

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL



ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO ENTRE UN SISTEMA DUAL Y EL SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO PARA UN EDIFICIO EN EL DISTRITO DE VÍCTOR LARCO HERRERA APLICANDO ETABS 2013

Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil

AREA DE INVESTIGACIÓN : Estructuras

AUTORES : BR. JORGE JANO CORPUS VILLALBA.
BR. EDWIN ALEXIS MORALES QUISPE.

ASESOR : ING. WILLIAM C. GALICIA GUARNIZ

TRUJILLO 2015



UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORRREGO

FACULTAD DE INGENIERIA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA

**Tesis: “Análisis Sísmico Comparativo Entre Un Sistema Dual Y El
Sistema De Reforzamiento Con Disipadores De Fluido Viscoso Para Un
Edificio En El Distrito De Víctor Larco Herrera Aplicando ETABS 2013”**

Jurado Evaluador

Presidente:

Ing. Felix G. Perrigo Sarmiento

Secretario:

Ing. Rolando Ochoa Zevallos

Vocal:

Ing. Jorge Paredes Estacio

Asesor:

Ing. William C. Galicia Guarniz



PRESENTACIÓN

La presente investigación, está orientada al análisis comparativo entre el sistema de reforzamiento con muros estructurales y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para evaluar cuál de ellos es el más favorable desde el punto de vista estructural.

También, está enfocada a modelar estática y dinámicamente una edificación llamada Torre C & M, y determinar su comportamiento ante sollicitaciones sísmicas. Se pretende hallar los desplazamientos y fuerzas máximas para evaluarlas de acuerdo a los valores permisibles determinados por la Norma E030, Norma de Diseño Sismo-Resistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Además, FEMA 273 y 274, ASCE 7-10 y se deberán incorporar algunas innovaciones que permitan un mejor comportamiento de la estructura frente a las fuerzas sísmicas.



INDICE

CAPITULO I: INTRODUCCION..... 13

INTRODUCCION..... 14

PLANTEAMIENTO METODOLOGICO 16

 DELIMITACIÓN DEL PROYECTO 16

 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA 17

 OBJETIVOS..... 17

1.1 SISMICIDAD EN EL PERU 18

1.2 DAÑOS ESTRUCTURALES 20

CAPITULO II: SISTEMA DE DISIPACION DE ENERGIA..... 23

2. SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO 24

 2.1. GENERALIDADES 24

 2.2. DESCRIPCIÓN DEL DISIPADOR DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO 25

 2.3.1 ALGUNAS APLICACIONES DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO TAYLOR 34

 2.4. EDIFICACIONES IMPORTANTES CON DISIPADORES DE ENERGÍA..... 35

 2.5 PROCESO DE DISEÑO DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO 39

 2.5.1 GENERALIDADES 39

 2.5.2 DETERMINACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL 39

 2.5.3 DETERMINACIÓN DEL CONTROL DE LA RESPUESTA 40

 2.5.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA 40

 2.5.5 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO 40

 2.5.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO 41

 2.6 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO 41

 2.6.1. NORMA Y REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ASCE 7-10 41

 2.6.2. RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA 42

 2.6.3. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES: 42

 2.6.4. RECOMENDACIONES PARA LA MODELACIÓN 43

CAPITULO III: DESCRIPCION DEL PROYECTO 44

3 DESCRIPCIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO 45



3.1. CONDICIONES GENERALES DE LA EDIFICACIÓN	45
3.2. PROYECTO ARQUITECTÓNICO.....	45
3.3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO	45
3.4. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS	48
CAPITULO IV: DISEÑO DE LA EDIFICACION CON EL SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES.....	
4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN	51
4.1. REQUISITOS NORMATIVOS REGLAMENTARIOS	51
4.1.1. LOSAS ALIGERADAS	52
4.1.2. VIGAS	52
4.1.3. COLUMNAS.....	53
4.2. CRITERIOS GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN.....	53
4.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES	54
4.3.1. LOSAS ALIGERADAS	54
4.3.2. VIGAS	54
4.3.3. COLUMNAS.....	55
4.4. ANÁLISIS DE CARGAS POR GRAVEDAD	56
4.5 IRREGULARIDAD TORSIONAL.....	57
CAPITULO V: DISEÑO DE LA EDIFICACION CON EL SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL (PORTICO-PLACA), ADICIONANDO EL SISTEMA DE DISIPACION DE ENERGIA (DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO).....	
5. REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO	64
5.1. METODOLOGIA DE DISEÑO DE AMORTIGUADORES.....	64
5.1.1. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO	64
5.1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DISEÑO	66
5.2.1. ACELEROGRAMAS UTILIZADOS	70
5.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL	73
5.2.3 ESCALAMIENTO DE ACELEROGRAMAS AL ESPECTRO DE DISEÑO..	75
5.2.4 ANÁLISIS TIEMPO - HISTORIA	76
5.2.5 DETERMINACIÓN DEL SISMO DE DISEÑO	77
5.3 AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO	77
5.5 RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON LOS DISIPADORES.....	83
5.6 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO.....	84
5.7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS.....	89
5.7.1 DESPLAZAMIENTOS EN LOS CENTROS DE MASA	89



5.7.2 DERIVAS DE ENTREPISO	89
5.7.3 EVALUACION DE RESULTADOS DE LAS COLUMNAS C1 Y C2 DEL EJE A	90
5.8 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO	90
5.8.1 AGRUPACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA	90
5.8.2 ELECCIÓN DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA.....	91
5.9 EVALUACION DE COSTOS	93
CAPITULO 6: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	95
6.1 CONCLUSIONES.....	96
6.2 RECOMENDACIONES	97
ANEXOS	100

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1 Sismicidad en el Perú
- Figura.2. Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía
- Figura 2. Disipador de Energía de Fluido Viscoso
- Figura 4. .Funcionamiento de un Disipador de Fluido Viscoso
- Figura 5 Dampers in chevron braces
- Figura 6 Diagonal Bracing
- Figura 7 Dampers with base isolation
- Figura 8 Rehabilitación de la Torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez
- Figura 9 Centro Empresarial Reducto
- Figura 10 Torre Mayor – México
- Figura 11 Torre Mayor – México
- Figura.12 Conexiones en la disposición diagonal
- Figura 13 Plano de Planta: Sótano
- Figura 14 Plano de Planta: 1er Piso
- Figura 15: Plano de Planta Típica: 2do al 6to Piso
- Figura 16: Plano de Planta: Azotea
- Figura 17. Ubicación del Terreno en Estudio
- Figura.18 Espectro de pseudo - aceleración ($R=1$)
- Figura.19 Comparación entre el registro sísmico sin escalar (morado) y el registro escalado (verde) al espectro objetivo (rojo).
- Figura.20 Longitud del brazo metálico del 1ro al 6to piso en dirección Y.
- Figura.21 Ubicación de los disipadores vista bidimensional EJE A
- Figura.22 Ubicación de los disipadores vista bidimensional EJE E
- Figura. 23 Curvas histeréticas de los disipadores seleccionados
- Figura.24 Propiedades de los dispositivos. TAYLOR DEVICES
- Figura.25 Dimensiones de la placa base. TAYLOR DEVICES



INDICE DE TABLAS

Tabla N° 1	Valores de λ respecto al exponente de velocidad α
Tabla N°2	Dimensiones del Aligerado
Tabla N°3	Peso Propio
Tabla N°4	Tipos de Columnas Utilizadas
Tabla N°5.	Peso total de la estructura
Tabla N°6	Torsion en X
Tabla N°7	Torsion en Y
Tabla N°8	Deriva de entre piso permitidas por RNE
Tabla N°9	Desplazamientos de Entre Pisos y Control de Derivas Estáticas
Tabla N°10	Desplazamientos entre Pisos y Derivas Dinámicas
Tabla N°11	Niveles de Amenasa Sismica
Tabla N° 12	Niveles de Desempeño
Tabla N°13	Estados de daño y niveles de desempeño
Tabla N°14	Niveles recomendados de Desempeños esperados
Tabla N°15	Clasificación según tipo de Estructura
Tabla N°16	Relación Estado de daño-Deriva según tipo de estructura
Tabla N° 17.	Parametros sísmicos para la definición del espectro de aceleraciones
Tabla N°18	Derivas en dirección X-X
Tabla N°19	Derivas en dirección Y-Y
Tabla N°20.	Ubicación de las estaciones con suelos S1/S2
Tabla N° 21.	Derivas obtenidas en la dirección X-X (análisis tiempo historia)
Tabla N° 22.	Derivas obtenidas en la dirección Y-Y (análisis tiempo historia)
Tabla N°23.	Propiedades del perfil HSS 7.50 x 0.50
Tabla N° 24.	Periodo fundamental de la estructura en X e Y
Tabla N° 25.	Desplazamiento MAX del Análisis Tiempo Historia de Tacna
Tabla N° 26.	Desplazamiento Máximo (Φ_i) y desplazamiento relativo (Φ_{rj})
Tabla N°27	Valores del Parámetro λ
Tabla N° 28.	Cálculos realizados para obtener el Coeficiente de amortiguamiento (C)



Tabla N°29 Derivas de entrepiso Y-Y

Tabla N° 30. Desplazamientos máximos en los C.M. de cada piso Y-Y

Tabla N° 31 Derivas de entrepiso. Y-Y

Tabla N° 32 Evaluacion De Resultados De Las Columnas C1 Y C2 Del Eje A

Tabla N° 33. Fuerzas máximas en los disipadores de energía del Eje Y-Y.

Tabla N° 34. Agrupación de los dispositivos por niveles de fuerza

Tabla N°35 Costo De Los Disipadores

Tabla N° 36 Presupuesto Por Metro Cuadrado

INDICE DE GRAFICOS

Gráficos N° 1 Espectro AREQUIPA E-O

Gráficos N° 2 Espectro AREQUIPA N-S

Gráficos N° 3 Espectro ICA E-O

Gráficos N° 4 Espectro ICA N-S

Gráficos N° 5 Espectro MOQUEGUA E-O

Gráficos N° 6 Espectro MOQUEGUA N-S

Gráficos N° 7 Espectro TACNA E-O

Gráficos N° 8 Espectro TACNA N-S

Gráficos N° 9 Espectro LIMA E-O

Gráficos N° 10 Espectro LIMA N-S



Dedicatoria

A mis queridos abuelos quienes me han apoyado día a día incondicionalmente brindándome su amor y su fortaleza para seguir adelante en los momentos difíciles a lo largo de mi carrera, gracias a sus sabios consejos y sobre todo por creer en mí para cumplir mi meta.

BR. EDWIN ALEXIS MORALES QUISPE



DEDICATORIA

El presente trabajo de tesis se la dedico a todas las personas que estuvieron siempre a mi lado y confiaron en mí dándome su apoyo incondicional, en especial agradezco a:

Mis padres Lic. Maritza y Arq. Jorge, por ser las columnas que soportan mi vida, mis sueños y mis anhelos. Por ser mi fortaleza en los momentos de debilidad y por brindarme una vida llena de aprendizajes, experiencias y sobre todo felicidad.

A mis abuelos porque cimentaron en mi grandes valores que con ejemplo predicaron y me brindaron todo su amor, siempre vivirán en mi corazón.

A mi hermanita Flavia futura arquitecta de sus sueños por ser mi motivación a ser mejor cada día.

A mi padrino y mentor el Ing. Ronald por brindarme su apoyo y conocimiento desinteresadamente.

Para terminar un agradecimiento especial a la Arq. Mónica por estar conmigo en los momentos buenos y malos de esta etapa tan especial en mi vida, aconsejándome y sobre todo dándole rigidez a mi vida.

BR. JORGE JANO CORPUS VILLALBA.



AGRADECIMIENTOS

El presente trabajo de tesis no hubiera sido posible sin la asesoría y colaboración:

De nuestro asesor el Ing. William Galicia Guarniz que nos brindó su conocimiento, experiencia y dedicación desinteresadamente, sobre todo por brindarnos su amistad incondicional.

Un agradecimiento especial al Dr. Villarreal Castro Genner con quien iniciamos este trabajo de investigación, por brindarnos sus excelentes consejos, conocimientos e información sobre el tema.

Al Br. Ing. Marco estimado amigo, por sus recomendaciones y aportes aplicados en la investigación.

GRACIAS.



CAPITULO I: INTRODUCCION



INTRODUCCION

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas, por lo que no es necesario realizar investigaciones detalladas de la actividad sísmica del área donde se construirán estructuras comunes. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo-estático se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura. Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental. Sin embargo, cuando se planifican estructuras importantes, deben evaluarse sus capacidades de resistir terremotos en base a estudios detallados de peligro sísmico.

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

El análisis de peligro sísmico se realiza aplicando la metodología desarrollada por Cornell (1968) en términos probabilísticos, metodología que fue modificada e implementada en el programa de cómputo RISK por McGuire (1976). Esta metodología integra información sismotectónica, parámetros sismológicos y leyes de atenuación regionales para los diferentes mecanismos de ruptura. El resultado es una curva de peligro sísmico, donde se relaciona la aceleración y su probabilidad anual de excedencia.



Por lo tanto, actualmente, el sistema de disipadores de energía ha sido implementado en los códigos de diseño, ya sea en los métodos de diseño por fuerza lateral o diseño por espectro de respuesta. Con estas características la estructura es diseñada para resistir una carga estática equivalente, brindando resultados razonablemente satisfactorios.

La presente investigación, está orientada al análisis comparativo entre el sistema de reforzamiento con muros estructurales y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para evaluar cuál de ellos es el más favorable desde el punto de vista estructural.

También, está enfocada a modelar estática y dinámicamente una edificación y determinar su comportamiento ante solicitaciones sísmicas. Se pretende hallar los desplazamientos y fuerzas máximas para evaluarlas de acuerdo a los valores permisibles determinados por la Norma E030, Norma de Diseño Sismo-Resistente del Reglamento Nacional de Edificaciones. Además, FEMA 273 y 274, ASCE 7-10 y se deberán incorporar algunas innovaciones que permitan un mejor comportamiento de la estructura frente a las fuerzas sísmicas.



PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

Delimitación del Proyecto

Se tomará como modelo de la edificación diseñada para el uso exclusivo de Oficinas llamado “Torre C & M” ubicado en la Av. Fátima, urbanización California, Distrito de Víctor Larco Herrera, provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad.

Para el diseño arquitectónico se ha tomado en cuenta las Normas establecidas en el RNE, el edificio cuenta con 07 pisos y un sótano, el sótano cuenta con (08) estacionamientos y un montacarros, en el primer piso cuenta con (06) estacionamientos, el hall de ingreso y guardianía, del segundo al sexto nivel son plantas típicas y libres que dan la opción al usuario de distribuir las según sus necesidades, en el séptimo piso se encuentra el comedor el cual es de uso exclusivo de los usuarios de las (05) oficinas del edificio “Torre C & M”. El edificio cuenta con un área de 323.61 m^2 de terreno, el sótano cuenta con 252.95 m^2 de área construida, y del primer piso 241.47 y del segundo al sexto cuenta con 217.76 m^2 por piso y en el séptimo piso cuenta con 190.62 m^2 , teniendo un total de 1773.84 m^2 de área construida.

Se realizará el análisis sísmico del edificio, teniendo en cuenta el diseño arquitectónico actual, para lo cual se realizara un diseño estructural de Sistema de Muros Estructurales, el cual será comparado con el diseño estructural que se está proponiendo, un Sistema Dual (Pórtico-Placa) Reforzado con Disipadores de Fluido Viscoso, para determinar el mejor comportamiento de estos sistemas ante un sismo.

Para el análisis sísmico se tomará en cuenta las normas establecidas en el RNE, Norma E.020 (Cargas), Norma E.030 (diseño sismo resistente), estas normas serán utilizadas para el diseño del Sistema Tradicional y para el diseño estructural con Disipadores de Fluido Viscoso se trabajará con las Normas del FEMA y ASCE-SEI 7-10, Normas americanas ya que en la actualidad Perú aún no cuenta con normas establecidas para el diseño estructural para Disipadores de Fluido Viscoso.



Formulación del Problema

Problema General

¿Cómo demostrar que el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio tiene mejor comportamiento sísmico que un Sistema de Muros Estructurales

Hipótesis

En la actualidad, la mayoría de las edificaciones son construidas con el reforzamiento a base de muros de corte o placas, siendo estas consideradas durante muchos años como la mejor técnica de construcción, sin embargo, evaluando y comparando la experiencia de otros países en este campo, se propone como alternativa de solución al reforzamiento de una edificación, el uso de disipadores de energía, ya que estos reducen la energía a ser disipada en un sismo severo. Además, se evalúan los costos a largo plazo de este sistema comparado con el de reforzamiento tradicional, específicamente con muros de corte o placas, siendo los disipadores una excelente alternativa.

El reforzamiento con Disipadores Viscosos presenta un mejor comportamiento que el reforzamiento con Sistemas Tradicionales ante un sismo severo

Variables

- Variable Independiente (VI) : Sistema de reforzamiento con disipadores de Fluido Viscoso Vs Un Sistema de Muros Estructurales.
- Variable Dependiente (VD) : Análisis y diseño estructural del edificio frente a un sismo severo.

Objetivos

General:

- Realizar el análisis sísmico comparativo entre un sistema de muros estructurales y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el Distrito de Víctor Larco Herrera aplicando el Software ETABS 2013



Específicos:

- Definir el sistema de reforzamiento estructural del Sistema Tradicional y sus elementos.
- Definir una metodología para el análisis y diseño de edificaciones con la incorporación de Disipadores de Fluido Viscoso.
- Realizar un análisis sísmico para una edificación de Oficinas, utilizando Software ETABS 2013.
- Mostrar y comparar los resultados obtenidos en la modelación del Sistema Tradicional con el Sistema de Disipadores de Fluido Viscoso
- Entender los procedimientos de análisis de estructuras con disipadores de energía.

Definir qué criterios adecuados de diseño que pueden ser adoptados e implementados en la futura Norma de Diseño Sismo- Resistente de estructuras con disipadores de energía.

1.1 SISMICIDAD EN EL PERU

Se denomina sismicidad al análisis del número de sismos que se suceden en una región geográfica determinada. Tal estudio registra en un mapa a los diversos epicentros existentes, además de tomar en cuenta la frecuencia con que se suceden estos fenómenos. Para ello se vale de una serie de leyes que ayudan a entender y explicar estos sucesos, como la Ley de Omori, la ley de Bath, la ley de Gutenberg-Ritcher

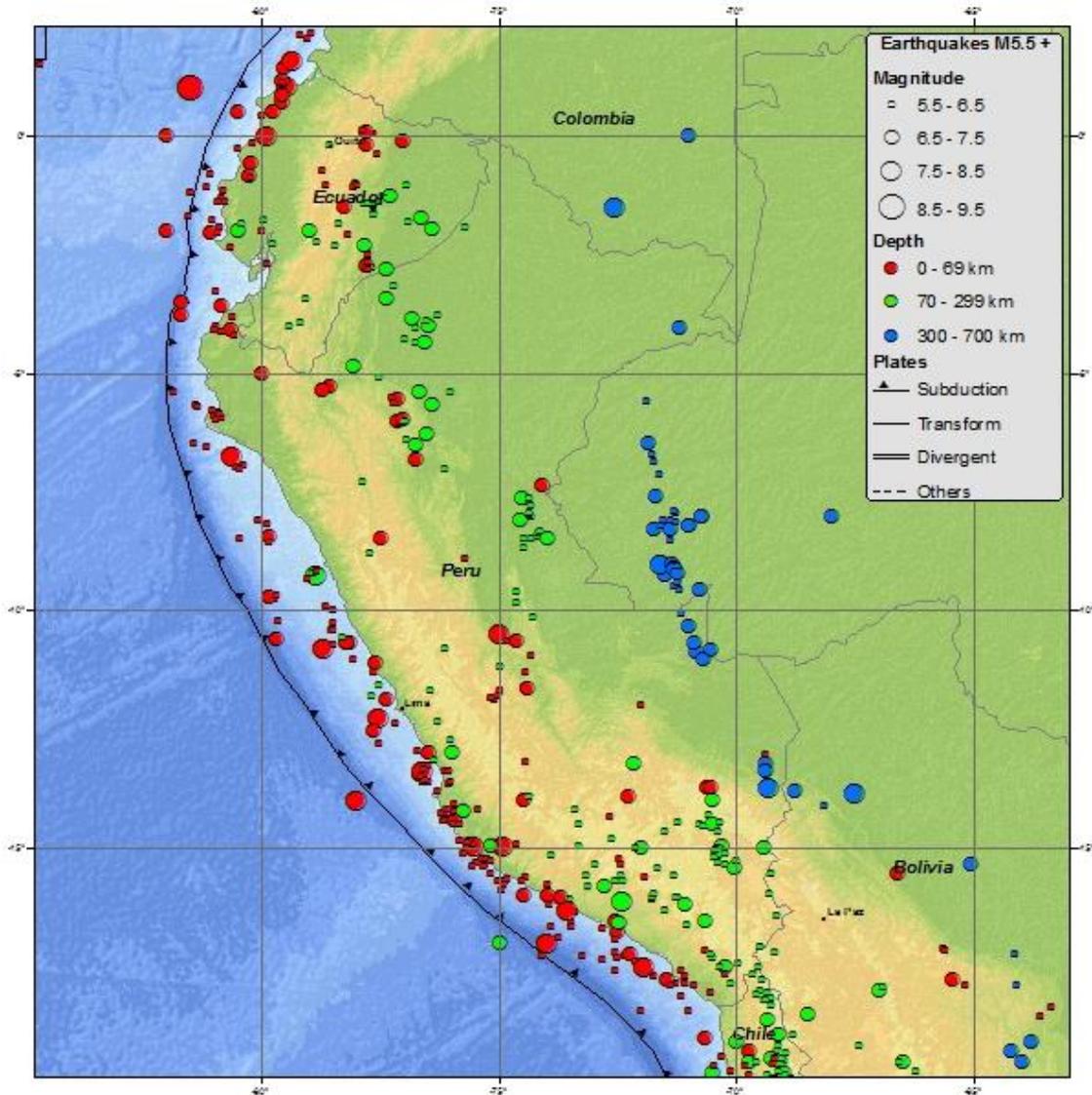


Figura 3 Sismicidad en el Peru

Fuente: usgs.gov

El Perú está comprendido entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo tanto está expuesto a este peligro, que trae consigo la pérdida de vidas humanas y pérdidas materiales. Es necesario efectuar estudios que permitan conocer el comportamiento más probable de este fenómeno para poder planificar y mitigar los grandes efectos que trae consigo. Una forma de conocer el probable comportamiento sísmico de un lugar es mediante la evaluación del peligro sísmico en términos



probabilísticos, es decir predecir las posibles aceleraciones que podrían ocurrir en un lugar determinado.

En las normas de diseño se especifican las cargas sísmicas, por lo que no es necesario realizar investigaciones detalladas de la actividad sísmica del área donde se construirán estructuras comunes. El coeficiente de diseño sísmico a ser usado en el diseño sísmico pseudo-estático se determina en base a la zona, condición del suelo e importancia de la estructura. Si la estructura es flexible, la carga sísmica se modifica tomando en cuenta su periodo fundamental. Sin embargo, cuando se planifican estructuras importantes, deben evaluarse sus capacidades de resistir terremotos en base a estudios detallados de peligro sísmico.

El análisis de peligro sísmico se realiza aplicando la metodología desarrollada por Cornell (1968) en términos probabilísticos, metodología que fue modificada e implementada en el programa de cómputo RISK por McGuire (1976). Esta metodología integra información sismotectónica, parámetros sismológicos y leyes de atenuación regionales para los diferentes mecanismos de ruptura. El resultado es una curva de peligro sísmico, donde se relaciona la aceleración y su probabilidad anual de excedencia.

1.2 DAÑOS ESTRUCTURALES

En general, las enseñanzas que han dejado los sismos en el mundo indican que en los sitios donde se diseña con una buena normativa sísmo resistente, donde la construcción es sometida a una supervisión estricta y donde el sismo de diseño es representativo de la amenaza sísmica real de la zona, el daño es marginal en comparación con el observado en sitios donde no se han dado estas circunstancias.

No obstante, es importante resaltar que diseñar acorde con un código no siempre salvaguarda contra el daño excesivo producido por terremotos severos. Desde una perspectiva histórica, un código por sí sólo no puede garantizar la seguridad contra el daño excesivo, puesto que los códigos son reglamentos que experimentan actualizaciones continuas según los avances tecnológicos y las enseñanzas que dejan las investigaciones y



estudios de los efectos causados por terremotos, que no son más que pruebas de laboratorio a escala completa. La ductilidad y redundancia estructural han probado ser, una y otra vez, los medios más efectivos para proporcionar seguridad contra el colapso, especialmente si los movimientos resultan más severos que los anticipados por el diseño. La capacidad de soportar daños significativos permaneciendo estable se puede atribuir por lo general a la tenacidad, ductilidad y redundancia. El daño severo o colapso de muchas estructuras durante terremotos importantes es, por lo general, consecuencia directa de la falla de un solo elemento o serie de elementos de ductilidad o resistencia insuficiente.

A causa de los sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas tales como grietas diagonales, causadas por cortante y/o torsión, y grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexo-compresión. En vigas se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, y grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y debajo de la sección como resultado de las cargas alternadas. Las conexiones o uniones entre elementos estructurales, son por lo general, los puntos más críticos. En las uniones Viga – Columna (Nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión. En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa, debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo.

Las observaciones realizadas en los últimos años, en todo el mundo, indican que las construcciones rígidas se desempeñan, en general, mejor que las flexibles, particularmente en lo relativo a la protección de los componentes no estructurales que sufren menor daño al limitarse la deriva o la deflexión excesiva entre pisos.

Irregularidades en altura, traducidos en cambios repentinos de rigidez entre pisos adyacentes, hacen que la absorción y disipación de energía en el momento del sismo se concentren en los pisos flexibles, donde los elementos estructurales se ven sobresolicitados,



e irregularidades en planta de masa, rigidez y resistencia pueden originar vibraciones torsionales que generan concentraciones de esfuerzos difíciles de evaluar, razón por la cual una mayor exigencia en este tipo de aspectos debe tenerse en cuenta a la hora de diseñar arquitectónicamente las edificaciones. Pocos edificios se diseñan para resistir terremotos severos en el rango elástico, por lo cual es necesario proporcionarle a la estructura capacidad de disipación de energía mediante tenacidad y ductilidad en los lugares que se espera que la resistencia elástica pueda ser excedida. Esto se aplica a los elementos y a las conexiones de los elementos, puntos que usualmente son los más débiles.



CAPITULO II: SISTEMA DE DISIPACION DE ENERGIA



2. SISTEMA DE REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO

2.1. GENERALIDADES

Como punto de partida para la discusión de amortiguamiento en estructuras, considere que a esta se le somete a un pequeño desplazamiento y luego se suelta. La estructura quedará vibrando de un lado a otro con una cierta amplitud que se decaerá en el tiempo. Históricamente los ingenieros estructurales han asumido que la reducción del movimiento esta asociado a la presencia de amortiguamiento viscoso en los materiales que se emplean. El decremento logarítmico es a menudo usado para relacionar la reducción en amplitud entre dos o más valores máximos sucesivos de la respuesta para los valores de amortiguamiento.

La cuantificación de los valores del amortiguamiento viscoso en edificios ha sido asunto de investigación por más de 50 años. Este tipo de amortiguamiento es llamado “Amortiguamiento Natural” porque esta asociado al amortiguamiento interno que poseen los materiales con los que se construyen los elementos estructurales. Este Amortiguamiento natural representa la energía disipada por los elementos estructurales de la edificación (columnas, muros, etc.) en el movimiento del edificio en el tiempo.

En las décadas pasadas, se comenzó a investigar y experimentar con nuevos sistemas antisísmicos, los llamados “Sistemas de Control Pasivo”. Los primeros dispositivos de este tipo de tecnología que se introdujeron en edificios para ayudar a mitigar el impacto de los movimientos producidos por los sismos, fue el “Sistema de Aislamiento Basal”, más tarde (en la década de los 90) se comenzó a implementar estructuras con otro tipo de elementos conocidos como, “Dispositivos de Disipación de Energía”. En esta categoría encontramos el “Disipador de Fluido Viscoso” (Hart y Wong, 2000).

El propósito de emplear Disipadores de Energía es tratar de que la estructura tenga un mejor comportamiento frente a un evento sísmico, asegurando que esta se comporte dentro del rango lineal y así poder limitar las deformaciones inelásticas y la formación de rótulas plásticas, impidiendo el daño estructural.



2.2. DESCRIPCIÓN DEL DISIPADOR DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO

Como se acaba de mencionar, la forma de trabajo de estos disipadores es simple, durante un terremoto la estructura experimenta desplazamientos relativos entre los pisos, los que a su vez generan movimientos y aceleraciones en el dispositivo viscoso, el mismo que regula el paso del fluido a través de pequeños orificios, la energía sísmica se disipa tan rápido como circula este fluido de una cámara a otra.

La fuerza generada en cada disipador viscoso se caracteriza por la siguiente ecuación:

$$F = CV^2$$

Dónde:

F: Fuerza en el disipador.

C: Constante de Amortiguamiento.

V: Velocidad relativa en el amortiguador.

α : Coeficiente que varía entre 0.4 y 0.6 para edificaciones.



Es importante observar que no hay ninguna fuerza de resorte en esta ecuación. La fuerza del disipador varía sólo con la velocidad. Para una velocidad dada la fuerza será la misma en cualquier punto del dispositivo.

Coefficiente de amortiguamiento “C”

Para estimar el valor del coeficiente de amortiguamiento (C) para dispositivos no-lineales se puede emplear la siguiente ecuación extraída del Fema 274

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

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j

m_i : Masa del nivel i

θ_j : Angulo de inclinación del disipador j

ϕ_{rj} : Desplazamiento modal en el nivel i (correspondiente al 1er modo de vibración)

A: Amplitud del desplazamiento del modo fundamental (desplazamiento modas relativo desde el techo hasta la base)

ω : Frecuencia angular

λ : Parámetro lambda

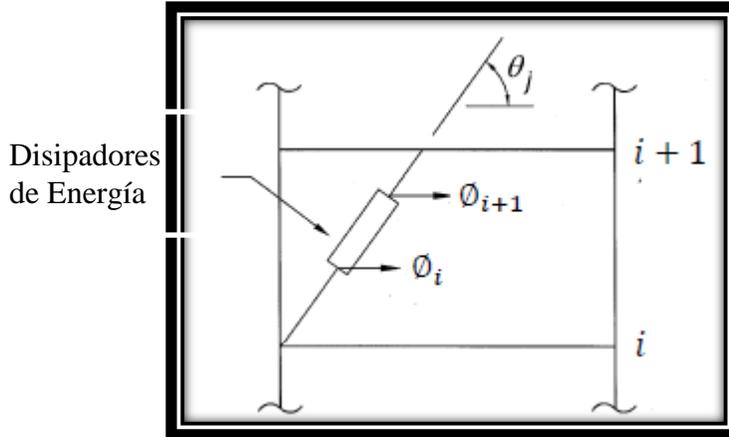
El parámetro λ es dependiente del valor del exponente de velocidad α ; El FEMA 274 nos facilita la siguiente tabla.

Tabla N° 1 Valores de λ respecto al exponente de velocidad α

Exponent α	Parameter λ
0.25	3.7
0.50	3.5
0.75	3.3
1.00	3.1
1.25	3.0

El ángulo de inclinación (θ_j) y el desplazamiento relativo del disipador de energía ϕ_{rj} se muestra en la siguiente figura.

Figura.2. Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía



Despejando la ecuación, se tiene:

$$\Sigma_j = \frac{\beta_H \times 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\Sigma_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\Sigma \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Así mismo el valor β_H depende del amortiguamiento objetivo que se desee alcanzar, este valor se puede calcular empleando el siguiente procedimiento.

Como primer paso se determina el factor de reducción de respuesta (B) mediante el cociente:

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

Donde la deriva máxima es la obtenida del análisis tiempo historia para el sismo de diseño seleccionado.; posteriormente, se determina el amortiguamiento efectivo despejando la siguiente ecuación.



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

Donde es (β_o) el amortiguamiento inherente de la estructura que usualmente se fija en 5% para estructuras de concreto armado. De esta manera se obtiene el amortiguamiento efectivo, este incluye la acción del disipador de energía y el amortiguamiento inherente de la estructura.

Descontando el amortiguamiento inherente se obtiene el amortiguamiento viscoso que se requiere.

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

Uno de los mecanismos más eficientes para añadir capacidad de disipación de energía a una estructura es mediante el uso de Dispositivos de Fluido Viscoso. Este mecanismo disipa energía transfiriendo un fluido a través de un orificio, produciendo una presión de amortiguamiento.

Por muchos años, los Disipadores de Fluido Viscoso han sido utilizados en Amuchas aplicaciones, entre los que se encuentra el control de vibraciones en sistemas aeroespaciales y de defensa en los Estados Unidos, donde fue evaluado con éxito durante muchas décadas. Uno de los usos que ha sido bien documentado fue hecho por instituciones militares para examinar su uso en cañones de alto calibre. Básicamente un amortiguador viscoso es comparable a los amortiguadores utilizados en los automóviles, con la diferencia que los utilizados en estructuras operan en un rango de fuerzas mucho mayor y son construidos en acero inoxidable y otros materiales extremadamente duraderos los cuales tienen una duración de por lo menos 40 años.

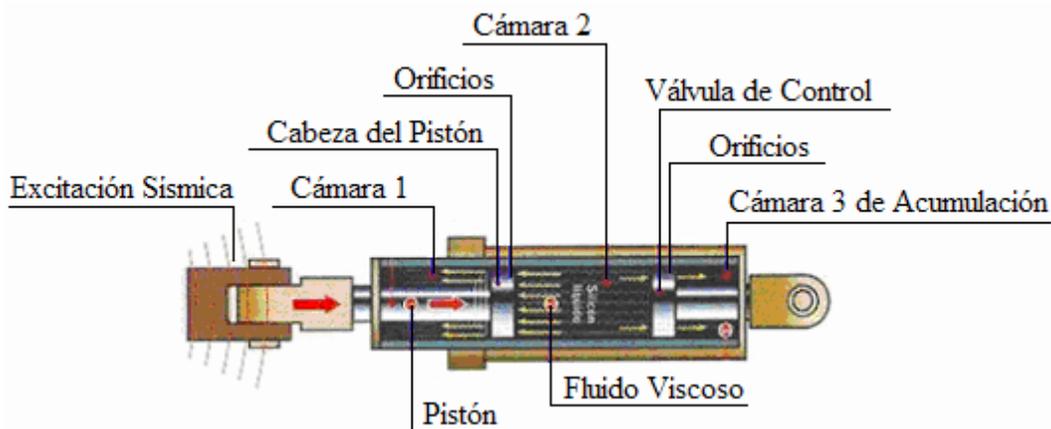


Figura 4. Disipador de Energía de Fluido Viscoso

Fuente: Taylor, 2004.

El amortiguador de fluido viscoso, que actúa como un dispositivo disipador de energía en las estructuras, consiste básicamente en un cilindro de acero inoxidable de alta resistencia, el cual contiene un fluido de alta viscosidad, resistente al fuego (no inflamable y no combustible), estable a los cambios de temperatura y a largos periodos de tiempo. En la actualidad, los únicos fluidos que poseen todas estas características son los que pertenecen a la familia de las siliconas (Taylor, 2004).

El cilindro en su interior posee un pistón (también de acero de alta resistencia e inoxidable), que se compone de una vara que en su borde interior tiene una cabeza (“cabeza del pistón”) con orificios. La cabeza del pistón divide el interior del cilindro en dos cavidades llamadas “cámaras”. Cuando existe un desplazamiento del pistón a altas velocidades dentro del cilindro debido a una excitación, este provoca el paso de fluido de una cámara a otra, lo que produce una presión diferencial y esta a su vez origina la fuerza de amortiguamiento.

Además el cilindro en su interior posee una tercera cámara, de “Acumulación”, que su principal función es permitir el desplazamiento de la vara del pistón, desde adentro hacia fuera del amortiguador durante la excitación y compensar la expansión y contracción térmica del fluido.

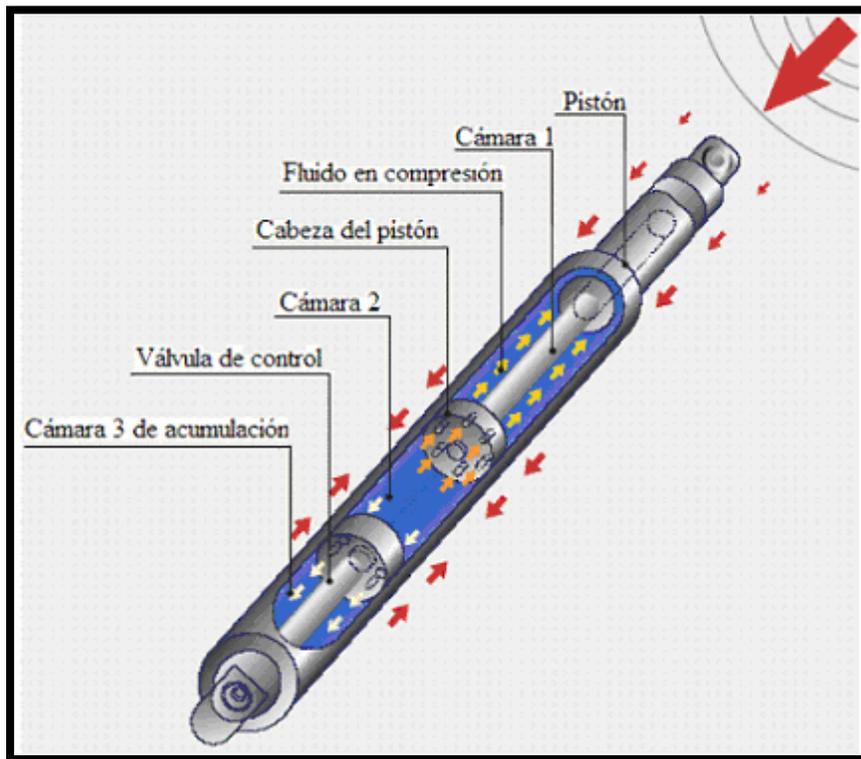


Figura 4. .Funcionamiento de un Disipador de Fluido Viscoso

Fuente: Taylor, 2004

La actividad sísmica, presiona el pistón hacia el cilindro comprimiendo el fluido del interior hacia la cámara 2, luego este pasa de regreso de la cámara 1 a la cámara 2, a través de las perforaciones y se iguala la presión, que es la que provoca la fuerza de amortiguamiento. Estas perforaciones se gradúan en tamaño y cantidad, para proporcionar la respuesta deseada. Para prever un efecto de rebote, la válvula de control libera parte del fluido a la cámara 3 de acumulación.

Una de las diferencias de los Amortiguadores de Fluido Viscoso, con respecto a otros dispositivos disipadores de energía utilizados en estructuras, es que estos son estables y funcionales en un gran rango de temperatura. Por ejemplo los dispositivos viscoelásticos, al estar compuesto de caucho estos se ven muy afectados a los cambios térmicos y su comportamiento es diferente según la temperatura en que se encuentra operando. Las pruebas que se le han hecho a los Amortiguadores de Fluido

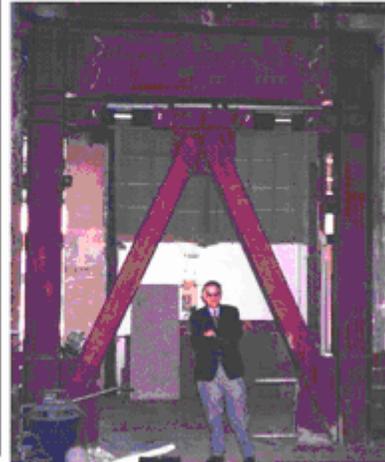
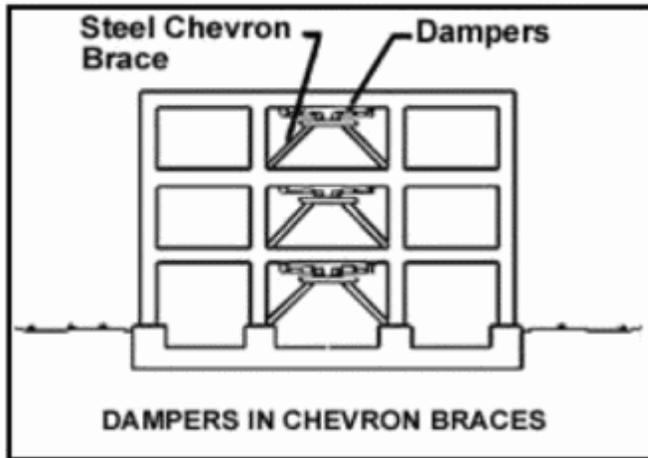


Viscoso, han demostrado que su funcionamiento no presenta grandes diferencias en un rango de temperatura de -40°C y 70°C .

En la industria de la construcción, los Amortiguadores de Fluido Viscoso se utilizan para reducir las cargas debido a una excitación sísmica, estos dispositivos se ubican en la estructura en forma estratégica, tal que se activen durante el desplazamiento relativo entre dos pisos contiguos del edificio excitado. La instalación puede hacerse de varias maneras:

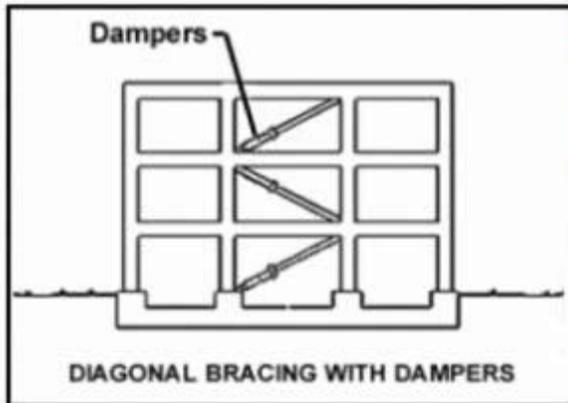
1. Colocando los amortiguadores horizontalmente, para ligar de manera flexible el vértice de unión de las diagonales en forma de “V” invertida (ver figura 5), fijada en un piso inferior, con el nivel inmediato superior.
2. Colocando los amortiguadores como una diagonal inclinada, conectando las dos uniones viga columna contrarias de dos pisos continuos (ver figura 6).
3.) Colocando los amortiguadores en forma horizontal, en la base del edificio trabajando en conjunto con el sistema de aislamiento basal (ver figura 7).

Otra característica que poseen los Amortiguadores de Fluido Viscoso y que lo hacen ser diferentes a otros dispositivos, es que su comportamiento depende sólo de la velocidad y no del desplazamiento. Este punto será discutido con mayor detalle en la sección siguiente.



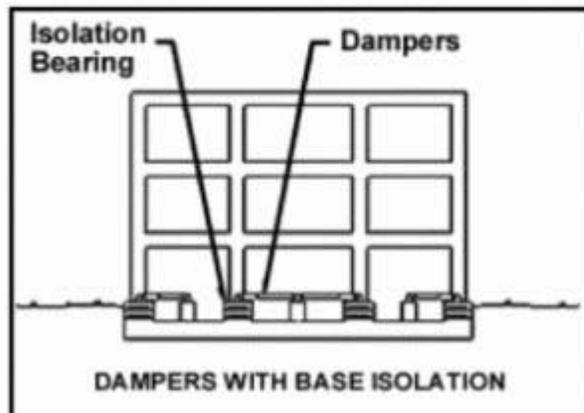
Fuente: Hart y Wong, 2000.

Figura 5 Dampers in chevron braces



Fuente: Hart y Wong, 2000.

Figura 6 Diagonal Bracing



Fuente: Hart y Wong, 2000.

Figura 7 Dampers with base isolation



2.3. DISIPADORES DE ENERGÍA DE FLUIDO VISCOSO TAYLOR

El principal fabricante de dispositivos de absorción de energía es la marca TAYLOR DEVICES INC., es de origen estadounidense y líder mundial desde 1955 en los elementos de absorción de shocks por medio de la compresión y control de fluidos que permiten la disipación de energía.

La empresa desarrolló y patentó conceptos tales como el control del fluido a través de orificios, la compresión dinámica de fluidos, los amortiguadores auto ajustables y el resorte líquido desarrollando productos para el sector comercial, militar e industrial.

La principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a solicitaciones de carga. Además, cada disipador es sometido a ensayos de alta velocidad para verificar fuerzas pico de diseño antes de salir de fábrica.

Los amortiguadores Taylor se encuentran presentes en más de 400 proyectos a nivel mundial en estructuras nuevas y reforzadas. En el Perú, la marca Taylor es representada por la empresa CDV Representaciones, una empresa comercializadora de productos especializados para la construcción y la industria.

Los materiales que conforman el disipador se fabrican bajo estándares de calidad de la industria aeronáutica. Los sellos son patentados, la silicona es inerte que protege a los sellos y el pistón es de acero inoxidable. La producción total de elementos de absorción de energía de fluido viscoso excede los 2 millones de unidades.

El precio unitario por dispositivo es variable, depende de la fuerza de diseño del dispositivo y las propiedades impuestas por el proyectista. El precio puede aproximarse inicialmente a US\$ 8000.00, aunque debe considerarse el costo adicional de los elementos metálicos involucrados en la conexión.



2.3.1 ALGUNAS APLICACIONES DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO TAYLOR

Cuando un edificio ha estado sometido por varios años a sismos intensos, posiblemente hay cierto grado de daño (no siempre visible) en la estructura. Si se necesita rehabilitarlo deberá proporcionarse la resistencia exigida en el reglamento vigente. También puede darse el caso de un inmueble sin daño, donde se requiere incrementar el nivel de resistencia sísmica por cambio de uso. Por ejemplo, si un inmueble perteneciente a la “Categoría C”, destinados al uso privado o al uso público que no pertenecen a la “Categoría A o B” (NCh 433 Of 96) se desea utilizar como edificio gubernamental (Categoría A), se debe aumentar la resistencia sísmica de la estructura, lo cual resulta una tarea compleja y costosa. Sin embargo, con la incorporación de disipadores de energía, se reducirán las aceleraciones sísmicas de diseño y cumplir con las exigencias que impone la normativa vigente. Así, el edificio conservaría prácticamente la misma estructura original y sus reservas de resistencia inelástica. Los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso Taylor, se han empleados en edificios nuevos y restaurados, además de puentes, aeropuertos, estadios, etc. A continuación se muestra una tabla con algunas aplicaciones:



2.4. EDIFICACIONES IMPORTANTES CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Aeropuerto Jorge Chávez de Lima, Perú

Se colocaron disipadores de energía viscosos.



Figura 8. Rehabilitación de la Torre del Aeropuerto Internacional Jorge Chávez
Fuente: Corporación Peruana de Aeropuertos y Aviación Comercial

Centro Empresarial Reducto, Lima

Es el primer edificio de oficinas que cuenta con disipadores de energía sísmica. Además, cuenta con 14 pisos de oficinas con un área 1,030m² aproximadamente, 02 locales comerciales y 05 oficinas por piso. También, cuenta con más de 250 estacionamientos adicionales para discapacitados de visitas divididos en 07 sótanos.

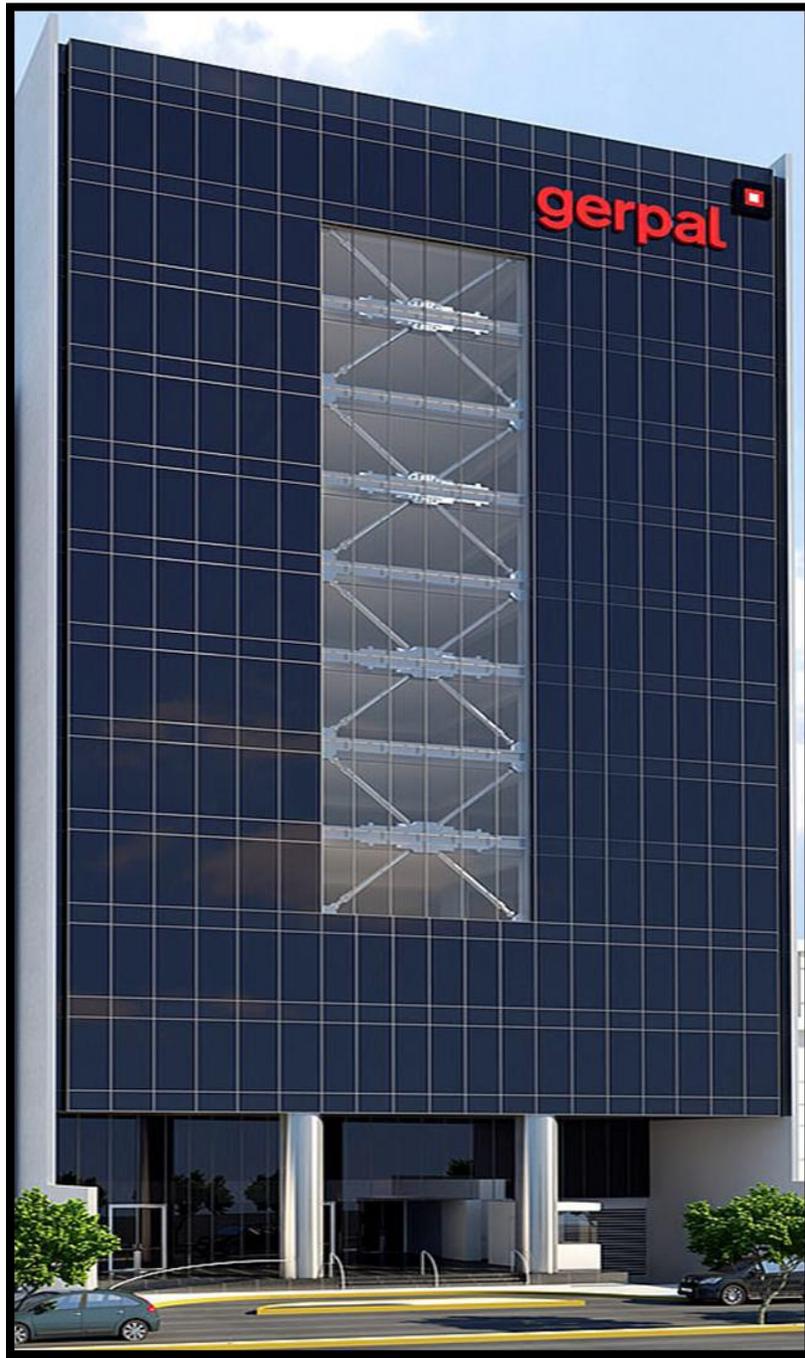


Figura 9. Centro Empresarial Reducto

Fuente: Gerpal



Torre Mayor

El edificio más alto en Latinoamérica (225 mts) se ubica en Ciudad de México, ocupa un terreno aproximado de 6337 m². En sus 129885 m² de construcción alberga un hotel, oficinas, comercios y restaurantes, además de poseer 13 niveles de estacionamientos (4 subterráneos) y un helipuerto.

A quien se le atribuye la seguridad estructural del edificio es el Ingeniero Enrique Martínez Romero, quien promovió el uso de los dispositivos de Disipación Pasiva de Energía, así como la instalación de los dispositivos de Fluido Viscoso. Los dispositivos (un total de 98) fueron instalados en forma estratégica desde el piso 13 al 57, con el objeto de reducir las sollicitaciones y sin exponer las reservas de resistencia de la estructura por ductilidad.

El diseño fue realizado mediante el programa para el análisis de estructura SAP2000, en el cual se realizaron siete análisis tiempo historia de la estructura con el fin de obtener los parámetros necesarios de los Disipadores Viscosos.



Figura 10. Torre Mayor – México



Figura 11. Torre Mayor – México



2.5 PROCESO DE DISEÑO DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

2.5.1 GENERALIDADES

El diseño de estructuras con dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso, es un proceso de prueba y error, es decir, es un proceso iterativo de tanteo donde lo que se busca es obtener un nivel de control de la respuesta de la estructura y sus contenidos.

Para este fin es importante definir un esquema de diseño que permita responder de antemano si el nivel de control deseado puede ser alcanzado por la estructura y por el tipo dispositivo que se pretende utilizar, también debe permitir la posibilidad de definir en forma robusta un prediseño de los dispositivos de tal manera que las posteriores etapas iterativas de afinamiento y validación del diseño lleven a cambios menores.

En la práctica, este tipo de diseño consiste en hacer ensayos para ajustar y calibrar la respuesta del edificio con diversos arreglos y tipos de amortiguadores. Estas pruebas se hacen de manera analítica, basadas en poderosos programas de cálculo estructural, como el ETABS o SAP2000, con los que la estructura del edificio se modela tridimensionalmente mediante la técnica de elemento finito. Se incluyen los Disipadores de fluido Viscoso con un comportamiento Lineal o No Lineal para realizar análisis dinámicos modales y de historia en el tiempo, o paso a paso.

2.5.2 DETERMINACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

Se parte de la base que se conoce un modelo matemático de los componentes estructurales del sistema sin los dispositivos de amortiguamiento viscoso. Este modelo puede corresponder a una edificación existente o a una nueva. Con este modelo se debe determinar los periodos naturales de la estructura y los modos asociados a estos, además de la respuesta de la misma.

El primer paso en el diseño de los amortiguadores es la selección de la localización y distribución de los dispositivos dentro de la estructura. La ubicación de los dispositivos, debe realizarse en conjunto con el arquitecto, de tal forma que estos no interfieran en la estética de la edificación.



2.5.3 DETERMINACIÓN DEL CONTROL DE LA RESPUESTA

En base a la respuesta dinámica del modelo de la estructura sin los dispositivos (determinado en el punto anterior), se adopta un parámetro a controlar de la respuesta. El parámetro a controlar puede ser la reducción de un cierto porcentaje de la deformación máxima relativa entre pisos, la limitación de esta a un cierto valor, la limitación de la aceleración máxima, limitación de la torsión, limitación de los esfuerzos, etc.

2.5.4 DETERMINACIÓN DE LA DEMANDA SÍSMICA

La demanda sísmica a la que se ve afectada la estructura, está intrínsecamente definida por el nivel de control de la respuesta. Ya que lo que se busca que el comportamiento de la estructura frente a un cierto registro sísmico, conjunto de registros, espectro de diseño u otras cargas laterales es que esta cumpla con los niveles de serviciabilidad de la estructura y/o de sus contenidos.

2.5.5 DETERMINACIÓN DEL NIVEL DE AMORTIGUAMIENTO SUPLEMENTARIO

El nivel de amortiguamiento suplementario, corresponde al grado de amortiguamiento que se debe agregar a la estructura, es decir, al valor de la razón de amortiguamiento crítico debido a los dispositivos viscosos (ξ_{md}).

Con este grado de amortiguamiento adicional lo que se desea es lograr alcanzar el control de la respuesta deseado. Este grado de amortiguamiento será tomado como la variable a iterar, es decir, se supondrá un cierto valor inicial con el cual se realizará todo el proceso de diseño, luego se verificará si se cumple con el control de la respuesta, si esto no es así se adoptará otro valor y se repetirá el proceso hasta llegar al control de la respuesta deseada, pero no debe dejarse de lado que este valor debe ser razonable, ya que valores muy altos darán como resultados diseños muy costosos.



2.5.6 DETERMINACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE LOS DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Como se dijo anteriormente, el proceso de diseño de los dispositivos es un proceso iterativo que puede compararse a la selección de una columna en el diseño de estructuras metálicas, el calculista selecciona diferentes columnas (tamaños y secciones) y comienza a iterar hasta lograr un diseño práctico y económico.

En el caso de los disipadores de energía del tipo viscoso el calculista debe suponer un cierto amortiguador que es función del coeficiente de amortiguamiento c_{md} y el exponente de la velocidad η .

2.6 RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO

2.6.1. NORMA Y REQUERIMIENTOS DEL CÓDIGO ASCE 7-10

La norma ASCE 7-10 en su capítulo 18(requerimientos de diseño sísmico para estructuras con sistemas de disipación) plantea 4 procedimientos para el análisis de estructuras provistas de disipadores.

✓ Procedimientos no lineales

Análisis de la respuesta No-Lineal Tiempo-Historia.
Análisis No-lineal estático.

✓ Procedimientos lineales

Análisis de la respuesta espectral.
Análisis de fuerza lateral equivalente.

En nuestro país el procedimiento de análisis para una estructura provista de disipadores de energía se ha fijado hacia el empleo del análisis de la respuesta no-lineal tiempo-historia



2.6.2. RECOMENDACIONES PARA EL ANÁLISIS TIEMPO HISTORIA

Los registros sísmicos deben ser apropiadamente seleccionados (deben ser concordantes con las características del suelo de cimentación del proyecto) y escalados individualmente.

Se puede utilizar al menos 7 pares de registros sísmicos (en sus componentes horizontales) deben ser empleados para el análisis tiempo historia, las fuerzas, desplazamientos y velocidades pueden tomarse como el promedio de los obtenidos en el análisis.

Si menos de 7 pares de registros sísmicos son empleados; las fuerzas, desplazamientos y velocidades deben tomarse como el máximo valor obtenido del análisis tiempo historia.

Los registros sísmicos deberán ser escalados a un espectro de diseño (donde el valor de R sea igual a 1) tal como lo señala la norma peruana sismorresistente; los valores que se tomen para el cálculo de las propiedades del sistema de disipación serán aquellos que se ajusten más al espectro de diseño (considerando una variación máxima de 1.5 % entre las derivas obtenidas del análisis tiempo historia y del análisis con el espectro de diseño)

2.6.3. RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES:

Esta norma señala que las conexiones deben ser evaluadas usando el criterio de diseño por resistencia y que deben ser diseñadas para que resistan las fuerzas, desplazamientos y velocidades del máximo sismo esperado (igual a 1.5 del sismo de diseño)

Para el diseño de las conexiones tener en cuenta que hay algunos elementos que son proporcionados por el mismo proveedor y que se obtienen al comprar el disipador viscoso, todos los demás elementos deberán de ser diseñados

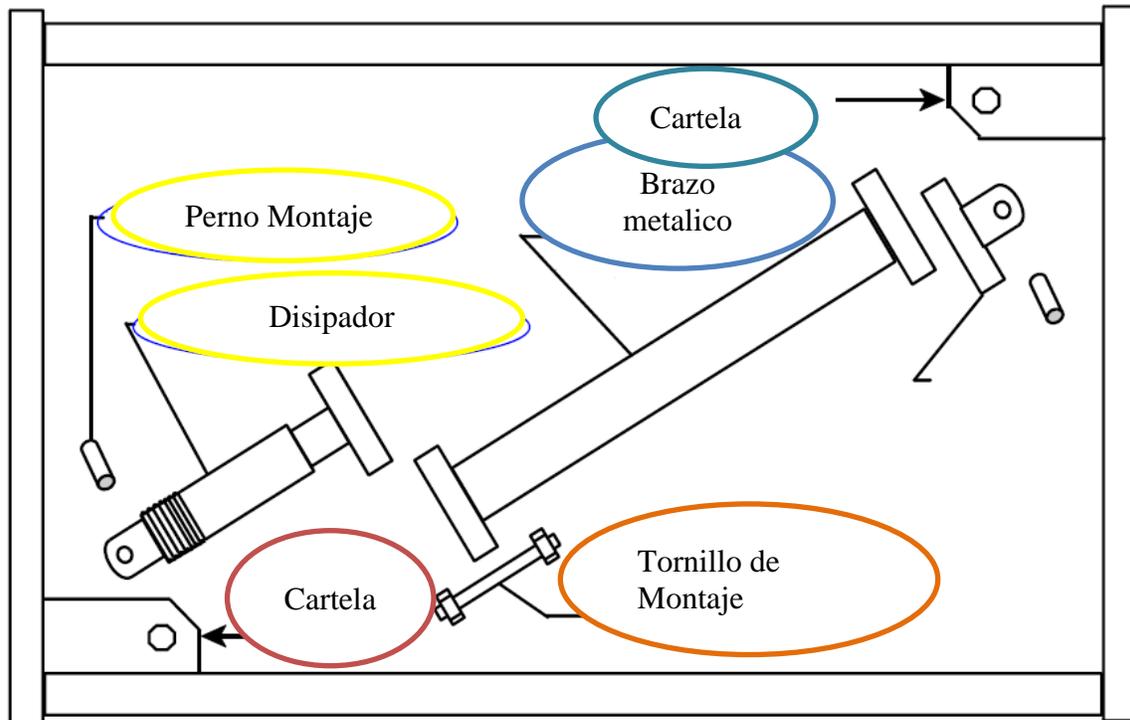


Figura.12 Conexiones en la disposición diagonal
Fuente: Taylor-Sap Etabs modeling

2.6.4. RECOMENDACIONES PARA LA MODELACIÓN

La base puede ser modelada como perfectamente empotrada o se puede considerar las propiedades del suelo a través de la interacción suelo estructura.

El amortiguamiento inherente de la estructura debe ser basado en el tipo de material que se emplee, la configuración y el comportamiento de la estructura y de los elementos no estructurales. A menos de que se pueda probar un amortiguamiento mayor, este se tomara como no más del 5 por ciento del amortiguamiento crítico para todos los modos de vibración.



CAPITULO III: DESCRIPCION DEL PROYECTO



3 DESCRIPCIÓN Y ESTRUCTURACIÓN DEL PROYECTO

3.1. CONDICIONES GENERALES DE LA EDIFICACIÓN

En esta sección se presentarán las características del proyecto elegido para el desarrollo de la investigación, siendo este un edificio dual como se describe a continuación.

3.2. PROYECTO ARQUITECTÓNICO

El edificio que se va a analizar corresponde a la “Torre C&M”, la cual se encuentra ubicada en la Av. Fátima, de la Urbanización California, Distrito de Víctor Larco Herrera, provincia de Trujillo, Departamento de La Libertad.

El proyecto de oficinas “Torre C & M” tiene una arquitectura y áreas de oficinas definidas, posee un área de 323.61 m² aproximadamente. La configuración geométrica del proyecto ya está establecida, la cual, tiene una forma rectangular de 20.10 m de largo y 16.10 m de ancho.

3.3. DESCRIPCIÓN DEL EDIFICIO

El proyecto “Torre C & M” está destinado a oficinas. La edificación cuenta con 7 niveles mas sótano, siendo la altura de cada nivel de 3.20 m.

La distribución de cada nivel es como se indica a continuación:

- El Sótano se encuentra 8 estacionamientos y un montacarros.
- En el primer piso se encuentra la zona de loby, hall de ingreso, escalera de evacuación con vestíbulo, ascensor, servicios higiénicos, caseta de guardianía y 06 estacionamientos.
- Desde el Segundo al Sexto piso se encuentra un hall, 1 oficinas típicas, servicios higiénicos y ascensores.
- En el Séptimo piso se encuentra un hall, vestíbulo, ascensores, 2 terrazas, un restaurante, cocina y servicios higienicos.

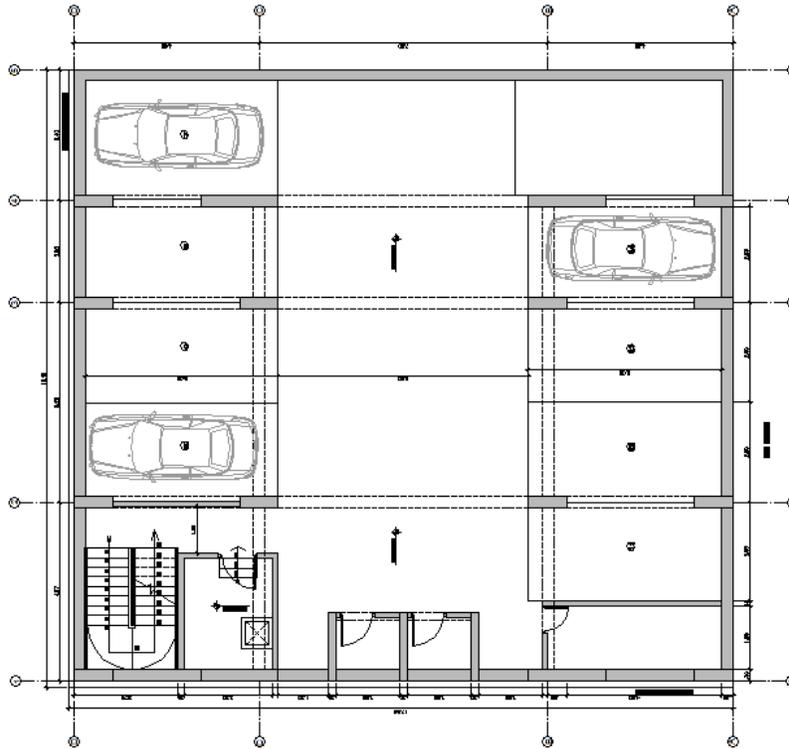


Figura 13 Plano de Planta: Sótano
Fuente: Propia

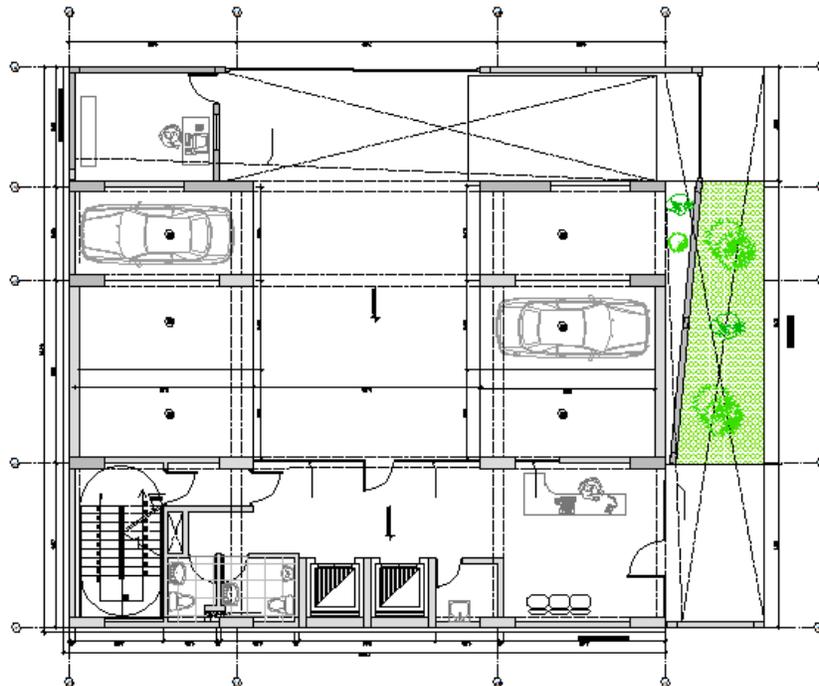


Figura 14 Plano de Planta: 1er Piso
Fuente: Propia

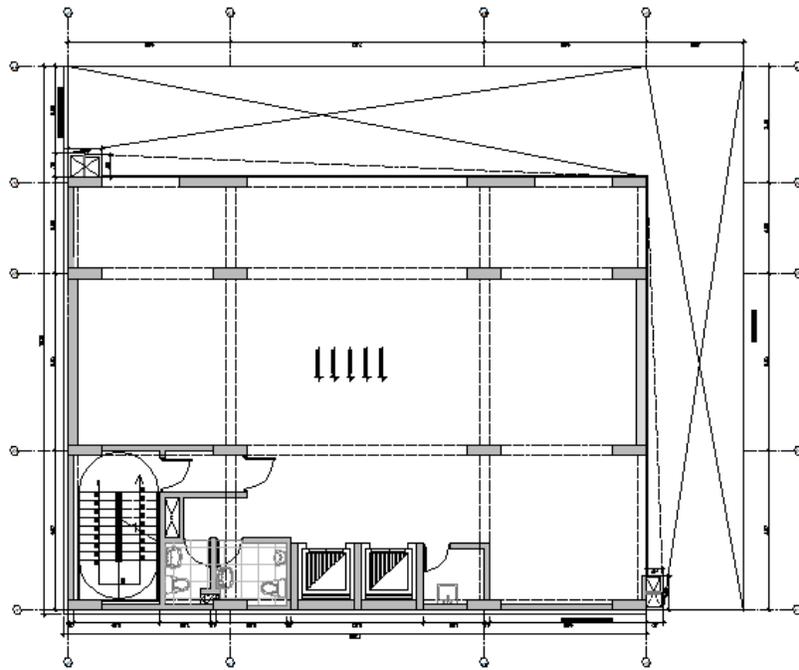


Figura 15: Plano de Planta Típica: 2do al 6to Piso
Fuente: Propia

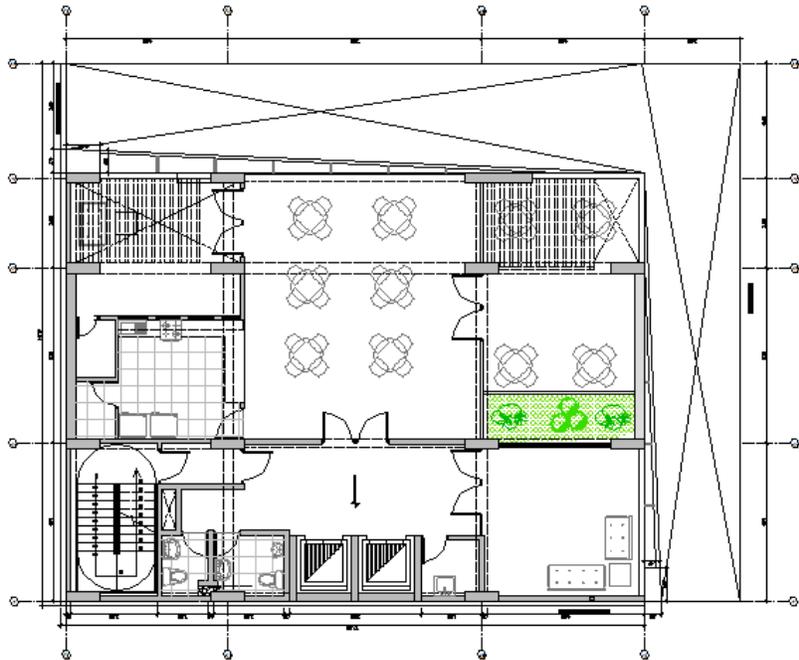


Figura 16: Plano de Planta: Azotea
Fuente: Propia



3.4. ESTUDIO DE MECÁNICA DE SUELOS

El estudio de mecánica de suelos se realiza con el fin de conocer las características y propiedades del suelo para determinar qué tipo de cimentación se acomodará mejor a las sollicitaciones del edificio “Torre C & M”.

El terreno estudiado arroja los siguientes valores para ser considerados en los planos de proyecto:

- ✓ Suelos de Apoyo:
 - **SP (Arena Uniforme).**
- ✓ Desarrollo:
 - **A partir de -3.25 m desde el nivel de vereda.**
- ✓ Posición de la napa freática:
 - **A 6.00 m de profundidad.**
- ✓ Material para ser usado como relleno compactado:
 - **Regular.**
- ✓ Tipo de Cimentación recomendada:
 - **Zapatas conectadas y/o Platea de Cimentación**
- ✓ Ancho de la cimentación:
 - **B = 0.60 m para los cimientos corridos, B = 1.50 m para los cimientos cuadrados; y, B = 9.25 m en el caso de plateas de cimentación.**
- ✓ Profundidad de desplante de la platea:
 - **Df = 3.40 m para cualquier tipo de cimentación.**
- ✓ Valores de capacidad admisible:
 - **qa = 1.53 kg/cm² para todo tipo de cimiento.**
- ✓ Deformaciones del suelo:
 - **Asentamiento tolerable: 1.88 cm**
 - **Distorsión Angular: 0.0047**
- ✓ Parámetros Sísmicos:
 - **Z = 0.40 g, U = 1.00, Tp = 0.60 seg, S = 1.20**



***CAPITULO IV: DISEÑO DE LA
EDIFICACION CON EL
SISTEMA DE MUROS
ESTRUCTURALES***



4. ANÁLISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN

El diseño de edificaciones debe cumplir con ciertas condiciones y parámetros mínimos, para que estas tengan un comportamiento sísmico adecuado, de acuerdo con los principios que se desarrollarán a lo largo de esta sección. El diseño sismoresistente de acuerdo a la norma vigente se aplica en edificaciones nuevas y en el reforzamiento de las existentes.

Los principios del diseño sismo-resistente, según el Reglamento Nacional de Edificaciones, son que la estructura no debe colapsar, ni causar daños graves a las personas debido a los movimientos sísmicos severos que puedan ocurrir en el sitio, además, la estructura debe soportar movimientos sísmicos moderados que puedan ocurrir en el sitio durante su vida de servicio, experimentando posibles daños dentro de límites aceptables. Es decir, la estructura no debería colapsar durante un evento sísmico y los daños que ocurriesen podrían ser reparados, así también, no debería haber pérdidas de vidas humanas, que es lo más importante en caso de desastres naturales.

Sin embargo, se puede considerar como falla de la edificación si esta no es reparable y si INDECI la declara no habitable. Finalmente, se deberá tener en cuenta que la vida de servicio de una edificación aproximadamente es de 50 años, por lo tanto, se debe diseñar con criterios de durabilidad y resistencia con el fin de prever un evento sísmico durante el período de vida útil de la estructura.

4.1. REQUISITOS NORMATIVOS REGLAMENTARIOS

El diseño de los elementos estructurales para la edificación se hará de acuerdo al Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú, además de normas complementarias como el ACI 318-2011 y otras fuentes confiables.



4.1.1. LOSAS ALIGERADAS

Para los aligerados armados en una dirección existe una regla práctica que se puede utilizar con buenos resultados para determinar su espesor. Según esta regla, se debe aplicar la siguiente fórmula:

$$h = \frac{1}{25} l_n$$

Siendo h el espesor de la losa, el cual incluye tanto al espesor del ladrillo como a los 5 cm. De recubrimiento de losa, y l_n la menor longitud de luz libre (dirección de la losa). Según este criterio se considera los siguientes espesores de losa para cada longitud de luz libre:

Tabla N°2 Dimensiones del Aligerado

Espesor del Aligerado (m)	Espesor del Ladrillo (cm)	Luces
0.17	0.12	Menores a 4 m.
0.20	0.15	Entre 5 y 5.5 m.
0.25	0.20	Entre 6 y 6.5 m.
0.30	0.25	Entre 7 y 7.5 m.

4.1.2. VIGAS

Para el predimensionamiento de las vigas de sección rectangular se usarán las fórmulas propuestas por el ACI 318S-05, para obtener medidas tentativas y luego proceder con el metrado de cargas.

$$h = \frac{1}{12} l \quad , \quad b = \frac{1}{2} h$$

Donde L es la luz entre ejes de las columnas, h es el peralte de la viga y b es la base de la viga, la cual debe ser como mínimo 0.25 metros.

Se indica a continuación dimensiones usuales de vigas:



$L \leq 5.5\text{m} \rightarrow 25 \times 50, 30 \times 50$

$L \leq 6.5\text{m} \rightarrow 25 \times 60, 30 \times 60, 40 \times 60$

$L \leq 7.5\text{m} \rightarrow 25 \times 70, 30 \times 70, 40 \times 70, 50 \times 70$

$L \leq 8.5\text{m} \rightarrow 30 \times 75, 40 \times 75, 30 \times 80, 40 \times 80$

$L \leq 9.5\text{m} \rightarrow 30 \times 85, 30 \times 90, 40 \times 85, 40 \times 90$

Fuente: Estructuración y Diseño de Edificaciones d Concreto Armado, Antonio Blanco Blasco

4.1.3. COLUMNAS

Según ensayos experimentales en Japón, las columnas se pueden predimensionar considerando básicamente las áreas tributarias que soportarán las columnas. Así, se utilizarán las siguientes fórmulas para los dos tipos de columnas:

$$A_{\text{col}} = \frac{P \times A_T \times N}{0.45f_c}, \quad \text{Para columnas interiores}$$

$$A_{\text{col}} = \frac{P \times A_T \times N}{0.35f_c}, \quad \text{Para columnas exteriores}$$

Siendo, A_{col} el área de la columna, P la carga total que soporta la columna, A_T el área tributaria, N el número de pisos de la edificación y f_c la resistencia del concreto a la compresión simple.

La distinción entre columnas interiores y exteriores, se debe a que las columnas exteriores o esquineras tendrán una menor carga axial que las columnas interiores.

4.2. CRITERIOS GENERALES DE ESTRUCTURACIÓN

La estructuración de la edificación consiste en ubicar y distribuir los elementos estructurales de una forma adecuada, es decir, colocarlos de forma que la estructura presente un comportamiento correcto frente a cargas de gravedad y/o sismo.



El predimensionamiento debe ser el adecuado y consiste en dimensionar los elementos estructurales, los cuales deben mantener una concordancia con el diseño arquitectónico. Para la edificación presentada se estructuraron las dos direcciones principales de la planta (XX e YY) en base a un sistema aporricado (vigas y columnas). Como elementos horizontales se diseñarán losas aligeradas y las barras de refuerzo principales se consideran en una sola dirección, con el fin de mantener el efecto de diafragma rígido en cada nivel.

Las vigas principales en ambas direcciones son peraltadas, las cuales proporcionarán rigidez a la edificación, además, se colocarán vigas chatas con peralte igual al espesor del aligerado en los lugares donde existen tabiques importantes. Para la cimentación se consideró necesario el uso de vigas de cimentación para poder conectar las zapatas que se superponen o se encuentran próximas.

4.3. PREDIMENSIONAMIENTO DE ELEMENTOS ESTRUCTURALES

4.3.1. LOSAS ALIGERADAS

Como se trata del diseño de una losa aligerada, la dirección será en el sentido de menor luz.

$$h = \frac{1}{25} \times 5.5 = 0.22m \approx 0.20 m$$

Por los valores obtenidos adoptaremos un solo espesor de losa para toda la estructura el cual será de 0.20 m

4.3.2. VIGAS

Para las luces de nuestra edificación obtendremos:

$$h1 = \frac{1}{12} \times 6.50 = 0.54m$$

$$b1 = \frac{1}{2} \times 0.54 = 0.27m$$

Dimensión de Vigas utilizadas en el Proyecto

Viga 1:

$$V1 = 30 \times 60$$



4.3.3. COLUMNAS

El valor de la carga P será de 1000Kg/m², ya que es un valor referencial obtenido de:

Tabla N°3 Peso Propio

Columna + Viga	250 Kg/m ²
Losa	300 Kg/m ²
Piso terminado	100 Kg/m ²
Tabiquería	150 Kg/m ²
S/C	200 Kg/m ²
TOTAL	1000 Kg/m²

$$L_1 = \sqrt{\frac{1000 \times 2.82 \times 2.41 \times 8}{0.35 \times 210}} = 27.20cm \quad L_2 = \sqrt{\frac{1000 \times 5.78 \times 2.41 \times 8}{0.35 \times 210}} = 38.94cm$$

$$L_3 = \sqrt{\frac{1000 \times 6.25 \times 2.41 \times 8}{0.35 \times 210}} = 40.49cm \quad L_4 = \sqrt{\frac{1000 \times 2.30 \times 2.41 \times 8}{0.35 \times 210}} = 24.56cm$$

$$L_5 = \sqrt{\frac{1000 \times 4.86 \times 2.81 \times 8}{0.35 \times 210}} = 38.55cm \quad L_6 = \sqrt{\frac{1000 \times 5.78 \times 4.86 \times 8}{0.45 \times 210}} = 48.77cm$$

$$L_7 = \sqrt{\frac{1000 \times 6.24 \times 4.86 \times 8}{0.45 \times 210}} = 50.67cm \quad L_8 = \sqrt{\frac{1000 \times 2.30 \times 4.86 \times 8}{0.35 \times 210}} = 34.88cm$$

$$L_9 = \sqrt{\frac{1000 \times 4.11 \times 2.81 \times 8}{0.35 \times 210}} = 35.46cm \quad L_{10} = \sqrt{\frac{1000 \times 5.78 \times 4.11 \times 8}{0.45 \times 210}} = 44.85cm$$

$$L_{11} = \sqrt{\frac{1000 \times 6.24 \times 4.11 \times 8}{0.45 \times 210}} = 46.60cm \quad L_{12} = \sqrt{\frac{1000 \times 4.11 \times 2.30 \times 8}{0.35 \times 210}} = 32.08cm$$

$$L_{13} = \sqrt{\frac{1000 \times 1.35 \times 2.81 \times 8}{0.35 \times 210}} = 20.32cm \quad L_{14} = \sqrt{\frac{1000 \times 5.78 \times 1.35 \times 8}{0.35 \times 210}} = 29.14cm$$

$$L_{15} = \sqrt{\frac{1000 \times 6.24 \times 1.35 \times 8}{0.35 \times 210}} = 30.28cm \quad L_{16} = \sqrt{\frac{1000 \times 1.35 \times 2.30 \times 8}{0.35 \times 210}} = 18.39cm$$



Tabla N°4 Tipos de Columnas Utilizadas

COLUMNAS						
TIPO	P (kg/m ²)	Área (m ²)	f'c (kg/cm ²)	N°	Acol (cm ²)	Acol (utilizado.)
C1	1000	6.80	210	8	30 x 30	30 x 100
C2	1000	13.93	210	8	40 x 40	30 x 100
C3	1000	15.06	210	8	40 x 40	30 x 100
C4	1000	5.54	210	8	25 x 25	30 x 100
C5	1000	13.66	210	8	40 x 40	30 x 100
C6	1000	28.09	210	8	50 x 50	30 x 100
C7	1000	30.33	210	8	50 x 50	30 x 100
C8	1000	11.18	210	8	35 x 35	30 x 100
C9	1000	11.55	210	8	35 x 35	30 x 100
C10	1000	23.76	210	8	45 x 45	30 x 100
C11	1000	25.65	210	8	45 x 45	30 x 100
C12	1000	9.45	210	8	30 x 30	30 x 100
C13	1000	3.79	210	8	20 x 20	30 x 100
C14	1000	7.80	210	8	30 x 30	30 x 100
C15	1000	8.42	210	8	30 x 30	30 x 100
C16	1000	3.11	210	8	25 x 25	30 x 100

4.4. ANÁLISIS DE CARGAS POR GRAVEDAD

Para realizar el metrado de cargas de gravedad se consideró un área tributaria correspondiente a cada columna. En esta área tributaria las columnas soportaron las siguientes cargas: las carga transmitidas por las vigas, las losas, los tabiques, el piso terminado, el peso propio y la sobrecarga.

A continuación, se definen los pesos que van a ser usados para el cálculo de las cargas actuantes en las columnas.



Carga Muerta:

Peso del Concreto = 2.40 Ton/m³

Peso del Aligerado (20 cm) = 0.30 Ton/m²

Peso de piso terminado = 0.10 Ton/m²

Vigas de 0.30x0.60 = 0.432 Ton/m

Carga Viva:

S/C oficinas = 0.25 Ton/m²

S/C oficinas – archivos = 0.50 Ton/m²

S/C tabiquería móvil = 0.10 Ton/m²

Tabla N°5. Peso total de la estructura

CALCULO DEL PESO TOTAL DEL EDIFICIO (P)

Story	Diaphragm	Mass	PESO
		tonf-s ² /m	tonf
PISO 7	D7	14.77133	144.9067
PISO 6	D6	20.72004	203.2636
PISO 5	D5	20.95499	205.5685
PISO 4	D4	20.95499	205.5685
PISO 3	D3	20.95499	205.5685
PISO 2	D2	20.95499	205.5685
PISO 1	D1	20.95499	205.5685
		TOTAL =	1376.01 Ton.

4.5 IRREGULARIDAD TORSIONAL

Se considerará sólo en edificios con diafragmas rígidos en los que el desplazamiento promedio de algún entrepiso exceda del 50% del máximo permisible. En cualquiera de las direcciones de análisis, el desplazamiento relativo máximo entre dos pisos consecutivos, en un extremo del edificio, es mayor que 1,3 veces el promedio de este desplazamiento relativo máximo con el desplazamiento relativo que simultáneamente se obtiene en el extremo opuesto.



Tabla N°6 Torsion en X

Story	PUNTO 1						PUNTO 4						RTx	RTy
	UX	UY	DESPL. X	DESPL. Y	DERIVA X	DERIVA Y	UX	UY	DESPL. X	DESPL. Y	DERIVA X	DERIVA Y		
PISO 7	7	11	38.85	47.70	0.0015	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
PISO 6	7	8.9	34.13	40.05	0.0016	0.0024	11	9	57.23	39.60	0.0028	0.0024	1.259	1.000
PISO 5	6	7.2	28.88	32.40	0.0020	0.0025	9.2	7	48.30	31.95	0.0033	0.0025	1.250	1.000
PISO 4	4	5.4	22.58	24.30	0.0021	0.0024	7.2	5	37.80	23.85	0.0034	0.0024	1.235	1.000
PISO 3	3	3.7	15.75	16.65	0.0020	0.0023	5.1	4	26.78	16.20	0.0034	0.0021	1.273	1.032
PISO 2	2	2.1	9.45	9.45	0.0018	0.0018	3	2	15.75	9.45	0.0030	0.0018	1.241	1.000
PISO 1	1	0.8	3.68	3.60	0.0011	0.0011	1.2	1	6.30	3.60	0.0020	0.0011	1.263	1.000
SOTANO	0	0	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0.000

Tabla N°7 Torsion en Y

Story	PUNTO 2						PUNTO 3						RTx	RTy
	UX	UY	DESPL. X	DESPL. Y	DERIVA X	DERIVA Y	UX	UY	DESPL. X	DESPL. Y	DERIVA X	DERIVA Y		
PISO 7	7	11	38.85	47.25	0.0015	0.0024	-	-	-	-	-	-	-	-
PISO 6	7	8.8	34.13	39.60	0.0016	0.0024	11	9	57.23	40.05	0.0028	0.0024	1.259	1.000
PISO 5	6	7.1	28.88	31.95	0.0020	0.0025	9.2	7	48.30	32.40	0.0033	0.0025	1.250	1.000
PISO 4	4	5.3	22.58	23.85	0.0021	0.0024	7.2	5	37.80	24.30	0.0034	0.0024	1.235	1.000
PISO 3	3	3.6	15.75	16.20	0.0020	0.0021	5.1	4	26.78	16.65	0.0034	0.0023	1.273	1.032
PISO 2	2	2.1	9.45	9.45	0.0018	0.0018	3	2	15.75	9.45	0.0030	0.0018	1.241	1.000
PISO 1	1	0.8	3.68	3.60	0.0011	0.0011	1.2	1	6.30	3.60	0.0020	0.0011	1.263	1.000
SOTANO	0	0	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0	0	0.00	0.00	0.0000	0.0000	0.000	0.000

ANALISIS SISMICO DE LA EDIFICACION DE SISTEMA DE MUROS ESTRUCTURALES

Análisis Sísmico Normativo

Tabla N°8 Deriva de entre piso permitidas por RNE

Material Predominante	(Di/hei)
Concreto Armado	0.007
Acero	0.010
Albañilería	0.005
Madera	0.010

Parámetros Sísmicos

Zonificación - Factor de Zona (Z)

La estructura se ubica en la ciudad de Trujillo; por lo tanto de acuerdo a la zonificación propuesta se obtiene $Z=0.4$



Tipo de Suelo (S) y T_p

El suelo es una arena uniforme (SP de acuerdo al SUCS), se encuentra en un estado de compactidad semidensa con estructuras tipo no cohesivas y partículas de forma subangular.

$$S = 1.2$$

$$T_p = 0.6 \text{ s}$$

Factor de amplificación sísmica (C)

$$T_x = 0.3930$$

$$T_y = 0.3570$$

T = Periodo Fundamental

$$C_x = 2.5 \times \frac{0.6}{0.3930} = 3.8168 \geq 2.5$$

$$C_y = 2.5 \times \frac{0.6}{0.3570} = 4.2017 \geq 2.5$$

$$\therefore C = 2.5$$

Factor de Uso de Importancia (U)

El uso de la edificación de acuerdo a la Norma E0.30 es EDIFICACIONES COMUNES, entonces

$$U = 1.0$$

Sistema Estructural y Coeficiente de Reducción Sísmica (R)

Para el Sistema Dual (Pórtico Placas), de Concreto Armado el factor de reducción es $R = 7$

Para el Sistema de Muros Estructurales, de Concreto Armado el factor de reducción es $R=6$

Se debe comprobar según la Formula de la Norma:

$$\frac{C}{R} \geq 0.125$$

$$\frac{2.5}{6} \geq 0.4107$$

$$\frac{2.5}{6} \geq 0.125$$

$$\frac{2.5}{7} \geq 0.3571$$

$$\frac{2.5}{6} \geq 0.125$$



Comprobación del Coeficiente De Reducción Sísmica

Fuerza Total = 279.57 Tn

Sismo X

Placas: 190.0566 Tn $\rightarrow \frac{190.0566 \times 100}{279.57} = 67.98 \%$

Columnas: 89.5133 Tn $\rightarrow \frac{89.5133 \times 100}{279.57} = 32.02 \%$

Sismo Y

Placas: 261.4727 Tn $\rightarrow \frac{261.4727 \times 100}{279.57} = 93.52 \%$

Columnas: 18.1035 Tn $\rightarrow \frac{18.1035 \times 100}{279.57} = 6.48 \%$

Se concluye que es un sistema estructural dual en al dirección X ya que los pórticos toman mas del 25% de la cortante de la base y un sistema de Muros Estructurales en la dirección Y ya que en los Muros Estructurales actúa mas del 80% de la cortante en la Base.

✓ **Desplazamientos Laterales**

Tabla N°9 Desplazamientos de Entre Pisos y Control de Derivas Estáticas

CONTROL DE DEZPLAZAMIENTOS Y DERIVAS

SISMO X R = 7 (ESTATICO)

PISO 7	12.4	65.1000	0.0023	SI CUMPLE
PISO 6	11	57.7500	0.0028	SI CUMPLE
PISO 5	9.3	48.8250	0.0033	SI CUMPLE
PISO 4	7.3	38.3250	0.0034	SI CUMPLE
PISO 3	5.2	27.3	0.0034	SI CUMPLE
PISO 2	3.1	16.2750	0.0031	SI CUMPLE
PISO 1	1.2	6.3000	0.0020	SI CUMPLE
SOTANO	0	0	0	



SISMO Y R = 6 (ESTATICO)

PISO 7	13.5	60.7500	0.0030	SI CUMPLE
PISO 6	11.4	51.3000	0.0031	SI CUMPLE
PISO 5	9.2	41.4000	0.0031	SI CUMPLE
PISO 4	7	31.5000	0.0031	SI CUMPLE
PISO 3	4.8	21.6	0.0030	SI CUMPLE
PISO 2	2.7	12.1500	0.0024	SI CUMPLE
PISO 1	1	4.5000	0.0014	SI CUMPLE
SOTANO	0	0	0	

✓ **Análisis Dinámico Espectral**

$$V_{DINAMICO_X} = 116.6451 \text{ Ton}$$

$$V_{DINAMICO_Y} = 162.5889 \text{ Ton}$$

✓ **Calculo de los Factores de Escala**

$$f_x = \frac{116.6451}{235.8879} = 0.4945 < 0.80 \rightarrow \frac{0.8}{0.4945} = 1.6178$$

$$f_y = \frac{162.5889}{275.2025} = 0.59 < 0.80 \rightarrow \frac{0.8}{0.59} = 1.3541$$

✓ **Nuevo Cortante en la Base (Caso Dinamico)**

$$V_{DINAMICO_X} = 188.7092 \text{ Ton}$$

$$V_{DINAMICO_Y} = 220.1620 \text{ Ton}$$

Según los resultados, se debe cumplir que las derivas del entrepiso del edificio, luego de ser aplicadas las cargas sísmicas, no deben ser mayores a 0.007 en el caso de edificaciones de concreto armado.



Tabla N°10 Desplazamientos entre Pisos y Derivas Dinámicas

CONTROL DE DESPLAZAMIENTOS Y DERIVAS

EQX-X	R =	7	(DINAMICO)	
		(mm)		
PISO 7	9.3	48.8250	0.0015	SI CUMPLE
PISO 6	8.4	44.1000	0.0021	SI CUMPLE
PISO 5	7.1	37.2750	0.0025	SI CUMPLE
PISO 4	5.6	29.4000	0.0026	SI CUMPLE
PISO 3	4	21	0.0028	SI CUMPLE
PISO 2	2.3	12.0750	0.0023	SI CUMPLE
PISO 1	0.9	4.7250	0.0015	SI CUMPLE
SOTANO	0	0	0	

EQY-Y	R =	6	(DINAMICO)	
		(mm)		
PISO 7	9.8	44.1000	0.0021	SI CUMPLE
PISO 6	8.3	37.3500	0.0024	SI CUMPLE
PISO 5	6.6	29.7000	0.0023	SI CUMPLE
PISO 4	5	22.5000	0.0023	SI CUMPLE
PISO 3	3.4	15.3	0.0021	SI CUMPLE
PISO 2	1.9	8.5500	0.0017	SI CUMPLE
PISO 1	0.7	3.1500	0.0010	SI CUMPLE
SOTANO	0	0	0	

Conclusion: Se concluye que las derivas maximas ocurren el piso 3, en el eje X y en el piso 6 en el eje Y.



***CAPITULO V: DISEÑO DE LA
EDIFICACION CON EL
SISTEMA ESTRUCTURAL
DUAL (PORTICO-PLACA),
ADICIONANDO EL SISTEMA
DE DISIPACION DE ENERGIA
(DISIPADORES DE FLUIDO
VISCOSO)***



5. REFORZAMIENTO CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

5.1. METODOLOGIA DE DISEÑO DE AMORTIGUADORES

En esta sección se pretende desarrollar un método de diseño de disipadores viscosos de energía que sea capaz de garantizar un desempeño que asegure un nivel de seguridad para las personas y la operabilidad post-sismo de la estructura.

5.1.1. OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

5.1.1.1. NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA

Los movimientos sísmicos de diseño según el comité VISION 2000 son expresados en términos de intervalos de recurrencia y en función de la probabilidad de excedencia. La tabla N°16 muestra los 4 niveles de severidad para cada uno de los movimientos sísmicos.

Tabla N°11 Niveles de Amenaza Sísmica

Movimiento Sísmico de Diseño	Periodo de Retorno (años)	Probabilidad de excedencia (%)
Sismos frecuentes	43	50% en 30 años
Sismos ocasionales	72	50% en 50 años
Sismos raros	475	10% en 50 años
Sismos muy raros	950	10% en 100 años

Fuente: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

5.1.1.2. NIVEL DE DESEMPEÑO

El nivel de desempeño describe un estado límite de daño, ya que, representa una condición límite o tolerable establecida en función de los posibles daños físicos que se pueden causar sobre la edificación, la amenaza sobre la seguridad de los ocupantes de la edificación y la funcionalidad de esta posterior al terremoto.

El comité VISION 2000 del SEAOC propone cinco niveles de desempeño que se describen en función del comportamiento del sistema estructural y de los componentes no estructurales en general, como se resume en la tabla N°17.



Tabla N° 12 Niveles de Desempeño

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: SEAOC Vision 2000 Committee, 1995

5.1.1.3. RELACIÓN DE DAÑO-NIVEL DE DESEMPEÑO

Desde el punto de vista estructural, los niveles de desempeño corresponden a sectores definidos de la curva de capacidad de la estructura, es decir, el daño de un edificio es función principal del desplazamiento. Por lo tanto, cuando la estructura ingresa al rango inelástico el aumento de daño se debe al aumento de desplazamientos.

El comité VISION 2000 realiza una amplia descripción de los niveles permisibles o tolerables de daño asociados a cada uno de los niveles de desempeño indicados para los diferentes sistemas y sub-sistemas del edificio.

Tabla N°13 Estados de daño y niveles de desempeño

Estado de Daño	Nivel de Desempeño
Despreciable	Totalmente Operacional
Leve	Funcional
Moderado	Resguardo de Vida
Severo	Pre-Colapso
Completo	Colapso

Fuente: SEAOC Vision 2000 Commitee, 1995

5.1.1.4. SISMOS Y COMPORTAMIENTO ESPERADO

El comportamiento esperado depende de la importancia que la edificación tenga para la sociedad, es decir, si está considerada según las categorías como estructura crítica (plantas industriales), esencial (hospitales, colegios, estaciones de bomberos, etc.) o básica (viviendas y oficinas). Así el desempeño esperado de las edificaciones establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico ante los diferentes niveles de amenaza

De esta manera, el desempeño sísmico queda expresado por una matriz propuesta por el comité VISION 2000, la cual representa el comportamiento esperado para cada categoría según los movimientos sísmicos de diseño.

Tabla N°14 Niveles recomendados de Desempeños esperados

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: SEAOC Vision 2000 Commitee, 1995

5.1.2. DEFINICIÓN DE LOS OBJETIVOS DE DISEÑO

5.1.2.1. DERIVA OBJETIVO

En el documento Multi-Hazard Loss Estimation Methodology HAZUS, elaborado por el FEMA Mitigation Division del gobierno estadounidense, se ha establecido una relación entre los estados de daño de la estructura y las derivas características correspondientes a diversos sistemas estructurales.

Estos datos son presentados de forma cuantitativa para cada estado de daño esperado y según el tipo de edificación, el cual, se clasifica según el FEMA.



Tabla N°15 Clasificación según tipo de Estructura

No.	Label	Description	Height			
			Range		Typical	
			Name	Stories	Stories	Feet
1	W1	Wood, Light Frame ($\leq 5,000$ sq. ft.)		1 - 2	1	14
2	W2			All	2	24
		Wood, Commercial and Industrial ($> 5,000$ sq. ft.)				
3	S1L	Steel Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
4	S1M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
5	S1H		High-Rise	8+	13	156
6	S2L	Steel Braced Frame	Low-Rise	1 - 3	2	24
7	S2M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
8	S2H		High-Rise	8+	13	156
9	S3	Steel Light Frame		All	1	15
10	S4L	Steel Frame with Cast-in-Place Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
11	S4M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
12	S4H		High-Rise	8+	13	156
13	S5L	Steel Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	24
14	S5M		Mid-Rise	4 - 7	5	60
15	S5H		High-Rise	8+	13	156
16	C1L	Concrete Moment Frame	Low-Rise	1 - 3	2	20
17	C1M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
18	C1H		High-Rise	8+	12	120
19	C2L	Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
20	C2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
21	C2H		High-Rise	8+	12	120
22	C3L	Concrete Frame with Unreinforced Masonry Infill Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
23	C3M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
24	C3H		High-Rise	8+	12	120
25	PC1	Precast Concrete Tilt-Up Walls		All	1	15
26	PC2L	Precast Concrete Frames with Concrete Shear Walls	Low-Rise	1 - 3	2	20
27	PC2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
28	PC2H		High-Rise	8+	12	120
29	RM1L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Wood or Metal Deck Diaphragms	Low-Rise	1-3	2	20
30	RM1M		Mid-Rise	4+	5	50
31	RM2L	Reinforced Masonry Bearing Walls with Precast Concrete Diaphragms	Low-Rise	1 - 3	2	20
32	RM2M		Mid-Rise	4 - 7	5	50
33	RM2H		High-Rise	8+	12	120
34	URML	Unreinforced Masonry Bearing Walls	Low-Rise	1 - 2	1	15
35	URMM		Mid-Rise	3+	3	35
36	MH	Mobile Homes		All	1	10

Fuente: Multi-Hazard Loss Estimation Methodology HAZUS, 2010



Según la tabla anterior, cabe mencionar que la edificación a desarrollar está clasificada como PC2M, ya que es Sistema Dual (Portico-Placa) de concreto armado de mediana altura (de 4 a 7 niveles).

En la parte final del capítulo 5 del documento Multi-Hazard Loss Estimation Methodology HAZUS se encuentran las tablas que relacionan el estado de daño o nivel de desempeño según VISON 2000 y su deriva característica dependiendo del tipo de edificación.

Para la edificación planteada en el presente capítulo se tomará en cuenta la tabla que se muestra a continuación:

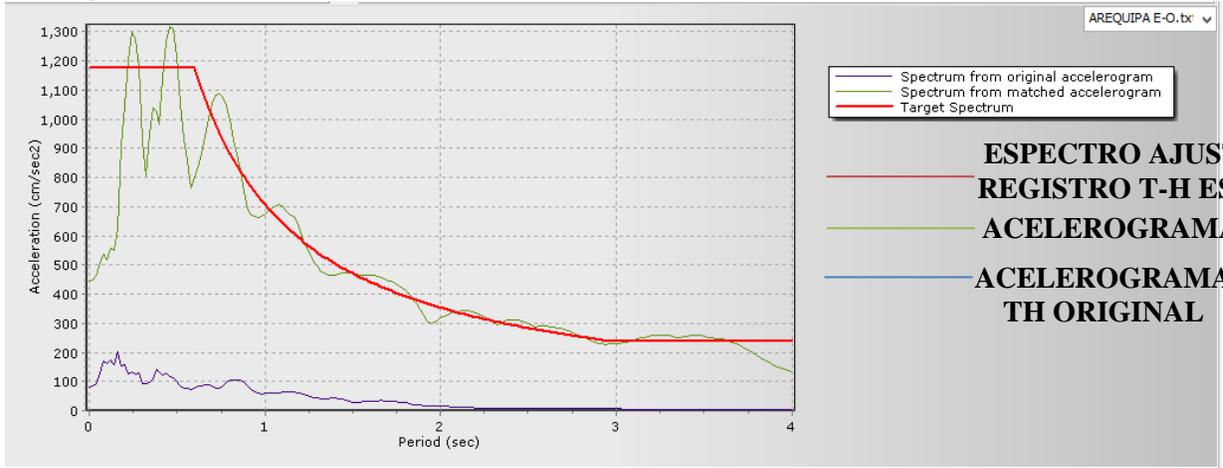


Tabla N°16 Relación Estado de daño-Deriva según tipo de estructura

Building Properties			Interstory Drift at Threshold of Damage State			
Type	Height (inches)		Slight	Moderate	Extensive	Complete
	Roof	Modal				
W1	168	126	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
W2	288	216	0.0040	0.0099	0.0306	0.0750
S1L	288	216	0.0060	0.0104	0.0235	0.0600
S1M	720	540	0.0040	0.0069	0.0157	0.0400
S1H	1872	1123	0.0030	0.0052	0.0118	0.0300
S2L	288	216	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
S2M	720	540	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
S2H	1872	1123	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
S3	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
S4L	288	216	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
S4M	720	540	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
S4H	1872	1123	0.0020	0.0035	0.0093	0.0262
S5L						
S5M						
S5H						
C1L	240	180	0.0050	0.0087	0.0233	0.0600
C1M	600	450	0.0033	0.0058	0.0156	0.0400
C1H	1440	864	0.0025	0.0043	0.0117	0.0300
C2L	240	180	0.0040	0.0084	0.0232	0.0600
C2M	600	450	0.0027	0.0056	0.0154	0.0400
C2H	1440	864	0.0020	0.0042	0.0116	0.0300
C3L						
C3M						
C3H						
PC1	180	135	0.0040	0.0070	0.0187	0.0525
PC2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
PC2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
PC2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
RM1L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM1M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2L	240	180	0.0040	0.0069	0.0187	0.0525
RM2M	600	450	0.0027	0.0046	0.0125	0.0350
RM2H	1440	864	0.0020	0.0035	0.0094	0.0263
URML						
URMM						
MH	120	120	0.0040	0.0080	0.0240	0.0700

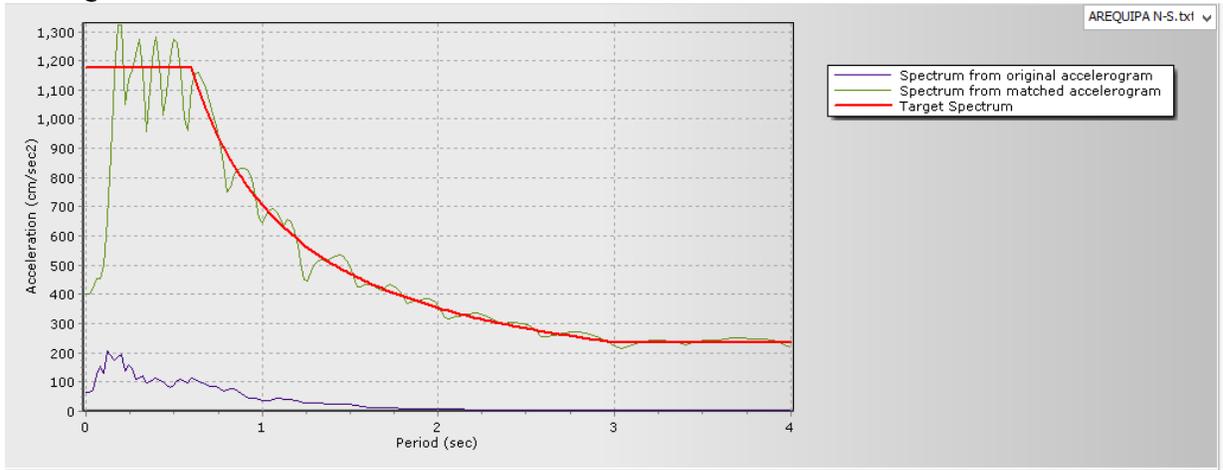


5.2.1. ACELEROGRAMAS UTILIZADOS AREQUIPA E-O



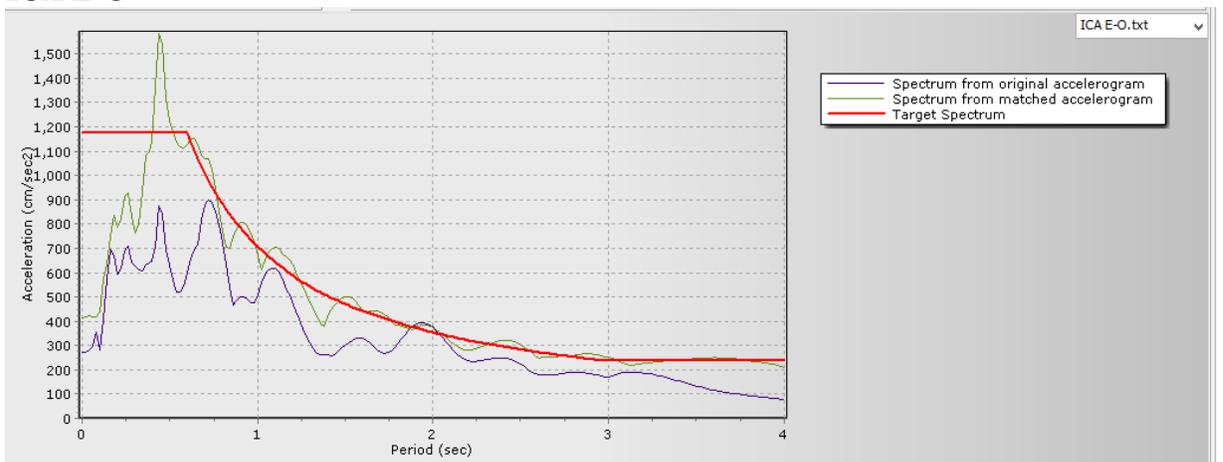
Gráficos N° 1 Espectro AREQUIPA E-O

AREQUIPA N-S



Gráficos N° 2 Espectro AREQUIPA N-S

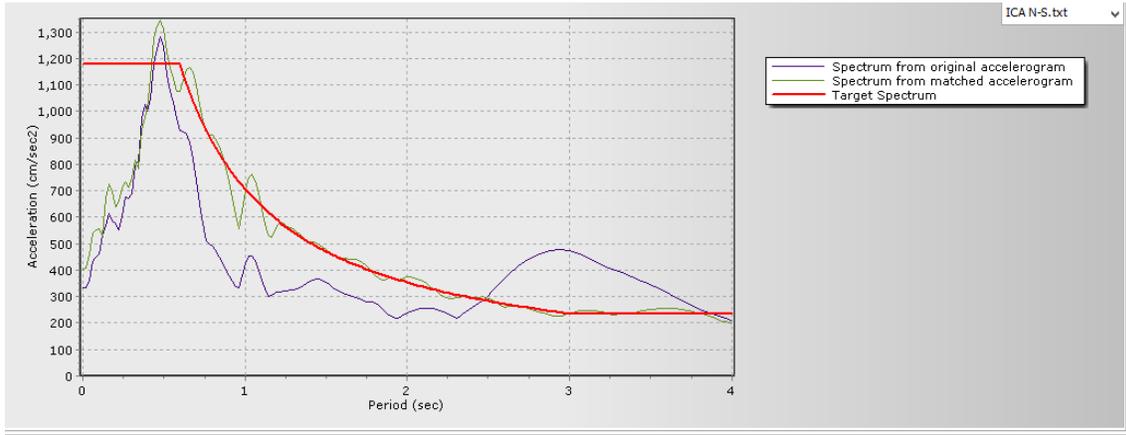
ICA E-O



Gráficos N° 3 Espectro ICA E-O

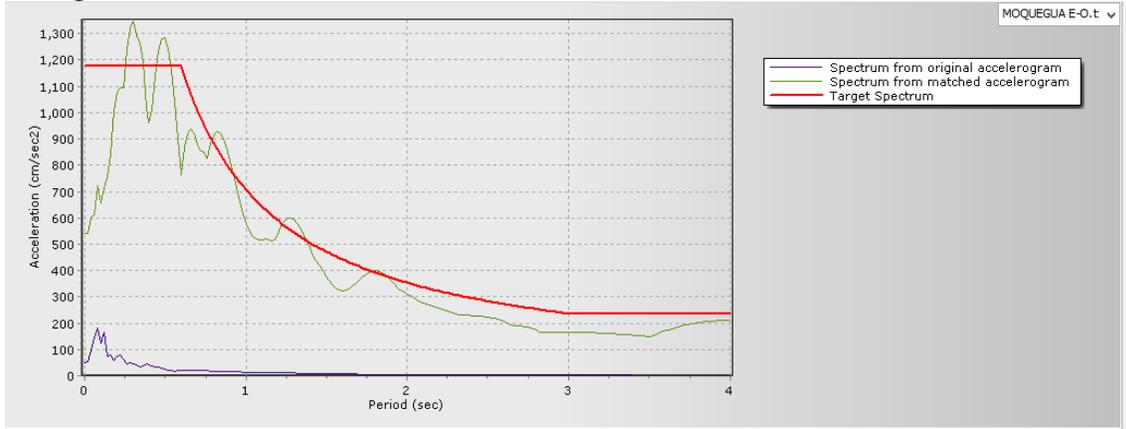


ICA N-S



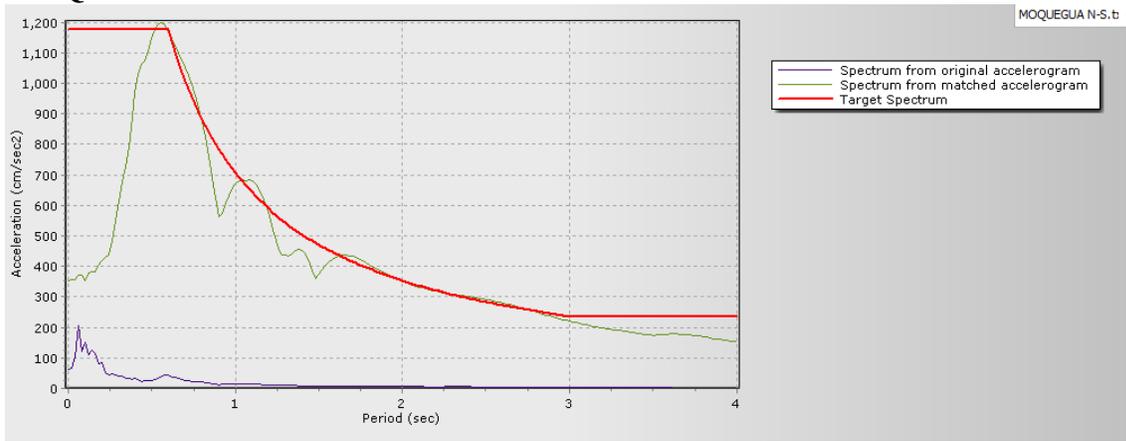
Gráficos N° 4 Espectro ICA N-S

MOQUEGUA E-O



Gráficos N° 5 Espectro MOQUEGUA E-O

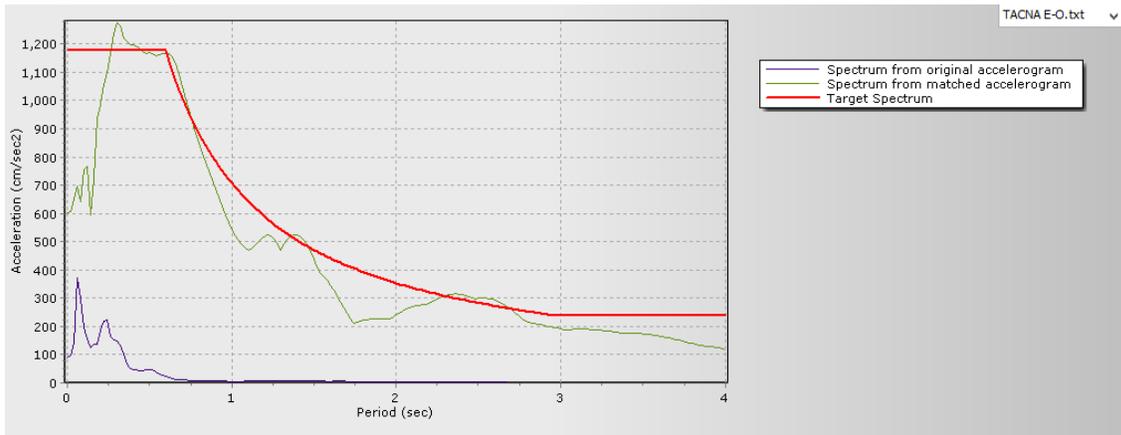
MOQUEGUA N-S



Gráficos N° 6 Espectro MOQUEGUA N-S

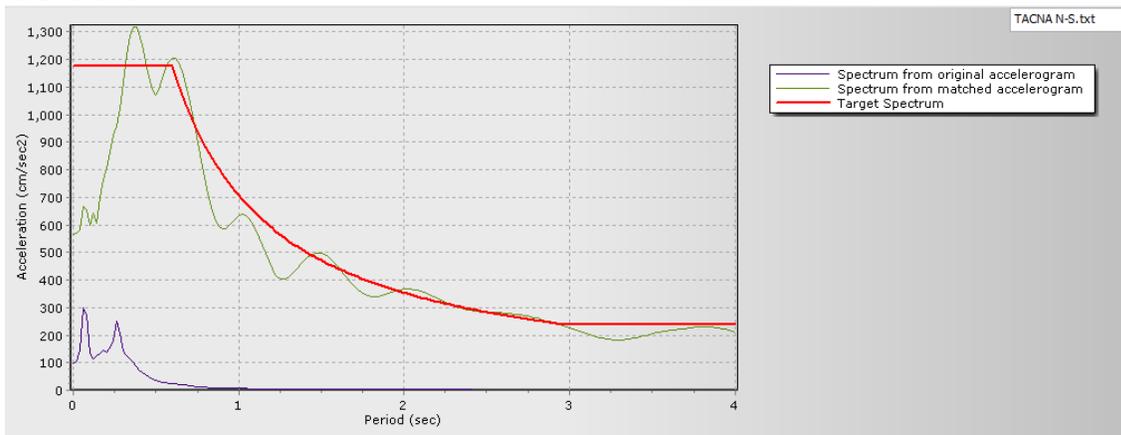


TACNA E-O



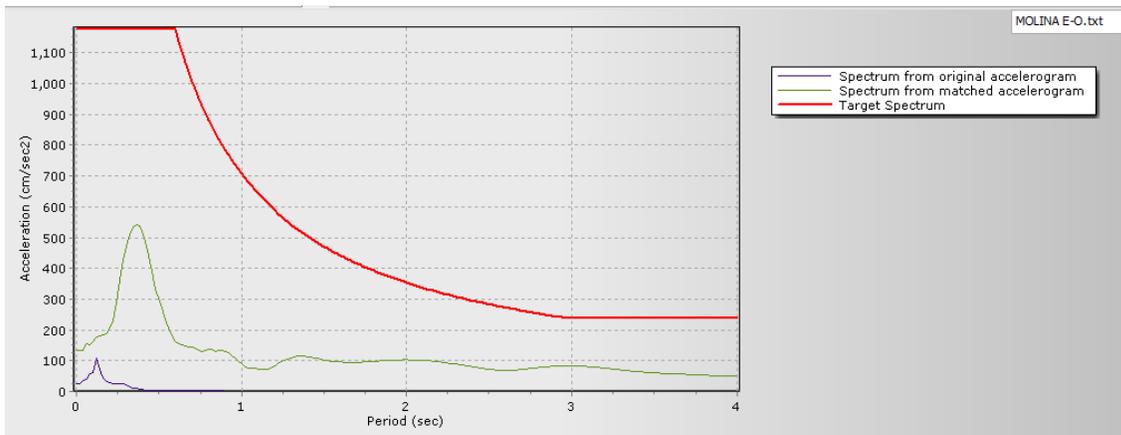
Gráficos N° 7 Espectro TACNA E-O

TACNA N-S



Gráficos N° 8 Espectro TACNA N-S

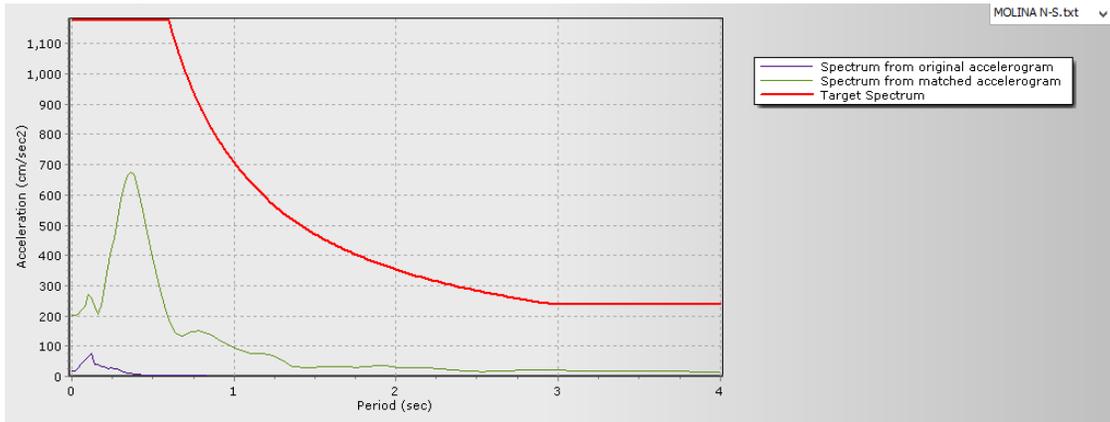
LIMA E-O



Gráficos N° 9 Espectro LIMA E-O



LIMA N-S



Gráficos N° 10 Espectro LIMA N-S

5.2.2 ANÁLISIS DINÁMICO ESPECTRAL

Los parámetros sísmicos son los mismos que se emplearon, esta vez se ha de considerar el valor de $R = 1$

Tabla N° 17. Parametros sísmicos para la definición del espectro de aceleraciones

Parámetros	Dirección X
Z	0.4
U	1.0
C	2.5
S	1.20
Rxx = Ryy	1

Con los parámetros obtenemos el espectro de pseudo-aceleraciones (S_a).

$$S_a = \frac{Z \times U \times S \times C}{R \times T} \times g = \frac{0.4 \times 1.0 \times 1.2 \times 2.5}{1 \times T} \times g = \frac{1.2}{T} \times g$$

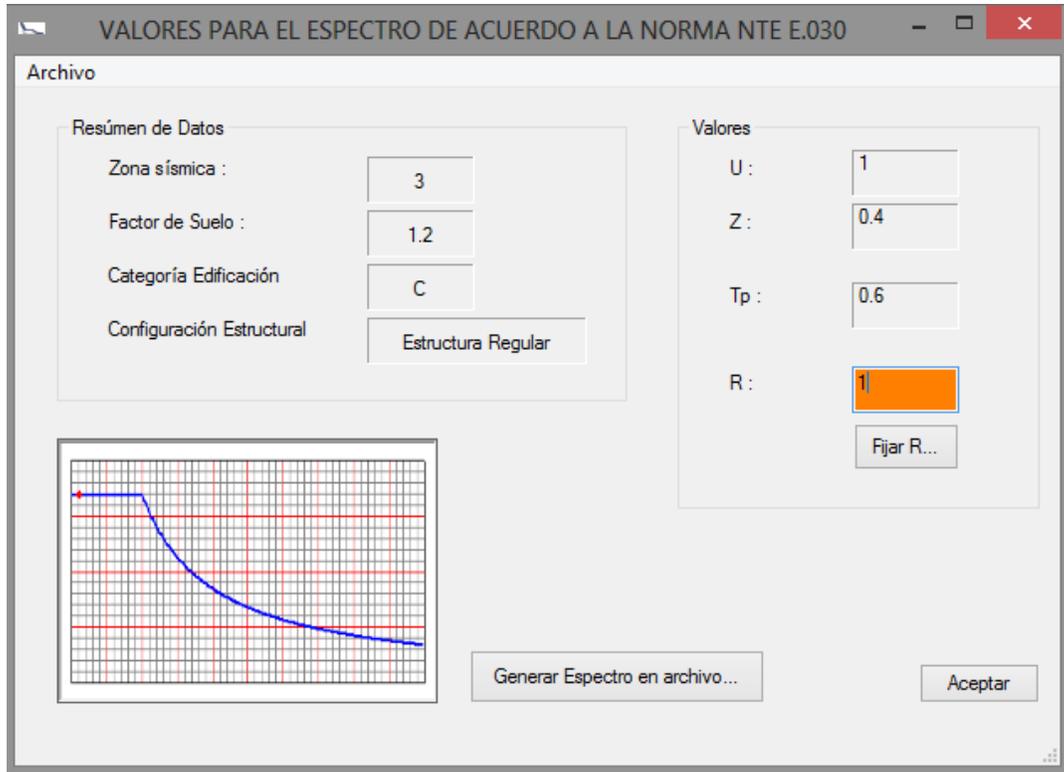


Figura.18 Espectro de pseudo - aceleración (R=1)

La figura 18 muestra el espectro de pseudo-aceleraciones (espectro objetivo) el cual será empleado para escalar los acelerogramas seleccionados para el análisis tiempo historia. Las derivas obtenidas del análisis dinámico espectral se muestran a continuación.

Tabla N°18 Derivas en dirección X-X

PISO	Altura de Pisos (mm)	Distorsión de Entrepiso D/h	Control RNE 0.30
7	3200	0.0006	0.007
6	3200	0.0024	0.007
5	3200	0.0033	0.007
4	3200	0.0038	0.007
3	3200	0.0041	0.007
2	3200	0.0040	0.007
1	3200	0.0026	0.007



Tabla N°19 Derivas en dirección Y-Y

PISO	Altura de Pisos (mm)	Distorsión de Entrepiso D/h	Control RNE 0.30
7	3200	0.0055	7.0
6	3200	0.0064	7.0
5	3200	0.0073	7.0
4	3200	0.0079	7.0
3	3200	0.0079	7.0
2	3200	0.0068	7.0
1	3200	0.0041	7.0

5.2.3 ESCALAMIENTO DE ACELEROGRAMAS AL ESPECTRO DE DISEÑO

Los registros sísmicos que se consideraron para el siguiente trabajo son los siguientes:

Tabla N°20. Ubicación de las estaciones con suelos S1/S2

SISMO	UBICACIÓN DE LA ESTACION	TIPO DE SUELO
13 de Junio del 2005	U. Nacional San Agustín (Arequipa)	S1
15 de Agosto 2007	U. Nacional San Luis Gonzaga (Ica)	S2
2 de Marzo 2005	La Molina (Lima)	S2
13 de Junio 2005	Gobierno Regional de Moquegua (Moquegua)	S1
13 de Julio 2005	Campus de la Universidad Privada de Tacna (Tacna)	S2

Las unidades de estos registros son Gal (cm/seg²)

En las figura 19 se muestra el escalamiento del registro sísmico Tacna 2005 en la componente N-S al espectro de diseño (espectro objetivo)

Las unidades que se manejaron en el programa son: Cm/seg² (las mismas unidades de los registros sísmicos)

En tal sentido el espectro de pseudo-aceleraciones (Sa) en estas unidades será:

$$S_a = \frac{Z \times U \times S \times C}{R \times T} \times g = \frac{0.4 \times 1.0 \times 1.2 \times 2.5}{1 \times T} \times g = \frac{1.2}{T} \times g$$

$$S_a = \frac{1.2}{T} \times g$$

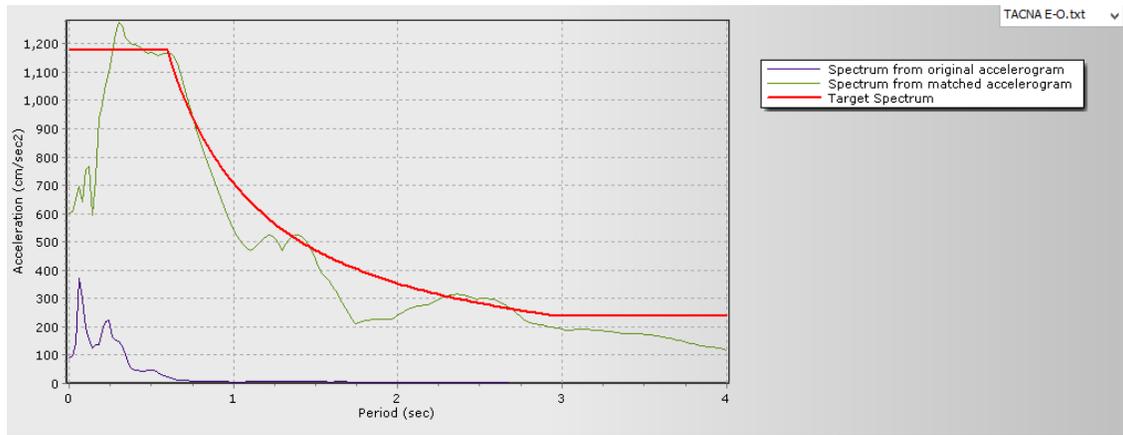


Figura.19 Comparación entre el registro sísmico sin escalar (morado) y el registro escalado (verde) al espectro objetivo (rojo).

5.2.4 ANÁLISIS TIEMPO - HISTORIA

A continuación se muestran las derivas de entrepiso para cada caso de análisis.

Tabla N° 21. Derivas obtenidas en la dirección X-X (análisis tiempo historia)

DERIVAS EN LA DIRECCION X-X						
PISO	ANALISIS DINAMICO ESPECTRAL R=1	ANALISIS DINAMICO TIEMPO HISTORIA (N-S)				
		LIMA	ICA	AREQUIPA	MOQUEGUA	TACNA
7	0.0006	0.0004	0.0006	0.0009	0.0005	0.0004
6	0.0024	0.0008	0.0024	0.0024	0.0023	0.0019
5	0.0033	0.0011	0.0033	0.0032	0.0031	0.0027
4	0.0038	0.0012	0.0039	0.0038	0.0037	0.0032
3	0.0041	0.0013	0.0043	0.0040	0.0040	0.0036
2	0.0040	0.0012	0.0042	0.0038	0.0038	0.0035
1	0.0026	0.0008	0.0027	0.0025	0.0026	0.0024
SOTANO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000



Tabla N° 22. Derivas obtenidas en la dirección Y-Y (análisis tiempo historia)

DERIVAS EN LA DIRECCION Y-Y						
PISO	ANALISIS DINAMICO ESPECTRAL R=1	ANALISIS DINAMICO TIEMPO HISTORIA (E-O)				
		LIMA	ICA	AREQUIPA	MOQUEGUA	TACNA
7	0.0055	0.0009	0.0053	0.0033	0.0034	0.0053
6	0.0064	0.0010	0.0060	0.0038	0.0039	0.0062
5	0.0073	0.0011	0.0069	0.0043	0.0045	0.0072
4	0.0079	0.0012	0.0075	0.0047	0.0049	0.0078
3	0.0079	0.0011	0.0075	0.0046	0.0049	0.0078
2	0.0068	0.0009	0.0064	0.0040	0.0043	0.0068
1	0.0041	0.0005	0.0038	0.0024	0.0026	0.0040
SOTANO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

5.2.5 DETERMINACIÓN DEL SISMO DE DISEÑO

Se tomo el Sismo de la Ciudad de Tacna 2005 por ser el que mas se ajusta al comportamiento esperado, ya que la variación máxima que presenta con respecto al espectro de diseño es mínima, con este sismo se calcularon las propiedades del disipador

5.3 AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO

Para este trabajo se consideró como deriva objetivo el valor de 4.6%, es decir la deriva máxima permitida para estructuras de concreto armado tal como lo indica El Manual Tecnico Hazus para edificaciones de estructuración dual. Los cálculos se realizaron el eje Y-Y; donde la deriva máxima de Y-Y es 7.8 % .

Para calcular el amortiguamiento viscoso necesario para llegar a la deriva objetivo (4.6%)z se sigue el siguiente procedimiento:

Como primer paso se determina el **factor de reducción de respuesta (B)** mediante el cociente:

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

$$Bx = \frac{0.0036}{0.0046} = 0.7826$$



$$B_y = \frac{0.0078}{0.0046} = 1.6957$$

Donde la deriva máxima D_{max} es la obtenida del análisis tiempo historia para el sismo de diseño seleccionado

$$\beta_{effx} = 0\% \quad \rightarrow \text{No requiere disipador en este sentido}$$

$$\beta_{effy} = 26.07\%$$

Luego, se determina el amortiguamiento efectivo despejando la siguiente ecuación.

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

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

$$\beta_{Hxx} = 0 \%$$

$$\beta_{Hyy} = 21.07 \%$$

$$\beta_{vi x} = 0 \%$$

$$\beta_{vi y} = 25 \%$$

Consideraciones adicionales

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

Para el diseño del sistema de amortiguamiento se tomó en consideración esta recomendación, además al ser un amortiguamiento mayor al que requiere la estructura, las derivas de entrepiso que se obtengan serán menores a la establecida de 4.6 %, de esta manera aplicando el procedimiento anteriormente mencionado.



5.4 CALCULO DE LAS PROPIEDADES DEL DISIPADOR

a) Cálculo de la rigidez del Brazo Metálico

Se inicia la interacción considerando un perfil metálico estándar HSS o PiPE STD, en el presente trabajo se partió de un perfil del tipo HSS 7.50 x 0.50

Las propiedades de ese perfil son las siguientes:

Tabla N°23. Propiedades del perfil HSS 7.50 x 0.50

Dimensiones HSS 7.50 x 0.50				
D ext.(in)	D int (in)	Espesor (in)	Area (in2)	Inercia (in4)
7.50	7.035	0.465	10.3	63.9

Con los datos del perfil y la geometría de la estructura, se procede a definir la rigidez del sistema:

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

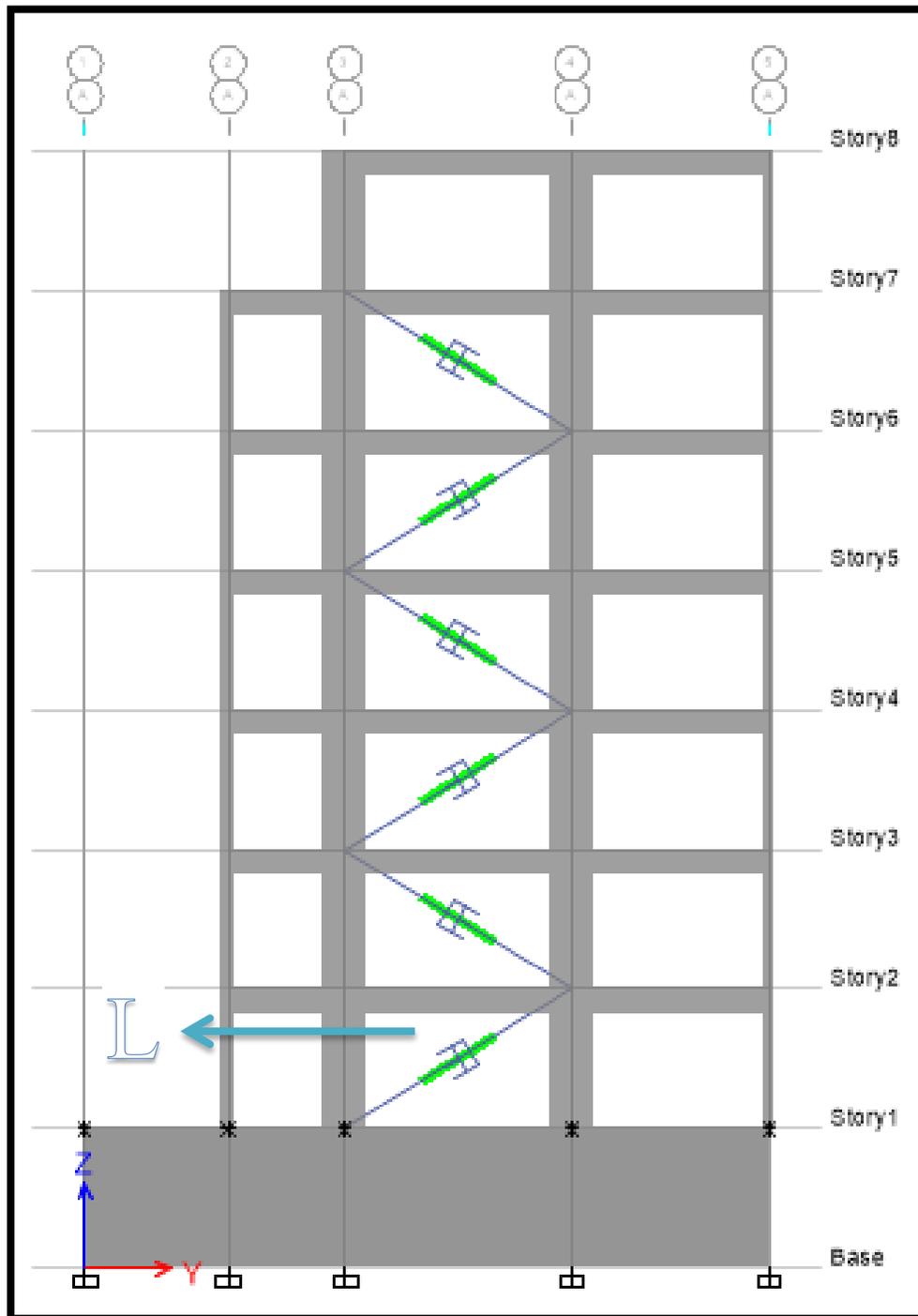
Dónde:

$$\begin{aligned} E \text{ Acero} &= 29\,000 \text{ ksi} && = 20.4 \times 10^6 \text{ tn/m}^2 \\ \text{Área} &= 10.3 \text{ in}^2 && = 66.45 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

L es la longitud del brazo metálico, en la imagen se muestra el valor de L considerando la longitud mínima de los disipadores de energía (31 in)



Figura 20 Longitud del brazo metálico del 1ro al 6to piso en dirección Y.



Por tanto:

$$L_y = 5.32 \text{ m}$$

$$K_y = 25487.06 \text{ Tn/m}$$



b) Cálculo del coeficiente de amortiguamiento

El primer paso corresponde a la definición del exponente de velocidad “ α ”. Para este caso, por tratarse de un dispositivo no lineal, se consideró una $\alpha=0.5$. Una vez culminado esto, se procede a utilizar la siguiente ecuación:

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

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j

m_i : Masa del nivel i

θ_j : Angulo 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 N° 24. Periodo fundamental de la estructura en X e Y

Modo	Periodo T (s)	Masa Participativa	
		Masa X-X (%)	Masa Y-Y (%)
1	0.594	0.0003	70.59
2	0.512	46.58	0.0005
3	0.2906	24.60	0.00007

Tabla N° 25. Desplazamiento MAX del Análisis Tiempo Historia de Tacna

Nivel	Desplazamiento (mm)
Sótano	0.000
1	12.9
2	34.6
3	59.6
4	84.6
5	107.6
6	127.5



Tabla N° 26. Desplazamiento Máximo (Φ_i) y desplazamiento relativo (Φ_{rj})
DIRECCION Y-Y

PISO	ϕ_i	ϕ_{i+1}	ϕ_{rj}
SOTANO	0	12.9	0.0129
PISO 1	12.9	34.6	0.0217
PISO 2	34.6	59.6	0.0250
PISO 3	59.6	84.6	0.0250
PISO 4	84.6	107.6	0.0230
PISO 5	107.6	127.5	0.0200
PISO 6	127.5		

El parámetro λ es dependiente del valor del exponente de velocidad α ; el FEMA 274 nos facilita la siguiente tabla

Tabla N°27 Valores del Parámetro λ

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

Así con estos datos se procede a calcular la frecuencia angular (ω) y posteriormente el coeficiente de amortiguamiento del disipador (C_j)

$$f_y = \frac{1}{T} = \frac{1}{0.5940} = 1.6835 ; \quad \text{Además } \omega = 2 \times \pi \times 1.16835 = 10.5778 \text{ rad/seg}$$

Tabla N° 28. Cálculos realizados para obtener el Coeficiente de amortiguamiento (C)

Dirección YY

PISO	MASA (Ton)	Cos θ	$\cos\theta^{(1+\alpha)} \cdot \Phi_{rj}^{(1+\alpha)}$	$m \cdot \Phi_i^2$
PISO 1	19.51	0.8572	0.00116	0.00325
PISO 2	19.51	0.8572	0.00254	0.02336
PISO 3	19.51	0.8572	0.00314	0.06930
PISO 4	19.51	0.8572	0.00314	0.013964
PISO 5	19.51	0.8572	0.00277	0.022588
PISO 6	19.51	0.8572	0.00224	0.31766
			0.01499	0.77968



Considerando un amortiguamiento viscoso de γ y asumiendo que todos los disipadores tendrán el mismo coeficiente de amortiguamiento, se procede a resolver la siguiente ecuación:

$$\Sigma_j = \frac{\beta_H \times 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\Sigma_i m_i \phi_i^2)}{\lambda (\Sigma \phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Empleando dos disipadores por nivel se tendrá:

$$\Sigma C_{jy} = 305.22$$

Empleando dos disipadores por nivel se tendrá:

$$C_{jy} = 152.61 \text{ ton} \cdot \text{s/m}$$

El valor de C_j en Y como 150 tn/m; así finalmente, las propiedades de los disipadores son las siguientes

Dirección Y

$$C_{jy} = 150 \text{ tn} \cdot \text{s/m}$$

$$K = 25487.06 \text{ tn/m}$$

$$\alpha = 0.5$$

5.5 RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON LOS DISIPADORES

Reducción de derivas

Se procede a verificar si las derivas en el edificio realmente satisfacen las solicitudes de la norma E 0.30 es decir que sean menores al valor de 7%

La siguiente tabla muestra las derivas obtenidas en el edificio con disipadores de energía ubicados en el eje Y, considerando un $\alpha = 0.5$ y el valor de $C_y = 150 \text{ Tn} \cdot \text{s/m}$



Tabla N°29 Derivas de entrepiso Y-Y

<u>Story</u>	<u>Load Case/Combo</u>	<u>Item</u>	<u>Uy (mm)</u>	<u>Drift</u>
PISO 7	TACNA THY E-O Max	Diaph D7 Y	92.1	0.0028
PISO 6	TACNA THY E-O Max	Diaph D6 Y	81.3	0.0031
PISO 5	TACNA THY E-O Max	Diaph D5 Y	68.8	0.0035
PISO 4	TACNA THY E-O Max	Diaph D4 Y	54.3	0.0039
PISO 3	TACNA THY E-O Max	Diaph D3 Y	38.3	0.0040
PISO 2	TACNA THY E-O Max	Diaph D2 Y	22.3	0.0036
PISO 1	TACNA THY E-O Max	Diaph D1 Y	8.4	0.0022
SOTANO	TACNA THY E-O Max	Diaph Y	0.00	0.0000

EJE Y-Y

Como se puede observar la deriva máxima de 7.9‰ (edificio sin disipadores) se redujo hasta 4.0 ‰, valor que es menor al máximo permitido (4.6‰) de esta manera se satisfacerle las condiciones de la norma en cuanto al control de derivas.

5.6 VERIFICACIÓN DEL COMPORTAMIENTO HISTERÉTICO

A continuación se presenta la gráficas de Desplazamiento vs Fuerza (curva de histéresis) de los disipadores con el objetivo de mostrar el comportamiento elíptico de estos, el mismo que corresponde a la conducta esperada.

Por la gran cantidad de disipadores solo se mostrara la curva histeretica de alguno de ellos (aquellos que reflejen un comportamiento representativo)

DISIPADORES EN DIRECCION Y

Figura.21 Ubicación de los disipadores vista bidimensional EJE A

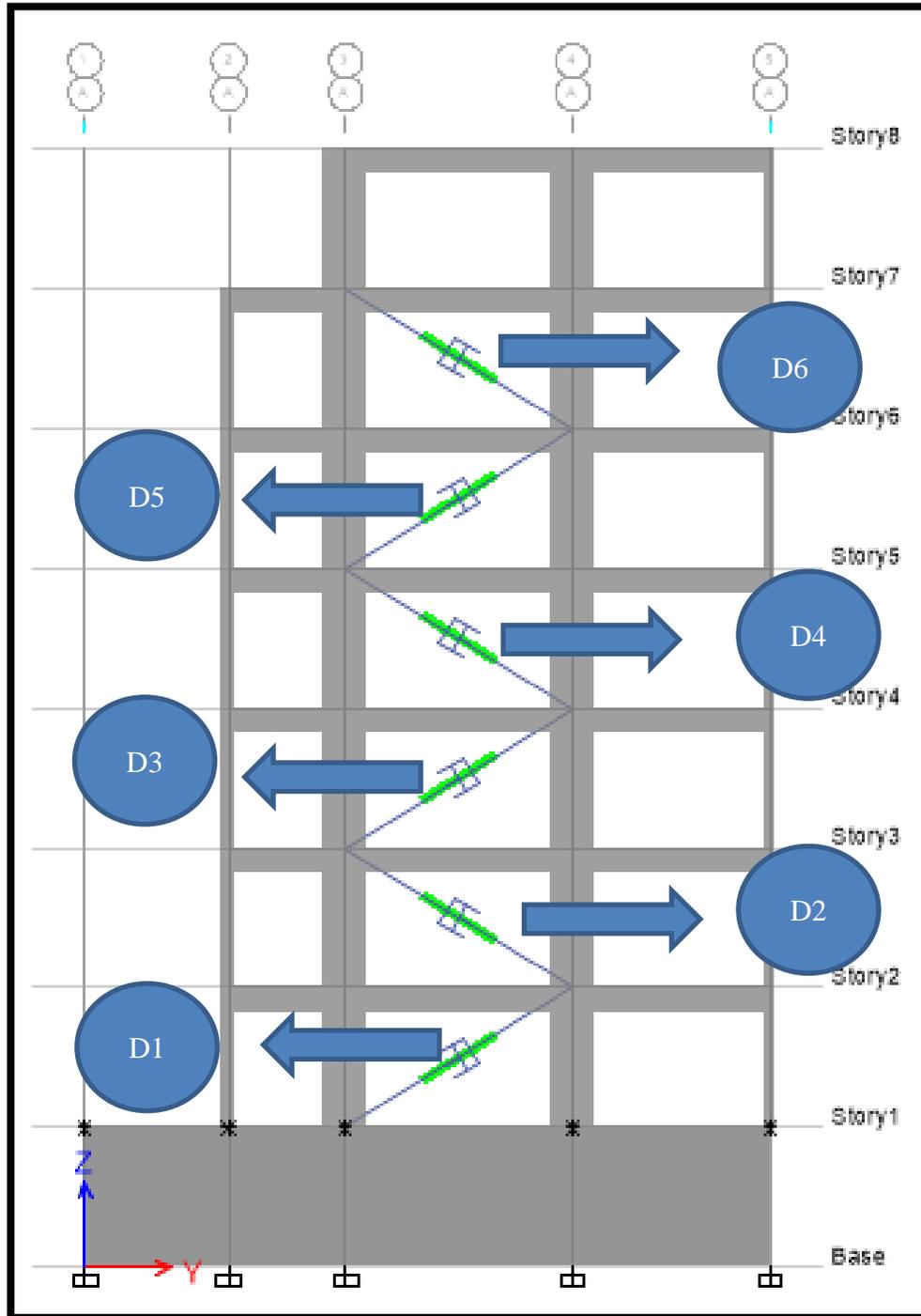




Figura.22 Ubicación de los disipadores vista bidimensional EJE E

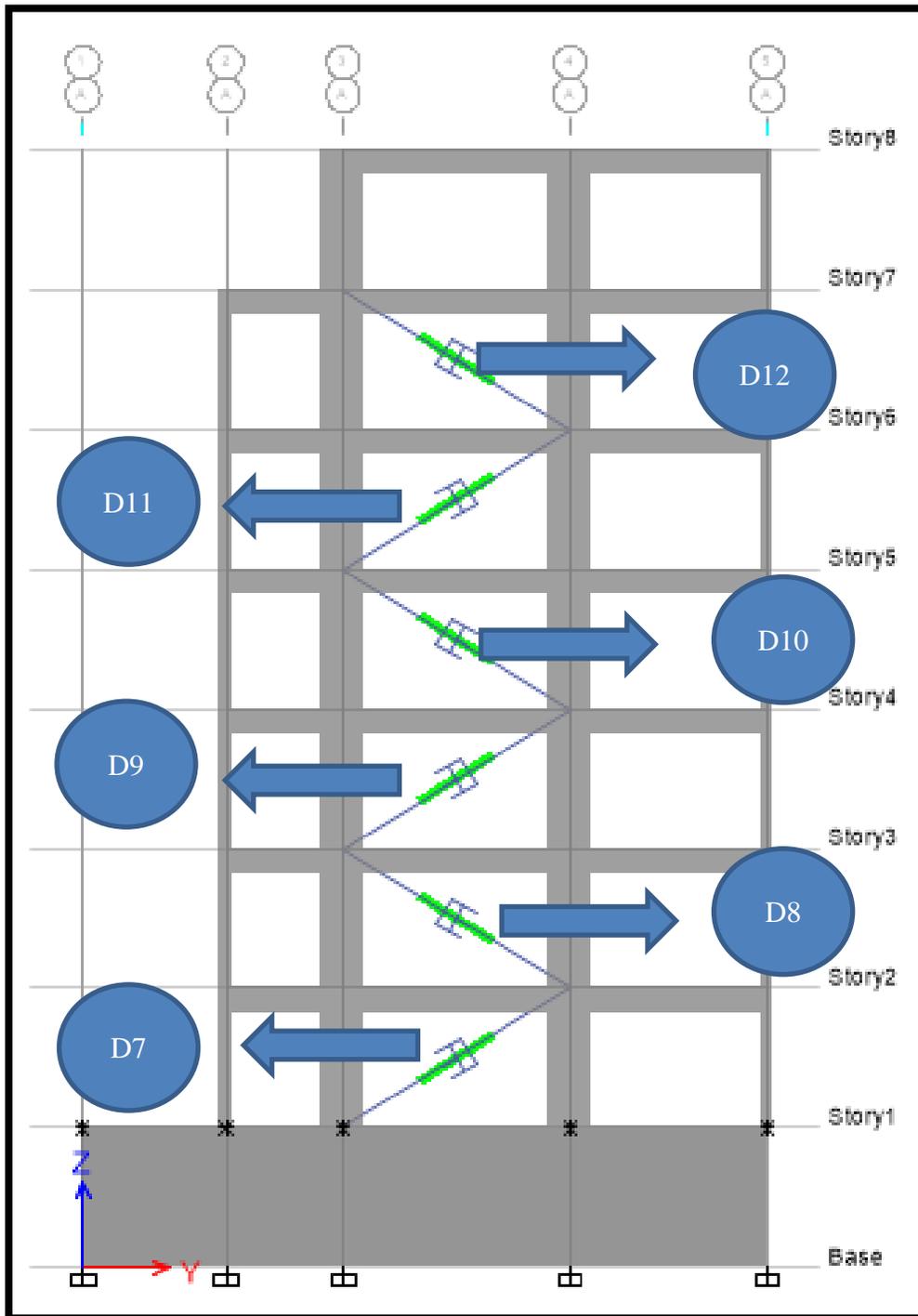
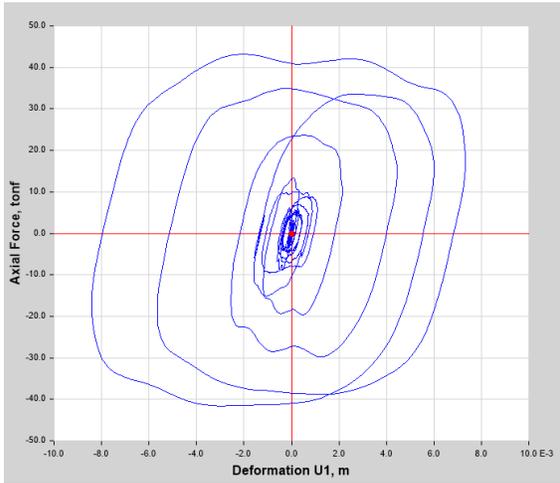
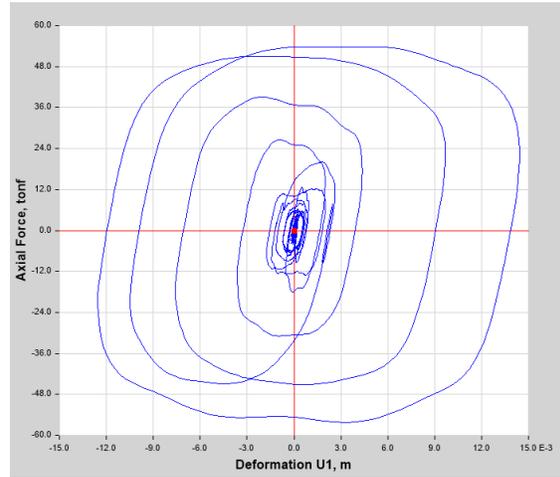




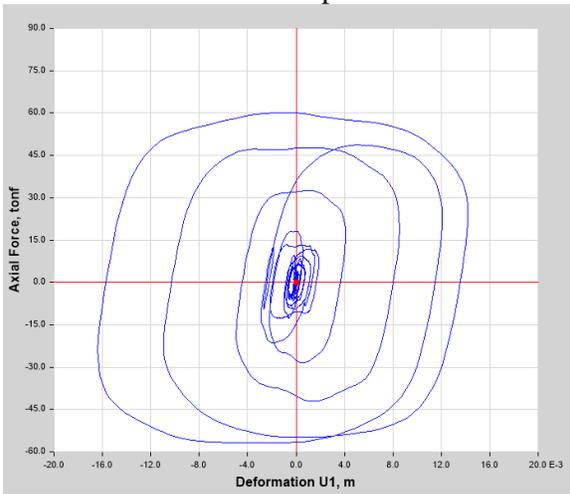
Fig. 23 Curvas histeréticas de los disipadores seleccionados



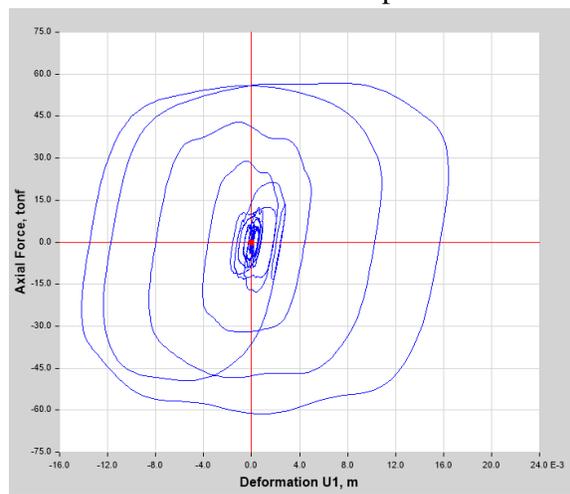
Curva histerética disipador – D1



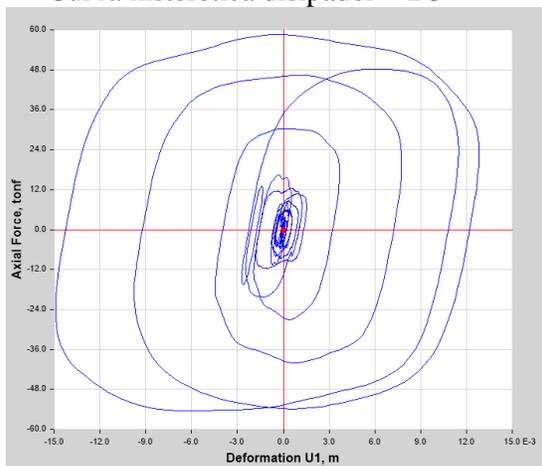
Curva histerética disipador – D2



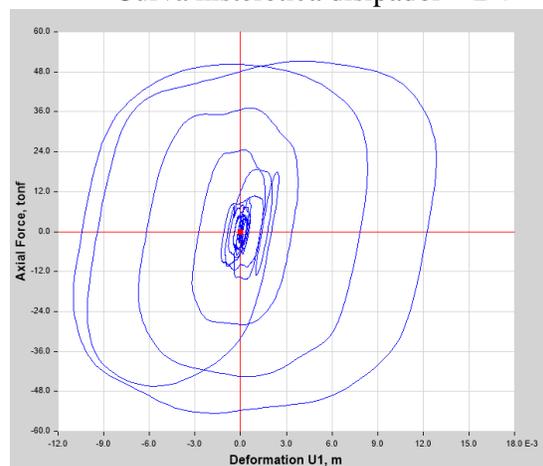
Curva histerética disipador – D3



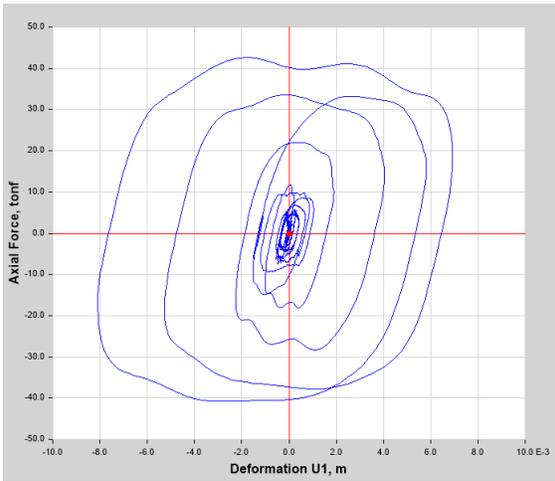
Curva histerética disipador – D4



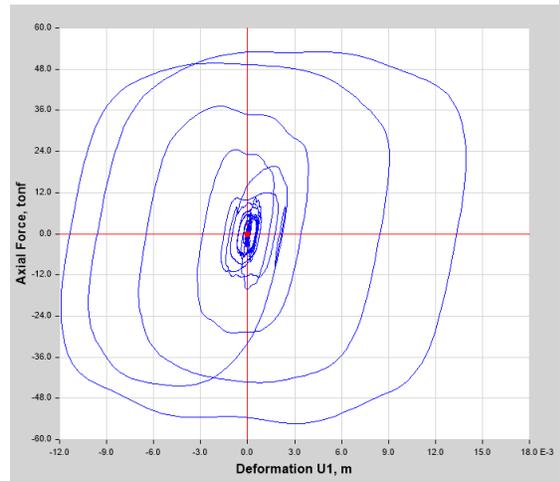
Curva histerética disipador – D5



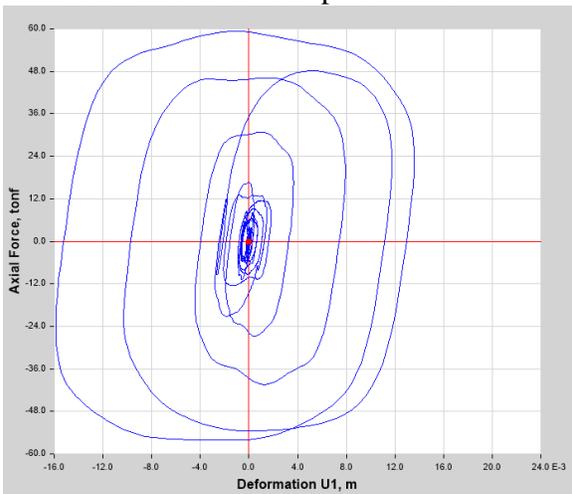
Curva histerética disipador – D6



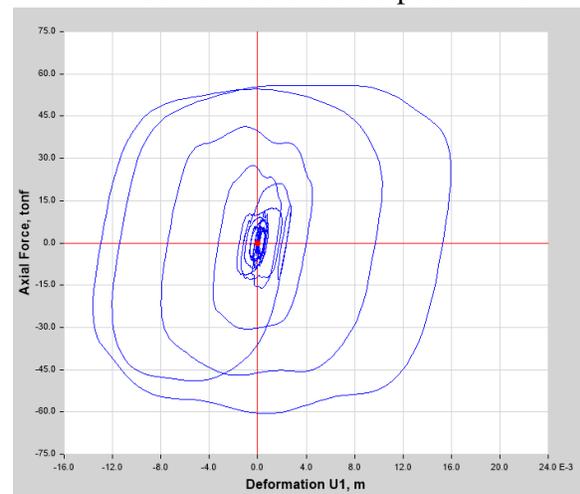
Curva histerética disipador – D7



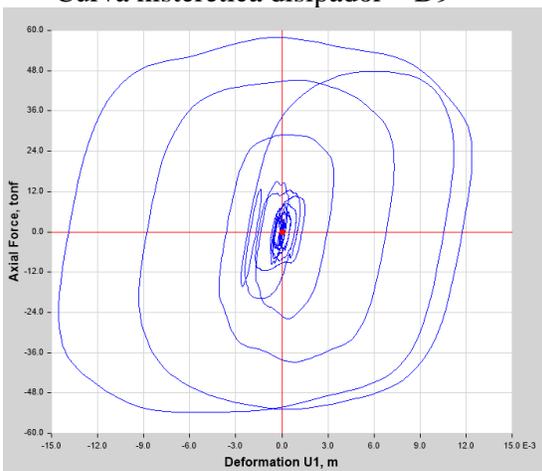
Curva histerética disipador – D8



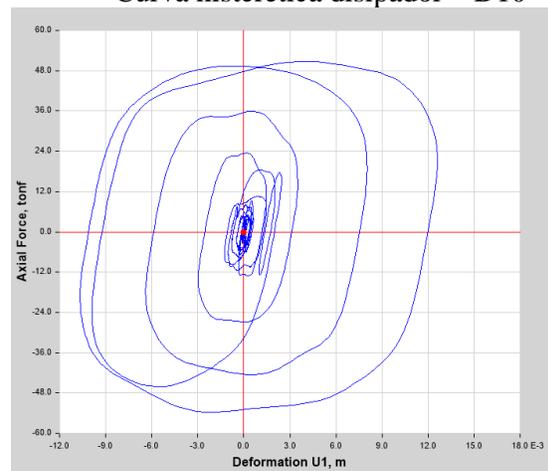
Curva histerética disipador – D9



Curva histerética disipador – D10



Curva histerética disipador – D11



Curva histerética disipador – D12



5.7 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

A continuación se presentan los resultados comparativos en cuanto a desplazamientos y derivas del edificio en estudio (con y sin disipadores de energía) teniendo como sismo de diseño el de Tacna 2005 por ser el que más se ajustó al comportamiento esperado (espectro de diseño)

5.7.1 DESPLAZAMIENTOS EN LOS CENTROS DE MASA

La incorporación de disipadores de energía viscosos a la estructura reduce los desplazamientos de piso en un rango de entre 34 a 36% tal como se muestra en la tabla.

Tabla N° 30. Desplazamientos máximos en los C.M. de cada piso Y-Y

STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION
7	144.6	92.1	36.31%
6	127.5	81.3	36.24%
5	107.6	68.8	36.06%
4	84.6	54.3	35.82%
3	59.6	38.3	35.74%
2	34.6	22.3	35.55%
1	12.9	8.4	34.88%
SOTANO	0.00	0.00	-

5.7.2 DERIVAS DE ENTREPISO

Las derivas de entrepiso se redujeron en un promedio de 35%.

Tabla N° 31 Derivas de entrepiso. Y-Y

STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION
7	144.6	92.1	36.31%
6	127.5	81.3	36.24%
5	107.6	68.8	36.06%
4	84.6	54.3	35.82%
3	59.6	38.3	35.74%
2	34.6	22.3	35.55%
1	12.9	8.4	34.88%
SOTANO	0.00	0.00	-



5.7.3 EVALUACION DE RESULTADOS DE LAS COLUMNAS C1 Y C2 DEL EJE A

Tabla N° 32 Evaluacion De Resultados De Las Columnas C1 Y C2 Del Eje A
FUERZA AXIAL EN LAS COLUMNAS C1 Y C2

C1				C2			
STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION	STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION
7	9.6400	7.2400	24.90%	7	33.3200	21.2200	36.31%
6	13.7700	10.3800	24.62%	6	35.2300	22.5800	35.91%
5	18.7800	14.1900	24.44%	5	18.4400	12.2700	33.46%
4	23.6200	17.8900	24.26%	4	10.3100	7.4000	28.23%
3	28.0100	21.2900	23.99%	3	46.7000	34.5900	25.93%
2	31.6600	23.9200	24.45%	2	87.4500	66.6000	23.84%
1	34.5000	25.9600	24.75%	1	123.0100	94.7100	23.01%
SOTANO	0.0000	0.0000	-	SOTANO	0.0000	0.0000	-

FUERZA CORTANTE EN LAS COLUMNAS C1 Y C2

C1				C2			
STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION	STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION
7	68.0500	43.6800	35.81%	7	44.3700	28.5800	35.59%
6	60.2600	37.6500	37.52%	6	60.1500	37.5900	37.51%
5	78.5500	49.6400	36.80%	5	79.6600	50.2600	36.91%
4	87.9500	56.1000	36.21%	4	93.5300	59.6800	36.19%
3	92.2900	59.3100	35.74%	3	100.7700	64.8300	35.67%
2	80.4700	52.0200	35.35%	2	92.1100	59.6400	35.25%
1	85.4800	56.0300	34.45%	1	88.3600	57.9900	34.37%
SOTANO	0.0000	0.0000	-	SOTANO	0.0000	0.0000	-

MOMENTO FLECTOR EN LAS COLUMNAS C1 Y C2

C1				C2			
STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION	STORY	SIN DISIPADOR	CON DISIPADOR	% DE REDUCCION
7	106.6800	79.5900	25.39%	7	65.7000	49.0000	25.42%
6	87.4200	64.0800	26.70%	6	88.2600	64.4700	26.95%
5	108.7700	81.8600	24.74%	5	109.0900	81.8100	25.01%
4	109.5000	84.1200	23.18%	4	115.1400	88.3000	23.31%
3	98.0600	76.8100	21.67%	3	107.5900	84.2700	21.67%
2	67.1000	53.2100	20.70%	2	79.0100	62.7400	20.59%
1	10.0400	9.3600	6.77%	1	19.9600	17.4400	12.63%
SOTANO	0.0000	0.0000	-	SOTANO	0.0000	0.0000	-

5.8 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO

5.8.1 AGRUPACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA

En la tabla 33 se muestran los valores de las fuerzas máximas (ya sea compresión/tracción) que se obtuvieron en los disipadores de energía bajo el análisis tiempo historia considerando el sismo de diseño. Así mismo estas fuerzas fueron normalizadas a los valores estándar del mercado.

Estos dispositivos fueron agrupados por sus niveles de fuerza para así poder ser enviados a la fabricación.



Tabla N° 33. Fuerzas máximas en los disipadores de energía del Eje Y-Y.

STORY	DISIPADOR	FUERZA (Tn)	FUERZA (Kip)	F. DISIPADOR (Kip)
6	K7	51.17	112.83	165
	K13	50.75	111.91	165
5	K6	58.61	129.24	165
	K12	57.84	127.54	165
4	K5	56.72	125.07	165
	K11	55.99	123.46	165
3	K4	60.20	132.75	165
	K10	59.23	130.60	165
2	K3	53.81	118.65	165
	K9	52.96	116.78	165
1	K2	43.24	95.34	110
	K8	42.59	93.91	110

Tabla N° 34. Agrupación de los dispositivos por niveles de fuerza

Fuerza (KIP)	Número de dispositivos
165	10
110	2
TOTAL	12

5.8.2 ELECCIÓN DE LOS DISIPADORES DE ENERGÍA

Tomando en cuenta los niveles de fuerza obtenidos, se procede a determinar los dispositivos a emplear dependiendo de su capacidad de carga.

Como se mencionó anteriormente los disipadores que se emplearon para este trabajo fueron los manufacturados por la corporación Taylor devices inc, principal fabricante de los disipadores fluido viscosos, en las figuras 24 y 25 se muestran las dimensiones provistas por este fabricante para los diferentes niveles de fuerza.

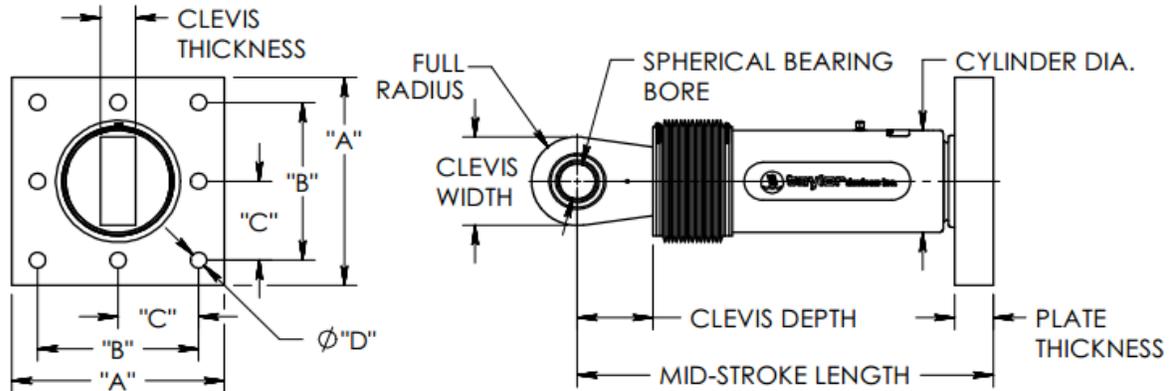


Figura.24 Propiedades de los dispositivos. TAYLOR DEVICES



taylor devices inc.

FLUID VISCOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES



FORCE	SPHERICAL BEARING BORE DIA. (INCHES)	MID-STROKE LENGTH (INCHES)	STROKE (INCHES)	CLEVIS THICKNESS (INCHES)	CLEVIS WIDTH (INCHES)	CLEVIS DEPTH (INCHES)	CYLINDER DIA. (INCHES)	WEIGHT (lbs.)
55 KIP	1.50	31.00	±3	1.63	4 MAX.	3.25	4-1/2 MAX.	98
110 KIP	2.00	39.25	±4	2.13	5 MAX.	4.00	5-3/4 MAX.	215
165 KIP	2.25	40.00	±4	2.25	6 MAX.	5.10	7-1/4 MAX.	400
220 KIP	2.75	41.25	±4	2.75	7-1/2 MAX.	5.88	8-1/4 MAX.	560
330 KIP	3.00	43.50	±4	3.00	8 MAX.	6.38	9-1/2 MAX.	675
440 KIP	3.50	53.00	±5	3.50	9 MAX.	7.50	11-1/4 MAX.	1000
675 KIP	4.00	56.75	±5	4.50	11-1/4 MAX.	8.00	13-3/4 MAX.	1750
900 KIP	5.00	64.00	±5	5.50	12-3/4 MAX.	10.75	16-3/4 MAX.	2400

Figura.25 Dimensiones de la placa base. TAYLOR DEVICES

FORCE	"A"	"B"	"C"	"D"	PLATE THICKNESS (INCHES)
55 KIP	7.00±.12	5.00±.01	*	0.81±.01	1.50±.03
110 KIP	11.12±.12	8.00±.01	*	1.25±.01	1.50±.03
165 KIP	13.50±.12	10.00±.01	5.00±.01	1.12±.01	2.40±.03
220 KIP	16.50±.12	12.50±.01	6.25±.01	1.25±.01	3.00±.06
330 KIP	17.00±.12	13.00±.01	6.50±.01	1.375±.010	3.00±.06
440 KIP	18.00±.12	13.50±.01	6.75±.01	1.500±.010	4.00±.06
675 KIP	20.00±.12	16.00±.01	8.00±.01	1.63±.01	4.00±.06
900 KIP	†	†	†	†	†
1450 KIP	†	†	†	†	†
1800 KIP	†	†	†	†	†

NOTE:

VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±2 TO ±36 INCHES. FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE LONGER THAN STROKE LISTED IN TABLE. ANY STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE VERSION DEPICTED CHANGES MID-STROKE LENGTH BY FIVE INCHES PER ±1 INCH OF STROKE.

EXAMPLE: 220 KIP ±4 INCHES STROKE, MID-STROKE LENGTH IS 41.25 INCHES
220 KIP ±6 INCHES STROKE,
6-4 = 2 TIMES FIVE = 10
41.25+10 = 51.25 INCHES MID-STROKE LENGTH

BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ± 12 INCHES AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER THAN LISTED IN TABLE.

* DENOTES 4-BOLT MOUNTING PATTERN

† DENOTES CUSTOM PATTERN. CONSULT FACTORY.



5.9 EVALUACION DE COSTOS

Se evaluara el costo del sistema de disipación sobre el costo total del proyecto de oficinas la cual cuenta con un sótano (estacionamientos) , primer piso (lobby), cinco plantas típicas y en el último nivel un restaurant, con un área techada de 1773.84 m², los precios de los disipadores son referenciales ya que estos se actualizan muchas veces mensualmente.

COSTO DE LOS DISIPADORES

Tabla N°35 Costo De Los Disipadores

DISIPADOR	CANTIDAD	PRECIO UNIT. (US\$)	PARCIAL (US\$)
110 Kip	2	7000	14000
165 Kip	10	8500	85000
CONEXIONES	12	1000	12000
SUB. TOTAL			111000
IGV (18%)			19980
TOTAL			130980.00

PRESUPUESTO POR METRO CUADRADO

Tabla N° 36 Presupuesto Por Metro Cuadrado

ESPECIALIDAD	RATIO (US\$/m ²)	AREA (m ²)	PARCIAL (US\$)
ESTRUCTURAS	300.00	1773.84	532152.00
ACABADOS	390.00	1773.84	691797.60
INST. SANIT.	35.00	1773.84	62084.40
INST. ELECT.	35.00	1773.84	62084.40
SIST. AMORT.	62.58	1773.84	111006.91
PARCIAL (US\$)			1459125.31
GG (10%)			145912.53
IGV (18%)			262642.56
TOTAL (US\$)			1867680.39

El costo por metro cuadrado es de 62.58 dólares americanos (sin incluir IGV), con una incidencia de 7.01% sobre el valor del proyecto, porcentaje mucho menor al de los costos de reconstrucción el cual varía entre un 25% y 30% del valor inicial.



Se debe tener en cuenta que no se ha considerado para la evaluación de la estructura con disipadores aspectos como:

- Ahorro en elementos y placas
- Ahorro en cimentación
- Danos en instalaciones eléctricas y sanitarias
- Costo y tiempo de reparación en elementos estructurales



***CAPITULO 6:
CONCLUSIONES Y
RECOMENDACIONES***



6.1 CONCLUSIONES

En la estructura a la cual se le implemento los disipadores se mantienen iguales los periodos y las frecuencias, no sufrieron variación alguna, con esto se comprueba que la adición de estos dispositivos no altera la rigidez de la estructura.

En la estructura con placas disminuye el periodo de vibración considerablemente, esto se debe a que la incorporación de placas incrementa la rigidez de la estructura y los disipadores viscosos mantienen flexible la estructura.

Los desplazamientos en el centro de masa máximos en la dirección Y-Y del sistema estructural dual con disipadores de fluido viscoso es de 77.3 mm comparado con el del sistema de muros estructurales que es de 53.5 mm, este último es menor ya que las placas proporcionan mayor rigidez a la estructura.

Con ambos sistemas estructurales se lograron disminuir considerablemente las derivas de entrepiso siendo para el sistema de muros estructurales en la dirección Y-Y una deriva máxima de 2.80% y para el sistema estructural dual con disipadores de fluido viscoso en la dirección Y-Y una deriva máxima de 3.99%, cumpliendo así con la norma Peruana de diseño sismo resistente.

La diferencia en la Metodología de diseño por desempeño en la estructura dual con disipadores de fluido viscoso, nos permite controlar el daño desde una deriva objetivo.

Se puede observar las reducciones de las fuerzas axiales y cortantes así como también el momento flector de las columnas que participan con el sistema de disipación.

El sistema de disipación de fluido viscoso no necesita mantenimiento en ser reemplazado luego de un terremoto severo y sus réplicas, solo requiere una nueva calibración por parte de la empresa contratante, caso contrario ocurre con el sistema de muros estructurales que



si necesita reparación y una reestructuración, producto de los daños estructurales generando gastos adicionales post-sismo.

El costo por metro cuadrado tiene una incidencia de 7.01% sobre el valor del proyecto, porcentaje mucho menor al de los costos de reconstrucción el cual varía entre un 25% y 30% del valor inicial.

Uno de los objetivos que se desprende, luego de desarrollar el presente trabajo profesional, es el de brindar un esquema de análisis y diseño estructural de sistemas de disipación, dado que carecemos de información a la mano de estos temas con más aplicaciones a nuestra realidad Peruana.

Es menester que nosotros como profesionales en ingeniería y los docentes en las universidades, promuevan estos nuevos temas, que hoy por hoy son parte de la realidad de países con alta sismicidad, y del cual no somos la excepción.

6.2 RECOMENDACIONES

Colocar los disipadores de fluido viscoso lo más alejado posible del centro de masas, de esta forma estos dispositivos trabajaran en la zona de máxima velocidad teniendo mayor efectividad, ya que las fuerzas de disipación incrementan con la velocidad por lo que ante un evento telúrico muy grande el comportamiento del disipador viscoso es el ideal.

Modelar la edificación utilizando acelerogramas cuyos datos hayan sido tomados en el mismo tipo de suelo o más parecido al de la edificación, podrán obtenerse del REDACIS (Red Acelerográfica del CISMID).

Utilizar como mínimo cinco registros sísmicos, esto está indicado en la norma Peruana E.030.

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



En la actualidad se utilizan códigos internacionales para el cálculo y diseño de los disipadores de energía siendo estos utilizados en una realidad y condiciones distintas a la de nuestro país, se recomienda incluir más lineamientos con los temas de sistemas de disipación de energía y aislamiento en la base en la Norma Peruana de Diseño Sismo Resistente.

De lo anterior, se sugiere que las nuevas normativas sísmicas en nuestro país, involucren estos tópicos sísmicos y mantengan en constante actualización de los parámetros y experiencias que tengamos frente a sismos y así desarrollar más investigación al respecto.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- RNE Reglamento Nacional de Edificaciones (2006) Norma Técnica de edificación E.030. Diseño Sismoresistente.
- FEMA (2009) FEMA P695: Recommended Methodology For Quantification Of Building System Performance And Response Parameters, Applied Technology Council, Redwood City.
- VILLAREAL Genner y OVIEDO Sarmiento (2008) Edificaciones con dispositivos pasivos de Disipación de energía. Primera edición.
- FEMA (2006)FEMA 451: NEHRP Recommended provisions Design Examples, pp.140 (<http://www.wbdg.org/ccb/DHS/fema451.pdf>)
- AMERICAN SOCIETY OF CIVIL ENGINEERS (ASCE) (2005) ASCE/SEI 7-10: Minimum Design Loads for Building and Other Structures, American Society of Civil Engineers, Reston, VA.
- CDV REPRESENTACIONES (2012) Disipadores sísmicos. (<http://cdvrepresentaciones.com/disipadores-sismicos/>)
- BLANCO BLASCO Antonio, CAPITULO DE INGENIERÍA CIVIL (1994-1995), LIBRO 2: Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado
- MORALES MORALES Roberto (2006), Diseño en Concreto Armado, Fondo Editorial del Instituto de la Construcción y Gerencia ICG
- American concrete institute (ACI)(2008). ACI 318-08 Requisitos de reglamento para concreto estructural y comentario. Estados Unidos
- Federal Emergency Mangement Agency (FEMA)(1997). Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – NEHRP. FEMA273-274. Washington, D.C.



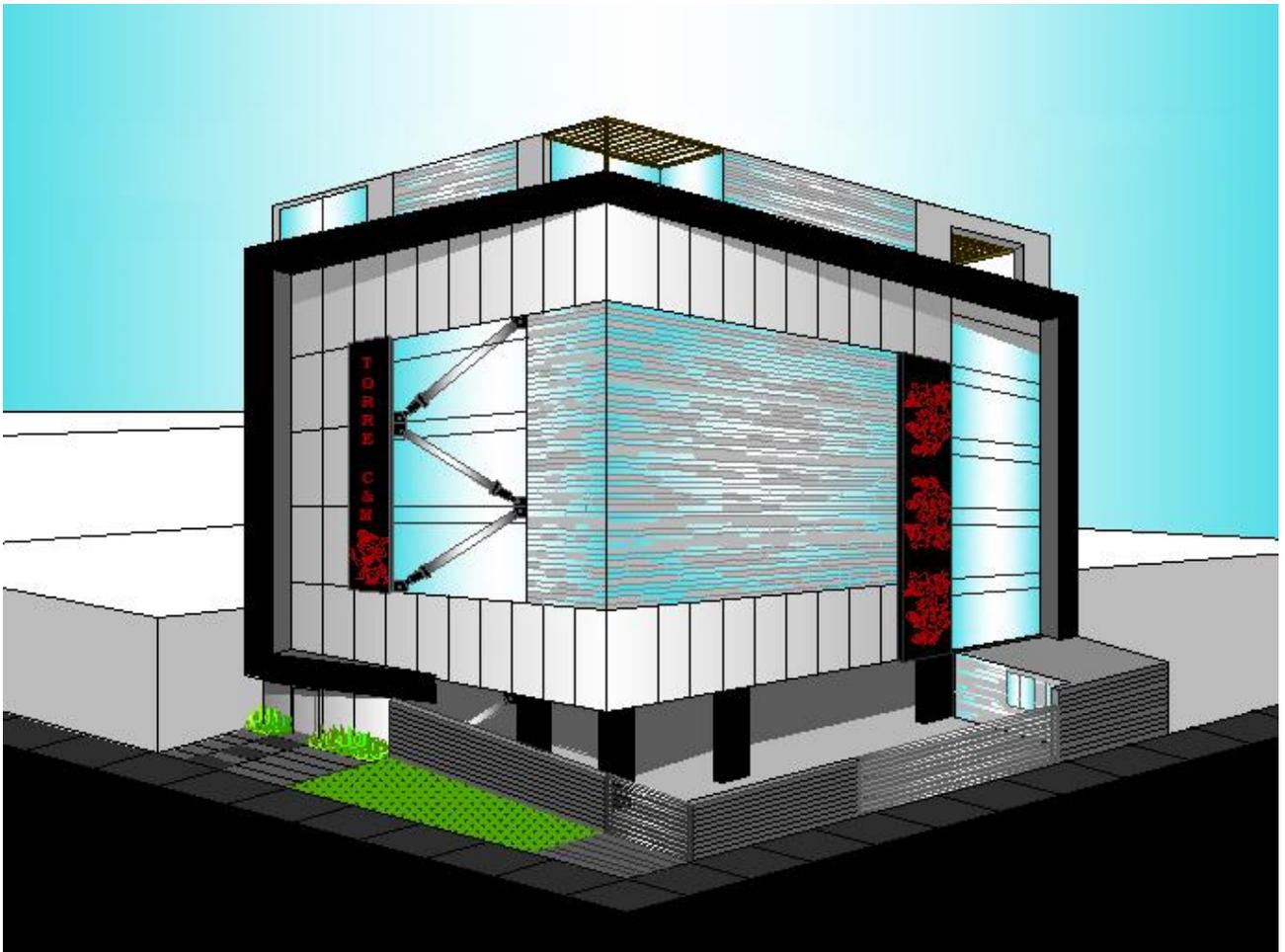
UPAO

FACULTAD DE INGENIERIA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

ANEXOS



TORRE C & M





VISTA TRIDIMENSIONAL

