045 | 0.002 | 0.0051 | -0.001 | 0.006 | 0.000 | 0.00598148 | 0.000 |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.0062 | 0.0058 | 0.000 | 0.0056 | -0.001 | 0.0044 | 0.002 | 0.005 | -0.001 | 0.006 | 0.000 | 0.00592593 | 0.000 |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.0058 | 0.0058 | 0.000 | 0.0054 | 0.000 | 0.0043 | 0.002 | 0.0048 | -0.001 | 0.0058 | 0.000 | 0.00568519 | 0.000 |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.0054 | 0.0056 | 0.000 | 0.005 | 0.000 | 0.0041 | 0.001 | 0.0045 | -0.001 | 0.0055 | 0.000 | 0.00532963 | 0.000 |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.0048 | 0.0052 | 0.000 | 0.0045 | 0.000 | 0.0038 | 0.001 | 0.004 | -0.001 | 0.005 | 0.000 | 0.00480741 | 0.000 |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.0041 | 0.0045 | 0.000 | 0.0038 | 0.000 | 0.0032 | 0.001 | 0.0034 | -0.001 | 0.0042 | 0.000 | 0.00404815 | 0.000 |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.0031 | 0.0034 | 0.000 | 0.0029 | 0.000 | 0.0025 | 0.001 | 0.0025 | -0.001 | 0.0033 | 0.000 | 0.00311111 | 0.000 |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.0015 | 0.0015 | 0.000 | 0.0014 | 0.000 | 0.0012 | 0.000 | 0.0012 | 0.000 | 0.0015 | 0.000 | 0.00146364 | 0.000 |

3.3.5.9. DETERMINACIÓN DEL AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO

En la presente tesis se estableció como desplazamiento objetivo el valor de 7.0‰, cumpliendo la disposición para estructura de concreto armado de la Norma Peruana Sismorresistente E.030. Del análisis precedente se estableció como máxima de X-X 8.7 ‰ (ver tabla N° 41) y de 6.3 ‰ (ver tabla N° 42).

Teniendo la deriva máxima y deriva objetivo, obtendremos el amortiguamiento objetivo (B) aplicando la siguiente relación:

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

$$B_x = \frac{0.0088}{0.007} = 1.257$$

$$B_y = \frac{0.0063}{0.007} = 0.900$$

De las derivas máximas obtenidas del escalamiento de registros utilizado, para el análisis tenemos:

$$B_{effx} = BE + BH$$

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(BE)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

$$B_{xx} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(BE)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

$$1.257 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

$$B_{effxx} = 11.39\%$$

$$B_{yy} = \frac{2.31 - 0.41 \ln(BE)}{2.31 - 0.41 \ln(Beff)}$$

$$0.90 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(Beff)}$$

$$B_{effyy} = 3.20\%$$

Por lo tanto, se debe aplicar la fórmula propuesta por el FEMA y descontar el amortiguamiento inherente para una estructura de concreto armado 5%. Así se obtiene el amortiguamiento viscoso de demanda:

$$BH_{xx} = 6.39\%$$

$$BH_{yy} = 0\%$$

Para mantener un factor de seguridad y colocar el mismo tipo de dispositivos, se establece que el porcentaje de amortiguamiento es $B = 25\%$.

Según recomendaciones de fabricantes de disipadores, se recomienda que los disipadores de energía sean diseñados (βH) de entre 20% a 40%.

3.3.5.10. ANÁLISIS SÍSMICO CON DISIPADORES FLUIDO VISCOSO

Para el análisis sísmico incluyendo dispositivos pasivos de energía consideraremos los criterios y disposiciones descritas en los ítems posteriores.

3.3.5.10.1. CÁLCULO DE AMORTIGUAMIENTO FLUIDO VISCOSO

Para el presente proyecto se empleará el exponente de velocidad $\alpha=0.5$ ya que analizaremos el dispositivo en un rango no lineal, con el valor de alfa definido obtendremos el amortiguamiento viscoelástico de la siguiente relación:

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

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j

m_i : Masa del nivel i

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j

ϕ_{rj} : Desplazamiento en el nivel i

A: Amplitud del desplazamiento del modo fundamental

ω : Frecuencia angular

λ : Parámetro lambda

Se requieren de los siguientes datos para realizar los cálculos:

Tabla 43: Periodo fundamental para espectro objetivo R=1

| Case | Mode | Period | UX | UY |
|-------|------|--------|-----------|--------|
| | | sec | | |
| Modal | 1 | 1.135 | 0.7379 | 0 |
| Modal | 2 | 0.814 | 1.139E-06 | 0.6925 |
| Modal | 3 | 0.577 | 0 | 0.0001 |
| Modal | 1 | 1.135 | 0.7379 | 0 |

Desplazamiento máximo - Análisis tiempo historia de Pisco

Tabla 44: Deriva XX para tiempo historia Pisco 2001

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/oo) | Direction | Drift |
|---------|------------------------------|-----------|----------|
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.006004 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.006823 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.007502 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.008122 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.008578 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.008825 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.008834 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.008751 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.008611 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.008158 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.007224 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.005879 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.002742 |

Tabla 45: Determinación de amplitud de desplazamiento

| NIVEL | ANÁLISIS ESPECTRAL (°/oo) | Direction | ϕ_i | | |
|---------|---------------------------|-----------|----------|--------------|-------------|
| | | | | ϕ_{i+1} | ϕ_{rj} |
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.2536 | | 0.0157 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.2379 | 0.2563 | 0.0177 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.2202 | 0.2398 | 0.0193 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.2009 | 0.2211 | 0.0205 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.1805 | 0.2010 | 0.0214 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.1590 | 0.1799 | 0.0225 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.1365 | 0.1583 | 0.0232 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.1133 | 0.1359 | 0.0236 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.0897 | 0.1126 | 0.0233 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.0665 | 0.0891 | 0.0220 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.0444 | 0.0659 | 0.0195 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.0249 | 0.0439 | 0.0159 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.0090 | 0.0246 | 0.0090 |

Considerando que λ depende de α , y siguiendo las disposiciones del FEMA, tenemos

Imagen 59: Valores λ para α de diseño de disipador viscoelástico

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

De los datos precedentes calculamos frecuencia angular ω , así como el coeficiente de amortiguamiento del disipador C_j .

Sabemos que $f = 1/T = 1/1.135 = 0.881$, de lo cual obtenemos $\omega = 2 \times \pi \times 0.881 = 5.535$ rad/seg.

Tabla 46: Cálculo de valores para amortiguamiento fluido viscoso

| PISO | θ | $\cos\theta$ | $\cos 1+\alpha*\theta$ | ϕ_r | $\phi_r(1+\alpha)$ | λ | | $2n*A(1-\alpha)*w(2-\alpha)*0.25$ | MASA | ϕ_2 | $m*\phi_2$ |
|-------|----------|--------------|------------------------|----------|--------------------|-----------|-------|-----------------------------------|----------|----------|------------|
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.016 | 0.002 | 3.500 | 0.004 | 8.238 | 41.810 | 0.064 | 2.689 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.018 | 0.002 | 3.500 | 0.005 | 8.238 | 40.770 | 0.057 | 2.307 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.019 | 0.003 | 3.500 | 0.006 | 8.238 | 40.770 | 0.048 | 1.977 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.021 | 0.003 | 3.500 | 0.006 | 8.238 | 40.770 | 0.040 | 1.646 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.021 | 0.003 | 3.500 | 0.007 | 8.238 | 40.770 | 0.033 | 1.328 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.023 | 0.003 | 3.500 | 0.007 | 8.238 | 40.770 | 0.025 | 1.031 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.023 | 0.004 | 3.500 | 0.007 | 8.238 | 40.770 | 0.019 | 0.760 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.024 | 0.004 | 3.500 | 0.008 | 8.238 | 40.770 | 0.013 | 0.523 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.023 | 0.004 | 3.500 | 0.007 | 8.238 | 40.770 | 0.008 | 0.328 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.022 | 0.003 | 3.500 | 0.007 | 8.238 | 40.770 | 0.004 | 0.180 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.020 | 0.003 | 3.500 | 0.006 | 8.238 | 40.770 | 0.002 | 0.080 | 44.67 |
| 44.67 | 0.711 | 0.600 | 0.016 | 0.002 | 3.500 | 0.004 | 8.238 | 40.770 | 0.001 | 0.025 | 44.67 |
| 51.57 | 0.622 | 0.490 | 0.009 | 0.001 | 3.500 | 0.001 | 8.238 | 36.120 | 0.000 | 0.003 | 51.57 |
| | | | | | Σ | 0.075 | | | Σ | 12.878 | |

Asumiendo para el presente proyecto un amortiguamiento viscoso del 25% y realizando una disposición inicial de 4 disipadores por nivel, tenemos:

$$\sum_j C_j = \frac{\beta H * 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} * \sum_i m_i \phi_i^2}{\sum_j \lambda \phi_{rj}^{1+\alpha} \text{Cos}_{\theta_j}^{1+\alpha}}$$

$$\sum_j C_j = \frac{12.878 * 8.238}{0.075} = 1414.52 \text{ Tn} * s/m$$

$$C_j = \frac{1411.52}{4} = 353.63 \text{ Tn} * s/m$$

3.3.5.10.2. CÁLCULO DE LA RIGIDEZ DEL SISTEMA

Consideraremos el diseño de rigidez del sistema a partir de un perfil metálico estándar HSS o PIPE STD, en el presente trabajo considero un perfil del tipo HSS 7.50 x 0.50 (ver imagen N° 60).

Imagen 60: Propiedades Perfil HSS

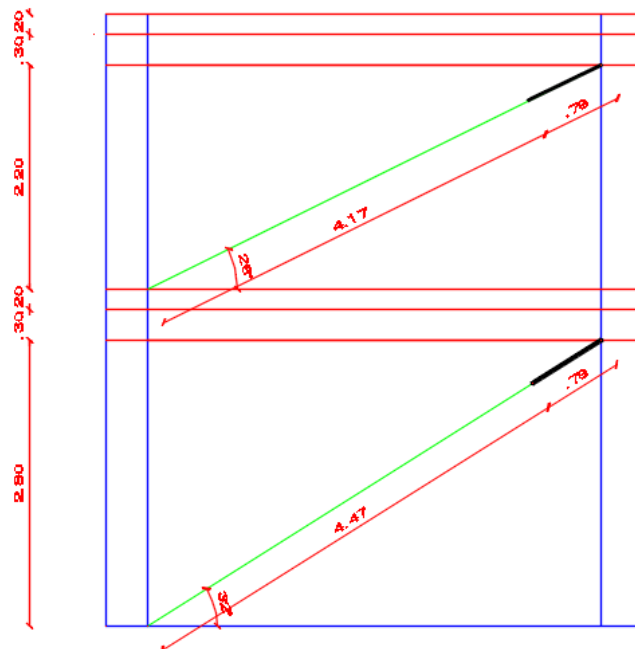
| Table 1-13 (continued) Round HSS Dimensions and Properties | | | | | | | | | | |
|--|--|----------------------|------------------------------------|------------|------------------------------|------------------------------|-----------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Shape | Design Wall Thickness, <i>t</i> in. | Nominal Wt. lb/ft | Area, <i>A</i> in. ² | <i>D/t</i> | <i>I</i> in. ⁴ | <i>S</i> in. ³ | <i>r</i> in. | <i>Z</i> in. ³ | Torsion | |
| | | | | | | | | | <i>J</i> in. ⁴ | <i>C</i> in. ³ |
| | | | | | | | | | HSS7.50x0.500 | 0.465 |
| ×0.375 | 0.349 | 28.56 | 7.84 | 21.5 | 50.2 | 13.4 | 2.53 | 17.9 | 100 | 26.8 |
| ×0.312 | 0.291 | 23.97 | 6.59 | 25.8 | 42.9 | 11.4 | 2.55 | 15.1 | 85.8 | 22.9 |
| ×0.250 | 0.233 | 19.38 | 5.32 | 32.2 | 35.2 | 9.37 | 2.57 | 12.3 | 70.3 | 18.7 |
| ×0.188 | 0.174 | 14.70 | 4.00 | 43.1 | 26.9 | 7.17 | 2.59 | 9.34 | 53.8 | 14.3 |

Tabla 47: Sección de Perfil Metálico

| Dext.(in) | Dint.(in) | Espesor | Área | Inercia (m4) |
|-----------|-----------|---------|------|--------------|
| 7.5 | 7.035 | 0.465 | 10.3 | 63.9 |

De los parámetros de la Tabla N°47 y la geometría de la estructura de la imagen N° 61, determinaremos la rigidez del sistema bajo la siguiente relación:

Imagen 61: Esquema de disposición de disipadores fluido viscoso con un ángulo de inclinación de 32° (para el primer nivel) y de 26° (para los niveles posteriores).



Fuente: Elaboración propia

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

Donde:

Eacero: 29000 ksi = 20.4 x10⁶Tn/m²

Área: 10.3 in²= 66.45x10⁻⁴m²

$$K_{1^\circ} = \frac{20.4 * 10^6 * 66.45 * 10^{-4}}{4.47} = 30326.17 \text{ Tn/m}$$

$$K2^\circ = \frac{20.4 * 10^6 * 66.45 * 10^{-4}}{4.17} = 32507.91 \text{ Tn/m}$$

3.3.5.10.3. COMPORTAMIENTO DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES FLUIDO VISCOSO

Con los parámetros calculados de rigidez y amortiguamiento, se realizó la disposición en altura de los disipadores de energía (ver imagen N° 62) y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 48: Derivas con inclusión de disipadores Fluido Viscoso

| NIVEL | ANÁLISIS TH PISCO 2001 (°/oo) | Direction | Δ inelástica |
|---------|-------------------------------|-----------|--------------|
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.003753 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.004269 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.004679 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.005018 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.005206 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.005151 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.004879 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.004844 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.004778 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.004552 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.004063 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.003366 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.001607 |

Imagen 62: Distribución de Disipadores Fluido Viscoso

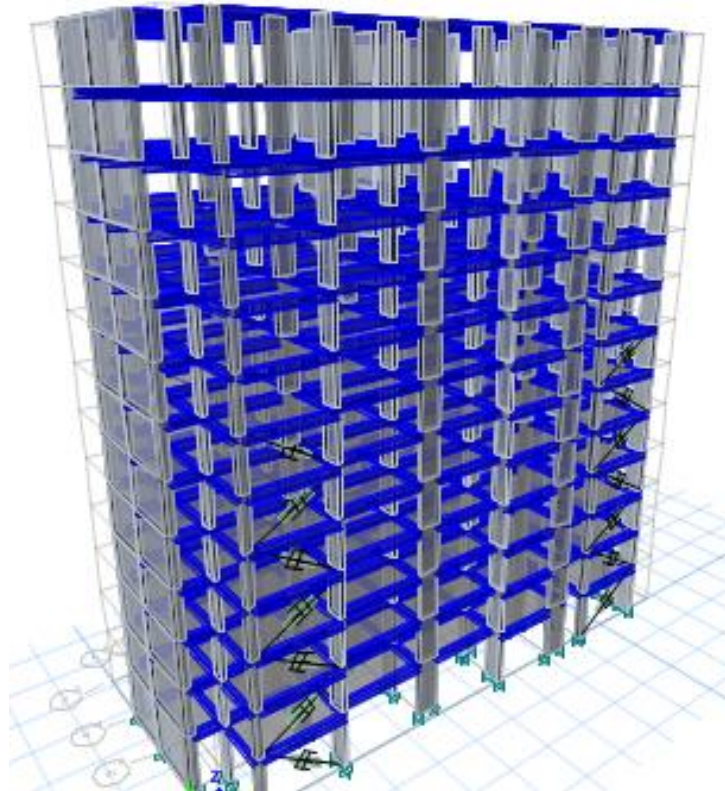
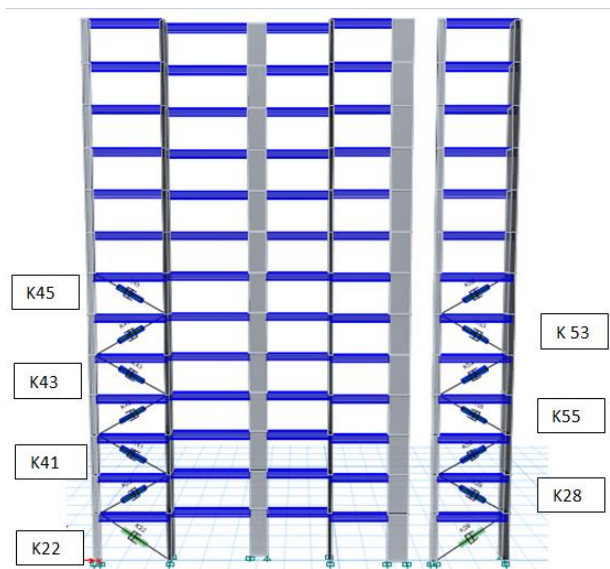


Imagen 63: Disposición de Disipadores Fluido Viscosos Eje 1



Debido a la gran cantidad de disipadores empleados en el presente trabajo y con la finalidad de obtener el

comportamiento esperado (ver imagen N° 17), realizaremos la evaluación del eje 1 como eje representativo, así como de la disposición de disipadores establecidos en la imagen N° 63.

Imagen 64: Comportamiento histerético K22 Izquierda, K28 derecha

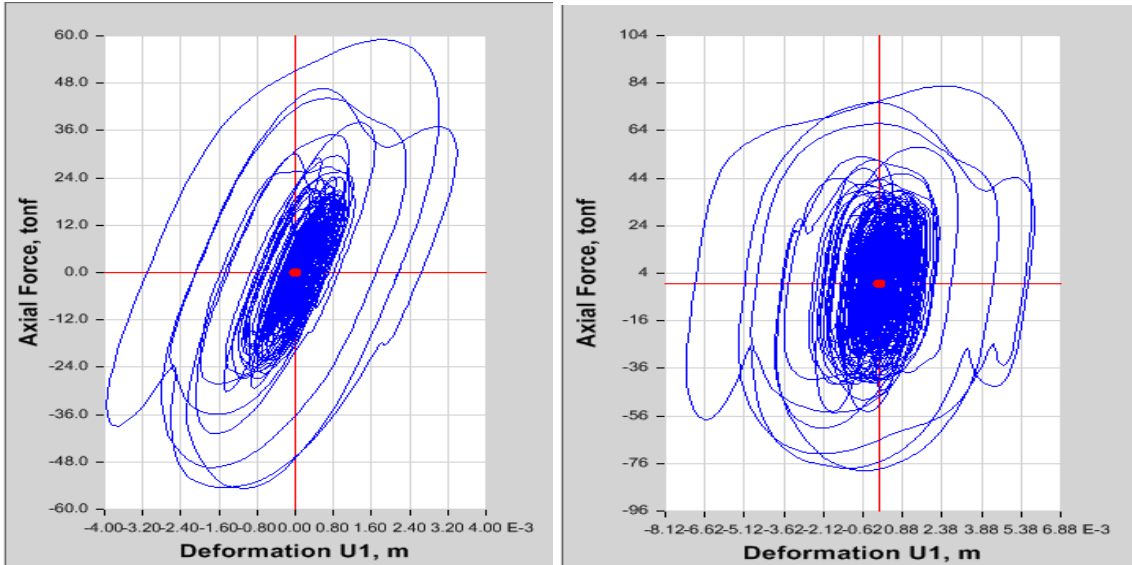


Imagen 65: Comportamiento histerético K41 Izquierda, K55 derecha

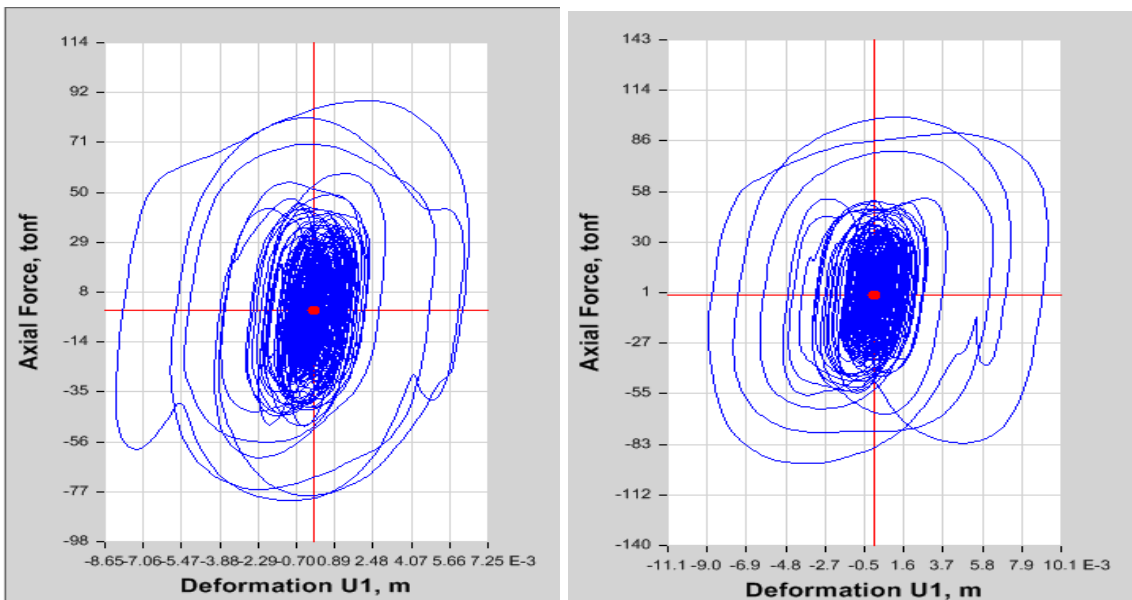


Imagen 66: Comportamiento histerético K43 Izquierda, K53 derecha

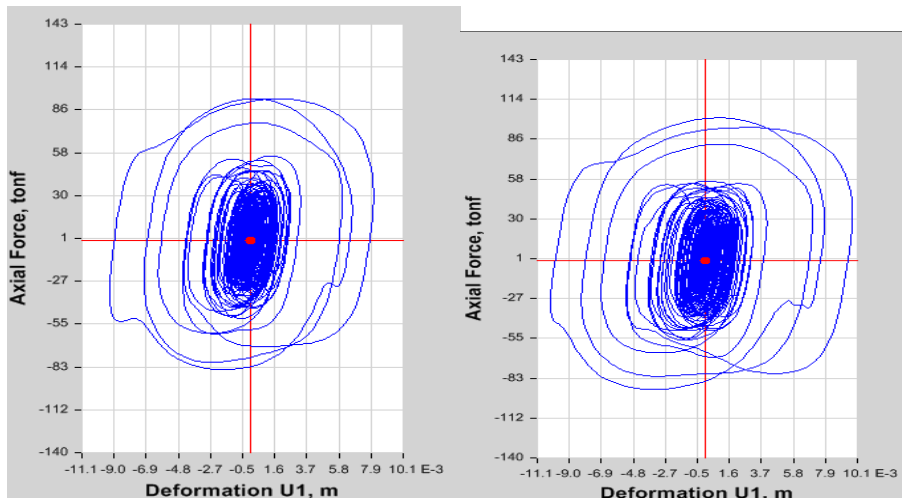
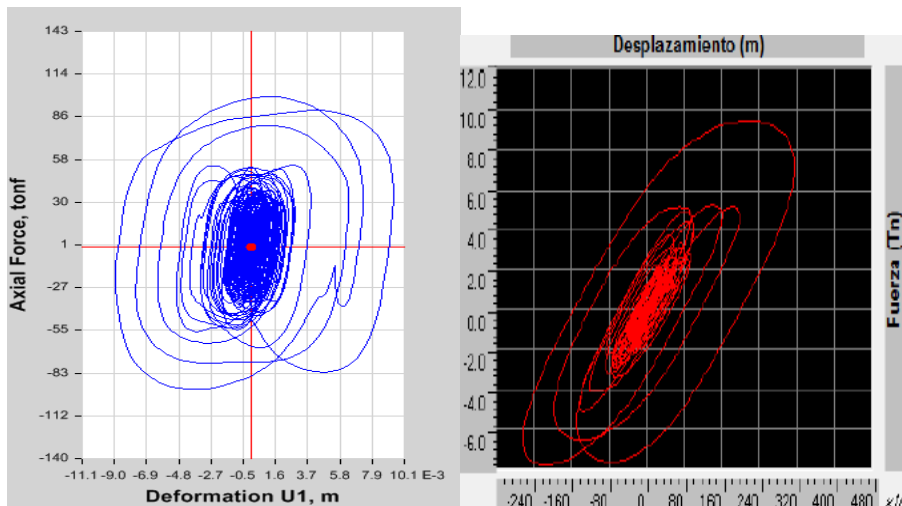


Imagen 67: Comportamiento histerético K45 (izquierda), comportamiento irregular de un disipador (derecha).



Evaluando la respuesta histerética de los disipadores, se muestran en las imágenes precedentes que todos presentan un comportamiento óptimo expresado en una forma elíptica de color azul; es decir, no se encontró disipadores con un comportamiento irregular (ver imagen N°67), los cuales al no estar trabajando correctamente no aportan incremento de amortiguamiento y reducción de derivas, así como de esfuerzo por tracción y compresión de los disipadores.

Del análisis realizado, se observa que el comportamiento de los disipadores oscila entre valores en el orden de 54 a 110

Ton.; de donde se concluye que la disposición de los disipadores es óptima (ver tabla N°51).

Tabla 49: Esfuerzo normal sobre disipadores Fluido Viscosos

| Story | Link | Load Case/Combo | P (Ton) |
|--------|------|-----------------|----------|
| PISO 7 | K30 | THXXICA.E-W Max | 93.3836 |
| PISO 7 | K36 | THXXICA.E-W Max | 103.0674 |
| PISO 7 | K39 | THXXICA.E-W Max | 99.3702 |
| PISO 7 | K40 | THXXICA.E-W Max | 96.8955 |
| PISO 6 | K31 | THXXICA.E-W Max | 84.4779 |
| PISO 6 | K32 | THXXICA.E-W Max | 109.6535 |
| PISO 6 | K33 | THXXICA.E-W Max | 88.5882 |
| PISO 6 | K34 | THXXICA.E-W Max | 101.1965 |
| PISO 5 | K7 | THXXICA.E-W Max | 89.4589 |
| PISO 5 | K35 | THXXICA.E-W Max | 95.7307 |
| PISO 5 | K37 | THXXICA.E-W Max | 93.6368 |
| PISO 5 | K38 | THXXICA.E-W Max | 88.8713 |
| PISO 4 | K6 | THXXICA.E-W Max | 80.2528 |
| PISO 4 | K9 | THXXICA.E-W Max | 102.0649 |
| PISO 4 | K19 | THXXICA.E-W Max | 84.2037 |
| PISO 4 | K21 | THXXICA.E-W Max | 95.2184 |
| PISO 3 | K5 | THXXICA.E-W Max | 85.6129 |
| PISO 3 | K8 | THXXICA.E-W Max | 88.8939 |
| PISO 3 | K18 | THXXICA.E-W Max | 89.1718 |
| PISO 3 | K20 | THXXICA.E-W Max | 84.2314 |
| PISO 2 | K1 | THXXICA.E-W Max | 75.8972 |
| PISO 2 | K2 | THXXICA.E-W Max | 88.433 |
| PISO 2 | K3 | THXXICA.E-W Max | 77.7274 |
| PISO 2 | K4 | THXXICA.E-W Max | 83.2506 |
| PISO 1 | K13 | THXXICA.E-W Max | 54.794 |
| PISO 1 | K17 | THXXICA.E-W Max | 54.3158 |
| PISO 1 | K25 | THXXICA.E-W Max | 58.992 |
| PISO 1 | K26 | THXXICA.E-W Max | 55.7828 |

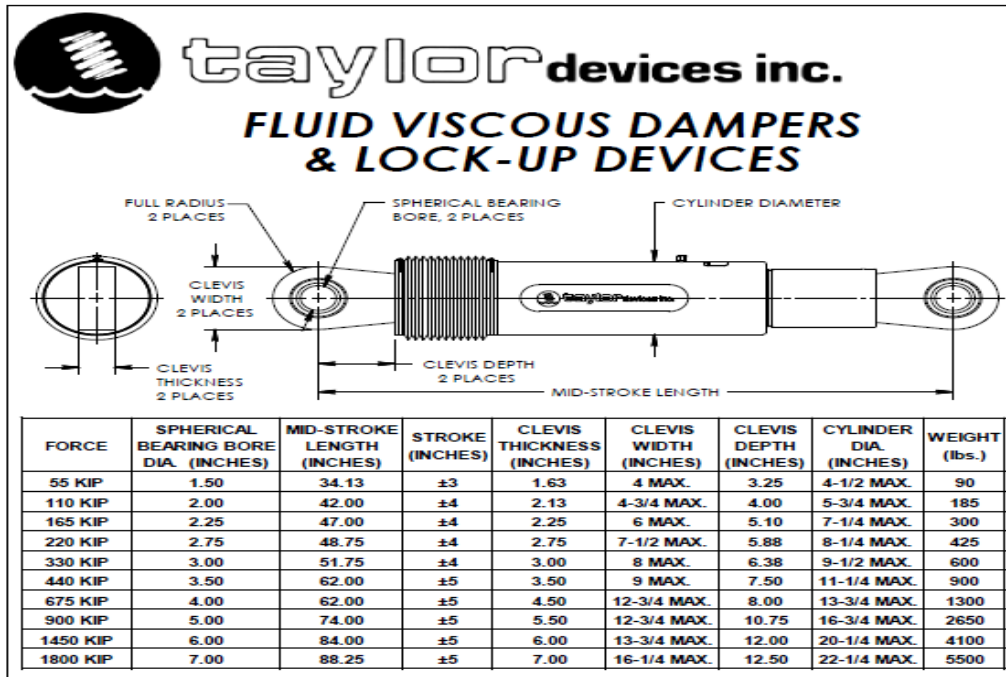
3.3.5.10.4. DISEÑO DE DISIPADORES FLUIDO VISCOSOS

Del análisis realizado, se resume en la tabla N° 60 las fuerzas por nivel de los disipadores comparadas a las fuerzas estándar de mercado y ajustadas al catálogo de la empresa Taylor (ver imagen N° 68).

Tabla 50: Diseño de Disipadores Fluido Viscoso

| Story | Disip. | P | P (Kip) | Disipador (Kip) |
|--------|--------|----------|---------|-----------------|
| PISO 7 | K30 | 93.3836 | 205.91 | 220 |
| PISO 7 | K36 | 103.0674 | 207.26 | 220 |
| PISO 7 | K39 | 99.3702 | 219.11 | 220 |
| PISO 7 | K40 | 96.8955 | 213.65 | 220 |
| PISO 6 | K31 | 84.4779 | 186.27 | 220 |
| PISO 6 | K32 | 109.6535 | 241.79 | 220 |
| PISO 6 | K33 | 88.5882 | 195.34 | 220 |
| PISO 6 | K34 | 101.1965 | 223.14 | 220 |
| PISO 5 | K7 | 89.4589 | 197.26 | 220 |
| PISO 5 | K35 | 95.7307 | 211.09 | 220 |
| PISO 5 | K37 | 93.6368 | 206.47 | 220 |
| PISO 5 | K38 | 88.8713 | 195.96 | 220 |
| PISO 4 | K6 | 80.2528 | 176.96 | 220 |
| PISO 4 | K9 | 102.0649 | 225.05 | 220 |
| PISO 4 | K19 | 84.2037 | 185.67 | 220 |
| PISO 4 | K21 | 95.2184 | 209.96 | 220 |
| PISO 3 | K5 | 85.6129 | 188.78 | 220 |
| PISO 3 | K8 | 88.8939 | 196.01 | 220 |
| PISO 3 | K18 | 89.1718 | 196.62 | 220 |
| PISO 3 | K20 | 84.2314 | 185.73 | 220 |
| PISO 2 | K1 | 75.8972 | 167.35 | 220 |
| PISO 2 | K2 | 88.433 | 194.99 | 220 |
| PISO 2 | K3 | 77.7274 | 171.39 | 220 |
| PISO 2 | K4 | 83.2506 | 183.57 | 220 |
| PISO 1 | K13 | 54.794 | 120.82 | 220 |
| PISO 1 | K17 | 54.3158 | 119.77 | 220 |
| PISO 1 | K25 | 58.992 | 130.08 | 220 |
| PISO 1 | K26 | 55.7828 | 123.00 | 220 |

Imagen 68: Cuadro de Propiedades de disipador Taylor

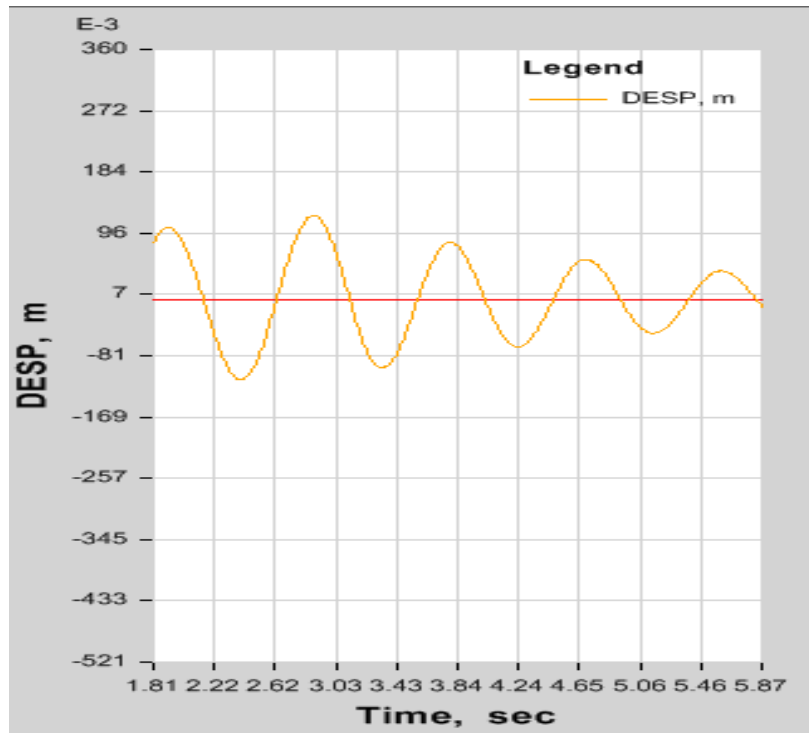


De lo expuesto, se concluye para el presente proyecto que se emplearán 28 disipadores de Fuerza de 220 kip.

3.3.5.10.5. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN LIBRE

Para comprobar el amortiguamiento propio de la estructura, se empleó la fuerza impulsiva de forma triangular, recurriendo a los desplazamientos en el último nivel y aplicando la fórmula del decremento logarítmico para definir el amortiguamiento de la estructura, obteniendo:

Imagen 69: Respuesta de Decremento Logarítmico para Disipador Fluido Viscoso



$$\ln\left(\frac{X_i}{X_i + r}\right) = \frac{2\pi\varepsilon}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

$$\ln\left(\frac{0.05}{0.11}\right) = \frac{2\pi\varepsilon}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

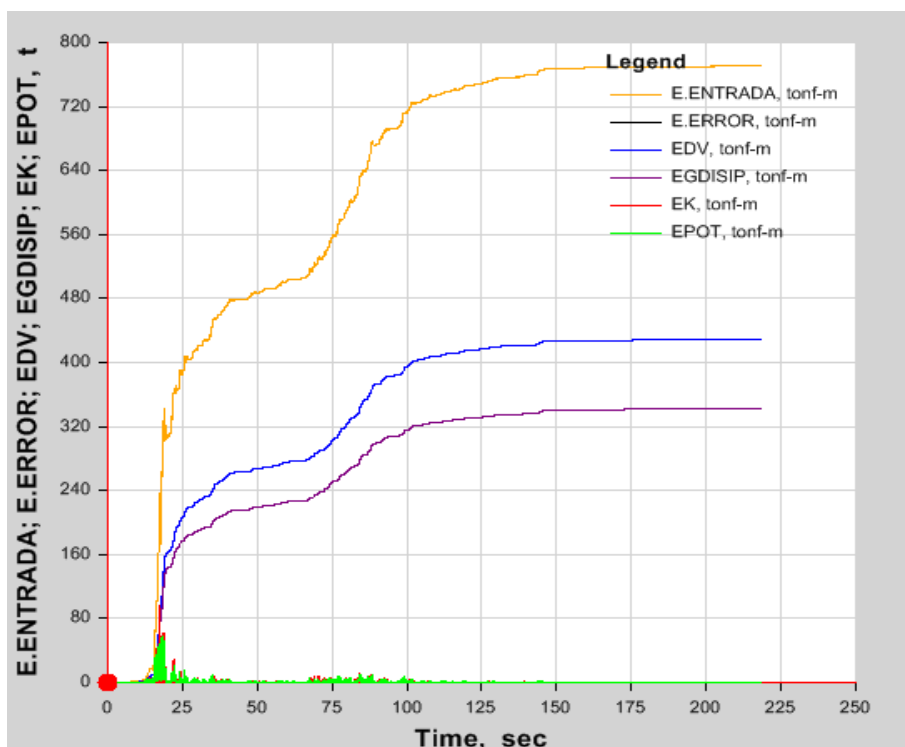
$$\varepsilon = 30.3\%$$

De donde el Beff queda expresado como $\varepsilon - 5 = 30.3 - 5 = 25.3\%$, valor correcto asumido al determinar el disipador.

3.3.5.10.6. BALANCE ENERGÉTICO CON DISIPADORES FLUIDO VISCOSOS

Como procedimiento de verificación final, con el fin de conocer la magnitud de disipación de energía de donde para nuestra edificación tenemos un valor de 55.7% (ver imagen N° 70).

Imagen 70: Balance Energético Con Disipadores Fluido Viscosos



3.3.5.11. ANÁLISIS SÍSMICO CON DISIPADORES DE FLUENCIA DE METALES

Para el análisis sísmico, incluyendo dispositivos pasivos de energía de fluencia de metales, consideraremos los criterios y disposiciones descritas en los ítems posteriores.

3.3.5.11.1. CÁLCULO DE PARÁMETROS PARA DISIPADOR DE FLUENCIA DE METALES TIPO TADAS

Para el presente proyecto se empleará disipadores de energía tipo TADAS en un rango no lineal, el cual presentará la geometría expuesta (ver figura N° 71).

Imagen 71: Geometría de Disipador tipo TADA

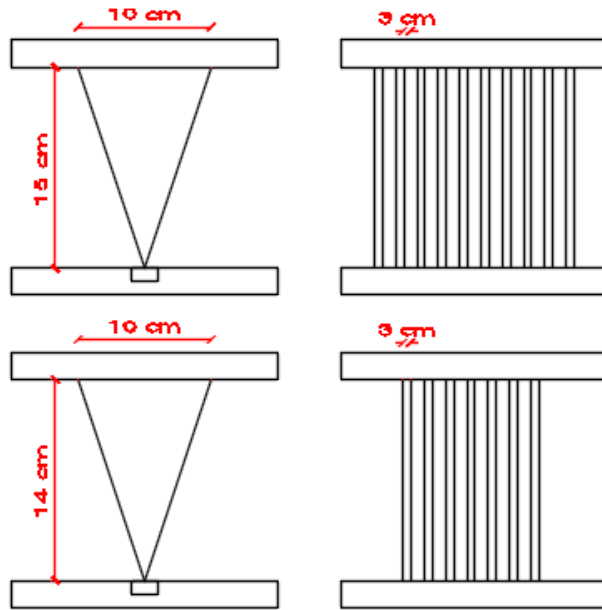


Imagen 72: Esquema general de disipador tipo TADA

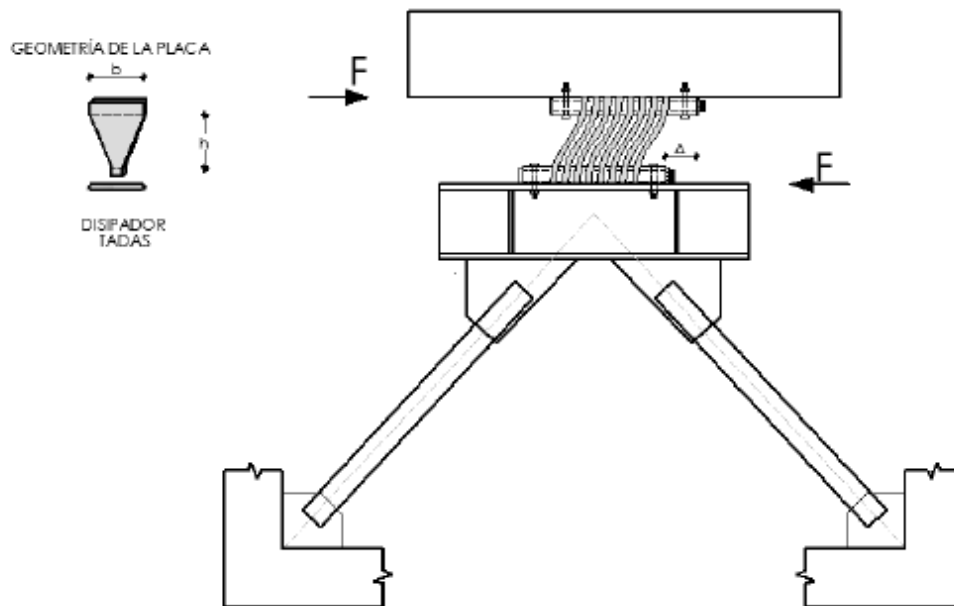
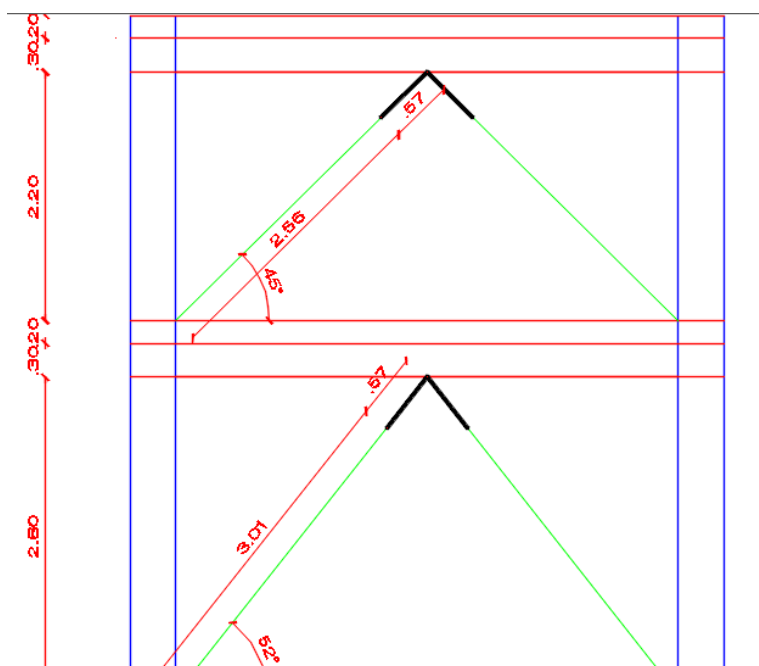


Imagen 73: Esquema de dimensionamiento de disipador



a) CÁLCULO DE PROPIEDADES DEL SISTEMA DE ARRIOSTRAMIENTO

Para el sistema de arriostramiento se asume el comportamiento de la misma en el rango elástico, por lo que se anula la posibilidad de pandeo.

Para determinar la rigidez del arriostramiento se define mediante la siguiente relación:

$$Kb = \frac{2AE \cos^2 \theta}{L}$$

De donde:

Eacero: 29000 ksi = 20.4 x10⁶Tn/m²

Área: 10.3 in²= 66.45x10⁻⁴m²

L1: 3.01 m

L2: 2.56 m

$$Kb1 = \frac{2 * 66.45 * 10^{-4} * 20.4 * 10^6 \cos^2 52^\circ}{3.01} = 34140 \text{ Tn/m}$$

$$K_{b2} - 13 = \frac{2 * 66.45 * 10^{-4} * 20.4 * 10^6 \cos 45^2}{2.56}$$

$$= 52952.3 \text{ Tn/m}$$

b) CÁLCULO PROPIEDADES DEL DISIPADOR DE FLUENCIA

La rigidez del disipador por fluencia tipo TADAS de acero A36 queda definida como:

$$K_{di} = \frac{NEbt^3}{6h^3 \cos \theta}$$

Donde:

N: Número de disipadores

E: Módulo de Elasticidad

b: Base del Disipador

t: Espesor de Disipador

h: Altura del Disipador

$$K_{1^\circ di} = \frac{11 * 20.4 * 10^6 * 0.10 * 0.035^3}{6 * 0.15^3 \cos 0}$$

$$K_{1^\circ di} = 47511.9 \text{ Tn/m}$$

$$K_{2 - 9^\circ di} = \frac{11 * 20.4 * 10^6 * 0.10 * 0.035^3}{6 * 0.145^3 \cos 0}$$

$$K_{2 - 9^\circ di} = 52598.3 \text{ Tn/m}$$

La fuerza de fluencia del disipador por fluencia tipo TADAS de acero A36 queda definida como:

$$V_{di} = \frac{N * f_y * bt^2}{6h \cos \theta}$$

N: Número de disipadores

f_y: Esfuerzo de Fluencia

b: Base del Disipador

t: Espesor de Disipador

h: Altura del Disipador

$$Vdi1^\circ = \frac{11 * 25200 * 0.10 * 0.035^2}{6 * 0.15 \cos 52}$$

$$Vdi1^\circ = 37.7 Tn$$

$$Vdi2 - 9^\circ = \frac{11 * 25200 * 0.10 * 0.035^2}{6 * 0.145 \cos 0}$$

$$Vdi2 - 8^\circ = 39 Tn$$

El desplazamiento de fluencia del disipador por fluencia tipo TADAS de acero A36 queda definida como:

$$\Delta yi1 = \frac{fy * h^2}{Et \cos \theta}$$

fy: Esfuerzo de Fluencia

t: Espesor de Disipador

h: Altura del Disipador

E: Módulo de Elasticidad

$$\Delta yi1^\circ = \frac{25200 * 0.15^2}{20.4x10^6 * 0.035 \cos 0}$$

$$\Delta yi1^\circ = 0.0008$$

$$\Delta yi2 - 9^\circ = \frac{25200 * 0.15^2}{20.4x10^6 * 0.035 \cos 0}$$

$$\Delta yi2 - 9^\circ = 0.0007$$

El amortiguamiento del disipador por fluencia tipo TADAS de acero A36 queda definida como:

$$Cd = \frac{4(Ke - Kh)\Delta yi(d0 - \Delta yi) * T1}{2\pi^2 * d0^2}$$

Cd: Amortiguamiento del disipador

Ke: Rigidez elástica inicial

Kh: Rigidez de deformación – endurecimiento

Δy_i : Desplazamiento de fluencia

do: Máximo desplazamiento

T1: Periodo Fundamental

Para obtener el coeficiente de amortiguamiento para un disipador de fluencia definiremos previamente el cálculo de rigidez por deformación – endurecimiento, para lo cual consideraremos una deformación última como 10 veces la deformación de fluencia, así como una rigidez de post fluencia como:

$$\Delta u = u \Delta y$$

$$\Delta u_{1^\circ} = 10 * 0.0008 = 0.008$$

$$\Delta u_{2 - 9^\circ} = 10 * 0.0007 = 0.007$$

$$F_u = \frac{n f_y b t^2}{4 h \cos \theta}$$

$$F_{u1^\circ} = \frac{11 * 25200 * 0.10 * 0.035^2}{4 * 0.15 * \cos 0} = 56.60 \text{ Tn}$$

$$\begin{aligned} F_{u2 - 9^\circ} &= \frac{11 * 25200 * 0.10 * 0.035^2}{4 * 0.145 * \cos 0} \\ &= 58.55 \text{ Tn} \end{aligned}$$

$$K_h = \frac{F_u - F_y}{\Delta u - \Delta y}$$

$$K_{h1^\circ} = \frac{56.60 - 37.70}{0.008 - 0.0008} = 2639.55 \text{ Ton}$$

$$K_{h2 - 9^\circ} = \frac{58.5 - 39.90}{0.007 - 0.0007} = 2922.13 \text{ Ton}$$

Con los datos obtenidos dispondremos el cálculo del coeficiente de amortiguamiento.

$$Cd1^\circ = \frac{4(47511.9-2639.5)*0.0008*(0.0045-0.0008)*1.135}{2\pi^2*0.0045^2} =$$

$$1499.88 \text{ Tn} * s/m$$

$$Cd2 - 9^\circ = \frac{4(52598.3-2922.1)*0.0007*(0.0045-0.0007)*1.135}{2\pi^2*0.0045^2} =$$

$$1573.39 \text{ Tn} * s/m$$

Con los datos obtenidos dispondremos el cálculo de la rigidez efectiva

$$Keff1^\circ = \frac{Fu}{\Delta u} = \frac{56.6}{0.008} = 7126.78 \text{ Ton/m}$$

$$Keff2 - 9^\circ = \frac{Fu}{\Delta u} = \frac{58.5}{0.007} = 7889.75 \text{ Ton/m}$$

Parámetro para variación de rótula de comportamiento del disipador

$$\alpha = \frac{Kh}{Ke} = \frac{2639.5}{47511.85} = 0.055 = 0.05$$

De lo expuesto, se concluye que los parámetros a emplear mediante un modelo bilineal del tipo plastic para el análisis en ETABS son Ka1:47511.85Ton/m, Ka2-8°:52598.30, Cd1: 1499.88, Cd2-8:1573.39, Keff1: 7126.78, Keff 2-8° 7889.55, $\alpha=0.04$ y Vd1°=37.73, Vd2-13°=39.03Tn.

3.3.5.11.2. COMPORTAMIENTO DE LA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE FLUENCIA DE METALES TIPO TADAS

Con los parámetros calculados de rigidez y amortiguamiento se realizó la disposición en altura de los disipadores de energía (ver imagen N° 74) y se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 51: Derivas con disipadores de fluencia de metales

| NIVEL | ANÁLISIS TH PISCO 2001 (°/oo) | Direction | Δ inelástica |
|---------|-------------------------------|-----------|---------------------|
| Story13 | DERIVAXX Max | X | 0.004017 |
| Story12 | DERIVAXX Max | X | 0.00458 |
| Story11 | DERIVAXX Max | X | 0.005025 |
| Story10 | DERIVAXX Max | X | 0.005378 |
| Story9 | DERIVAXX Max | X | 0.005685 |
| Story8 | DERIVAXX Max | X | 0.005827 |
| Story7 | DERIVAXX Max | X | 0.005552 |
| Story6 | DERIVAXX Max | X | 0.005216 |
| Story5 | DERIVAXX Max | X | 0.005065 |
| Story4 | DERIVAXX Max | X | 0.004752 |
| Story3 | DERIVAXX Max | X | 0.004217 |
| Story2 | DERIVAXX Max | X | 0.003478 |
| Story1 | DERIVAXX Max | X | 0.001661 |

Imagen 74: Disposición de Disipadores Tipo TADAS Eje 1

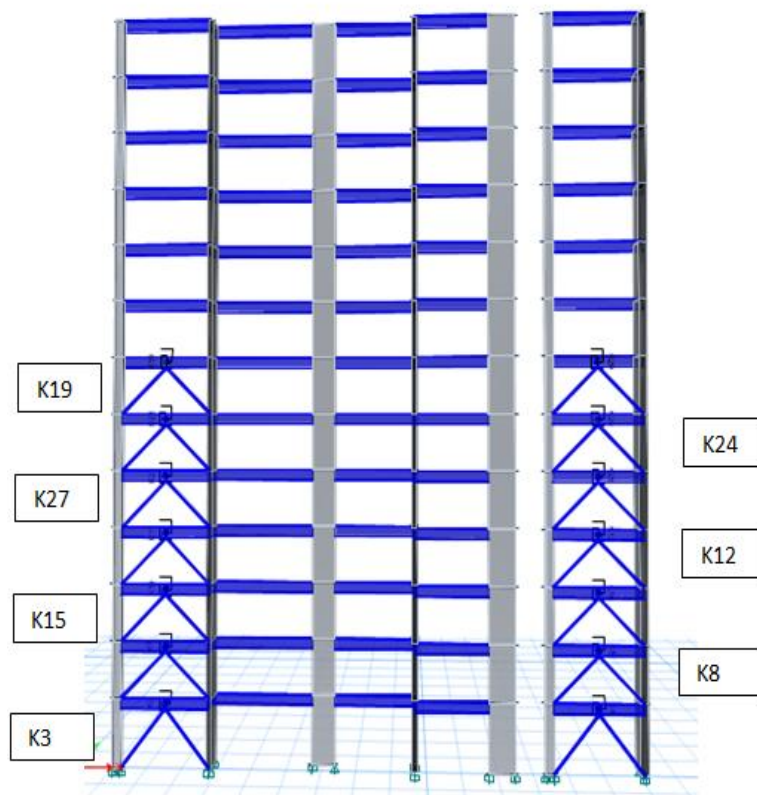
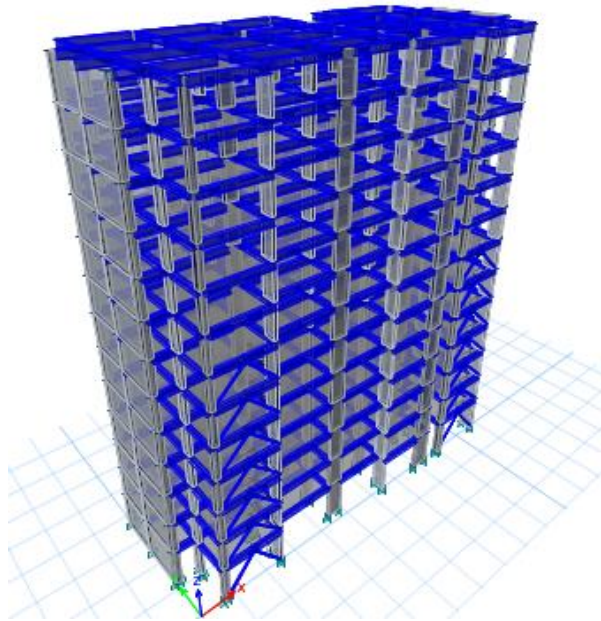


Imagen 75: Distribución de Disipadores Tipo TADAS



Debido a la gran cantidad de disipadores empleados en el presente trabajo y con la finalidad de obtener el comportamiento esperado (ver imagen N° 76), realizaremos la evaluación del eje 1 como eje representativo, así como de la disposición de disipadores establecidos en la imagen N° 68.

Imagen 76: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K3 Izquierda, K8 Derecha

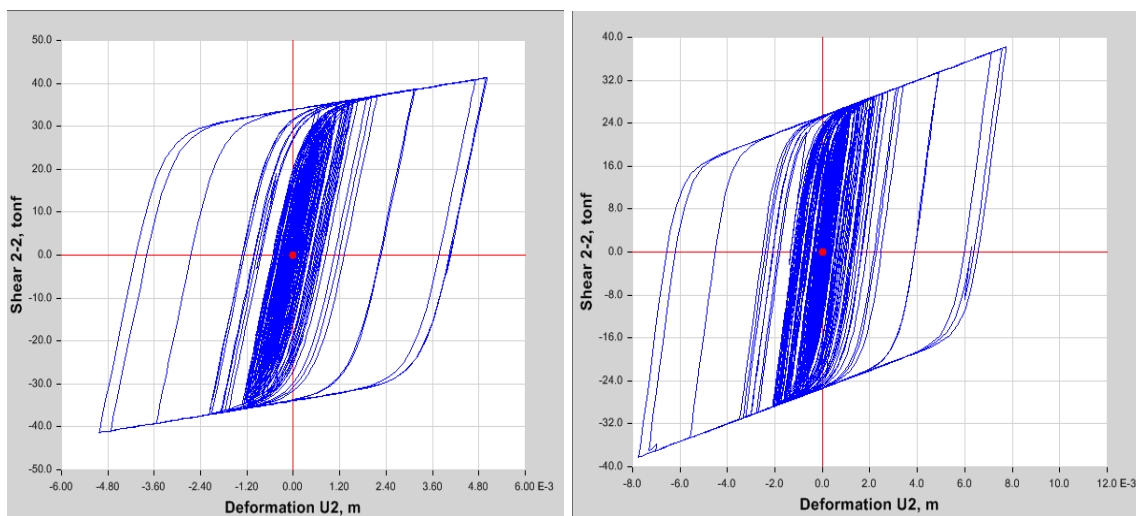


Imagen 77: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K15 Izquierda, K12 Derecha

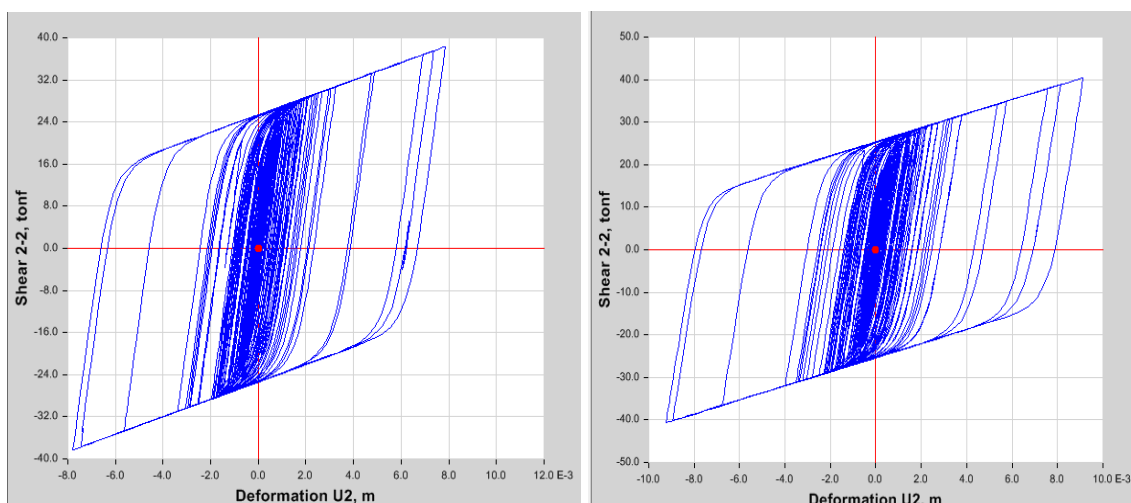
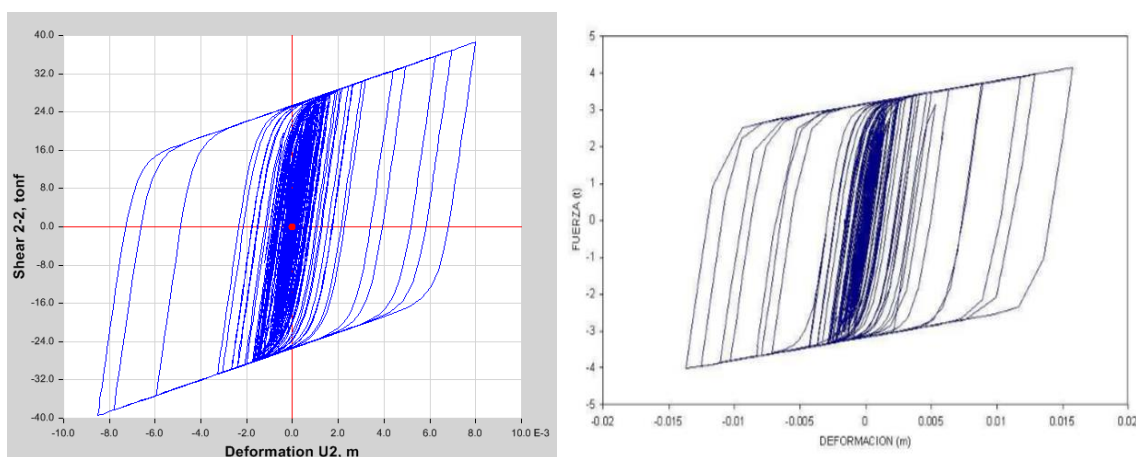


Imagen 78: Comportamiento histerético Disipador Tipo TADA K27 Izquierda comportamiento esperado de disipador histerético Derecha.



Evaluando la respuesta histerética de los disipadores, se muestran en las imágenes precedentes que todos presentan un comportamiento óptimo expresado en una forma elíptica de color azul, es decir, no se encontró disipadores con un comportamiento irregular.

3.3.5.11.3. DISEÑO DE DISIPADORES FLUENCIA DE METALES

Del análisis realizado se resume en la Tabla N° 52 el valor uniformizado de disipador tipo TADA de acero A36 a emplear.

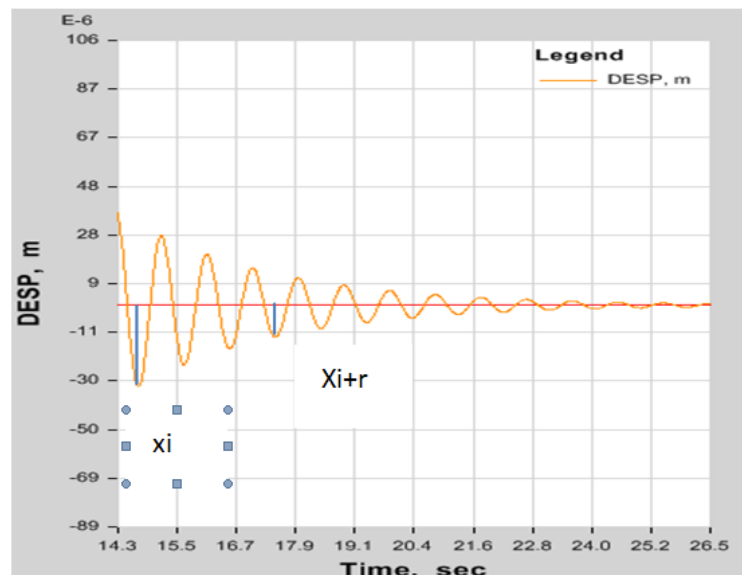
Tabla 52: Sección TADA de diseño

| TIPO DE DISIPADOR | b (cm) | h (cm) | e | N |
|-------------------|--------|--------|-------|----|
| T1 | 10 | 14.5 | 0.035 | 11 |

3.3.5.11.4. ANÁLISIS DE VIBRACIÓN LIBRE

Para comprobar el amortiguamiento propio de la estructura se empleó la fuerza impulsiva de forma triangular utilizando los desplazamientos en el último nivel y aplicando la fórmula del decremento logarítmico para definir el amortiguamiento de la estructura, obteniendo:

Imagen 79: Decremento Logarítmico Disipador de Fluencia



$$\ln\left(\frac{X_i}{X_i + r}\right) = \frac{2\pi\varepsilon}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

$$\ln\left(\frac{0.12}{0.32}\right) = \frac{2\pi\varepsilon}{\sqrt{1 - \varepsilon^2}}$$

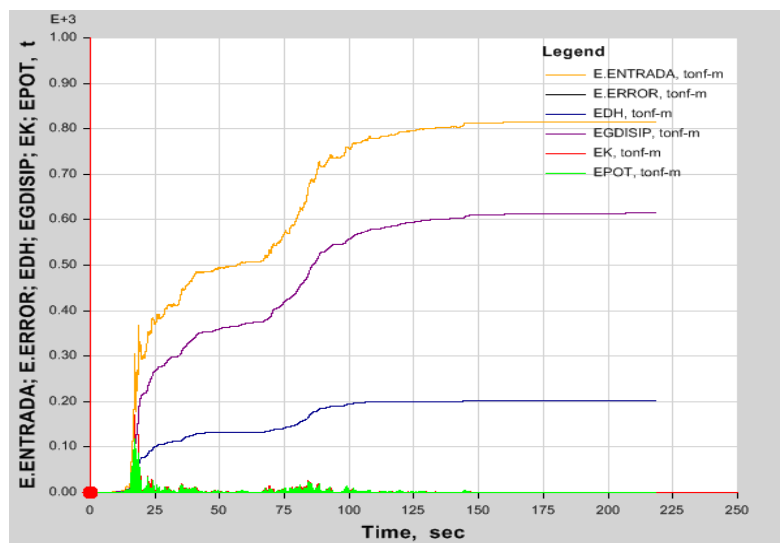
$$\varepsilon = 19.64 \%$$

De donde el Beff queda expresado como $\varepsilon=19.64-5=14.64\%$, valor correcto asumido al determinar el disipador.

3.3.5.11.5. BALANCE ENERGÉTICO CON DISIPADORES DE FLUENCIA DE METALES

Como procedimiento de verificación final y a fin de conocer la magnitud de disipación de energía, para nuestra edificación tenemos una energía de entrada 817.68 Tn-m la cual es transformada en Energía Cinética 160.36 Ton-m (19.61%), Energía Potencial 110.21 Tn-m (13.48%), Energía de Amortiguamiento Inherente 340.24 (41.61%), Error o Energía Disipada de 0.0156 Tn-m (0.00001 %), generando 206.87 Tn-m (25.3%) de disipación de energía por disipador histerética.

Imagen 80: Balance Energético con Disipadores de Fluencia de Metales



CAPÍTULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1. ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO

En el presente capítulo se realizó el análisis sísmico comparativo entre la estructura reforzada con muros de corte o placas y la estructura reforzada con disipadores viscosos, fluencia de metales, mediante 4 criterios principales: análisis de disipación de energía, análisis de desplazamientos laterales, análisis de fuerzas cortantes, normales, momentos velocidades, aceleraciones y costos.

El objetivo del ítem es realizar un amplio análisis sísmico de la estructura que nos permita establecer las ventajas de una estructura frente a la otra, teniendo en cuenta que los análisis realizados en base al criterio normativo vigente para validar de forma más objetiva los resultados obtenidos.

Finalmente, se busca demostrar la hipótesis inicial de la presente tesis tomando en cuenta los resultados y análisis realizados.

4.1.1. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE CONTROL DE ENTREPISO

Del análisis sísmico del proyecto en el eje X, se logró una reducción de deriva máxima entre un 37.49% a 44.65% con disipadores fluido viscosos, lográndose la máxima reducción en el sexto nivel respecto a la edificación sin disipadores de energía, mientras que empleando disipadores de fluencia de metales se redujo entre un 32.87% a un 41.75%, lográndose la máxima reducción en el 4 nivel (41.75) tal como se aprecia en la tabla 55.

Imagen 81: Comparación de derivas de diseño

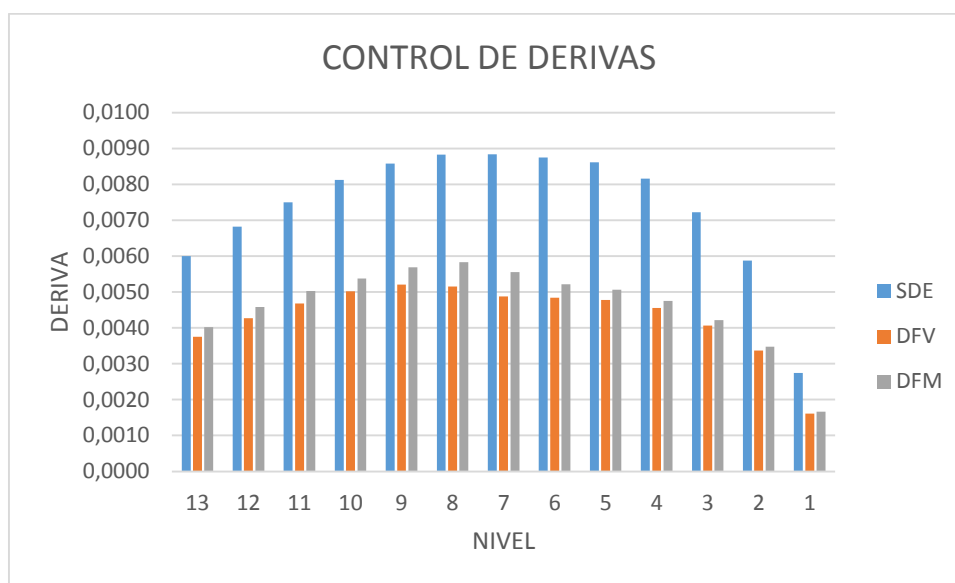


Tabla 53: Comparación de derivas de diseño eje X

| NIVEL | ANÁLISIS TH PISCO 2001 (°/oo) | Direction | Δ (SDE) | Δ (DVE) | % REDUCCIÓN | Δ (DFM) | % REDUCCIÓN |
|-------|-------------------------------|-----------|----------------|----------------|-------------|----------------|-------------|
| 13 | DERIVAXX Max | X | 0.0060 | 0.0038 | 37.49% | 0.0040 | 33.09% |
| 12 | DERIVAXX Max | X | 0.0068 | 0.0043 | 37.43% | 0.0046 | 32.87% |
| 11 | DERIVAXX Max | X | 0.0075 | 0.0047 | 37.63% | 0.0050 | 33.02% |
| 10 | DERIVAXX Max | X | 0.0081 | 0.0050 | 38.22% | 0.0054 | 33.78% |
| 9 | DERIVAXX Max | X | 0.0086 | 0.0052 | 39.31% | 0.0057 | 33.73% |
| 8 | DERIVAXX Max | X | 0.0088 | 0.0052 | 41.63% | 0.0058 | 33.97% |
| 7 | DERIVAXX Max | X | 0.0088 | 0.0049 | 44.77% | 0.0056 | 37.15% |
| 6 | DERIVAXX Max | X | 0.0088 | 0.0048 | 44.65% | 0.0052 | 40.40% |
| 5 | DERIVAXX Max | X | 0.0086 | 0.0048 | 44.51% | 0.0051 | 41.18% |
| 4 | DERIVAXX Max | X | 0.0082 | 0.0046 | 44.20% | 0.0048 | 41.75% |
| 3 | DERIVAXX Max | X | 0.0072 | 0.0041 | 43.76% | 0.0042 | 41.63% |
| 2 | DERIVAXX Max | X | 0.0059 | 0.0034 | 42.75% | 0.0035 | 40.84% |
| 1 | DERIVAXX Max | X | 0.0027 | 0.0016 | 41.39% | 0.0017 | 39.42% |

Para el eje Y, no se consideró el uso de disipadores de energía, obteniéndose los resultados expuestos en la tabla N°56.

Tabla 54: Derivas de diseño eje Y

| Story | Load Case/Combo | Direction | Drift |
|---------|-----------------|-----------|--------|
| Story13 | DERIVAYY Max | Y | 0.0055 |
| Story12 | DERIVAYY Max | Y | 0.0058 |
| Story11 | DERIVAYY Max | Y | 0.0061 |
| Story10 | DERIVAYY Max | Y | 0.0065 |
| Story9 | DERIVAYY Max | Y | 0.0068 |
| Story8 | DERIVAYY Max | Y | 0.007 |
| Story7 | DERIVAYY Max | Y | 0.007 |
| Story6 | DERIVAYY Max | Y | 0.007 |
| Story5 | DERIVAYY Max | Y | 0.0069 |
| Story4 | DERIVAYY Max | Y | 0.0064 |
| Story3 | DERIVAYY Max | Y | 0.0056 |
| Story2 | DERIVAYY Max | Y | 0.0044 |
| Story1 | DERIVAYY Max | Y | 0.0019 |

4.1.2. ANÁLISIS COMPARATIVO DE DESPLAZAMIENTOS DE CENTROS DE MASA

Del análisis sísmico del proyecto, en el eje X se logró una reducción de desplazamiento máximo dc centro de masa entre un 41.33% a 44.20% con disipadores fluido viscosos respecto a la edificación sin disipadores de energía, mientras que empleando disipadores de fluencia de metales se redujo de un 36.99 % a un 43.92%, tal como se aprecia en la tabla N° 55.

Imagen 82: Desplazamiento de CM

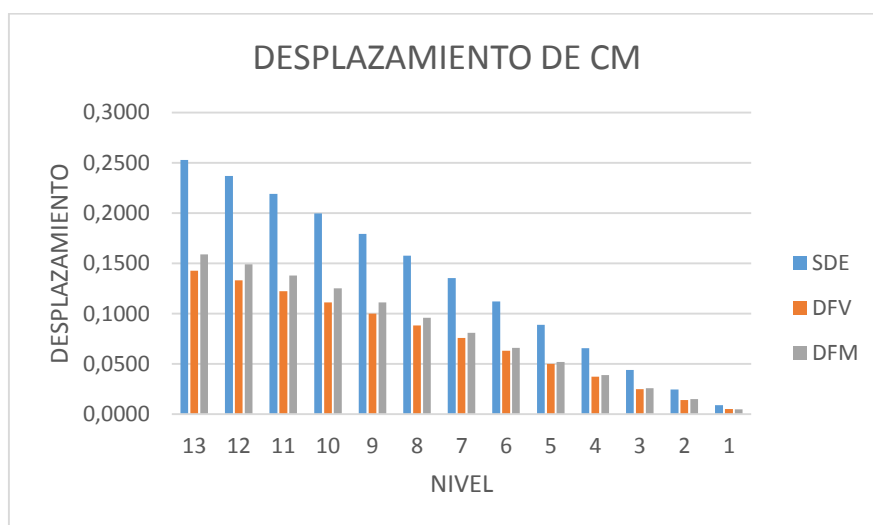


Tabla 55: Desplazamiento de CM

| NIVEL | ANÁLISIS TH PISCO 2001 (°/oo) | Direction | Δ (SDE) | Δ (DVE) | % REDUCCIÓN | Δ (DFM) | % REDUCCIÓN |
|-------|-------------------------------------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 13 | DESP.CM | X | 0.2527 | 0.1428 | 43.48% | 0.1590 | 37.07% |
| 12 | DESP.CM | X | 0.2368 | 0.1330 | 43.81% | 0.1490 | 37.07% |
| 11 | DESP.CM | X | 0.2190 | 0.1223 | 44.15% | 0.1380 | 36.99% |
| 10 | DESP.CM | X | 0.1997 | 0.1112 | 44.32% | 0.1250 | 37.40% |
| 9 | DESP.CM | X | 0.1792 | 0.1000 | 44.20% | 0.1110 | 38.06% |
| 8 | DESP.CM | X | 0.1578 | 0.0883 | 44.02% | 0.0960 | 39.15% |
| 7 | DESP.CM | X | 0.1353 | 0.0759 | 43.90% | 0.0810 | 40.13% |
| 6 | DESP.CM | X | 0.1122 | 0.0630 | 43.79% | 0.0660 | 41.15% |
| 5 | DESP.CM | X | 0.0887 | 0.0500 | 43.60% | 0.0520 | 41.39% |
| 4 | DESP.CM | X | 0.0657 | 0.0372 | 43.32% | 0.0390 | 40.60% |
| 3 | DESP.CM | X | 0.0438 | 0.0250 | 42.94% | 0.0260 | 40.70% |
| 2 | DESP.CM | X | 0.0246 | 0.0142 | 42.22% | 0.0150 | 38.94% |
| 1 | DESP.CM | X | 0.0089 | 0.0052 | 41.33% | 0.0050 | 43.92% |

4.1.3. ANÁLISIS COMPARATIVO DE FUERZAS

Otro parámetro importante de comparación entre los sistemas de reforzamiento presentados son las fuerzas máximas que se presentan en los elementos verticales de la estructura.

A continuación, se presentan para las columnas específicas C1, C2 que trabajan con y sin disipadores de energía (ver imagen N° 75) para comparar los resultados de la fuerza axial y fuerza cortante entre los 3 modelos y determinar el porcentaje de variación, entre ellos debido a la incorporación de disipadores de energía.

Imagen 83: Esquema de Verificación de Fuerzas para columnas Eje 1X

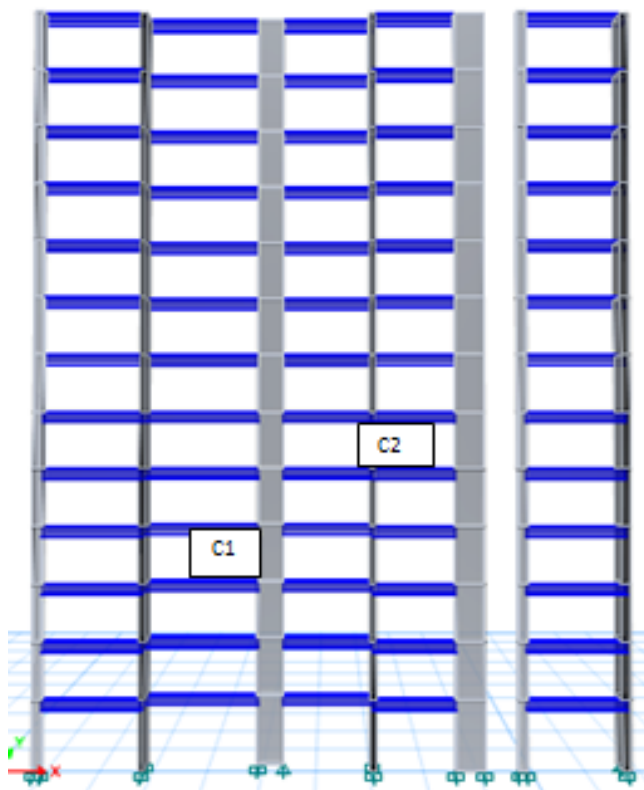


Tabla 56: Comparación de axiales de diseño elemento C1

| C1 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|---------|----------|----------------|----------|----------------|
| 13 | 9.71 | 6.7085 | 30.91% | 7.6871 | 20.84% |
| 12 | 20.64 | 14.2042 | 31.16% | 16.2616 | 21.19% |
| 11 | 34.09 | 23.1852 | 31.99% | 26.3375 | 22.74% |
| 10 | 51.11 | 34.1715 | 33.14% | 38.4232 | 24.83% |
| 9 | 71.23 | 46.6264 | 34.54% | 51.7712 | 27.32% |
| 8 | 94.08 | 60.1608 | 36.06% | 65.7927 | 30.07% |
| 7 | 118.93 | 73.8956 | 37.87% | 79.6305 | 33.04% |
| 6 | 144.74 | 87.2578 | 39.71% | 94.1327 | 34.96% |
| 5 | 170.54 | 100.2169 | 41.24% | 109.3811 | 35.86% |
| 4 | 195.88 | 112.5575 | 42.54% | 124.5052 | 36.44% |
| 3 | 219.39 | 124.1181 | 43.42% | 138.6371 | 36.81% |
| 2 | 239.01 | 133.7621 | 44.04% | 150.4462 | 37.06% |
| 1 | 253.25 | 141.1497 | 44.27% | 158.9625 | 37.23% |

Imagen 84: Comparación de axiales de diseño C1

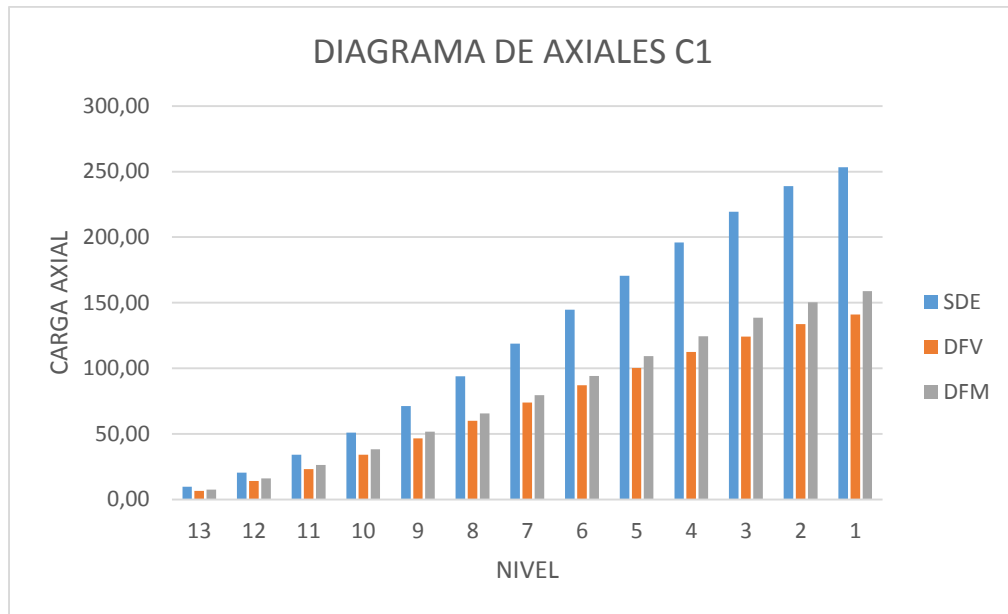


Tabla 57: Comparación de fuerza cortante elemento C1

| C1 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|---------|---------|-------------|---------|-------------|
| 13 | 54.1524 | 33.778 | 37.62% | 36.1866 | 33.18% |
| 12 | 40.147 | 25.2987 | 36.98% | 27.805 | 30.74% |
| 11 | 52.5938 | 33.0217 | 37.21% | 34.9454 | 33.56% |
| 10 | 54.3484 | 34.025 | 37.39% | 37.4521 | 31.09% |
| 9 | 58.579 | 35.6639 | 39.12% | 37.3235 | 36.29% |
| 8 | 59.8589 | 37.753 | 36.93% | 44.0225 | 26.46% |
| 7 | 60.3377 | 33.2565 | 44.88% | 37.0098 | 38.66% |
| 6 | 59.5636 | 32.8202 | 44.90% | 31.4422 | 47.21% |
| 5 | 60.2148 | 33.3387 | 44.63% | 37.7343 | 37.33% |
| 4 | 56.3038 | 31.628 | 43.83% | 30.7496 | 45.39% |
| 3 | 55.0544 | 30.8292 | 44.00% | 33.4236 | 39.29% |
| 2 | 32.4817 | 19.0182 | 41.45% | 17.2877 | 46.78% |
| 1 | 58.2099 | 36.9329 | 36.55% | 40.2287 | 30.89% |

Imagen 85: Comparación de cortantes C1

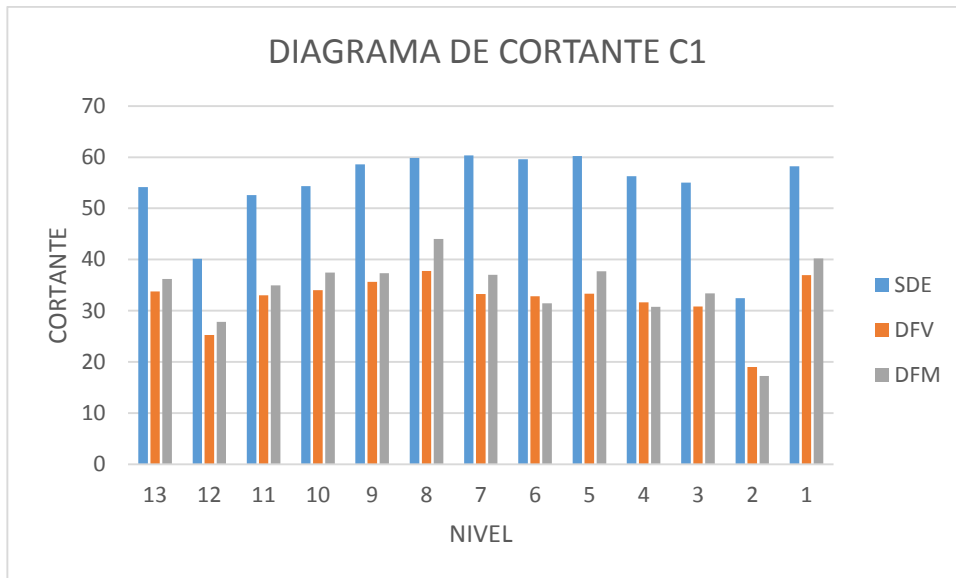


Tabla 58: Comparación de Momentos elemento C1

| C1 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|---------|---------|-------------|---------|-------------|
| 13 | 94.9232 | 55.3305 | 41.71% | 74.1146 | 21.92% |
| 12 | 65.2813 | 38.3933 | 41.19% | 51.7788 | 20.68% |
| 11 | 86.4718 | 49.9154 | 42.28% | 66.1084 | 23.55% |
| 10 | 86.4664 | 48.9684 | 43.37% | 67.1078 | 22.39% |
| 9 | 91.4195 | 49.9785 | 45.33% | 64.65 | 29.28% |
| 8 | 90.5495 | 48.866 | 46.03% | 66.735 | 26.30% |
| 7 | 87.5557 | 37.0204 | 57.72% | 46.0753 | 47.38% |
| 6 | 79.6036 | 40.4551 | 49.18% | 38.9552 | 51.06% |
| 5 | 71.9673 | 37.7601 | 47.53% | 46.5226 | 35.36% |
| 4 | 58.3406 | 32.3062 | 44.62% | 34.9592 | 40.08% |
| 3 | 45.4099 | 26.5583 | 41.51% | 33.7355 | 25.71% |
| 2 | 21.7468 | 12.6954 | 41.62% | 12.6763 | 41.71% |
| 1 | 31.3716 | 20.2704 | 35.39% | 24.5717 | 21.68% |

Imagen 86: Comparación de Momentos C1

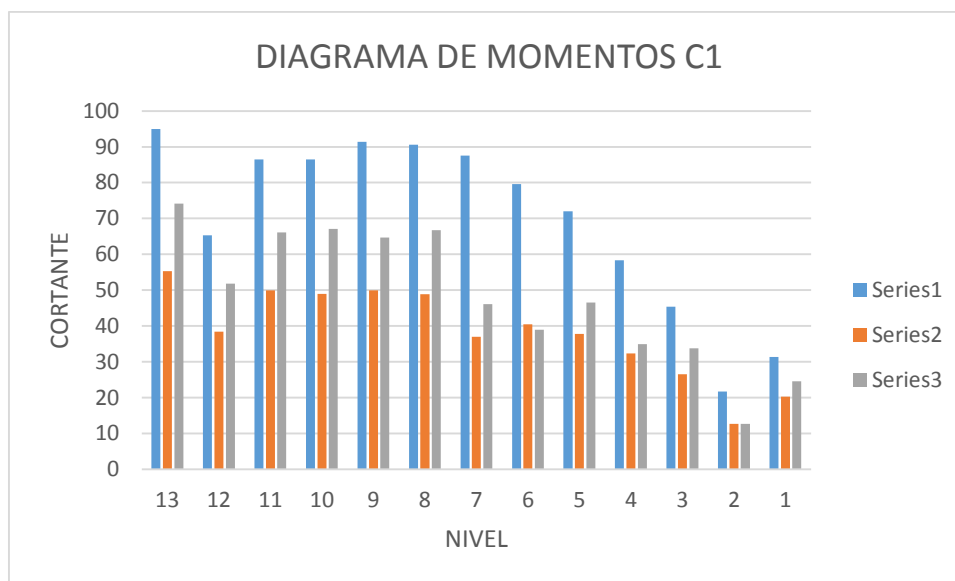


Tabla 59: Comparación de Axiales C2

| C2 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|----------|----------|-------------|----------|-------------|
| 13 | 8.5156 | 5.0783 | 40.36% | 6.701 | 21.31% |
| 12 | 21.7806 | 12.9666 | 40.47% | 17.1094 | 21.45% |
| 11 | 37.2749 | 22.1335 | 40.62% | 29.2306 | 21.58% |
| 10 | 55.0774 | 32.5084 | 40.98% | 43.0299 | 21.87% |
| 9 | 75.0401 | 43.8751 | 41.53% | 58.1826 | 22.46% |
| 8 | 96.6189 | 55.7364 | 42.31% | 74.0963 | 23.31% |
| 7 | 119.1468 | 67.3473 | 43.48% | 89.5069 | 24.88% |
| 6 | 142.3278 | 78.6601 | 44.73% | 103.5751 | 27.23% |
| 5 | 165.3786 | 89.7029 | 45.76% | 116.9154 | 29.30% |
| 4 | 187.08 | 100.0033 | 46.55% | 129.4498 | 30.81% |
| 3 | 206.5171 | 109.2549 | 47.10% | 140.6939 | 31.87% |
| 2 | 222.7905 | 117.1388 | 47.42% | 150.188 | 32.59% |
| 1 | 234.2952 | 122.5959 | 47.67% | 157.0485 | 32.97% |

Imagen 87: Comparación de Axiales C2

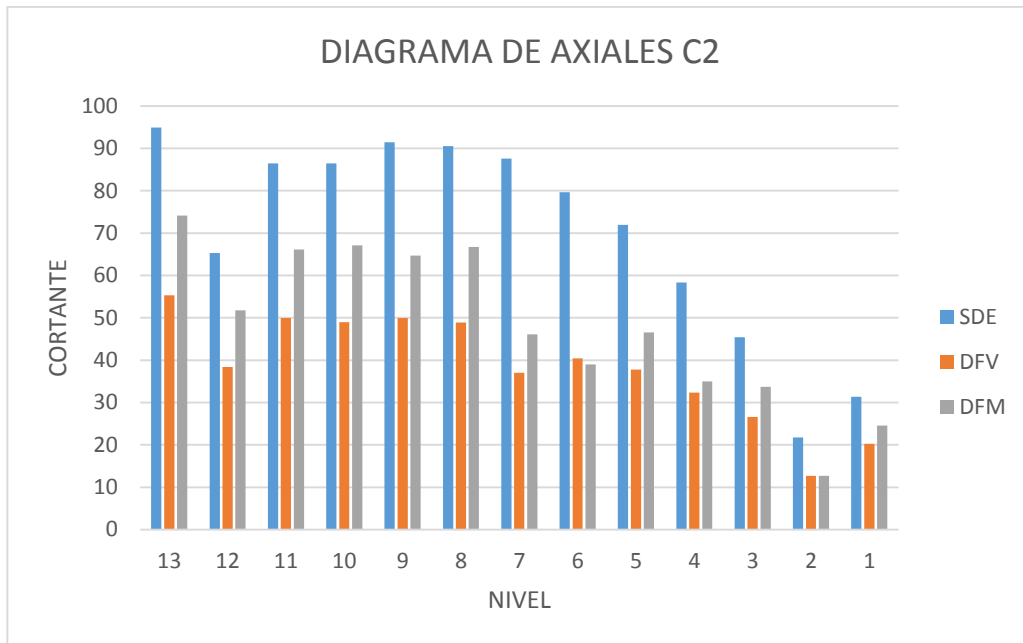


Tabla 60: Comparación de Cortantes C2

| C2 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|---------|---------|-------------|---------|-------------|
| 13 | 54.1524 | 33.778 | 37.62% | 36.1866 | 33.18% |
| 12 | 40.147 | 25.2987 | 36.98% | 27.805 | 30.74% |
| 11 | 52.5938 | 33.0217 | 37.21% | 34.9454 | 33.56% |
| 10 | 54.3484 | 34.025 | 37.39% | 37.4521 | 31.09% |
| 9 | 58.579 | 35.6639 | 39.12% | 37.3235 | 36.29% |
| 8 | 59.8589 | 37.753 | 36.93% | 44.0225 | 26.46% |
| 7 | 60.3377 | 33.2565 | 44.88% | 37.0098 | 38.66% |
| 6 | 59.5636 | 32.8202 | 44.90% | 31.4422 | 47.21% |
| 5 | 60.2148 | 33.3387 | 44.63% | 37.7343 | 37.33% |
| 4 | 56.3038 | 31.628 | 43.83% | 30.7496 | 45.39% |
| 3 | 55.0544 | 30.8292 | 44.00% | 33.4236 | 39.29% |
| 2 | 32.4817 | 19.0182 | 41.45% | 17.2877 | 46.78% |
| 1 | 58.2099 | 36.9329 | 36.55% | 40.2287 | 30.89% |

Imagen 88: Comparación de cortantes en C2

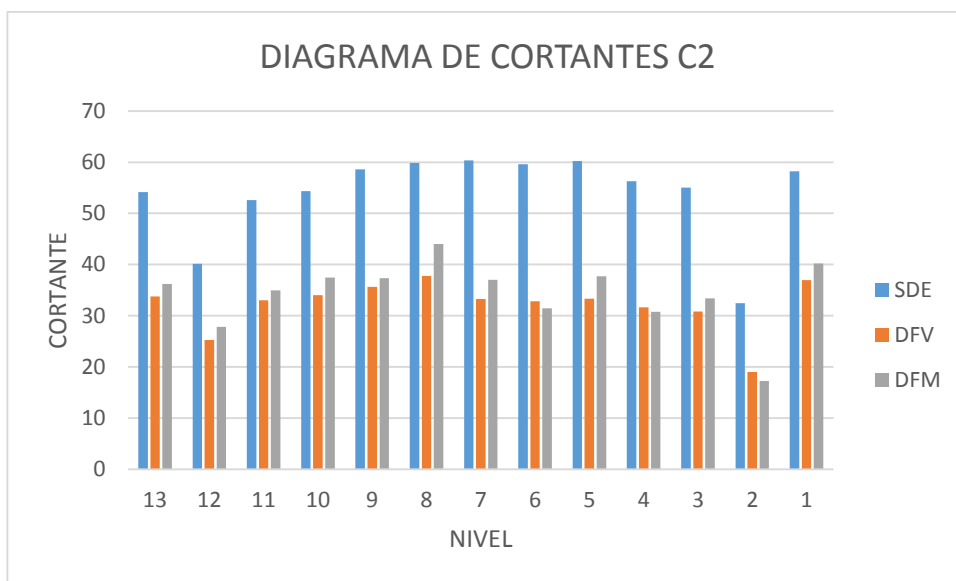
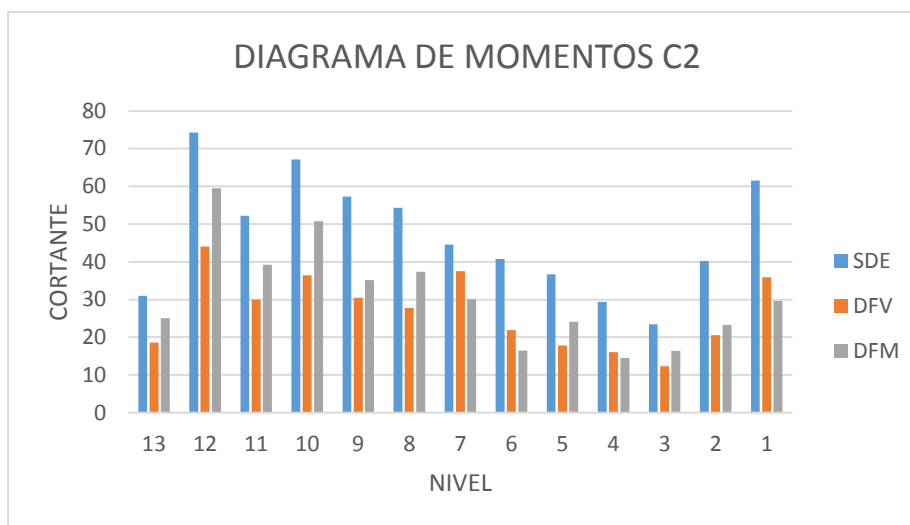


Tabla 61: Comparación de Momentos C2

| C2 EJE 1 | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----------|---------|---------|----------------|---------|----------------|
| 13 | 30.9853 | 18.5692 | 40.07% | 25.0416 | 19.18% |
| 12 | 74.2937 | 44.0585 | 40.70% | 59.468 | 19.96% |
| 11 | 52.1793 | 29.9328 | 42.63% | 39.2092 | 24.86% |
| 10 | 67.119 | 36.4244 | 45.73% | 50.7694 | 24.36% |
| 9 | 57.2944 | 30.4924 | 46.78% | 35.1118 | 38.72% |
| 8 | 54.3398 | 27.7432 | 48.94% | 37.37 | 31.23% |
| 7 | 44.542 | 37.505 | 15.80% | 30.0393 | 32.56% |
| 6 | 40.7632 | 21.9016 | 46.27% | 16.4451 | 59.66% |
| 5 | 36.6552 | 17.7948 | 51.45% | 24.1316 | 34.17% |
| 4 | 29.3868 | 16.0458 | 45.40% | 14.556 | 50.47% |
| 3 | 23.4128 | 12.3319 | 47.33% | 16.4054 | 29.93% |
| 2 | 40.2369 | 20.5285 | 48.98% | 23.2554 | 42.20% |
| 1 | 61.516 | 35.9399 | 41.58% | 29.5955 | 51.89% |

Imagen 89: Comparación Momentos C2



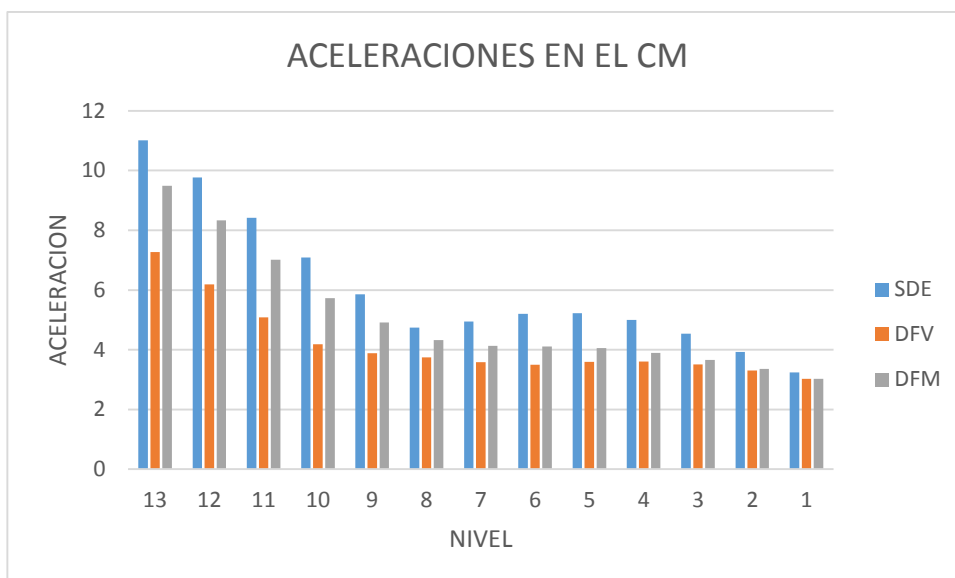
4.1.4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE ACELERACIONES Y VELOCIDADES

Un parámetro importante de comparación entre los sistemas de reforzamiento presentados son las aceleraciones máximas y velocidades de centro de masa que se presentan en los elementos verticales de la estructura.

Tabla 62: Aceleración comparativa en el Centro de Masa

| CM | V (SDE) | V (DVE) | % REDUCCIÓN | V(DFM) | % REDUCCIÓN |
|----|---------|---------|-------------|--------|-------------|
| 13 | 11.0118 | 7.2711 | 33.97% | 9.49 | 13.82% |
| 12 | 9.7687 | 6.1881 | 36.65% | 8.33 | 14.73% |
| 11 | 8.4198 | 5.0818 | 39.64% | 7.01 | 16.74% |
| 10 | 7.0919 | 4.1856 | 40.98% | 5.73 | 19.20% |
| 9 | 5.8518 | 3.8849 | 33.61% | 4.91 | 16.09% |
| 8 | 4.7445 | 3.7492 | 20.98% | 4.32 | 8.95% |
| 7 | 4.9465 | 3.5884 | 27.46% | 4.13 | 16.51% |
| 6 | 5.2045 | 3.4987 | 32.78% | 4.11 | 21.03% |
| 5 | 5.2205 | 3.5965 | 31.11% | 4.06 | 22.23% |
| 4 | 4.998 | 3.6066 | 27.84% | 3.9 | 21.97% |
| 3 | 4.5372 | 3.508 | 22.68% | 3.66 | 19.33% |
| 2 | 3.9288 | 3.308 | 15.80% | 3.36 | 14.48% |
| 1 | 3.2418 | 3.0266 | 6.64% | 3.03 | 6.53% |

Imagen 90: Aceleración comparativa en el Centro de Masa



Considerando las tablas, se concluye que la inclusión de los disipadores fluido viscosos representa una reducción de aceleración de 40.98% costo del proyecto frente a un 22.23% empleando disipadores fluencia de metales.

4.1.5. ANÁLISIS COMPARATIVO DE COSTOS

El costo del proyecto con influencia de disipadores y sin ellos, se determinará considerando ratios referenciales de construcción para conocer el porcentaje de incidencia en el costo del proyecto. Se consideran precios de disipadores según la empresa americana Taylor para los disipadores Fluido Viscosos y la empresa Chilena Service para precios de disipadores de Fluencia.

Tabla 63: Costo de edificación convencional (elaboración propia)

| COSTO DE EDIFICACIÓN CON MUROS | | | | | |
|--------------------------------|------------------------|----|-------------|------------|---------|
| ESPECIALIDAD | ÁREA (m ²) | N | P. UNIT. \$ | PARCIAL \$ | % COSTO |
| ESTRUCTURA | 416.63 | 13 | 90 | 487457.1 | 100.00% |
| ARQUITECTURA | 416.63 | 13 | 130 | 704104.7 | |
| ELÉCTRICAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| SANITRIAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| S.TOTAL | | | | 1354047.5 | |
| IGV (18%) | | | | 243728.55 | |
| TOTAL | | | | 1597776.05 | |

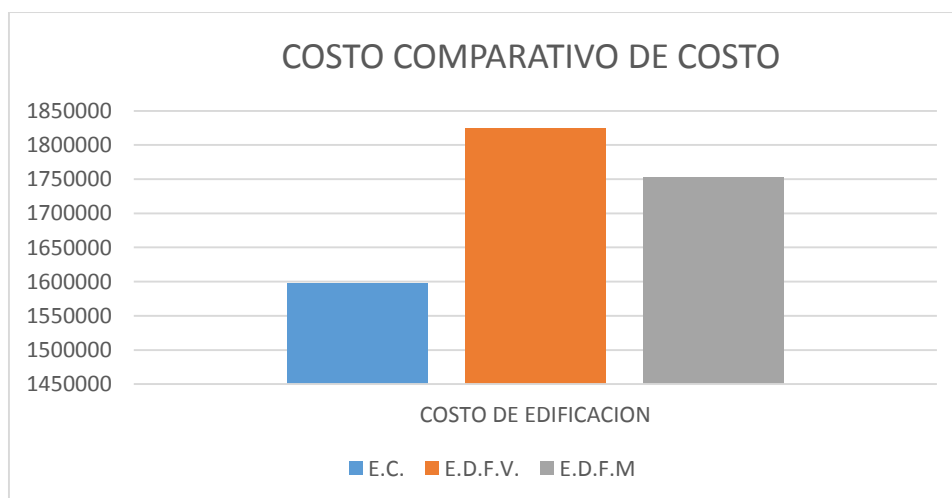
Tabla 64: Costo de edificación con Disipadores Fluido Viscoso (elaboración propia)

| COSTO DE EDIFICACIÓN CON DISIPADORES VISCOSOS | | | | | |
|---|-----------|----|-------------|------------|------------|
| ESPECIALIDAD | ÁREA (m2) | N | P. UNIT. \$ | PARCIAL \$ | % VAR. (+) |
| ESTRUCTURA | 416.63 | 13 | 80 | 433295.2 | 114.20% |
| ARQUITECTURA | 416.63 | 13 | 130 | 704104.7 | |
| ELÉCTRICAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| SANITRIAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| DIS. FV.22o Kip | | 28 | 8000 | 224000 | |
| CONEXIONES | | 28 | 800 | 22400 | |
| S.TOTAL | | | | 1546285.6 | |
| IGV (18%) | | | | 278331.408 | |
| TOTAL | | | | 1824617.01 | |

Tabla 65: Costo de edificación con Disipadores Fluencia de Metales (elaboración propia)

| COSTO DE EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE FLUENCIA | | | | | |
|--|-----------|----|-------------|------------|------------|
| ESPECIALIDAD | ÁREA (m2) | N | P. UNIT. \$ | PARCIAL \$ | % VAR. (+) |
| ESTRUCTURA | 416.63 | 13 | 80 | 433295.2 | 109.65% |
| ARQUITECTURA | 416.63 | 13 | 130 | 704104.7 | |
| ELÉCTRICAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| SANITRIAS | 416.63 | 13 | 15 | 81242.85 | |
| DIS. FM | 416.63 | 13 | 30 | 162485.7 | |
| CONEXIONES | | 28 | 800 | 22400 | |
| S.TOTAL | | | | 1484771.3 | |
| IGV (18%) | | | | 267258.834 | |
| TOTAL | | | | 1752030.13 | |

Imagen 91: Costo Comparativo entre Sistemas Sísmicos



Considerando las tablas expuestas, se concluye la economicidad y funcionabilidad de los disipadores de fluencia, los que representan un 9.65% de costo del proyecto frente a un 14.22% empleando disipadores fluido viscoso.

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. CONCLUSIONES

5.1.1. CONTROL DE DERIVAS

Se concluye que en la dirección X una deriva máxima 5.9%0 y de 6.3%0 en la dirección Y para la edificación estudiada y sometida a un sismo moderado empleando un sistema de reforzamiento convencional bajo un análisis dinámico espectral.

Reducción de derivas en un rango de 37.43% a 44.65% para una edificación con inclusión de disipadores fluido viscosos con respecto a un rango 32.02% a 41.75% incluyendo disipadores de fluencia de metales tipo TADAS frente a una edificación convencional para el eje X.

5.1.2. CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS DE MASA

El desplazamiento máximo del centro de masa al realizar la inclusión de disipadores de energía fluido viscosos en la dirección X se redujo a 0.1428 m, representando un 43.38% y de 0.159m con un 37.07% respecto a una edificación convencional.

5.1.3. CONTROL DE FUERZAS Y MOMENTOS

Incluyendo sistemas de disipación fluido viscosos, se logró una reducción porcentual de fuerza axial en un rango de 30.91% a 44.27% mientras que

empleando disipadores de fluencia se logró una reducción de 20.84% a 37.23% con respecto a una edificación convencional.

Incluyendo sistemas de disipación fluido viscosos se logró una reducción porcentual de cortante en un rango de 33.55% a 44.90%, mientras que empleando disipadores de fluencia se logró una reducción de 26.46% a 45.39% con respecto a una edificación convencional.

Incluyendo sistemas de disipación fluido viscosos se logró una reducción porcentual de momentos en un rango de 35.39% a 57.72%, mientras que empleando disipadores de fluencia se logró una reducción de 21.68% a 41.71% con respecto a una edificación convencional.

5.1.4. COSTOS, MANTENIMIENTO

Un sistema de disipación de fluido viscoso necesita mantenimiento y calibración esporádica del sistema frente a un evento sísmico severo, representando un incremento de 14.20% en costo respecto a emplear el sistema de muros estructurales.

Un sistema de disipación de fluencia de metales necesita poco mantenimiento y para el proyecto representa 9.65% de costo mayor al de una edificación convencional, haciéndola una alternativa factible para el proyecto en estudio por su bajo costo y comportamiento.

5.2. RECOMENDACIONES

5.2.1. ANÁLISIS SÍSMICO

Para el análisis del proyecto se consideró el uso de acelerogramas escalados, los cuales deben ser extraídos de una fuente confiable como la REDACIS (Red Acelerográfica del CISMID).

Se recomienda utilizar los disipadores de fluido viscoso en edificaciones flexibles y fluencia de metales en edificaciones de estructuras rígidas, para que este trabaje adecuadamente controlando así deformaciones y reduzca los esfuerzos en las columnas y vigas.

Difundir el empleo de disipadores de fluencia de metales, ya que como se describió en el proyecto presenta propiedades óptimas de diseño y un menor costo de implementación en el proyecto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Assereto, A., & Gamboa, M. (2013). *Análisis sísmico comparativo entre el reforzamiento tradicional con placas y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para el edificio administrativo "Centro Comercial Intisuyo" en el distrito de San Miguel*. Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Cano, L., & Zumaeta, E. (2012). *Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo*. Tesis, Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Civil, A. S. (2010). *ASCE 7-10 Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. Reston.
- FEMA. (1997). *Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings - NERHP. FEMA 273 -274*. Wasington, D.C.
- Fuentes, J. (2015). *Análisis de una edificación con disipadores fluido viscoso*. Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Gianfranco, O. (2007). *Apuntes de Concreto Armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- MINISTERIO DE VIVIENDA, C. Y. (2016). *Norma E.030 Diseño Sismorresistente*.
- Morales, R. (2002). *Diseño Estructural Sismorresistente*. Lima: Fondo Editorial ICG.
- Oviedo, R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras*. Tesis magistral, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Taboada, J. (2009). *Análisis de diseño Asistido por computadoras*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Vidal, A. (2008). *Análisis y diseño de estructuras con disipadores de energía metálicos en base a criterios de desempeño*. Universidad Austral de Chile. Valdivia: Austral de Chile.
- Villareal, G. (2008). *Aisladores Sísmicos*. Lima.
- Whittaker, A. (2000). *Seismic Protective Systems*. USA: University at Buffalo.

ANEXOS

ANEXO 1. MATRIZ DE CONSISTENCIA

| FORMULACIÓN DEL PROBLEMA | OBJETIVOS | HIPÓTESIS | VARIABLES |
|---|---|--|--|
| <p>Problema General</p> <p>¿En qué medida los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos presentarán mejor desempeño sísmico en comparación al sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales?</p> <p>Problemas Específicos</p> <p>¿Cuál será el procedimiento de análisis a considerar para la modelación y análisis sísmico eficiente de edificaciones con sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales según el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones)?</p> <p>¿Cuál será el procedimiento de análisis a considerar para la modelación y análisis sísmico eficiente de edificaciones con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos según el RNE (Reglamento Nacional de Edificaciones)?</p> <p>¿Cuál será la mejor alternativa técnica económica entre el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales y los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos?</p> | <p>Objetivos General</p> <p>Determinar el desempeño sísmico del sistema reforzamiento convencional con muros estructurales y los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos.</p> <p>Objetivos Específicos</p> <p>Realizar la metodología para el análisis sísmico de una edificación con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos.</p> <p>Realizar la metodología para el análisis sísmico de una edificación con el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales.</p> <p>Realizar la comparación técnica económica entre el desempeño sísmico de los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos y el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales.</p> | <p>Hipótesis General</p> <p>El empleo de los sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos, presentarán mejor desempeño sísmico que un sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales de corte.</p> <p>Hipótesis Específicas</p> <p>El empleo de la metodología con sistemas de disipación pasiva de energía viscoelásticos e hysteréticos permitirá realizar un análisis de desempeño sísmico óptimo.</p> <p>El empleo de la metodología del sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales permitirá realizar un análisis de desempeño sísmico óptimo.</p> <p>La inclusión de sistemas de disipación pasiva de energía hysteréticos, presentarán un mejor desempeño sísmico a la vez que serán más económicos que los viscoelásticos y el sistema de reforzamiento convencional de muros estructurales.</p> | <p>Variable Independiente</p> <p>Sistema Estructural con de corte.</p> <p>Sistema Estructural de Disipadores Pasivos de Energía.</p> <p>Variable Independiente</p> <p>Análisis y Diseño Sísmico.</p> |

ANEXO 2. ANTECEDENTES

TÍTULO: DISEÑO DE UN EDIFICIO APORTICADO CON DISIPADORES EN ARREGLO CHEVRON

Autor(es): Zuen Estefania Boza Farfán

Año de edición: Lima, abril del 2013 **Institución:** PUCP - Perú

Objetivos: El objetivo de este proyecto fue el diseño de un sistema de disipación de energía para un edificio regular aporticado de 7 pisos con planta regular, para el diseño se consideró como deriva admisible 1% debajo de la establecida en la norma peruana sismorresistente. Se empleo una disposición Chevron.

Metodología: El trabajo contempla la revisión de información respecto a procedimientos de diseño para un posterior diseño de sistema de disipación de energía con arreglos Chevron.

Muestra: Edificio Aporticado de 7 niveles

Conclusión: Para un edificio aporticado de 7 niveles se obtuvo una deriva que representa un valor de variación de 0.33% y 0.58% del valor permisible según la norma peruana para edificios aporticados de concreto.

TÍTULO: ANÁLISIS SÍSMICO DE UNA EDIFICACIÓN CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Autor(es): Juan Carlos Fuentes Sadowski

Año de edición: Lima, marzo del 2015 **Institución:** PUCP - Perú

Objetivos: Realizar una serie de análisis comparativos en un edificio aporticado de 5 pisos de concreto armado con disipadores de fluido viscoso incorporados en ambas direcciones.

Metodología: El trabajo contempla la revisión de información respecto a procedimientos de diseño para un posterior diseño de sistema de disipación de energía con arreglos en diagonal, doble diagonal y chevron.

Muestra: Edificio Aporticado de 5 niveles

Conclusión: Para un edificio aporticado de 5 niveles se concluyó que para reducir la deriva espectral del edificio a 7% es necesario incorporar un amortiguamiento efectivo de 12.5% a 19.1%.

TÍTULO: ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO ENTRE EL REFORZAMIENTO TRADICIONAL CON PLACAS Y EL SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON DISIPADORES FLUIDO VISCOSO PARA EL EDIFICIO ADMINISTRATIVO “CENTRO EMPRESARIAL INTISUYO” EN EL DISTRITO DE SAN MIGUEL

Autor(es): Alicia Ysabel Assereto Gomez
Milagros Aracelli Gamboa Vasquez

Año de edición: Lima, diciembre del 2013 **Institución:**UPC - Perú

Objetivos: Realizar un análisis y diseño sísmico comparativo entre el reforzamiento tradicional con placas y el sistema de disipadores viscosos para determinar cuál de ellos es el más beneficioso frente a un sismo mediante el uso del programa de modelación estructural SAP 2000.

Metodología: El trabajo contempla la revisión de información respecto a procedimientos de diseño para un posterior diseño de sistema de disipación de energía.

Muestra: Edificio Aporticado de 5 niveles

Conclusión: Para un edificio aporticado de 5 niveles se concluyó que en la estructura reforzada con placas, el periodo de vibración se ha disminuido en 52% con respecto a la estructura inicial aporticada, mientras que la estructura reforzada con disipadores de fluido viscoso ha conservado el periodo de vibración inicial. Esto se debe a que la incorporación de placas incrementa la rigidez de la estructura y los dispositivos viscosos la mantienen flexible.

Se concluye que la incorporación de disipadores en la estructura disminuye la fuerza cortante en un porcentaje promedio de 60%, además, se puede notar que los porcentajes de variación con respecto a la estructura aporticada varían de forma ascendente conforme se incrementan los niveles de la edificación.

Se concluye que el comportamiento de la estructura con reforzamiento tradicional frente a un sismo severo es disipar la energía en sus elementos principales, lo que genera daños en dichos elementos y en algunos casos la inhabilitación de la estructura. Por otro lado, la estructura con disipadores absorberá la energía reduciendo significativamente las deformaciones y el daño estructural, lo cual permitirá la funcionalidad de la estructura después del sismo.