

UNIVERSIDAD PRIVADA ANTENOR ORREGO
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



REFORZAMIENTO DE UNA ESTRUCTURA APORTICADA
CON DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO PARA UN
MERCADO EN LA CIUDAD DE TRUJILLO

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL

AUTORES:

Bach. CARRANZA RUIZ, JOHAN SANTIAGO

Bach. CALDERON CORREA, EDGARDO JESÚS MIGUEL

AREA DE INVESTIGACION:

INGENIERIA ESTRUCTURAL

ASESOR:

Ing. URTEAGA GARCÍA, JUAN MANUEL

TRUJILLO – PERÚ

2015

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y permitirme llegar hasta este momento tan importante en mi formación profesional.

A mi madre Ysabel, por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos y valores pero sobre todo por su amor incondicional como madre.

A mi padre Santiago, por haberme brindado su apoyo incondicional y sabios consejos.

A mis hermanos Jimmy y Jhon, por estar siempre conmigo.

A mi novia Lorena, quien forma parte importante en mi vida, por brindarme todo su apoyo y consejos.

A mis abuelos, porque sé que ellos están contentos por cada uno de mis logros.

Johan Santiago Carranza Ruiz

*A mis queridos padres y abuelos que me brindaron su
apoyo incondicional y han estado siempre conmigo
motivándome a seguir hacia adelante.*

*A mi esposa y mi hijo Thiago que son mi principal
motivación para lograr todas mis metas.*

Edgardo Jesús Miguel Calderón Correa

AGRADECIMIENTOS

Un agradecimiento muy especial al Ing. Juan Manuel Urteaga García, por el aporte, apoyo y preocupación incondicional en este trabajo. Sin su ayuda esta tesis no hubiera sido culminada.

Al Ing. William Conrad Galicia Guarniz por sus valiosas recomendaciones.

Finalmente al jurado evaluador, por las revisiones y sus valiosos comentarios.

RESUMEN

En los últimos años, durante los sismos severos las estructuras sufren grandes daños debido a las incursiones inelásticas que sufren, este tipo de sismos mayormente están localizados en la costa del Perú; por ello es que las estructuras requieren elementos estructurales adicionales con la finalidad de aminorar los daños.

La presente investigación muestra las características de los sistemas de protección sísmica, centrándose en los disipadores de fluido viscoso. La edificación reforzada se encuentra en la ciudad de Trujillo. El análisis del edificio muestra una deriva de entrepiso mayor a la que nos permite el reglamento (7‰).

Como objetivo de diseño se fijó la reducción del daño frente a un sismo severo. La estrategia es mantener la deriva por debajo de 5.8‰, valor propuesto por el HAZUS (Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters). Con el sistema de amortiguamiento de fluido – viscoso se logró disminuir la deriva de entre piso a menos de 5.8‰ (4.55‰). Los resultados del trabajo muestran que la edificación reforzada tiene un mejor comportamiento ante un sismo severo que una edificación sin reforzar.

INDICE

| | |
|---|-----------|
| INTRODUCCION | 8 |
| CAPITULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACION..... | 10 |
| 1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO..... | 11 |
| 1.1 Delimitación del Problema | 11 |
| 1.2 Antecedentes..... | 11 |
| 1.3 Formulación del problema..... | 12 |
| 1.3.1 Problema General | 12 |
| 1.3.2 Problemas Específicos..... | 12 |
| 1.4 Objetivos..... | 12 |
| 1.4.1 General | 12 |
| 1.4.2 Específicos..... | 12 |
| 1.5 Metodología y Tipo de Investigación | 13 |
| 1.5.1 Metodología..... | 13 |
| 1.5.2 Tipo de nivel..... | 13 |
| CAPITULO II. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA | 14 |
| 2. REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL | 15 |
| 2.1 DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE | 15 |
| 2.2 SISTEMA DE REFORZAMIENTO TRADICIONAL..... | 18 |
| 2.2.1 PORTICOS..... | 19 |
| 2.3 DISIPACION DE ENERGIA | 19 |
| 2.3.1 PRINCIPIOS GENERALES DE LA DISIPACION DE ENERGIA | 19 |
| 2.3.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE RESPUESTA SISMICA . | 21 |
| 2.3.2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO | 21 |
| CAPITULO III. DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO | 26 |
| 3 DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO..... | 27 |
| 3.1 ECUACION GENERAL | 27 |
| 3.1.1 COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO..... | 27 |
| 3.1.2 EXPONENTE DE VELOCIDAD α | 29 |
| 3.1.3 RIGIDEZ DEL DISPOSITIVO K..... | 31 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 3.2 | CRITERIOS DE UBICACIÓN | 33 |
| 3.3 | TIPOS DE AREGLOS..... | 34 |
| 3.3.1 | DISPOSICION CHEVRON..... | 34 |
| 3.3.2 | DISPOSICION DIAGONAL..... | 34 |
| CAPITULO IV. EJEMPLO DE APLICACION..... | | 35 |
| 4.1 | DESCRIPCION DEL PROYECTO | 36 |
| 4.1.1 | UBICACIÓN..... | 36 |
| 4.2 | DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA Y OBJETIVOS DE DESEMPEÑO | 37 |
| 4.3 | ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION | 38 |
| 4.3.1 | PARAMETROS SISMICOS..... | 39 |
| 4.3.2 | ANALISIS ESTATICO | 41 |
| 4.3.3 | ANALISIS DINAMICO ESPECTRAL..... | 42 |
| 4.3.4 | DESPLAZAMIENTOS LATERALES | 43 |
| 4.4 | ANALISIS TIEMPO HISTORIA..... | 45 |
| 4.4.1 | RESPUESTA DEL EDIFICIO SIN DISIPADORES | 48 |
| 4.5 | ELECCION DEL OBJETIVO DE DESEMPEÑO | 48 |
| 4.5.1 | DERIVA Y AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO..... | 48 |
| 4.6 | UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO 50 | |
| 4.7 | ESTIMACION DE PARAMETROS DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO | 51 |
| 4.8 | RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON LOS DISIPADORES . | 54 |
| 4.9 | EVALUACION DE RESULTADOS..... | 58 |
| 4.9.1 | DERIVA DE ENTREPISO | 58 |
| 4.10 | DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO.... | 60 |
| 4.10.1 | AGRUPACION DE DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA | 60 |
| 4.10.2 | ELECCION DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA | 61 |
| 4.10.3 | DISEÑO DEL BRAZO METALICO | 63 |
| 4.10.4 | DISEÑO DEL LA CONEXIÓN BRAZO METALICO – DISIPADOR | 65 |
| 4.11 | ANALISIS SISMICO COMPARATIVO..... | 78 |

| | | |
|--|---|-----------|
| 4.11.1 | ECUACION DINAMICA DE EQUILIBRIO..... | 78 |
| 4.11.2 | ANALISIS COMPARATIVO DE DISIPACION DE ENERGIA 82 | |
| 4.11.3 | ANALISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE ENTRE PISO 83 | |
| 4.11.4 | ANALISIS COMPARATIVO DE DAÑOS | 84 |
| CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES..... | | 86 |
| 5.1 | CONCLUSIONES..... | 87 |
| 5.2 | RECOMENDACIONES | 88 |
| REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS | | 89 |
| ANEXOS | | 91 |

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura N° 1. Clasificación de los principales dispositivos para el control de vibraciones | 21 |
| Figura N° 2. Disipador tipo ADAS (Tomado de Aiken et al., 1993)..... | 23 |
| Figura N° 3. Amortiguador viscoelástico | 24 |
| Figura N° 4. Disipador de Energía de Fluido Viscoso (Taylor) | 25 |
| Figura N° 5. Relaciones de fuerza-velocidad de los disipadores viscosos | 30 |
| Figura N° 6. Ubicación la ciudad en estudio. | 36 |
| Figura N° 7. Ubicación del terreno en estudio..... | 37 |
| Figura N° 8. Zonificación de acuerdo a la sismicidad. | 39 |
| Figura N° 9. Espectro de respuesta de la estructura..... | 43 |
| Figura N° 10. Análisis tiempo historia de la estructura, Chimbote 1970. | 45 |
| Figura N° 11. Análisis tiempo historia de la estructura, Lima 1966..... | 46 |
| Figura N° 12. Análisis tiempo historia de la estructura, Lima 1974..... | 47 |
| Figura N° 13. Ubicación de los disipadores..... | 50 |
| Figura N° 14. Ubicación de los disipadores en los porticos A y M, dirección Y – Y..... | 51 |
| Figura N° 15. Balance de energía en la estructura con disipadores | 55 |
| Figura N° 16. Curvas de histéresis para amortiguadores no lineales $\alpha=0.5$ | 57 |
| Figura N° 17. Deriva de entrepiso (Dirección Y – Y) | 58 |
| Figura N° 18. Derivas por nivel | 59 |
| Figura N° 19. Propiedades de los disipadores..... | 62 |
| Figura N° 20. Propiedades geométricas del perfil HSS 7.500 x 0.375 | 64 |
| Figura N° 21. Dimensiones de la placa base para el disipador de 165 KIP..... | 66 |
| Figura N° 22. Clasificación de los pernos A325 y A490..... | 68 |
| Figura N° 23. Dimensiones estándares de pernos y tuercas de alta resistencia, de acuerdo a la tabla N° 19 | 69 |
| Figura N° 24. Detalle de las dimensiones del perno de 1” | 70 |
| Figura N° 25. Detalle de las dimensiones la tuerca a emplear..... | 70 |
| Figura N° 26. Esquema de la longitud del perno. | 72 |

| | |
|---|----|
| Figura N° 27. Dimensiones de los pernos A325 a emplear en la conexión Extensor - Disipador..... | 73 |
| Figura N° 28. Ubicación de los dispositivos en la estructura (primer nivel). | 74 |
| Figura N° 29. Conexión brazo Metálico – Disipador Viscoso (165 kip)..... | 74 |
| Figura N° 30. Detalle de la conexión placa base – disipador de energía. | 74 |
| Figura N° 31. Detalle de la conexión placa base – brazo metálico..... | 75 |
| Figura N° 32. Detalle de la conexión barra de conexión – brazo metálico..... | 75 |
| Figura N° 33. Detalle de la conexión inferior de brazo metálico..... | 76 |
| Figura N° 34. Detalle de las dimensiones del perno de 1 ½”. | 76 |
| Figura N° 35. Modelo del sistema masa resorte amortiguador y DCL..... | 78 |
| Figura N° 36. Sistema con las componentes de rigidez, amortiguamiento y masa. | 78 |
| Figura N° 37. Edificio de cortante con amortiguamiento viscoso. Equilibrio de fuerzas. | 80 |
| Figura N° 38. Tiempo vs desplazamiento de la edificación en el cuarto nivel. Estructura con disipadores. | 80 |
| Figura N° 39. Tiempo vs desplazamiento de la edificación en el cuarto nivel. Estructura sin disipadores. | 81 |
| Figura N° 40. Balance de energía de la estructura aportricada. | 82 |
| Figura N° 41. Balance de energía de la estructura reforzada con disipadores de fluido viscoso. | 83 |

LISTA DE TABLAS

| | |
|---|----|
| Tabla N° 1. Niveles de desempeño según propuesta del SEAOC. | 15 |
| Tabla N° 2. Niveles de movimiento sísmico (SEAOC)..... | 16 |
| Tabla N° 3. Objetivos de diseño sísmico basados en desempeño (SEAOC)..... | 17 |
| Tabla N° 4. Comportamiento estructural de edificios comunes. | 18 |
| Tabla N° 5. Valores del parámetro λ . (FEMA 274)..... | 29 |
| Tabla N° 6. Peso de la edificación por cada nivel | 41 |
| Tabla N° 7. Parámetros sísmicos. | 42 |
| Tabla N° 8. Control de derivas en la dirección X – X. | 44 |
| Tabla N° 9. Control de derivas en la dirección Y – Y. | 44 |
| Tabla N° 10. Derivas obtenidas en ambas direcciones. (Análisis tiempo historia) | 48 |
| Tabla N° 11. Propiedades del perfil HSS 7.50 x 0.50..... | 51 |
| Tabla N° 12. Cálculos para obtener el coeficiente de amortiguamiento..... | 53 |
| Tabla N° 13. Derivas de entrepiso en Y – Y..... | 54 |
| Tabla N° 14. Porcentaje de reducción de derivas de entrepiso | 59 |
| Tabla N° 15. Fuerzas máximas en los disipadores frente a la edificación..... | 60 |
| Tabla N° 16. Fuerzas máximas en los disipadores en la parte posterior de la edificación..... | 60 |
| Tabla N° 17. Cantidad de dispositivos por cada tipo de disipador. | 60 |
| Tabla N° 18. Dimensiones de los dispositivos seleccionados | 63 |
| Tabla N° 19. Dimensiones de las placas base de los disipadores seleccionados. . | 63 |
| Tabla N° 20. Dimensiones de agujeros y pernos. ANSI/AISC 360-05 | 66 |
| Tabla N° 21. Dimensiones estándares de pernos y tuercas. RCSC 2014..... | 69 |
| Tabla N° 22. Dimensiones del perno de 1”..... | 70 |
| Tabla N° 23. Dimensiones estándares de las arandelas (ASTM F436) | 71 |
| Tabla N° 22. Dimensiones de la arandela para un perno de 1” | 71 |
| Tabla N° 25. Longitud a aumentar al Grip de acuerdo al diámetro del perno. | 72 |
| Tabla N° 26. Dimensiones del perno de 1 1/2”..... | 76 |
| Tabla N° 27. Dimensiones de la arandela para un perno de 1 1/2” | 76 |

| | |
|---|----|
| Tabla N° 28. Desplazamientos máximos y mínimos de las estructuras en función al tiempo..... | 81 |
| Tabla N° 29. Niveles de daños estructurales..... | 84 |

INTRODUCCION

Por su ubicación geográfica, Perú es un país con una alta ocurrencia de sismos, nos encontramos ubicados en el borde occidental de Sudamérica donde se produce la subducción de la Placa de Nazca y la Placa de Sudamérica, es decir, estamos entre una de las regiones de más alta actividad sísmica que existe en la tierra, por lo que estamos expuestos a este peligro, lo que trae consigo la pérdida de vidas humanas y materiales.

En nuestro medio se han venido usando métodos para reforzar estructuras como lo son reforzamiento con tarrajeo estructural y reforzamiento de parapetos existentes. En base a las consideraciones derivadas del avance tecnológico, se ha propuesto resolver el problema haciendo las construcciones más seguras, de tal forma que el sismo afecte menos a las estructuras.

El objetivo de la ingeniería Sismorresistente es la protección sísmica por lo que se debe asegurar el funcionamiento de las edificaciones en caso de emergencia, cambiando el objetivo de diseño para mantener la operatividad de este tipo de estructuras. Se han ideado diversos dispositivos mecánicos (sistemas de protección pasiva), los cuales toman varias formas. La idea se basa en acoplar a la estructura un sistema mecánico y lograr que este absorba parte de la energía sísmica que llega al edificio.

En base a lo expuesto se determinó realizar una investigación de un modelo estructural con la adaptación de un dispositivo viscoelástico de disipación de energía en estructuras como alternativa para el reforzamiento de la misma.

Organización del Documento

En el primer capítulo se desarrolla el planteamiento metodológico, es decir, el problema, objetivos y la metodología de investigación empleada.

En el segundo capítulo se describen los métodos tradicionales y modernos empleados para el reforzamiento de edificaciones.

En el tercer capítulo se describe la definición, importancia y funcionamiento de los disipadores de fluido viscoso y los factores que depende su eficiencia.

En el cuarto capítulo se desarrolla el desempeño sismorresistente de la edificación antes y después de la intervención con el disipador.

En el quinto capítulo se desarrollan las conclusiones y recomendaciones.

CAPITULO I. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

1. PLANTEAMIENTO METODOLOGICO

1.1 Delimitación del Problema

Para la presente investigación se empleará una edificación de 4 niveles, la cual presenta una configuración regular en elevación. El edificio se encuentra ubicado en la ciudad de Trujillo, en una zona donde el suelo tiene características intermedias (S_3).

El mercado cumple con los requisitos arquitectónicos reglamentarios presentando las siguientes características:

El área de cada nivel es aproximadamente 1153.94 m^2 . En el primer nivel se encuentran los puestos de carnes (10), pollos (8), pescados (2), frigorífico (1), cámara de pescado (1) y cámara de carnes (1); en el segundo nivel se encuentran las juguerías (6), verduras y frutas (18) y servicios higiénicos para hombres mujeres y discapacitados; en el tercer nivel se encuentran los depósitos (3), tiendas (5) y servicios higiénicos para hombres, mujeres y discapacitados; en el cuarto nivel se encuentra el depósito (2), sala de reuniones (1), administración (1), secretaría (1), el archivo (1) y los servicios higiénicos para hombres mujeres y discapacitados.

Se hizo el análisis sísmico de la edificación respetando el diseño arquitectónico, concluido el análisis se incorporó los elementos de refuerzo necesarios para que el edificio cumpla con la norma de diseño sismorresistente.

Mientras que para el análisis sísmico de la edificación se tomó como referencia la norma E.030 (Diseño sismorresistente, para el reforzamiento con disipadores se tomó como referencia la norma (ASCE/SEI 7-10).

1.2 Antecedentes

El objetivo fundamental del diseño sismorresistente frente a solicitaciones sísmicas es el de colocar a la edificación dentro de los límites de seguridad y economía. Este objetivo se puede alcanzar aplicándose los conceptos básicos del diseño estructural.

Los detalles de diseño que se encuentran en las normas de diseño con disipadores de energía tienen como objetivo disipar parte de esta energía con la finalidad de evitar aceleraciones excesivas y desplazamientos que la estructura no pueda resistir. La disipación de energía se consigue mediante la plastificación de algunos elementos estructurales.

Uno de los principios básicos del diseño sismorresistente de edificaciones es que estas puedan resistir movimientos sísmicos de intensidad severa de tal forma que puedan seguir funcionando sin ningún problema.

1.3 Formulación del problema

1.3.1 Problema General

¿En qué medida el diseño de una estructura aporticada con disipadores de energía mejorará el desempeño frente a sismos intensos?

1.3.2 Problemas Específicos

¿Cuáles son las variables más importantes para obtener un diseño sismorresistente eficiente para un sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso?

¿Qué criterios de diseño se deben emplear para el diseño de estructuras con disipadores de energía?

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Evaluar las mejoras que obtiene una estructura aporticada con la adición de disipadores de energía.

1.4.2 Específicos

- Modelar y analizar la estructura mediante el software ETABS.
- Modelar la estructura con disipadores de energía de fluido viscoso.

- Determinar en qué porcentaje se incrementa la disipación de energía en la edificación luego de ser reforzada.
- Determinar en qué medida se modifican las derivas de entrepiso de la edificación frente a un sismo severo luego de ser reforzada con los disipadores.
- Determinar cuánto disminuye el nivel de daño de la edificación frente a un sismo severo con el uso de disipadores.

1.5 Metodología y Tipo de Investigación

1.5.1 Metodología

- Para el presente estudio se empleará el Método Descriptivo; es decir, analizar y describir sistemáticamente lo que existe con respecto a las variaciones o condiciones de la situación.

1.5.2 Tipo de nivel

- De acuerdo a los propósitos de la investigación y a la naturaleza de la investigación se empleara la forma descriptiva – Explicativa.

CAPITULO II. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA

2. REFORZAMIENTO ESTRUCTURAL

2.1 DESEMPEÑO SISMORRESISTENTE

El Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) define cuatro niveles de desempeño:

| Estado de Daño | Nivel de Desempeño | Características Principales |
|-----------------------|---------------------------|---|
| Despreciable | Totalmente Operacional | Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Las instalaciones continúan prestando sus servicios y funciones después del sismo. |
| Ligero | Operacional | Daños ligeros. Las instalaciones esenciales continúan en servicio y las no esenciales pueden sufrir interrupciones de inmediata recuperación. |
| Moderado | Seguridad de Vidas | Daños moderados. La estructura sufre daños pero permanece estable. Seguridad de ocupantes. Algunos elementos no estructurales pueden dañarse. |
| Severo | Pre-Colapso | Daño estructural severo, en la proximidad del colapso estructural. Falla de elementos no estructurales. Seguridad de ocupantes comprometida. |
| Completo | Colapso | Colapso estructural. |

Tabla N° 1. Niveles de desempeño según propuesta del SEAOC.

El desempeño esperado de la edificación describe un comportamiento sísmico que puede considerarse satisfactorio para una edificación sometida a movimientos sísmicos de diferentes intensidades.

El desempeño esperado está íntimamente ligado a la definición de los niveles de amenaza sísmica que puede ser expresado en forma

probabilística (movimiento asociado con una probabilidad de ocurrencia) o determinística (movimiento máximo esperado para un evento). Estos movimientos están relacionados con el periodo medio de retorno (tiempo medio en años entre la ocurrencia de sismos que producen efectos del mismo orden de severidad) o con la probabilidad de excedencia (representación estadística de la posibilidad que las consecuencias de un sismo excedan un nivel de efectos determinados, en años).

$$T = - \frac{t}{\ln(1 - p)}$$

T = Periodo medio de retorno, en años.

p = Probabilidad de excedencia.

t = Tiempo de exposición, en años.

La propuesta del Comité VISION 2000 define cuatro niveles de amenaza sísmica.

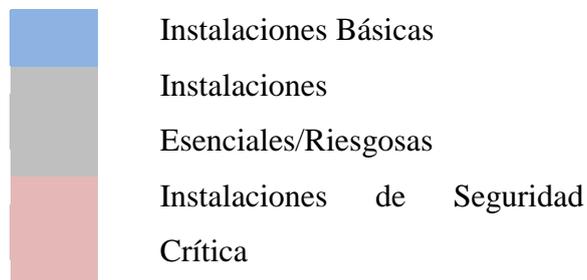
| Nivel del movimiento Sísmico | Periodo medio de retorno T (años) | Probabilidad de excedencia (p,t) |
|-------------------------------------|--|---|
| Frecuente | 43 años | 50% en 30 años |
| Ocasional | 72 años | 50% en 50 años |
| Raro | 475 años | 10% en 50 años |
| Muy Raro | 970 años | 10% en 100 años |

Tabla N° 2. Niveles de movimiento sísmico (SEAOC)

Para realizar un diseño sísmico basado en el desempeño es necesario definir cuidadosamente los objetivos de diseño y los niveles de demanda sísmica esperados. Para ello, el Comité VISION 2000 presenta una matriz conceptual para la sección de los objetivos de desempeño para las estructuras de ocupación estándar, esenciales y críticas.

| | | NIVELES DE DESEMPEÑO SISMICO | | | |
|---------------------------|------------------------------|------------------------------|-------------|--------------------|-------------|
| | | Totalmente Operacional | Operacional | Seguridad de vidas | Pre-Colapso |
| NIVELES DE DISEÑO SISMICO | Sismos Frecuentes (43 años) | | | | |
| | Sismos Ocasionales (72 años) | | | | |
| | Sismos raros (475 años) | | | | |
| | Sismos muy raros (970 años) | | | | |

Tabla N° 3. Objetivos de diseño sísmico basados en desempeño (SEAO)



Los objetivos del diseño sísmico se establecen precisando el nivel de daño que se acepta en una edificación luego de un sismo.

En la tabla N° 04 se indica el comportamiento deseado para edificios comunes en cada sismo de diseño junto a la aceleración pico esperado en la costa del Perú.

| SISMO DE DISEÑO | ACELERACION (g) | COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL |
|-------------------------------------|------------------------|--|
| Sismos Frecuentes (43 años) | 0.20 | Perfectamente elástico. |
| Sismos Ocasionales (72 años) | 0.25 | Prácticamente elástico. |
| Sismos raros (475 años) | 0.40 | Importantes incursiones inelásticas con pérdida de resistencia y rigidez. Estructura reparable. |
| Sismos muy raros (970 años) | 0.50 | Severas incursiones inelásticas, perdida casi total de rigidez y resistencia. No resulta práctico reparar la estructura. |

Tabla N° 4. Comportamiento estructural de edificios comunes.

2.2 SISTEMA DE REFORZAMIENTO TRADICIONAL

Desde el punto de vista estructural, el reforzamiento consiste en la modificación de las características estructurales de la edificación (rigidez, resistencia y capacidad de disipación de energía) las cuales permiten que la estructura pueda tener un diseño sísmico aceptable.

Estas técnicas requieren de una inversión económica considerable, además de no satisfacer las demandas arquitectónicas. Así mismo, las estructuras que tienen el sistema de reforzamiento tradicional presentan el inconveniente de que la estructura sufre daños permanentes frente a sismos severos, los cuales son irreparables.

El reforzamiento estructural es el proceso que se realiza con el fin de conseguir una respuesta aceptable ante un evento sísmico. Dicho refuerzo dependerá de las condiciones en las que se encuentren las estructuras y se

consigue mediante modificaciones en el diseño (refuerzos en los componentes estructurales).

2.2.1 PORTICOS

Están formados por vigas y columnas, conectados entre sí por nodos rígidos, lo cual permite la transferencia de momentos flectores y las cargas axiales hacia las columnas. La resistencia a las cargas laterales de los pórticos se logra principalmente por la acción de flexión de sus elementos.

El comportamiento y eficiencia de un pórtico rígido depende, por ser una estructura hiperestática, de la rigidez relativa de vigas y columnas. Para que el sistema funcione efectivamente como pórtico rígido es fundamental el diseño detallado de las conexiones para proporcionarle rigidez y capacidad de transmitir momentos.

2.3 DISIPACION DE ENERGIA

2.3.1 PRINCIPIOS GENERALES DE LA DISIPACION DE ENERGIA

En la construcción convencional, el sismo transmite energía a la estructura, ésta energía se transforma en energía elástica de movimiento y deformación (E_E) y en energía disipada (E_D). La energía elástica a su vez está formada por energía elástica no disipada o recuperable (E_S) y energía cinética (E_K). La energía disipada está formada por la energía de amortiguamiento (E_d) y energía histerética (E_H).

El desempeño de una estructura frente a sismos mejora cuando parte de esta energía es absorbida por un dispositivo suplementario, el cual se ve en la ecuación de la conservación de la energía:

$$E_I = E_k + E_S + E_d + E_H$$

Donde:

E_I : Energía de entrada durante el movimiento sísmico.

E_k : Energía cinética.

E_S : Energía elástica no disipada o recuperable.

E_d : Energía de amortiguamiento.

E_H : Energía de deformación plástica o histerética.

Un diseño eficiente de estructuras sismorresistente deberá cumplir la ecuación básica de diseño.

| | | |
|--------------------------------------|--------|--------------------------------------|
| DEMANDA DE | \leq | CAPACIDAD DE |
| Rigidez | | Rigidez |
| Resistencia | | Resistencia |
| Estabilidad | | Estabilidad |
| Absorción y disipación de energía | | Absorción y disipación de energía |

La acción de la disipación de energía en la elaboración, como las vigas en un marco de momento resistencia produce daños en los componentes. La reparación de los daños después de un terremoto normalmente es cara y con frecuencia requiere la evacuación del edificio.

El objetivo principal de añadir amortiguadores a construcciones nuevas y existentes es para disipar parte de la energía inducida por el terremoto en elementos desechables que no forman parte del sistema estructural. Esta filosofía está eliminando daños en el sistema estructural, por lo que la sustitución (en caso se requiera) de los dispositivos de amortiguación debe hacerse previa evaluación.

2.3.2 DISPOSITIVOS DE CONTROL DE RESPUESTA SISMICA

La idea de reforzar una estructura con un dispositivo que mejore la respuesta sísmica tiene como finalidad resistir el sismo severo para que de esta forma pueda seguir con su funcionamiento.

En la figura se encuentra la clasificación de los más importantes dispositivos para el control de vibraciones, divididos según el tipo de sistema al cual pertenezcan, es decir, pasivos, activos e híbridos.

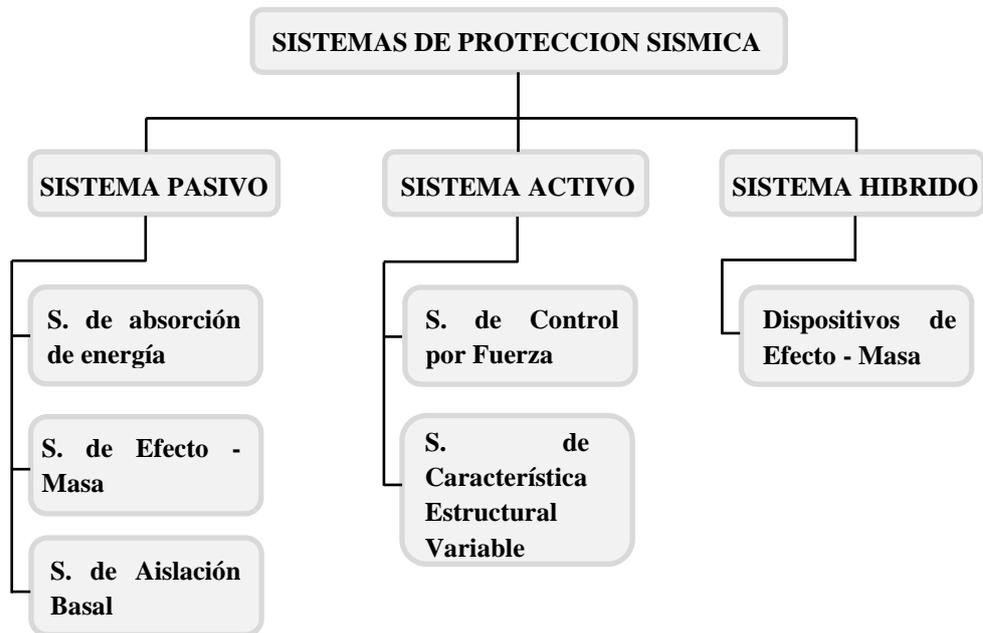


Figura N° 1. Clasificación de los principales dispositivos para el control de vibraciones

2.3.2.1 SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Bajo la denominación de sistema de control pasivo se encuentra una serie de medidas, que tienen como objetivo el concentrar la disipación de energía, es decir, proporcionar ductilidad, en ciertas zonas preestablecidas de la estructura, protegiéndola en sus zonas críticas, lo cual consiste en incorporar en la estructura ciertos mecanismos mecánicos externos que absorban parte de la energía inducida por la excitación y, consecuentemente aumentar el amortiguamiento de esta. Los sistemas pasivos absorben la energía de la excitación incrementando el amortiguamiento de la estructura

y modificando sus frecuencias naturales de vibración alejándolas de las frecuencias presentes en la excitación. Dichos mecanismos deben diseñarse estimando previamente el rango de frecuencias de la excitación.

DISIPADORES DE ENERGÍA

Son dispositivos de control pasivo, es decir, no alteran la energía de entrada, por lo que manifiestan su eficiencia absorbiendo gran parte de la energía sísmica, es decir, disipan la energía convirtiéndola en calor o por la transferencia de energía entre modos de vibración, se clasifican en tres categorías:

A. Histeréticos

Uno de los mecanismos efectivos para la disipación de energía introducida a una estructura por un sismo es mediante la deformación inelástica de metales. Este tipo de disipadores dependen de los desplazamientos de la estructura, es decir, se basan en la plasticidad del acero a partir de los esfuerzos realizados (corte, flexión, torsión o extrusión), obteniendo así una gran capacidad de amortiguamiento. Algunos de los disipadores más empleados son las placas a flexión, los amortiguadores torsionales de barras, los anillos amortiguadores de fluencia y las riostras metálicas.

En la Figura 2 muestra un disipador de placas a flexión tipo ADAS, formado por un conjunto de placas en forma de I dispuestas a flexión fuera de su plano donde concentran la energía por deformación plástica en la zona delgada.

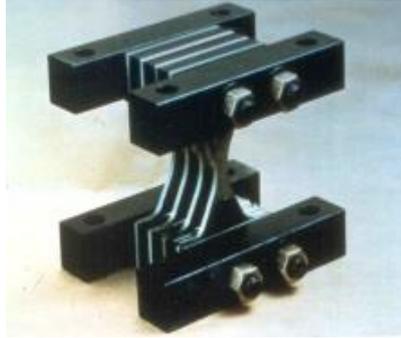


Figura N° 2. Disipador tipo ADAS (Tomado de Aiken et al., 1993)

Existen resultados experimentales que indican que el acero ensayado bajo condiciones cuasiestáticas puede llegar a manifestar valores del límite de fluencia y de tensión máxima de rotura inferiores en un 17% y 3% respectivamente a los obtenidos con velocidades de deformación del 10%/s.

B. Dispositivos Viscoelásticos

Este tipo de disipadores están formados por planchas metálicas unidas por un material viscoelástico, además, fueron uno de los primeros en emplearse en edificios para el control de vibraciones frente al viento.

Los disipadores viscoelásticos han sido empleados con éxito, durante los últimos 30 años, para reducir la respuesta de edificios altos ante la acción del viento. Los disipadores viscoelásticos sólidos están formados con chapas metálicas unidas con chapas unidas con capas finas de material viscoelástico y presentan unos ciclos histéreticos característicos elípticos.

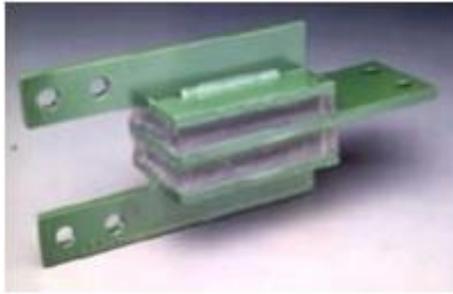


Figura N° 3. Amortiguador viscoelástico

Los amortiguadores metálicos y de rozamiento son utilizados principalmente en aplicaciones sísmicas, sin embargo, existe una clase de materiales sólidos viscoelásticos que disipan energía para cualquier nivel de deformación.

Uno de los primeros edificios en los que se empleó fue en el World Trade Center en el año de 1969, se usaron aproximadamente diez mil amortiguadores cuya finalidad fue la de reducir las vibraciones inducidas por el viento.

C. Fluido Viscoso

Este tipo de disipadores movilizan un elemento a través de un fluido viscoso, esto genera fuerzas que se oponen al movimiento del elemento, de magnitud proporcional a la velocidad. Es decir, un disipador de fluido viscoso normalmente consiste de un pistón dentro de un cilindro lleno de un compuesto de aceite de silicona, en el que la energía es disipada mediante el movimiento del fluido viscoso dentro del cilindro.

Este tipo de disipadores han sido empleados con éxito en la industria militar y aeroespacial.

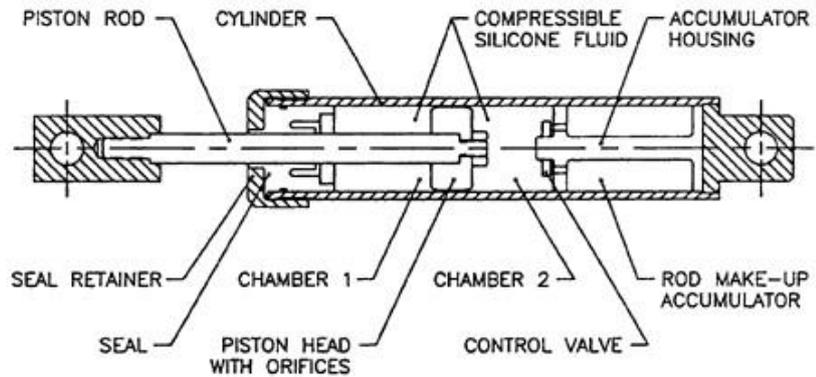


Figura N° 4. Disipador de Energía de Fluido Viscoso (Taylor)

El disipador de fluido viscoso es similar a los amortiguadores de los automóviles, con la diferencia que los utilizados en las estructuras trabajan con fuerzas mayores a la de los autos, y están fabricados de acero inoxidable y otros materiales extremadamente duraderos para proporcionar una vida de al menos 40 años.

En la última década los disipadores de fluido viscoso han sido empleados en varias estructuras alrededor del mundo, 12 fueron instalados en el Rich Stadium en Buffalo, New York; 12 fueron instalados en el puente entre las Petrona Twin Towers, Malasia; estos disipadores fueron empleados con la finalidad de minimizar las vibraciones del viento.

**CAPITULO III. DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO
VISCOSO**

3 DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO

Los disipadores de fluido viscoso funcionan según el principio de flujo de fluido a través de orificios. Un pistón de acero viaja a través de las cámaras que se llenan con aceite de silicona (inerte, no inflamable, no tóxico y estable para largos periodos de tiempo), la presión entre las dos cámaras causa que el aceite de silicona fluya a través de un orificio en la cabeza del pistón y la energía sísmica se transforma en calor, el cual se disipa en la atmósfera.

3.1 ECUACION GENERAL

La relación fuerza/velocidad para este tipo de disipador se puede expresar de la siguiente forma:

$$F = C V^\alpha \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

F: Fuerza de salida

C: Coeficiente de amortiguamiento

V: Velocidad relativa a través del disipador

α : Exponente constante que es generalmente un valor entre 0.3 y 0.1

3.1.1 COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO

Ecuación de amortiguamiento efectivo para un amortiguador viscoso lineal ($\alpha = 1$)

$$\beta_{\text{eff}} = \beta_0 + \frac{T \cdot \sum_j C_j \cdot \cos^2 \theta_j \cdot \phi_{rj}^2}{4\pi \cdot \sum_i (\frac{W_i}{g}) \cdot \phi_i^2} \quad \text{Ecuación 3.2}$$

Donde:

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del sistema estructural.

β_0 : Amortiguamiento inherente del sistema estructural.

- T : Periodo de la estructura.
 C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.
 W_i : Peso del nivel i.
 θ_j : Angulo de inclinación del disipador j.
 φ_i : Desplazamiento del nivel i.
 φ_{rj} : Desplazamiento relativo del disipador j.

Ecuación de amortiguamiento efectivo para un amortiguador viscoso no lineal ($\alpha < 1$)

$$\beta_{\text{eff}} = \beta_0 + \frac{\sum_j \lambda C_j \cdot \phi_{rj}^{1+\alpha} \cdot \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \cdot \sum_i m_i \phi_i^2} \quad \text{Ecuación 3.3}$$

$$\lambda = 2^{2+\alpha} + \frac{\Gamma^2 (1 + \frac{\alpha}{2})}{\Gamma (2 + \alpha)} \quad \text{Ecuación 3.4}$$

Donde:

- β_{eff} : Amortiguamiento efectivo del sistema estructural.
 β₀ : Amortiguamiento inherente del sistema estructural.
 C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.
 m_i : Masa del nivel i.
 θ_j : Angulo de inclinación del disipador j.
 φ_i : Desplazamiento del nivel i.
 φ_{rj} : Desplazamiento relativo del disipador j.
 A : Desplazamiento del prime modo.
 ω : Frecuencia angular ($\omega = 2\pi f$).
 λ : Parámetro lambda.
 Γ : Función gamma.
 α : Exponente de velocidad.

Para el caso general de un dispositivo no lineal con la fuerza viscosa dada por la ecuación anterior, λ es una función de la velocidad del exponente α, como se da en la tabla 5.

| Valores del parámetro λ | |
|---------------------------------|---------------------|
| Exponente α | Parámetro 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 |

Tabla N° 5. Valores del parámetro λ . (FEMA 274)

3.1.2 EXPONENTE DE VELOCIDAD α

El exponente de velocidad “ α ” es la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad y determina el comportamiento histerético de los disipadores empleados.

El disipador con $\alpha = 1$ se llama disipador viscoso lineal, en el que la fuerza de amortiguamiento es proporcional a la velocidad relativa.

Los disipadores con $\alpha < 1$ se llaman disipadores viscosos no lineales, que son eficaces en la reducción de choques de alta velocidad.

En la Figura 5 muestra las relaciones de fuerza-velocidad de los tres diferentes tipos de disipadores viscosos. Esta cifra demuestra la eficacia de los disipadores no lineales en la minimización de choques de alta velocidad. Para una pequeña velocidad relativa, el disipador con un valor de α menor que 1 puede dar una fuerza de amortiguamiento más grande que los otros dos tipos de amortiguadores.

Para los disipadores viscosos no lineales el valor de α está en un rango de 0.3 a 1.0, sin embargo, CDV Representaciones

recomienda utilizar un rango entre 0.4 y 0.5 para edificaciones con registros sísmicos.

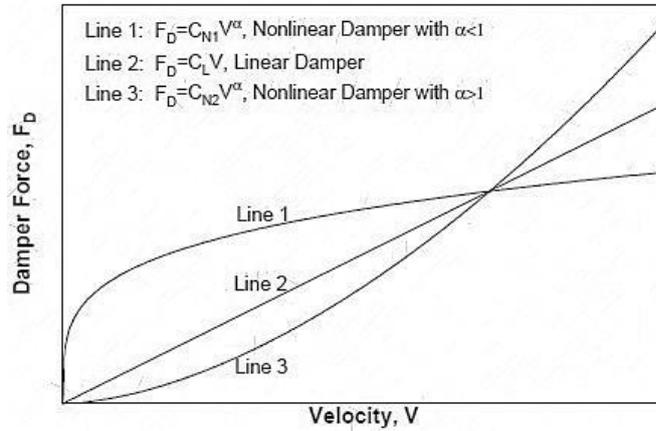


Figura N° 5. Relaciones de fuerza-velocidad de los disipadores viscosos

La ecuación 3.5 nos muestra el coeficiente de amortiguamiento constante para todos los dispositivos, la cual se obtiene despejando la ecuación 3.3

$$\Sigma C_j = \frac{\beta_H .2 \pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\Sigma_i m_i \theta_i^2)}{\lambda (\Sigma \theta_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

β_H : Amortiguamiento viscoso de la estructura

El valor de β_H depende del amortiguamiento objetivo que se desee alcanzar mediante los siguientes pasos:

- Determinar el factor de reducción de respuesta (B)

$$B = \frac{D_{\max}}{D_{\text{objetivo}}} \quad \text{Ecuación 3.6}$$

Donde:

D_{\max} : Deriva máxima

D_{objetivo} : Deriva objetivo

La deriva máxima es obtenida mediante el análisis tiempo historia.

- Determinar el amortiguamiento efectivo

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(\beta_0)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}})} \quad \text{Ecuación 3.7}$$

Donde:

β_0 : Amortiguamiento inherente de la estructura (5%)

β_{eff} : Amortiguamiento efectivo.

- Determinar el amortiguamiento viscoso de la estructura

$$\beta_h = \beta_{\text{eff}} - 5\% \quad \text{Ecuación 3.8}$$

El amortiguamiento viscoso de la estructura es el amortiguamiento efectivo (β_{eff}) más el amortiguamiento inherente (β_0) de la estructura asumido en no más del 5%.

3.1.3 RIGIDEZ DEL DISPOSITIVO K

La rigidez del dispositivo es la rigidez del brazo metálico que se conecta a la estructura principal; ya que los amortiguadores están adosados a la estructura mediante estos brazos; por lo que la rigidez axial del dispositivo es mucho menor a la del brazo.

La rigidez del brazo metálico se determina mediante la siguiente formula:

$$K = \frac{EA}{L} \quad \text{Ecuación 3.9}$$

Donde:

E : Coeficiente de elasticidad del material (acero).

A : Área de la sección del brazo metálico.

L : Longitud del brazo metálico.

Es muy común utilizar perfiles HSS o tipo PIPE por razones de estética y por las facilidades al momento de la instalación.

El perfil metálico debe tener un área significativa, ya que de esta forma se minimiza las deflexiones elásticas del disipador y maximizar las del disipador. Así mismo, es importante que el perfil metálico tenga suficiente momento de inercia y área para que no se exceda en su resistencia contra el pandeo en la dirección de compresión.

En el proceso del diseño del brazo metálico se deben validar las siguientes ecuaciones:

$$\phi T_n = \phi * F_y * A < T_u \quad \text{Ecuación 3.10}$$

Donde:

T_n : Tensión nominal.

Ø : Factor de reducción (0.9).

A : Área bruta de la sección del brazo metálico.

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

$$\phi P_n = \phi * F_{cr} * A < P_u \quad \text{Ecuación 3.11}$$

Donde:

P_n : Compresión nominal.

P_u : Compresión última, obtenida de las fuerzas del disipador.

3.2 CRITERIOS DE UBICACIÓN

Para determinar la ubicación y el número de amortiguadores, se debe tener en cuenta lo siguiente:

- Ubicar las zonas de velocidades máximas y en los entrepisos que experimentan mayor desplazamiento. Así mismo, para el control de la torsión los dispositivos se ubican de manera simétrica y regular. Diversas investigaciones en torno a ello dan como resultado que la ubicación óptima de los amortiguadores se logra mediante un proceso iterativo.
- Tener en cuenta la arquitectura de la edificación, por lo que los profesionales involucrados en el proyecto deben llegar a un acuerdo en la ubicación, de tal forma que no afecte el los requerimientos del diseño arquitectónico.

Así mismo, la norma ASCE 7-10 recomienda:

- Ubicar como mínimo dos dispositivos en la dirección a reforzar.
- Ubicar los dispositivos en todos los niveles.

3.3 TIPOS DE AREGLOS

3.3.1 DISPOSICION CHEVRON

En este tipo de arreglo los dispositivos se colocan en forma paralela al plano (horizontal), de tal forma que absorben directamente las fuerzas de sismo, por lo que la eficiencia es del 100%.

3.3.2 DISPOSICION DIAGONAL

En este tipo de arreglo los dispositivos se colocan en forma diagonal del pórtico, anexado a un nudo rígido (unión viga columna). Este tipo de arreglo es menos eficiente que el Chevron por lo que el amortiguamiento depende el ángulo de inclinación del brazo metálico que sostiene el disipador.

CAPITULO IV. EJEMPLO DE APLICACION

4.1 DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO

La edificación a evaluar corresponde a un mercado, esta edificación es de forma regular. El mercado posee los siguientes linderos: por el frente con la Av. América Sur, por la izquierda con la calle Aristóteles, por el fondo con la calle Balmes y por la derecha con la Iglesia de La Noria.

4.1.1 UBICACIÓN

Geográficamente, el mercado en estudio se ubica en la región costa de nuestro país, específicamente en la Región La Libertad, Distrito de Trujillo, Provincia de Trujillo. Esta edificación es de tipo importante.



Figura N° 6. Ubicación la ciudad en estudio.



Figura N° 7. Ubicación del terreno en estudio.

4.2 DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA Y OBJETIVOS DE DESEMPEÑO

La estructura será una edificación destinada para un mercado en la ciudad de Trujillo con un sistema aporticado de concreto armado.

El edificio cuenta con 4 pisos y presenta una configuración regular en elevación; dicha edificación se encuentra ubicada en la ciudad de Trujillo, en una zona donde el suelo presenta características intermedias (S_3).

La estructura consta de un sistema conformado por vigas, columnas en ambas direcciones, placas en la dirección “x” y losas aligeradas de 25cm

de espesor en los entrepisos, las cuales actúan como diafragmas rígidos, transfiriendo las cargas de manera uniforme a toda la estructura. La altura entre piso es de 3.40 m.; las columnas, vigas y placas son de diferentes dimensiones (plano de detalles – estructuras).

El objetivo de la edificación se orientará a lograr un daño moderado en un terremoto de 480 años de periodo de retorno.

Las características del concreto y del acero especificadas para el diseño son:

- Resistencia a la compresión de concreto: $f'c = 210 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 220000 \text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto: $\gamma = 2400 \text{ kg/m}^3$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.15$
- Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000 \text{ kg/cm}^2$

4.3 ANALISIS ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACION

Para las edificaciones, el tipo de análisis estructural que comúnmente se usa es el análisis dinámico espectral o el análisis tiempo historia. Actualmente en nuestro país se viene usando el análisis tiempo historia como un complemento del análisis dinámico espectral, por lo que es necesario al momento de evaluar las edificaciones empleando disipadores de energía.

Uno de los objetivos del análisis estructural es determinar las fuerzas internas en los elementos estructurales con el propósito de diseñarlos, así también permite estimar los desplazamientos laterales en la edificación.

En el RNE, la norma de diseño sismo resistente E.030, especifica que para edificaciones de concreto armado el límite permisible de desplazamiento lateral es del 0.7%, esto se conoce como deriva.

4.3.1 PARAMETROS SISMICOS

Las solicitaciones sísmicas se establecen en la norma E.030:

- **Zonificación Sísmicas (Z)**

La edificación se encuentra en una zona de alta sismicidad, ya que está ubicada en la ciudad de Trujillo que pertenece a la ZONA 3, por lo tanto le corresponde un factor de zonificación de **Z = 0.40g**.

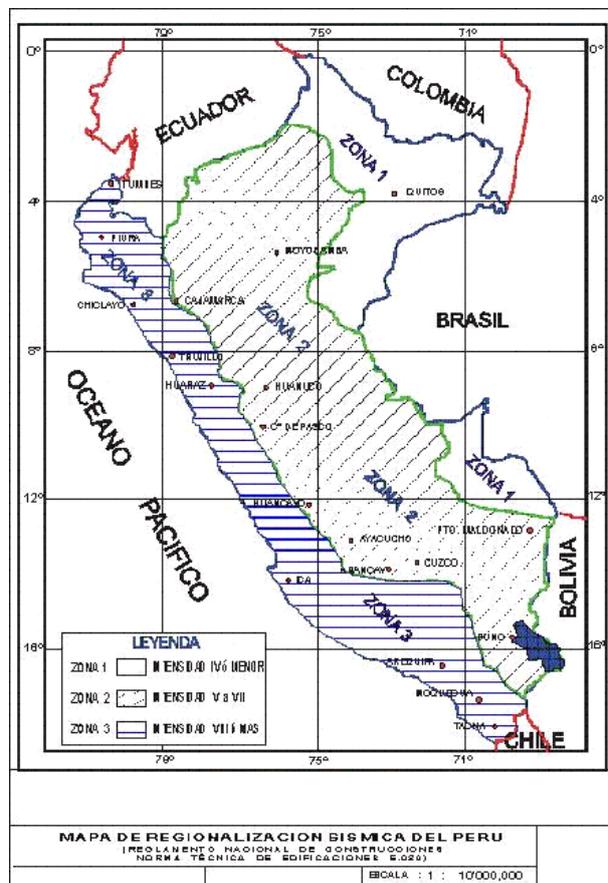


Figura N° 8. Zonificación de acuerdo a la sismicidad.

- **Condiciones Geotécnicas (T_p y S)**

La edificación se encuentra sobre suelos flexibles o con estratos de gran espesor, según la norma E.030 corresponde a un suelo tipo S3,

cuyo factor de amplificación es de $S = 1.4$ y con un periodo de corte de $T_p = 0.9\text{seg}$.

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

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

Con ello, la aceleración máxima en la estructura se puede representar por el producto ZSC.

$$C = 2.5 \times \left(\frac{T_p}{T} \right) ; C \leq 2.5$$

- **Categoría de la Edificación (U)**

La edificación en estudio está destinada para un mercado, lo cual le corresponde una categoría de edificaciones importantes con un factor de uso de $U = 1.3$.

- **Periodo fundamental de vibración (T)**

Se puede estimar para cada dirección con la siguiente expresión:

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

Donde:

h_n : Altura total del edificio

C_T : Coeficiente para estimar el periodo predominante del edificio

$$T = \frac{13.60}{60} = 0.227 \text{ seg}$$

- **Sistema Estructural (R)**

De acuerdo a la tabla N°06 de la Norma E 030, para un sistema aporticado, corresponde el coeficiente de reducción $R = 8$.

4.3.2 ANALISIS ESTATICO

Para realizar el análisis estático de la estructura se debe calcular el peso de la edificación

| NIVEL | P |
|--------------|-----------------|
| 1 | 576.56 |
| 2 | 576.56 |
| 3 | 576.56 |
| 4 | 259.68 |
| TOTAL | 1,989.36 |

Tabla N° 6. Peso de la edificación por cada nivel

El peso de la edificación se obtiene mediante la suma de la carga muerta más el 50% de la carga viva. El cálculo del peso se realizará con la combinación en el metrado de cargas.

Así mismo, es necesario el cálculo del cortante basal para determinar las cargas sísmicas laterales que serán asignadas al centro de la masa de cada entrepiso de la estructura. La cortante basal se determina mediante la fórmula expresada en la norma E.030:

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

De acuerdo a los parámetros sísmicos, se obtiene el siguiente valor para la cortante basal en ambas direcciones.

$$V_x = \frac{0.4 \times 1.3 \times 2.5 \times 1.4}{8} \times 1,989.36 = 452.58 \text{ Ton}$$

$$V_x = V_y = 452.58 \text{ Ton}$$

4.3.3 ANALISIS DINAMICO ESPECTRAL

Para el análisis sísmico se utilizó el espectro definido por la norma NTE E030, considerando los parámetros sísmicos del acápite 4.3.1, así mismo se realizó el Factor Escala (F.E.) en cada una de las direcciones.

| PARAMETRO | VALOR | |
|-----------|-------------|-------------|
| | Dirección X | Dirección Y |
| Z | 0.4 | 0.4 |
| U | 1.3 | 1.3 |
| S | 1.4 | 1.4 |
| R | 8 | 8 |
| C | 2.5 | 2.5 |

Tabla N° 7. Parámetros sísmicos.

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

$$Sa = C \times F.E.$$

Donde:

Sa : Aceleración Espectral

g : Aceleración de la Gravedad

Entonces, el Factor Escala será:

$$F.E._x = \frac{Z \times U \times S}{R} \times g = \frac{0.4 \times 1.3 \times 1.4}{8} \times 9.81 = 0.8927 \text{ m/s}^2$$

$$F.E._y = \frac{Z \times U \times S}{R} \times g = \frac{0.4 \times 1.3 \times 1.4}{8} \times 9.81 = 0.8927 \text{ m/s}^2$$

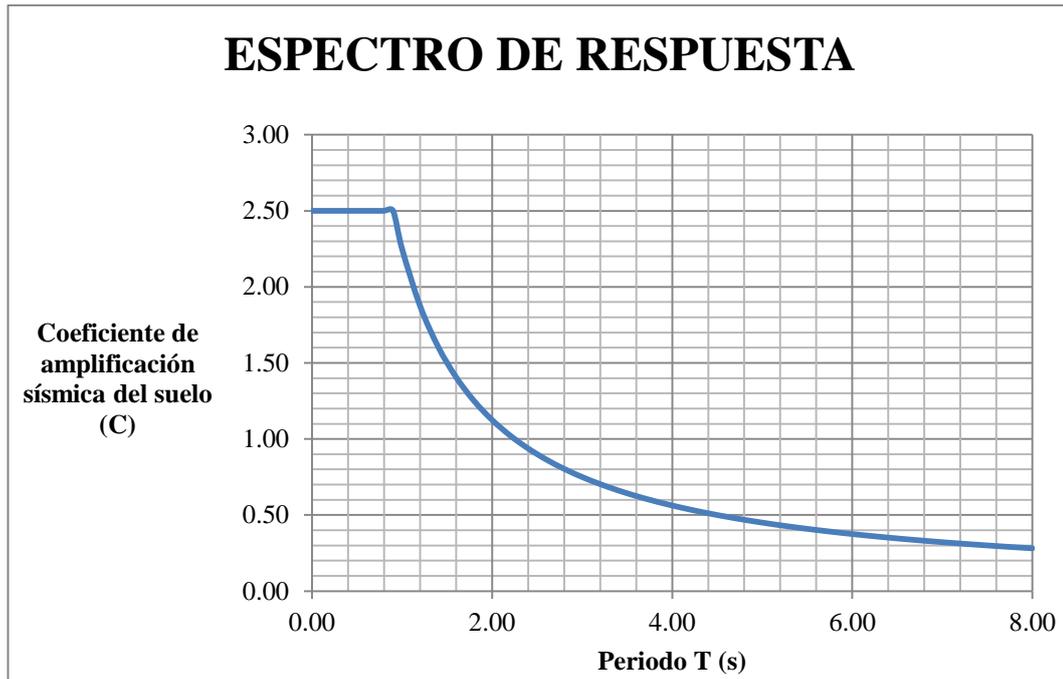


Figura N° 9. Espectro de respuesta de la estructura

4.3.4 DESPLAZAMIENTOS LATERALES

De acuerdo a la E.030, establece que los desplazamientos laterales se calcularán multiplicando por $0.75R$ los resultados obtenidos del análisis lineal y elástico con las sollicitaciones sísmicas reducidas.

Se debe cumplir que las derivas de entrepiso, luego de ser aplicadas las cargas sísmicas, deben cumplir con lo establecido en la norma E.030, que establece que las derivas no deben ser mayores a 0.007 en el caso de edificaciones de concreto armado.

| NIVEL | h_i (m) | Δ Relativo (cm) | Δ Real (cm) | Deriva Δ/h_i | E. 030 |
|--------------|---------------------------------|--|--|---|---------------|
| 4° PISO | 3.40 | 0.63 | 3.37 | 0.011 | 0.007 |
| 3° PISO | 3.40 | 0.71 | 4.23 | 0.012 | 0.007 |
| 2° PISO | 3.40 | 0.65 | 3.90 | 0.011 | 0.007 |
| 1° PISO | 3.40 | 0.37 | 2.20 | 0.006 | 0.007 |

Tabla N° 8. Control de derivas en la dirección X – X.

| NIVEL | h_i (m) | Δ Relativo (cm) | Δ Real (cm) | Deriva Δ/h_i | E. 030 |
|--------------|---------------------------------|--|--|---|---------------|
| 4° PISO | 3.40 | 0.91 | 5.46 | 0.016 | 0.007 |
| 3° PISO | 3.40 | 1.68 | 10.05 | 0.030 | 0.007 |
| 2° PISO | 3.40 | 2.21 | 13.26 | 0.039 | 0.007 |
| 1° PISO | 3.40 | 1.37 | 8.24 | 0.024 | 0.007 |

Tabla N° 9. Control de derivas en la dirección Y – Y.

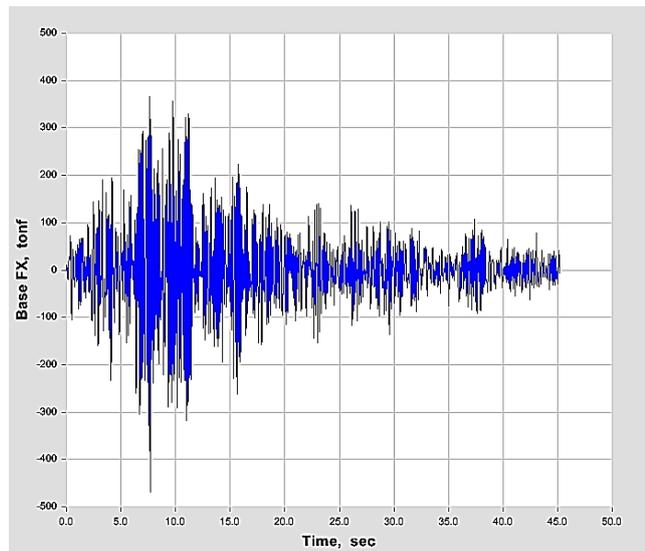
La deriva máxima obtenida en la dirección X – X fue de 12‰ y para la dirección Y – Y fue de 39‰, por lo que queda confirmado la poca rigidez en ambas direcciones.

4.4 ANALISIS TIEMPO HISTORIA

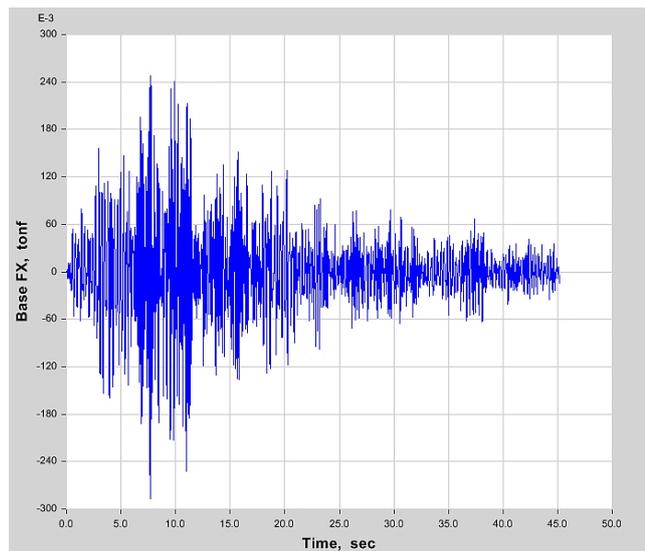
En esta investigación se han empleado los registros sísmicos correspondientes a los años 1966, 1970 y 1974 en sus dos direcciones X e Y.

Los registros sísmicos empleados en el análisis tiempo historia fueron los siguientes:

Sismo de Chimbote 1970



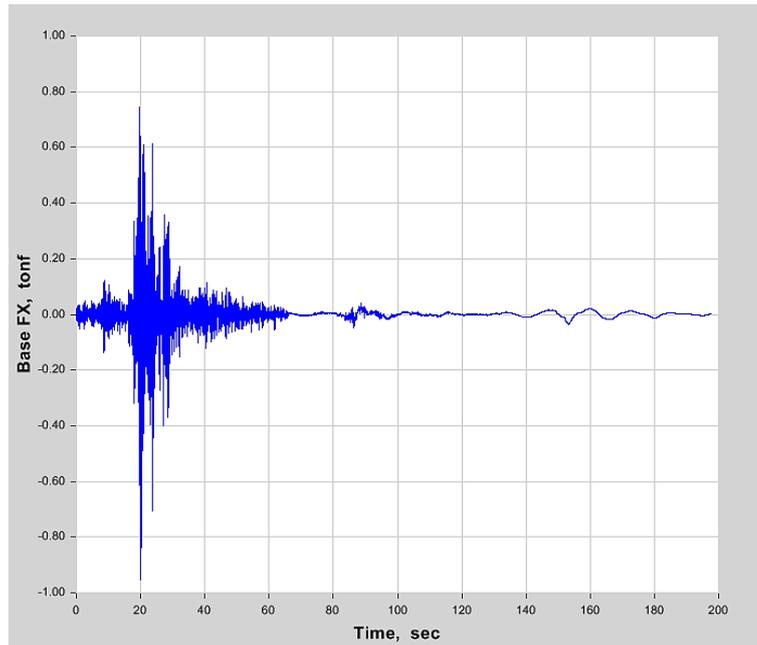
Sismo en dirección X – X



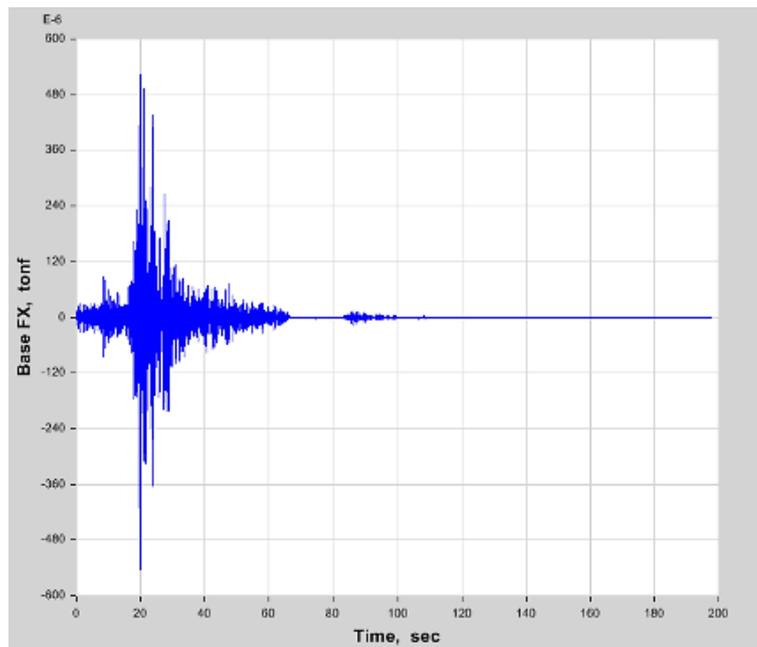
Sismo en dirección Y – Y

Figura N° 10. Análisis tiempo historia de la estructura, Chimbote 1970.

Sismo de Lima 1966



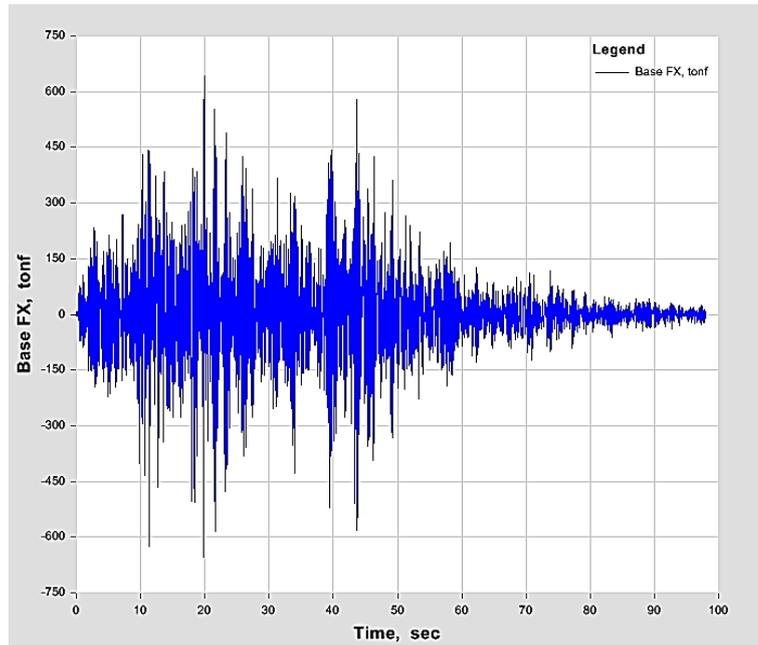
Sismo en dirección X – X



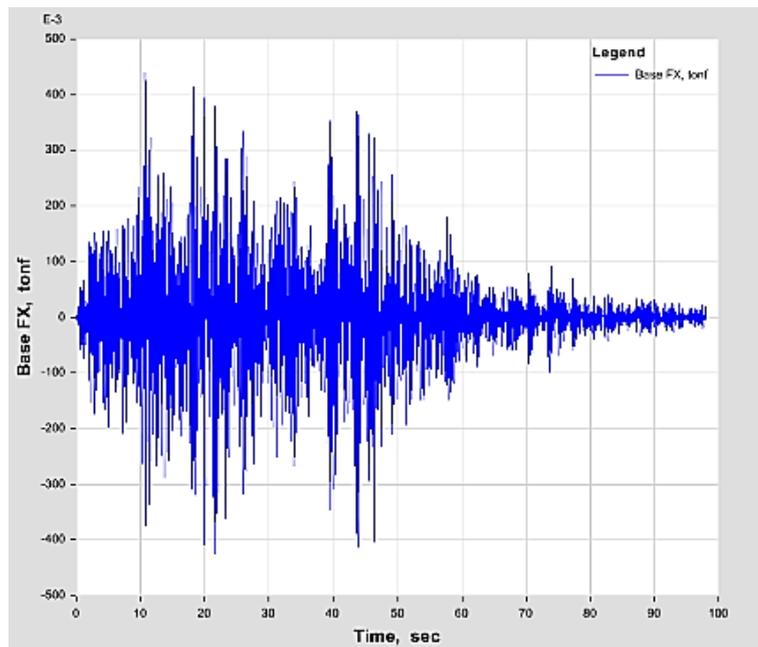
Sismo en dirección Y – Y

Figura N° 11. Análisis tiempo historia de la estructura, Lima 1966.

Sismo de Lima 1974



Sismo en dirección X – X



Sismo en dirección Y – Y

Figura N° 12. Análisis tiempo historia de la estructura, Lima 1974.

4.4.1 RESPUESTA DEL EDIFICIO SIN DISIPADORES

A continuación se muestran las derivas inelásticas de entrepiso obtenidas en cada registro sísmico.

| | CHIMBOTE 1970 | | LIMA 1966 | | LIMA 1974 | |
|----------|---------------|-------|-----------|-------|-----------|-------|
| | X – X | Y – Y | X – X | Y – Y | X – X | Y – Y |
| 4° Nivel | 0.013 | 0.003 | 0.000 | 0.000 | 0.017 | 0.005 |
| 3° Nivel | 0.015 | 0.005 | 0.000 | 0.000 | 0.019 | 0.009 |
| 2° Nivel | 0.014 | 0.006 | 0.000 | 0.000 | 0.018 | 0.012 |
| 1° Nivel | 0.008 | 0.000 | 0.000 | 0.000 | 0.011 | 0.000 |

Tabla N° 10. Derivas obtenidas en ambas direcciones. (Análisis tiempo historia)

Las derivas inelásticas máximas en la dirección X e Y se presentan para el sismo de 1974 con el valor de 19‰

4.5 ELECCION DEL OBJETIVO DE DESEMPEÑO

Según la importancia de la edificación, la estructura califica como una edificación importante. Por lo que, se ha trabajado con un sismo de diseño con 475 años de periodo de retorno, el cual representa un nivel de desempeño de resguardo de vida o daño moderado.

4.5.1 DERIVA Y AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO

Para este trabajo se ha considerado la deriva máxima para estructuras de concreto armado (7 ‰). Se realizaron los cálculos en base al eje XX, ya que la deriva máxima (19‰) es superior a la

permitida; no se toma en cuenta a la deriva del eje YY porque no requiere disipadores.

Para determinar el amortiguamiento viscoso se han realizado los siguientes pasos:

A. Determinar el factor de reducción de respuesta (B) en base a la siguiente ecuación

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

$$B_{yy} = \frac{0.019}{0.007} = 2.1743$$

B. Determinar el amortiguamiento efectivo β_{ef} en base a la siguiente ecuación.

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

β_0 es el amortiguamiento inherente de la estructura, usualmente se usa 5% para estructuras de concreto armado:

$$2.1743 = \frac{2.31 - 0.41 \times \ln(5)}{2.31 - 0.41 \times \ln(\beta_{\text{eff}})}$$

El amortiguamiento efectivo obtenido incluye la acción del disipador de energía y el amortiguamiento inherente de la estructura:

$$\beta_{\text{ef yy}} = 43.95 \%$$

Descontando el amortiguamiento inherente se obtiene el amortiguamiento viscoso:

$$\beta_{\text{H yy}} = 37.95 \%$$

De acuerdo con los parámetros que trabajan los fabricantes, el amortiguamiento viscoso β_H debe estar entre el 20 y 40 %.

4.6 UBICACIÓN DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO

El presente trabajo tiene por disposición inicial llevar los dispositivos en los pórticos del eje YY.

La arquitectura de la edificación permite reforzarla con disipadores solo en el eje YY, en el eje XX puede usarse solo muros de corte.

La distribución de los dispositivos se muestra en el siguiente gráfico.

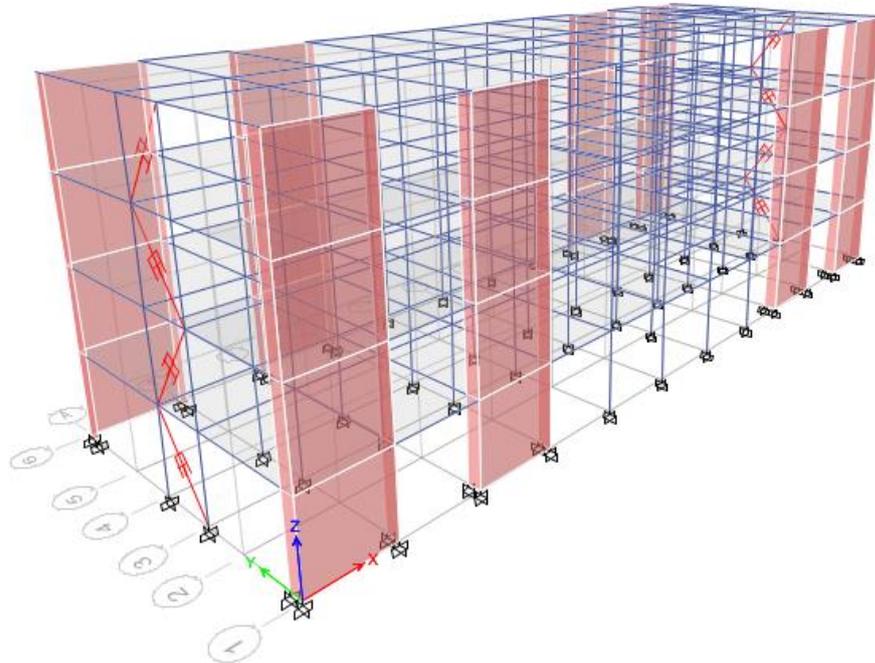


Figura N° 13. Ubicación de los disipadores.

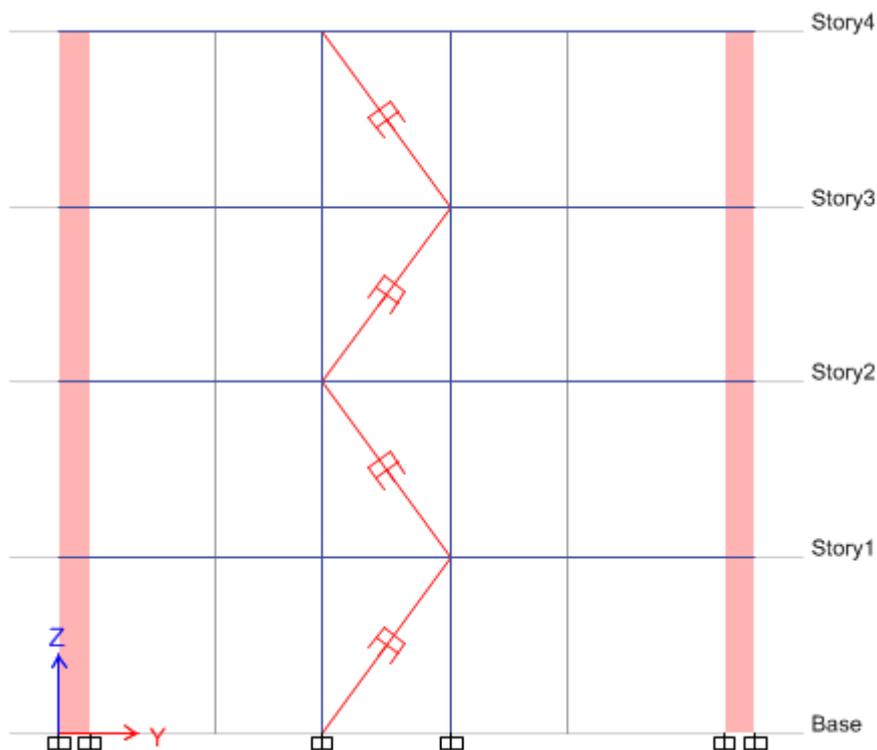


Figura N° 14. Ubicación de los disipadores en los porticos A y M, dirección Y – Y.

4.7 ESTIMACION DE PARAMETROS DEL SISTEMA DE AMORTIGUAMIENTO

A. CALCULO DE RIGIDEZ

Se ha considerado el uso de un perfil metálico para el brazo que contiene el amortiguador. Las propiedades del perfil se muestran en el siguiente cuadro:

| DIMENSIONES HSS 7.50 x 0.50 | | | | |
|-----------------------------|----------------|-----------------|--------------|-----------------|
| D ext. (in) | D int. (in) | Espesor (in) | Área (in) | Inercia (in) |
| 7.50 | 7.04 | 0.465 | 10.30 | 63.90 |

Tabla N° 11. Propiedades del perfil HSS 7.50 x 0.50

Con los datos del perfil metálico se procede a realizar el cálculo de la rigidez del brazo metálico con la siguiente ecuación:

$$K = \frac{E A}{L}$$

Donde:

| | |
|---------------------------------|---|
| Módulo de elasticidad del acero | $E = 29,00 \text{ ksi} = 20 \times 10^6 \text{ tn/m}^2$ |
| Área del perfil metálico | $A = 10.30 \text{ in}^2 = 66.45 \times 10^{-4} \text{ m}^2$ |
| Longitud | $L = 3.43 \text{ m}$ |

Con los datos establecidos, la rigidez del brazo metálico es:

$$K = 39,485 \text{ tn/m}$$

B. COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO

El coeficiente de amortiguamiento viscoso se determina despejando la siguiente ecuación.

$$C_d = \frac{\beta_{vi} (D_{roof})^{1/2} [\sum (\omega_i \phi_{r1}^2)] 322.46}{\left(\frac{\lambda}{2\pi}\right) \left(\frac{T_1}{2\pi}\right)^{3/2} (10g) (\cos^{3/2} \theta) (\sum \{\phi_{r1}\}^{3/2})}$$

$$D_{roof} = \frac{10g r_1 S_{d1} T_1}{4\beta_{1D} \pi^2}$$

$$S_{d1} = \frac{ZUCS}{R}$$

Donde:

- C_d : Coeficiente de amortiguamiento viscoso equivalente (t.s/m).
- β_{vi} : Radio de amortiguamiento proveído por el sistema de amortiguamiento.
- S_{d1} : Aceleración espectral del sismo de diseño.

- β_{1D} : Coeficiente de amortiguamiento.
 D_{roof} : Amplitud del desplazamiento.
 r_1 : Factor de participación del modo fundamental de vibración.
 ω_i : Masa del nivel i.
 ϕ_{r1} : Desplazamiento del primer modo de vibración i.
 λ : Parámetro dependiente del exponente.
 T_1 : Periodo del primer modo de vibración.
 g : Aceleración de la gravedad.
 θ_j : Angulo de inclinación del dissipador j.

$$S_{d1} = \frac{0.40 \times 1.30 \times 2.50 \times 1.40}{8} = 0.2275$$

$$D_{\text{roof}} = \frac{10 \times 981 \times 0.379 \times 0.23 \times 0.271}{4 \times 1.20 \times \pi^2} = 4.844 \text{ mm}$$

| NIVEL | θ (rad) | W_i | ϕ_{r1} | $W_i \phi_{r1}^2$ | $\cos^{1.5}\theta$ (rad) | C_d (T.s/m) |
|--------------|-------------------|--------|-------------|-------------------|-----------------------------|------------------|
| 1 | 0.63 | 576.56 | 0.08 | 3,277.84 | 0.72 | 70.58 |
| 2 | 0.63 | 576.56 | 0.12 | 8,623.78 | 0.72 | 70.58 |
| 3 | 0.63 | 576.56 | 0.09 | 5,018.89 | 0.72 | 70.58 |
| 4 | 0.63 | 259.68 | 0.05 | 683.41 | 0.72 | 70.58 |
| TOTAL | | | 0.34 | 17,603.91 | | |

Tabla N° 12. Cálculos para obtener el coeficiente de amortiguamiento.

$$C_d = 70.58 \text{ t.s/m}$$

4.8 RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON LOS DISIPADORES

A. REDUCCION DE DERIVAS

Finalizado la ubicación y diseño de los disipadores, se procede a evaluar la estructura, con la finalidad de saber los daños que pueda tener en base a las derivas.

| NIVEL | h_i (m) | Δ Desplazamiento (cm) | Deriva Δ/h_i ‰ | E.030 ‰ |
|---------|--------------|------------------------------------|-----------------------------|------------|
| 4° PISO | 3.40 | 0.16 | 0.5 | 7.0 |
| 3° PISO | 3.40 | 0.56 | 1.6 | 7.0 |
| 2° PISO | 3.40 | 1.55 | 4.6 | 7.0 |
| 1° PISO | 3.40 | 1.35 | 4.0 | 7.0 |

Tabla N° 13. Derivas de entrepiso en Y – Y.

En la tabla N° 13 se puede apreciar que los valores máximos de derivas para los disipadores son de 0.46% en la dirección evaluada, este valor es menor que la deriva objetivo para sismo moderado de 0.58%, de esta manera satisface las condiciones de la norma en cuanto al control de derivas.

B. BALANCE DE ENERGÍA

El porcentaje de disipación de energía del sistema de amortiguamiento se determina mediante la siguiente fórmula:

$$\% \text{ disipacion de energía} = \frac{\text{E.del sistema de amortiguamiento}}{\text{E.del sismo}}$$

Los valores deben ser representativos siguiendo la tendencia de la curva para un determinado tiempo.

A continuación, la figura 15 representa de manera gráfica el balance de energía para el sismo de diseño seleccionado. La energía de entrada está representada por el color azul y las energías de amortiguamiento inherente a la estructura con color verde y las de los disipadores están representadas por el color celeste.

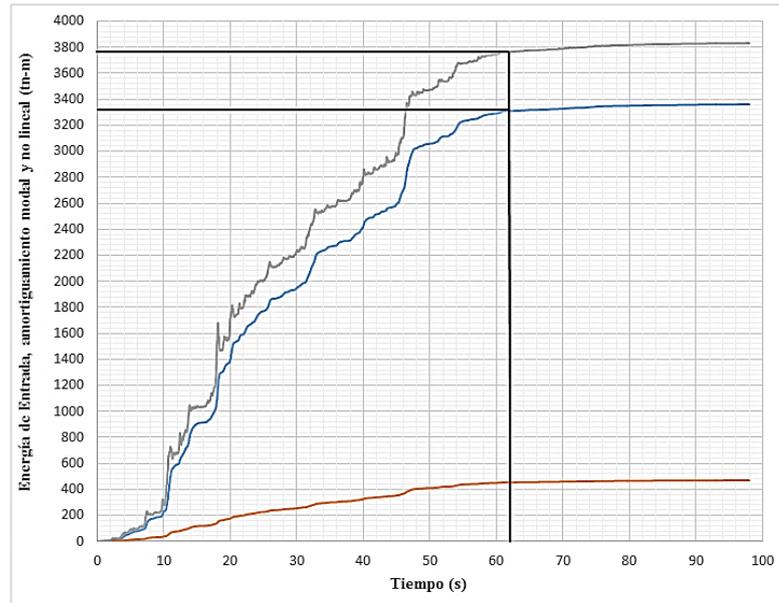


Figura N° 15. Balance de energía en la estructura con disipadores

La disipación de energía por medio de los disipadores no lineales

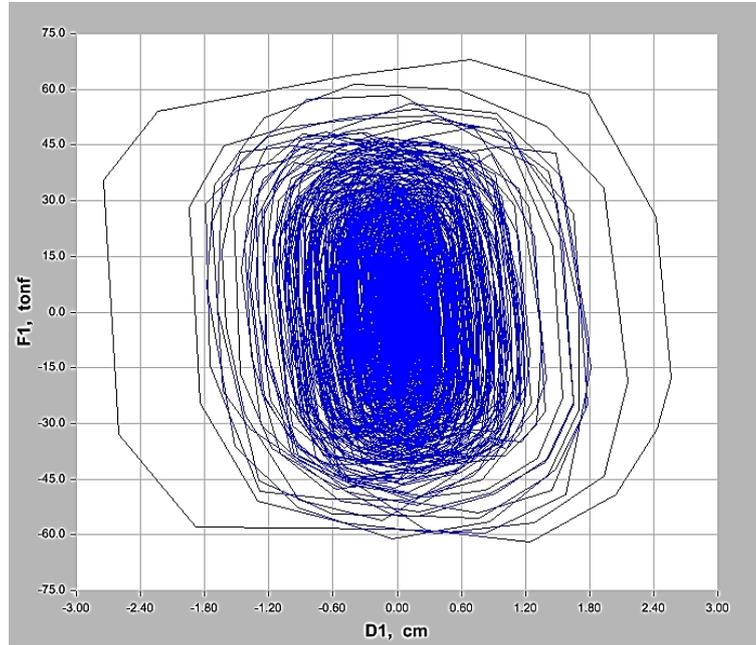
$$\% \text{ disipacion de energía} = \frac{3260}{3672} = 88.78\%$$

En la figura 15 se puede apreciar que la mayor parte de la energía es absorbida por los disipadores (88.78 %). Este alto porcentaje se debe a la efectividad de los disipadores ante un evento sísmico.

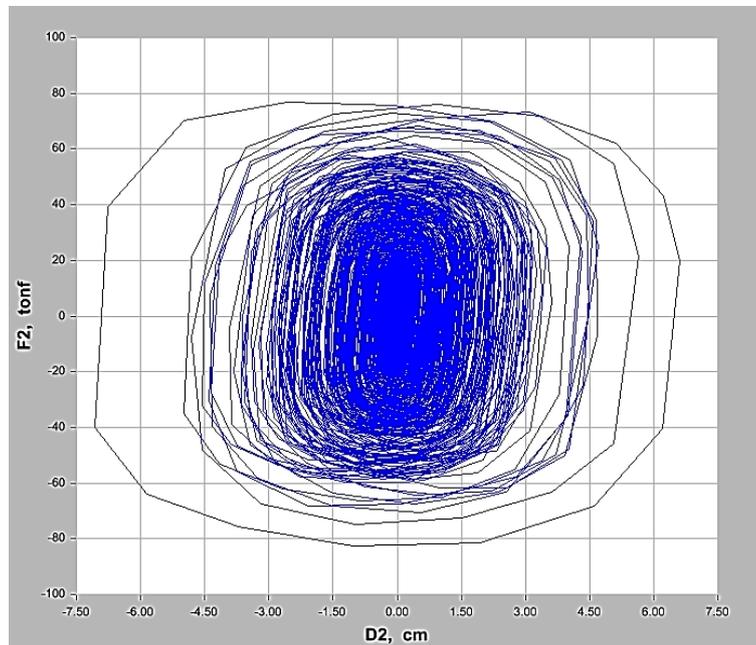
C. COMPORTAMIENTO HISTERETICO

A continuación se muestra la curva de histéresis (Desplazamiento vs Fuerza) de los disipadores con el objetivo de mostrar su

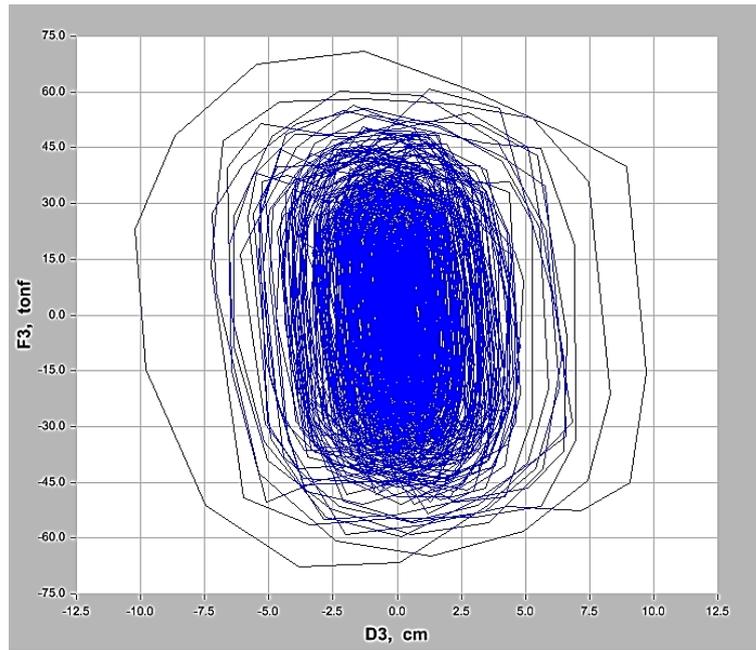
comportamiento elíptico, los cuales corresponden a un comportamiento adecuado.



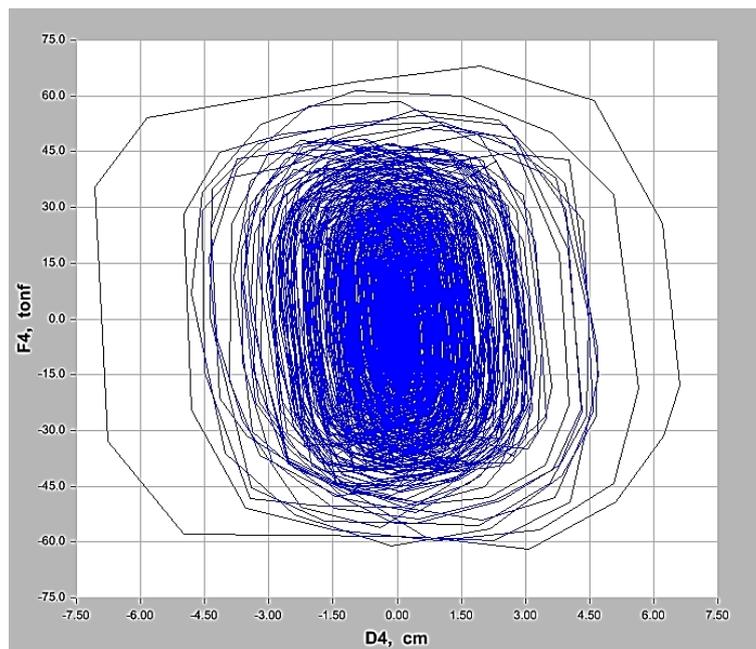
Curva histerética correspondiente al disipador del 1° Nivel



Curva histerética correspondiente al disipador del 2° Nivel



Curva histerética correspondiente al disipador del 3° Nivel



Curva histerética correspondiente al disipador del 4° Nivel

Figura N° 16. Curvas de histéresis para amortiguadores no lineales $\alpha=0.5$

En la figura 16 se puede apreciar que el comportamiento de las curvas sigue un patrón definido, es decir los disipadores están trabajando correctamente.

4.9 EVALUACION DE RESULTADOS

Se presentan los resultados comparativos entre el sistema aporticado y el sistema reforzado con disipadores de energía de fluido viscoso.

4.9.1 DERIVA DE ENTREPISO

Las derivas de entrepiso se redujeron entre el 9.11 % y 70.21 % como puede ser apreciado en la figura N° 17, es importante recalcar que la deriva máxima de la estructura reforzada con disipadores de energía es 4.55%.

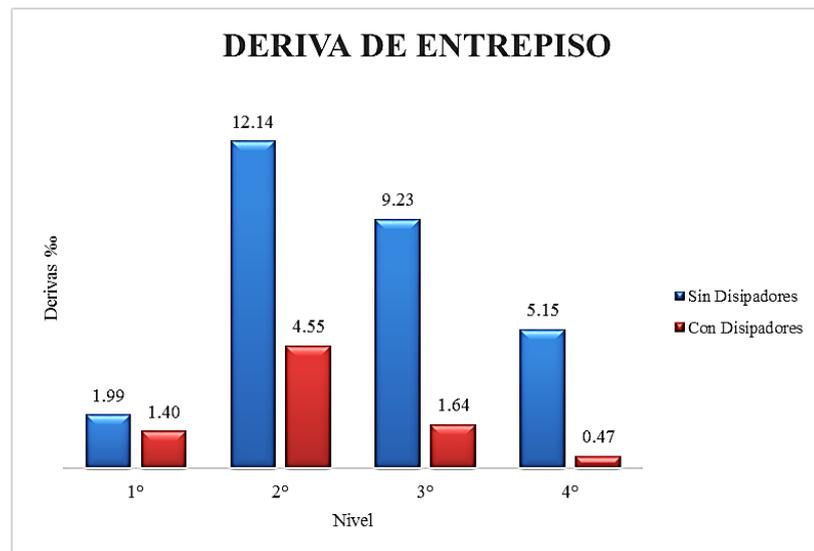


Figura N° 17. Deriva de entrepiso (Dirección Y – Y)

| NIVEL | SIN DISIPADOR | CON DISIPADOR | % REDUCCION |
|-------|---------------|---------------|-------------|
| 1° | 1.99 | 1.40 | 70.21% |
| 2° | 12.14 | 4.55 | 37.51% |
| 3° | 9.23 | 1.64 | 17.76% |
| 4° | 5.15 | 0.47 | 9.11% |

Tabla N° 14. Porcentaje de reducción de derivas de entropiso

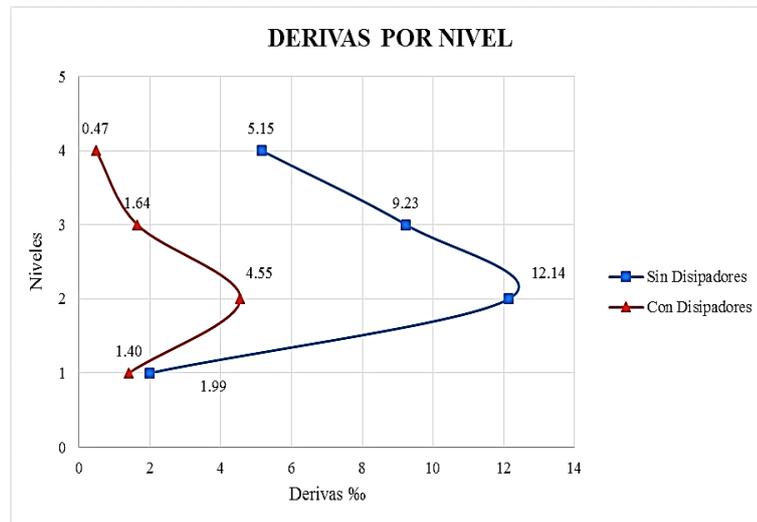


Figura N° 18. Derivas por nivel

En la figura N°18 el comportamiento de las derivas de la estructura (con disipadores y sin disipadores), así mismo se observa que la deriva máxima es cercana a la deriva objetivo 5.80%.

4.10 DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO

4.10.1 AGRUPACION DE DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA

En las tablas N° 15 y N° 16 se muestran los valores de las fuerzas máximas de cada disipador bajo el análisis de tiempo historia. Así mismo, las fuerzas fueron normalizadas para trabajar con valores del mercado (110 Kip y 165 Kip).

| Disipador | Fuerza (Ton) | Fuerza (Kip) | Fuerza de Diseño (Kip) |
|-----------|--------------|--------------|------------------------|
| K4 | 30.0487 | 66.2460438 | 110 |
| K3 | 42.6117 | 93.9427178 | 110 |
| K2 | 51.8482 | 114.305715 | 165 |
| K1 | 38.7689 | 85.470794 | 110 |

Tabla N° 15. Fuerzas máximas en los disipadores frente a la edificación

| Disipador | Fuerza (Ton) | Fuerza (Kip) | Fuerza de Diseño (Kip) |
|-----------|--------------|--------------|------------------------|
| K4 | 28.772 | 63.432 | 65 |
| K3 | 41.462 | 91.407 | 110 |
| K2 | 50.678 | 111.725 | 165 |
| K1 | 38.122 | 84.0448 | 110 |

Tabla N° 16. Fuerzas máximas en los disipadores en la parte posterior de la edificación.

| Fuerza de Diseño (Kip) | Cantidad de dispositivos |
|------------------------|--------------------------|
| 65 | 1 |
| 110 | 5 |
| 165 | 2 |

Tabla N° 17. Cantidad de dispositivos por cada tipo de disipador.

4.10.2 ELECCION DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA

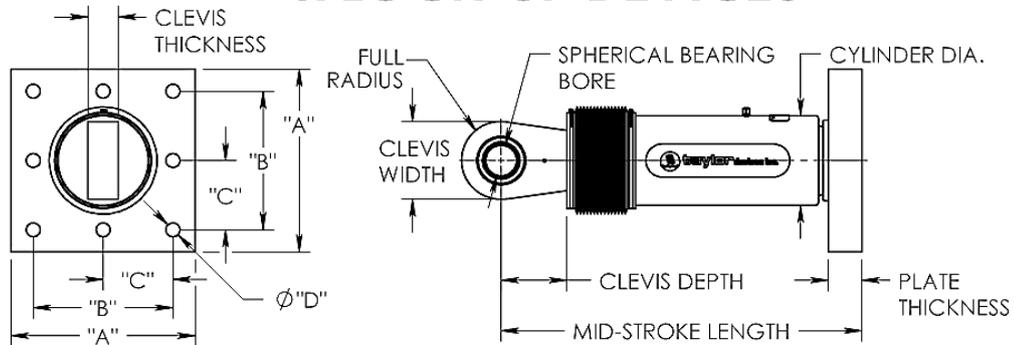
De acuerdo con los resultados obtenidos y con la información obtenida de la tabla N° 16 se procede a definir las propiedades de los dispositivos de amortiguamiento con la ayuda de diferentes fabricantes.

El principal fabricante de los dispositivos de amortiguamiento es Taylor Devices, por lo que las tablas de dicho fabricante han sido empleadas para esta investigación.



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 |
| 1450 KIP | † | † | † | † | † | † | † | † |
| 1800 KIP | † | † | † | † | † | † | † | † |

| 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.

Figura N° 19. Propiedades de los disipadores

Los dispositivos seleccionados son los de capacidades 55 Kip, 110 Kip y 165Kip. En las tablas N° 18 y N° 19 se muestran las dimensiones de estos dispositivos.

El diseñador deberá brindar los valores de fuerzas obtenidas normalizadas a los valores del mercado, los cuales cuentan con su

propio factor de seguridad, por lo que no se requerirá de ninguna amplificación adicional.

| Force | Spherical Bearing Bore Dia (cm) | Mid-Stroke Length (cm) | Stroke (inches) | Clevis Thickness (cm) | Clevis Width (cm) | Clevis Depth (cm) | Cylinder Dia (cm) | Weight (lbs) |
|---------|---------------------------------|------------------------|-----------------|-----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|--------------|
| 55 KIP | 3.81 | 78.74 | ± 3 | 4.14 | 10.16 | 8.26 | 11.43 | 93 |
| 110 KIP | 5.08 | 99.70 | ± 4 | 5.41 | 12.70 | 10.16 | 14.61 | 215 |
| 165 KIP | 5.72 | 101.60 | ± 4 | 5.72 | 15.24 | 12.95 | 18.42 | 400 |

Tabla N° 18. Dimensiones de los dispositivos seleccionados

| FORCE | "A" | "B" | "C" | "D" | Plate Thickness (cm) |
|---------|-------|-------|-------|------|----------------------|
| 55 KIP | 17.78 | 12.70 | * | 2.06 | 3.81 |
| 110 KIP | 28.24 | 20.32 | * | 3.18 | 3.81 |
| 165 KIP | 34.29 | 25.40 | 12.70 | 2.84 | 6.10 |

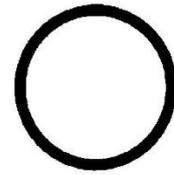
Tabla N° 19. Dimensiones de las placas base de los disipadores seleccionados.

(* Corresponde a una disposición de cuatro pernos).

4.10.3 DISEÑO DEL BRAZO METALICO

Los disipadores de fluido viscoso se encuentran dentro de los perfiles metálicos, por lo que el diseño de basa en la variable “K”, la cual es empleada en el modelamiento.

Table 1-13 (continued)
Round HSS
Dimensions and Properties



**HSS9.625-
HSS6.875**

| Shape | Design Wall Thickness, <i>t</i> | Nominal Wt. | Area, <i>A</i> | <i>D/t</i> | <i>I</i> | <i>S</i> | <i>r</i> | <i>Z</i> | Torsion | | |
|----------------------|---------------------------------|--------------|------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|------------------|------------------|------|
| | in. | lb/ft | in. ² | | | | | | <i>J</i> | <i>C</i> | |
| | | | | | | | | | in. ⁴ | in. ³ | |
| HSS9.625×0.500 | 0.465 | 48.77 | 13.4 | 20.7 | 141 | 29.2 | 3.24 | 39.0 | 281 | 58.5 | |
| | ×0.375 | 0.349 | 37.08 | 10.2 | 27.6 | 110 | 22.8 | 3.28 | 30.0 | 219 | 45.5 |
| | ×0.312 | 0.291 | 31.06 | 8.53 | 33.1 | 93.0 | 19.3 | 3.30 | 25.4 | 186 | 38.7 |
| | ×0.250 | 0.233 | 25.06 | 6.87 | 41.3 | 75.9 | 15.8 | 3.32 | 20.6 | 152 | 31.5 |
| | ×0.188 ^f | 0.174 | 18.97 | 5.17 | 55.3 | 57.7 | 12.0 | 3.34 | 15.5 | 115 | 24.0 |
| HSS8.625×0.625 | 0.581 | 53.45 | 14.7 | 14.8 | 119 | 27.7 | 2.85 | 37.7 | 239 | 55.4 | |
| | ×0.500 | 0.465 | 43.43 | 11.9 | 18.5 | 100 | 23.1 | 2.89 | 31.0 | 199 | 46.2 |
| | ×0.375 | 0.349 | 33.07 | 9.07 | 24.7 | 77.8 | 18.0 | 2.93 | 23.9 | 156 | 36.1 |
| | ×0.322 | 0.300 | 28.58 | 7.85 | 28.8 | 68.1 | 15.8 | 2.95 | 20.8 | 136 | 31.6 |
| | ×0.250 | 0.233 | 22.38 | 6.14 | 37.0 | 54.1 | 12.5 | 2.97 | 16.4 | 108 | 25.1 |
| | ×0.188 ^f | 0.174 | 16.96 | 4.62 | 49.6 | 41.3 | 9.57 | 2.99 | 12.4 | 82.5 | 19.1 |
| HSS7.625×0.375 | 0.349 | 29.06 | 7.98 | 21.8 | 52.9 | 13.9 | 2.58 | 18.5 | 106 | 27.8 | |
| | ×0.328 | 0.305 | 25.59 | 7.01 | 25.0 | 47.1 | 12.3 | 2.59 | 16.4 | 94.1 | 24.7 |
| HSS7.50×0.500 | 0.465 | 37.42 | 10.3 | 16.1 | 63.9 | 17.0 | 2.49 | 23.0 | 128 | 34.1 | |
| ×0.375 | 0.349 | 28.56 | 7.84 | 21.5 | 50.2 | 13.4 | 2.53 | 17.9 | 100 | 26.8 | |
| ×0.312 | 0.291 | 23.97 | 6.59 | 25.8 | 42.9 | 11.4 | 2.55 | 15.1 | 85.8 | 22.9 | |
| ×0.250 | 0.233 | 19.38 | 5.32 | 32.2 | 35.2 | 9.37 | 2.57 | 12.3 | 70.3 | 18.7 | |
| ×0.188 | 0.174 | 14.70 | 4.00 | 43.1 | 26.9 | 7.17 | 2.59 | 9.34 | 53.8 | 14.3 | |
| HSS7.000×0.500 | 0.465 | 34.74 | 9.55 | 15.1 | 51.2 | 14.6 | 2.32 | 19.9 | 102 | 29.3 | |
| | ×0.375 | 0.349 | 26.56 | 7.29 | 20.1 | 40.4 | 11.6 | 2.35 | 15.5 | 80.9 | 23.1 |
| | ×0.312 | 0.291 | 22.31 | 6.13 | 24.1 | 34.6 | 9.88 | 2.37 | 13.1 | 69.1 | 19.8 |
| | ×0.250 | 0.233 | 18.04 | 4.95 | 30.0 | 28.4 | 8.11 | 2.39 | 10.7 | 56.8 | 16.2 |
| | ×0.188 | 0.174 | 13.69 | 3.73 | 40.2 | 21.7 | 6.21 | 2.41 | 8.11 | 43.5 | 12.4 |
| | ×0.125 ^f | 0.116 | 9.19 | 2.51 | 60.3 | 14.9 | 4.25 | 2.43 | 5.50 | 29.7 | 8.49 |
| HSS6.875×0.500 | 0.465 | 34.07 | 9.36 | 14.8 | 48.3 | 14.1 | 2.27 | 19.1 | 96.7 | 28.1 | |
| | ×0.375 | 0.349 | 26.06 | 7.16 | 19.7 | 38.2 | 11.1 | 2.31 | 14.9 | 76.4 | 22.2 |
| | ×0.312 | 0.291 | 21.89 | 6.02 | 23.6 | 32.7 | 9.51 | 2.33 | 12.6 | 65.4 | 19.0 |
| | ×0.250 | 0.233 | 17.71 | 4.86 | 29.5 | 26.8 | 7.81 | 2.35 | 10.3 | 53.7 | 15.6 |
| | ×0.188 | 0.174 | 13.44 | 3.66 | 39.5 | 20.6 | 5.99 | 2.37 | 7.81 | 41.1 | 12.0 |

^f Shape exceeds compact limit for flexure with $F_y = 42$ ksi.

Figura N° 20. Propiedades geométricas del perfil HSS 7.500 x 0.375

Las características especificadas son:

- Área del perfil metálico : $A = 10.3 \text{ in}^3$
- Radio del perfil metálico : $r = 2.49 \text{ in}$
- Longitud de diseño : $L = 135.16 \text{ in}$
- Módulo de elasticidad del acero: $E_{ac} = 29000 \text{ ksi}$
- Esfuerzo de fluencia : $F_y = 35 \text{ ksi}$
- Resistencia en tensión : $F_u = 50 \text{ ksi}$

Con ello tenemos:

$$F_e = \frac{\pi^2 \times E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 \times 29000}{\left(\frac{135.16}{2.49}\right)^2} = 97.14 \text{ ksi}$$

$$F_{cr} = \left(0.658 \frac{F_y}{F_e}\right) \times F_y = \left(0.658 \frac{35}{97.14}\right) \times 35 = 30.10 \text{ ksi}$$

$$\begin{aligned} \emptyset P_n &= \emptyset \times F_{cr} \times A = 0.9 \times 30.10 \times 10.3 = 279.03 \text{ kips} \\ &= 126.54 \text{ Tn} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \emptyset T_n &= \emptyset \times F_y \times A = 0.9 \times 35 \times 10.3 = 324.45 \text{ kips} \\ &= 147.14 \text{ Tn} \end{aligned}$$

Con estos valores se puede concluir que:

$$\emptyset P_n = 126.54 \text{ tn} > 51.85 \text{ tn}$$

$$\emptyset T_n = 147.15 \text{ tn} > 51.85 \text{ tn}$$

4.10.4 DISEÑO DEL LA CONEXIÓN BRAZO METALICO – DISIPADOR

Las dimensiones de la placa base para un disipador de fluido viscoso de 165 KIP se muestra en la figura 21.

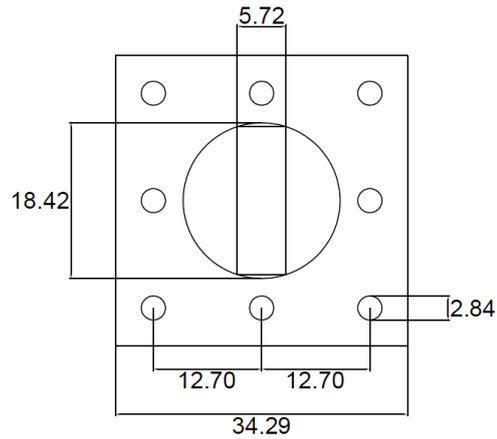


Figura N° 21. Dimensiones de la placa base para el dissipador de 165 KIP.

De acuerdo a la siguiente tabla:

| TABLE J3.3 Nominal Hole Dimensions, in. | | | | |
|--|----------------------------|----------------------------|--|---------------------------------------|
| Bolt Diameter | Hole Dimensions | | | |
| | Standard (Dia.) | Oversize (Dia.) | Short-Slot (Width × Length) | Long-slot (Width × Length) |
| 1/2 | 9/16 | 5/8 | 9/16 × 11/16 | 9/16 × 11/4 |
| 5/8 | 11/16 | 13/16 | 11/16 × 7/8 | 11/16 × 19/16 |
| 3/4 | 13/16 | 15/16 | 13/16 × 1 | 13/16 × 17/8 |
| 7/8 | 15/16 | 11/16 | 15/16 × 11/8 | 15/16 × 23/16 |
| 1 | 11/16 | 11/4 | 11/16 × 15/16 | 11/16 × 21/2 |
| ≥ 1 1/8 | $d + 1/16$ | $d + 5/16$ | $(d + 1/16) × (d + 3/8)$ | $(d + 1/16) × (2.5 × d)$ |

Tabla N° 20. Dimensiones de agujeros y pernos. ANSI/AISC 360-05

Tomaremos en cuenta que estamos trabajando con un agujero estándar (STD), el cual es recomendado por la AISC para la mayoría de aplicaciones.

Entonces

$$db + 1/16'' = dh$$

Donde:

db : Diámetro del perno

dh : Diámetro del agujero

Despejando:

$$db = dh - 1/16''$$

$$db = 1.12'' - 1/16''$$

$$db = 1.058''$$

El diámetro a emplear es de 1''

Para determinar el tipo de pernos, arandelas y tuercas se han seguido las especificaciones de los códigos AISC, ASTM y RCSC, los cuales son empleados como guías de diseño para conexiones empernadas.

A. Tipo de perno a emplear

Los pernos de alta resistencia pueden satisfacer las disposiciones de las normas ASTM 325 y A490.

Los pernos A325 son de acero con mediano contenido de carbono, tratados al calor, su resistencia mínima a la tensión es de 120 ksi (entre ½'' y 1'') y una resistencia máxima de 105 ksi (entre 1 1/8'' y 1 ½'').

Los pernos A490 son también tratados al calor, pero son de acero aleado, tienen una resistencia mínima a la tensión entre 150 a 170 ksi para diámetros de ½'' a 1 ½''.

Los pernos A325 y A490 están divididos en dos grupos según su clasificación metalúrgica.

El grupo 1 es el más usual, se usan a altas temperaturas.

El grupo 3 es resistente a la corrosión, son de alta resistencia.

Los pernos del tipo 2 han sido removidos de las especificaciones RCSC, los cuales aparecen en ediciones anteriores.

En la figura N°22 se muestra la nomenclatura en la cabeza de los pernos ASTM A325 y A490.

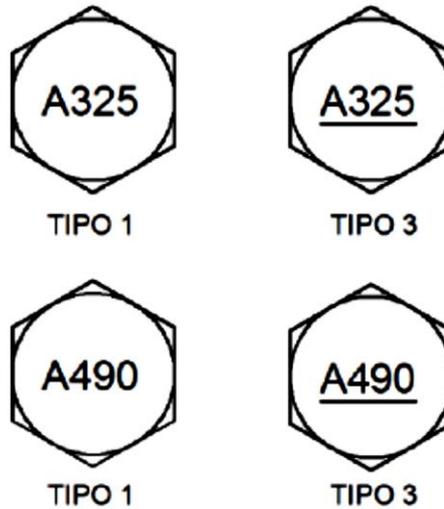


Figura N° 22. Clasificación de los pernos A325 y A490.

B. Longitud de los pernos, tuercas y arandelas

Las dimensiones de los pernos y tuercas de alta resistencia están estandarizadas y normadas de acuerdo al código RCSC. Las dimensiones de estos se encuentran en la tabla C-2.1 de la RCSC 2004, son las que se muestran a continuación.

| Diámetro Nominal del Perno <i>db, in.</i> | Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada | | | Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas | |
|---|--|------------------------|---------------------------------|---|------------------------|
| | Ancho a través de cara plana <i>F, plg.</i> | Altura <i>H1, plg.</i> | Longitud Roscada <i>T, plg.</i> | Ancho a través de cara plana <i>W, plg.</i> | Altura <i>H2, plg.</i> |
| 1/2 | 7/8 | 5/16 | 1 | 7/8 | 31/64 |
| 5/8 | 1 1/16 | 25/64 | 1 1/4 | 1 1/16 | 39/64 |
| 3/4 | 1 1/4 | 15/32 | 1 3/8 | 1 1/4 | 47/64 |
| 7/8 | 1 7/16 | 35/64 | 1 1/2 | 1 7/16 | 55/64 |
| 1 | 1 5/8 | 39/64 | 1 3/4 | 1 5/8 | 63/64 |
| 1 1/8 | 1 13/16 | 11/16 | 2 | 1 13/16 | 1 7/64 |
| 1 1/4 | 2 | 25/32 | 2 | 2 | 1 7/32 |
| 1 3/8 | 2 3/16 | 27/32 | 2 1/4 | 2 3/16 | 1 11/32 |
| 1 1/2 | 2 3/8 | 15/16 | 2 1/4 | 2 3/8 | 1 15/32 |

Tabla N° 21. Dimensiones estándares de pernos y tuercas. RCSC 2014

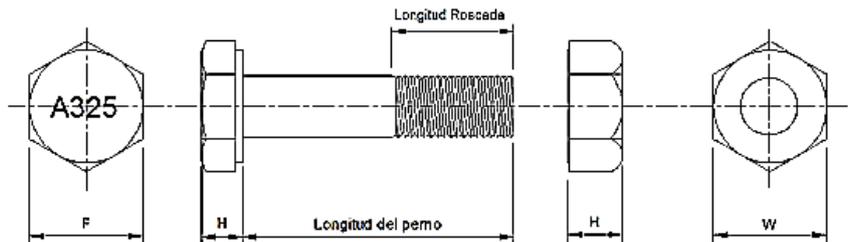


Figura N° 23. Dimensiones estándares de pernos y tuercas de alta resistencia, de acuerdo a la tabla N° 19

De acuerdo a la tabla N°21, se fijan las dimensiones del perno de 1", que como se mencionó anteriormente serán los que se empleen en la conexión brazo metálico – disipador, las dimensiones de este perno se muestran en la tabla N°22 y se detallan en las figuras 22 y 23.

| Unidades | Diámetro Nominal del Perno | Dimensiones del Perno Estructural | | | Dimensiones de la Tuerca | |
|----------|----------------------------|-------------------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------|-------------|
| | | Ancho a través de la cara plana (F) | Altura (H1) | Longitud Roscada (T) | Ancho a través de la cara plana (W) | Altura (H2) |
| in | 1 | 1 5/8 | 39/64 | 1 3/4 | 1 5/8 | 63/64 |
| cm | 2.54 | 4.128 | 1.548 | 4.445 | 4.128 | 2.5 |

Tabla N° 22. Dimensiones del perno de 1"

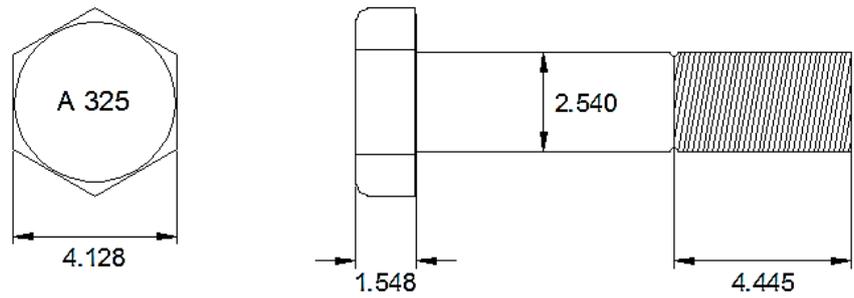


Figura N° 24. Detalle de las dimensiones del perno de 1"

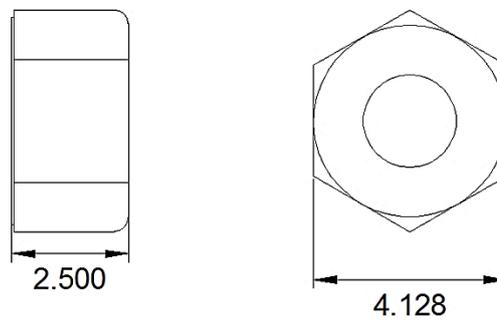
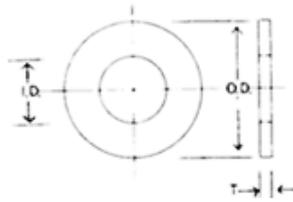


Figura N° 25. Detalle de las dimensiones la tuerca a emplear



| Nominal Size | Circular, Clipped Circular, and Extra Thick | | Circular and Clipped | |
|--------------|---|-----------------------------------|----------------------|-------------------|
| | Nominal Outside Diameter (OD), in. | Nominal Inside Diameter (ID), in. | Thickness (T), in. | |
| | | | min | max |
| 1/4 | 0.625 | 0.281 | 0.051 | 0.080 |
| 5/16 | 0.688 | 0.344 | 0.051 | 0.080 |
| 3/8 | 0.813 | 0.406 | 0.051 | 0.080 |
| 7/16 | 0.922 | 0.469 | 0.051 | 0.080 |
| 1/2 | 1.063 | 0.531 | 0.067 | 0.177 |
| 9/16 | 1.188 | 0.625 | 0.110 | 0.177 |
| 5/8 | 1.313 | 0.688 | 0.122 | 0.177 |
| 3/4 | 1.468 | 0.813 | 0.122 | 0.177 |
| 7/8 | 1.750 | 0.938 | 0.136 | 0.177 |
| 1 | 2.000 | 1.063 | 0.136 | 0.177 |
| 1 1/8 | 2.250 | 1.188 | 0.136 | 0.177 |
| 1 1/4 | 2.500 | 1.375 | 0.136 | 0.177 |
| 1 3/8 | 2.750 | 1.500 | 0.136 | 0.177 |
| 1 1/2 | 3.000 | 1.625 | 0.136 | 0.177 |
| 1 3/4 | 3.375 | 1.875 | 0.178 ^B | 0.28 ^B |
| 2 | 3.750 | 2.125 | 0.178 ^B | 0.28 ^B |
| 2 1/4 | 4.000 | 2.375 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 2 1/2 | 4.500 | 2.625 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 2 3/4 | 5.000 | 2.875 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 3 | 5.500 | 3.125 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 3 1/4 | 6.000 | 3.375 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 3 1/2 | 6.500 | 3.625 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 3 3/4 | 7.000 | 3.875 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |
| 4 | 7.500 | 4.125 | 0.24 ^C | 0.34 ^C |

Tabla N° 23. Dimensiones estándares de las arandelas (ASTM F436)

| Unidades | Diámetro Nominal del Perno | Diámetro Exterior (OD) | Diámetro Interior (LD) | Espesor Máximo (T máx) |
|----------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| in | 1 | 2.00 | 1.063 | 0.177 |
| cm | 2.54 | 5.08 | 2.700 | 0.449 |

Tabla N° 24. Dimensiones de la arandela para un perno de 1"

Teniendo las dimensiones de la tuerca y de la arandela podemos determinar la longitud del perno.

La longitud del perno es igual a la suma de las placas a unir (Grip), más los espesores de las arandelas, más el valor dado en la tabla C-2.2 del RCSC y por último se redondea al siguiente valor de 1/4" para longitudes de Grip menores a 5", e incrementamos de 1/2" para pernos con Grip mayores a 5" de

longitud. La tabla C-2.2 del RCSC 2004, se expresa a continuación como tabla N°25.

| Diámetro Nominal del Perno <i>db, plg.</i> | Para Determinar la Longitud requerida, Anadir al Grip, <i>plg.</i> |
|--|--|
| 1/2 | 11/16 |
| 5/8 | 7/8 |
| 3/4 | 1 |
| 7/8 | 1 1/8 |
| 1 | 1 1/4 |
| 1 1/8 | 1 1/2 |
| 1 1/4 | 1 5/8 |
| 1 3/8 | 1 3/4 |
| 1 1/2 | 1 7/8 |

Tabla N° 25. Longitud a aumentar al Grip de acuerdo al diámetro del perno.

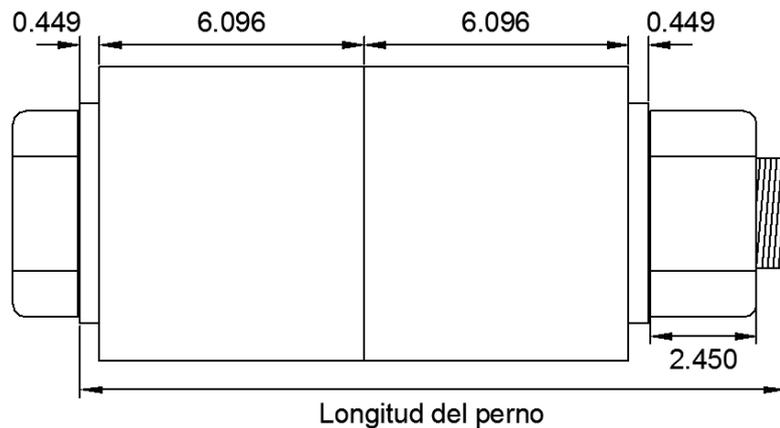


Figura N° 26. Esquema de la longitud del perno.

Entonces:

$$\text{Long. del perno} = 2(\text{arandelas}) + \text{Grip} + 1 \frac{1}{4}''$$

$$\text{Long. del perno} = 2(0.449\text{cm}) + 2(6.096 \text{ cm}) + 3.175\text{cm}$$

$$\text{Long. del perno} = 16.265 \text{ cm o } 6.40''$$

Este valor se debe redondear al valor de 1/4'' ya que la longitud del Grip (6.35 ó 2.5'') es menor a 5''.

$$\text{Longitud del perno} = 6.40''$$

Teniendo definidas las dimensiones del perno, podemos mostrar el siguiente gráfico.

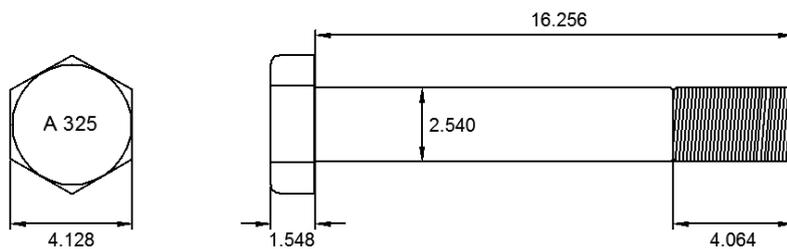


Figura N° 27. Dimensiones de los pernos A325 a emplear en la conexión Extensor - Disipador

La resistencia mínima a la tensión de los pernos A325 para diámetros de 1 1/8" – 1 1/2" es de 120 ksi, en consecuencia la resistencia de diseño de cada uno de ellos será:

$$\phi R_n = \phi \times A_b \times F_u$$

Donde:

ϕR_n : Resistencia de diseño de tracción y de corte

ϕ : Factor de resistencia, 0.75 (LRFD)

A_b : Área bruta del perno

$$A_b = \frac{\pi \times d^2}{4}$$

F_u : Tensión nominal

$$\phi R_n = 0.75 \times 0.785 \times 120$$

$$\phi R_n = 70.65 \text{ kip} = 32.05 \text{ tn}$$

Entonces, verificando la resistencia frente a las fuerzas de tensión tenemos:

$$\phi R_n \geq T_u$$

$$\phi R_n = 4 \text{ pernos} \times 32.05 \text{ tn/perno} = 128.20 \text{ tn}$$

$$128.20 \text{ tn} \geq 51.85 \text{ tn}$$

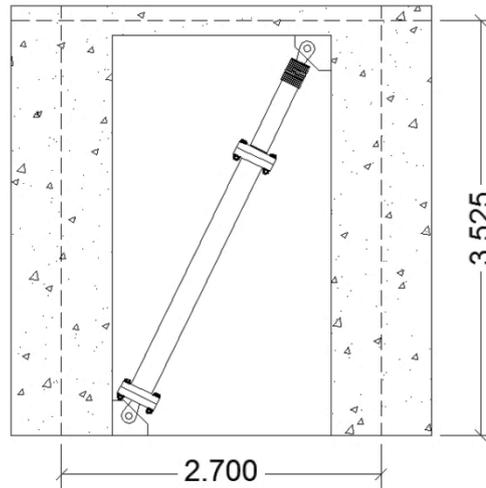


Figura N° 28. Ubicación de los dispositivos en la estructura (primer nivel).

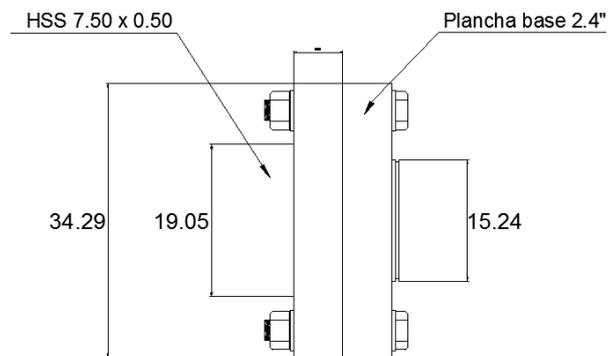


Figura N° 29. Conexión brazo Metálico – Disipador Viscoso (165 kip).

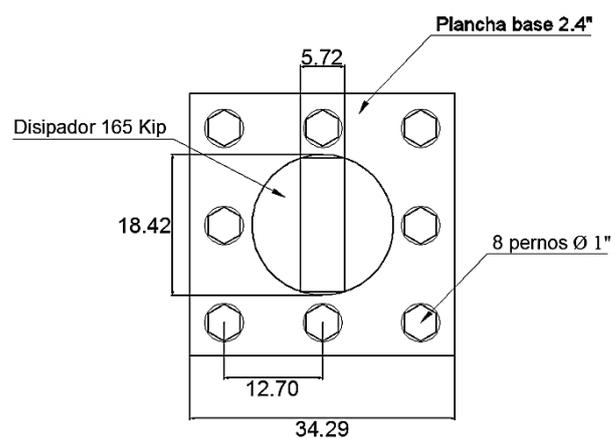


Figura N° 30. Detalle de la conexión placa base – disipador de energía.

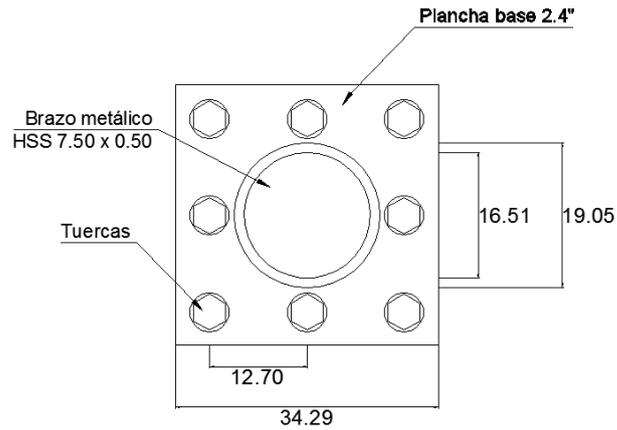


Figura N° 31. Detalle de la conexión placa base – brazo metálico.

Al ser iguales las fuerzas que se generan a lo largo del brazo metálico, se empleó la misma placa base y disposición de pernos para la unión del brazo metálico.

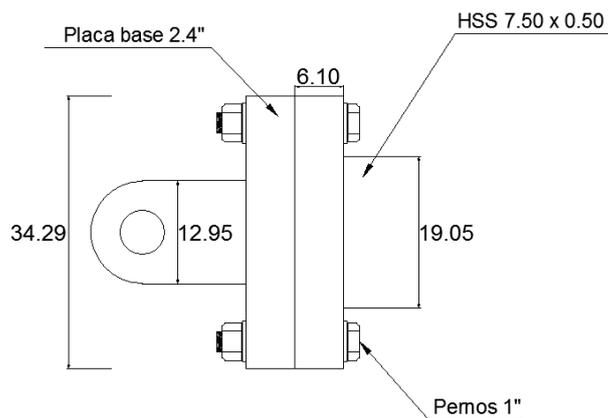


Figura N° 32. Detalle de la conexión barra de conexión – brazo metálico.

C. DISEÑO DEL PERNO DE CONEXIÓN

El perno que une la barra de conexión con las cartelas debe ser diseñado para recibir altas sollicitaciones de corte, por lo que se optó emplear un perno A490 de diámetro 1.5", el cual posee un diámetro significativo.

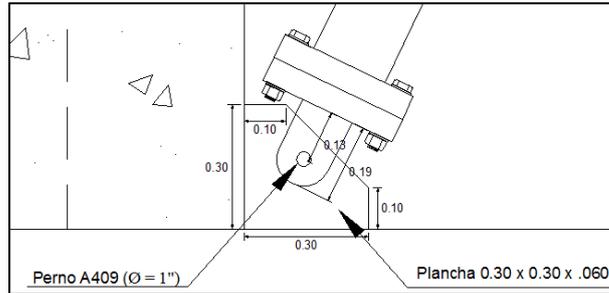


Figura N° 33. Detalle de la conexión inferior de brazo metálico.

Tomando como referencia la tabla N°21 se han definido las dimensiones del perno de 1/2", así mismo de las tablas 23 y 25 se han obtenido las dimensiones de la arandela y el valor del incremento Grip. Para el cálculo de la longitud del perno se ha considerado el espesor de 5cm para la barra de conexión.

| Unidades | Diámetro Nominal del Perno | Dimensiones del Perno Estructural | | | Dimensiones de la Tuerca | |
|----------|----------------------------|-------------------------------------|-------------|----------------------|-------------------------------------|-------------|
| | | Ancho a través de la cara plana (F) | Altura (H1) | Longitud Roscada (T) | Ancho a través de la cara plana (W) | Altura (H2) |
| in | 1 1/2 | 2 3/8 | 15/16 | 2 1/4 | 2 3/8 | 1 15/32 |
| cm | 3.81 | 6.03 | 2.381 | 5.73 | 6.04 | 3.731 |

Tabla N° 26. Dimensiones del perno de 1 1/2"

| Unidades | Diámetro Nominal del Perno | Diámetro Exterior (OD) | Diámetro Interior (LD) | Espesor Máximo (T máx) |
|----------|----------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| in | 1 1/2 | 3 | 1.625 | 0.177 |
| cm | 3.81 | 7.62 | 4.128 | 0.449 |

Tabla N° 27. Dimensiones de la arandela para un perno de 1 1/2"

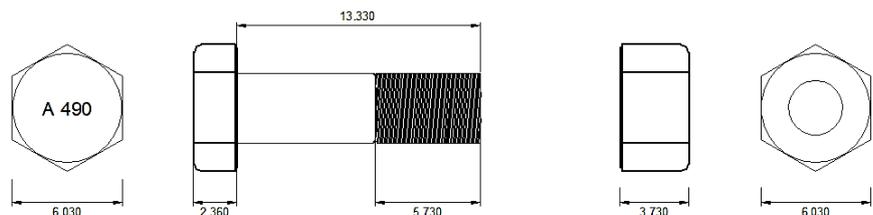


Figura N° 34. Detalle de las dimensiones del perno de 1 1/2".

El esfuerzo máximo de corte de un perno estructural está determinado por:

$$\phi R_n = \phi m F_v \quad ; \quad \phi P_n = \phi R_n A_b n$$

Donde:

ϕR_n : Resistencia de diseño de tracción y de corte

ϕ : Factor de resistencia, 0.75 (LRFD)

m : Numero de planos

F_v : 0.5 F_u (falla en la parte lisa)

F_v : 0.4 F_u (falla en la parte rocosa)

A_b : Área bruta del perno

$$A_b = \frac{\pi x d^2}{4}$$

ϕP_n : Fuerza cortante máxima

n : Número de pernos

F_u : Tensión nominal

El valor de “m” es igual a 1 cuando el perno está sometido a cortante simple; será igual a 2 cuando la conexión esta en cortante doble.

Para el diseño generalmente se considera que la falla será en la parte rosca del perno por ser el caso más conservador. Es decir se asume un $F_v = 0.4 F_u$; el F_u para un perno A490 es igual a 150 ksi.

Verificando la resistencia de diseño de tracción y de corte, tenemos:

$$\phi R_n = \phi m F_v$$

$$\phi R_n = 0.75 \times 2 \times (0.4 \times 150)$$

$$\phi R_n = 90 \text{ ksi}$$

Verificando la fuerza cortante máxima, tenemos:

$$\phi P_n = \phi R_n A_b n$$

$$\phi P_n = 90 \times \frac{\pi \times 1.5^2}{4} \times 1$$

$$\phi P_n = 159.04 \text{ kip} = 72.14 \text{ tn}$$

$$\phi P_n = 72.4 \text{ tn} \geq 51.85 \text{ tn} \quad (\text{OK})$$

4.11 ANALISIS SISMICO COMPARATIVO

4.11.1 ECUACION DINAMICA DE EQUILIBRIO

$$M\ddot{U} + C\dot{U} + KU = 0$$

Donde

M : Masa

\ddot{U} : Aceleración

C : Constante de amortiguamiento

\dot{U} : Velocidad

K : Constante elástica del resorte

U : Desplazamiento

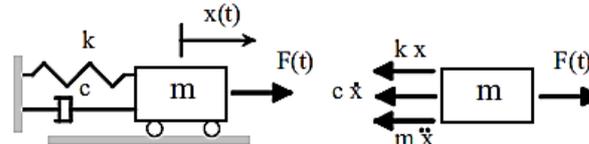


Figura N° 35. Modelo del sistema masa resorte amortiguador y DCL.

Se establece que la ecuación anterior muestra el modelo de un sistema estructural amortiguado, el cual es solucionado mediante ecuaciones diferenciales.

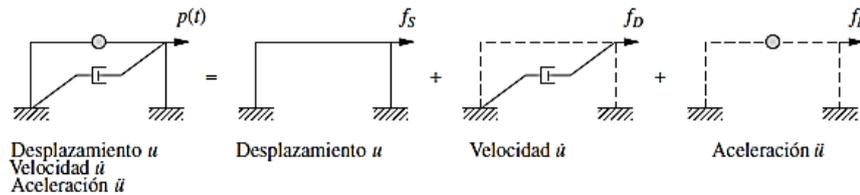


Figura N° 36. Sistema con las componentes de rigidez, amortiguamiento y masa.

Este sistema puede considerarse como una idealización de una estructura de un nivel, formulando un punto de vista alternativo. Bajo la acción de una fuerza externa $p(t)$, las condiciones del sistema se describen mediante el desplazamiento $u(t)$, la velocidad $\dot{u}(t)$ y la aceleración $\ddot{u}(t)$.

La figura N°36 muestra lo siguiente:

- La fuerza externa f_s sobre el componente de rigidez se relaciona con el desplazamiento u por medio de la ecuación:

$$f_s = ku$$

- La fuerza externa f_D sobre el componente de amortiguamiento se relaciona con la velocidad \dot{u} por medio de la ecuación:

$$f_D = c\dot{u}$$

- La fuerza externa f_i sobre el componente de masa se relaciona con la aceleración \ddot{u} por medio de la ecuación:

$$f_s = m\ddot{u}$$

Por lo tanto, la fuerza externa $p(t)$ aplicada al sistema completo puede visualizarse como distribuida entre los componentes de la estructura y $f_s + f_D + f_i$ debe ser igual a la fuerza aplicada $p(t)$, lo que conduce a la ecuación dinámica de equilibrio.

En el caso de estructuras de edificación el análisis dinámico puede simplificarse considerando un modelo de masas concentradas, sin que ello resulte en la pérdida de precisión significativa. La masa total del sistema se concentra sobre algunos elementos del mismo fácilmente identificables y la capacidad de deformación sobre otros.

Un modelo ampliamente utilizado en el análisis de pórticos planos corresponde al denominado “edificio cortante” (figura N°37). Los pórticos planos de la estructura se idealizan mediante diafragmas rígidos en los pisos considerando la traslación horizontal como único grado de libertad por planta, es decir, la masa se concentra a nivel de las losas, que se consideran infinitamente rígidas en su plano, las columnas sólo aportan rigidez, pero no masa, de esta forma el sistema queda definido por un grado de libertad por planta, asociado a la traslación horizontal respecto a la cimentación del edificio.

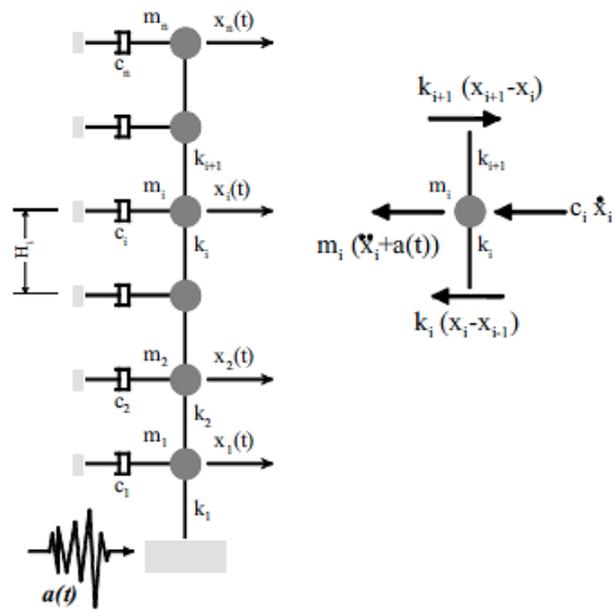


Figura N° 37. Edificio de cortante con amortiguamiento viscoso. Equilibrio de fuerzas.

Toda estructura posee un coeficiente de amortiguamiento, el cual es despreciable, pero si esta estructura es reforzada por un sistema de disipación de energía, tendrá un coeficiente de amortiguamiento que será considerable.

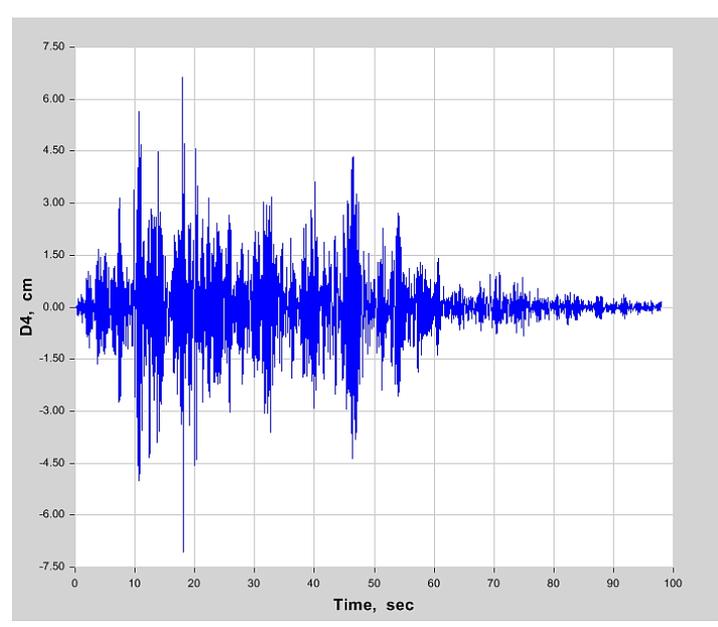


Figura N° 38. Tiempo vs desplazamiento de la edificación en el cuarto nivel. Estructura con disipadores.

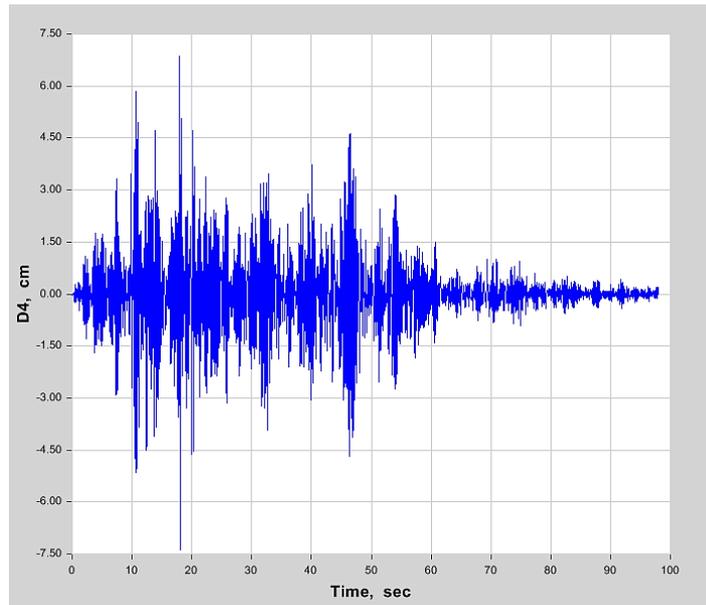


Figura N° 39. Tiempo vs desplazamiento de la edificación en el cuarto nivel.
Estructura sin disipadores.

En la figura N° 38 se puede apreciar el desplazamiento de la estructura reforzada con disipadores en función al tiempo, así mismo, en la figura N° 39 se puede apreciar el desplazamiento de la estructura en función al tiempo. De estas figuras se resalta que la estructura reforzada con disipadores de energía tiene menor desplazamiento que la estructura aporticada sin reforzar.

| | Desplazamiento máximo | Desplazamiento Mínimo |
|------------------------|------------------------------|------------------------------|
| | 17.98 s | 18.12 s |
| Con disipadores | 6.62 cm | -7.07 cm |
| Sin disipadores | 6.85 cm | -7.38 cm |

Tabla N° 28. Desplazamientos máximos y mínimos de las estructuras en función al tiempo.

4.11.2 ANALISIS COMPARATIVO DE DISIPACION DE ENERGIA

La mejor forma de comparar los sistemas estructurales es mediante la disipación de energía, ya que de esta forma se podrá ver cuán deformada esta la estructura, así mismo se verán los esfuerzos producidos.

Para comparar la energía disipada se deberá recurrir a los gráficos de energía.

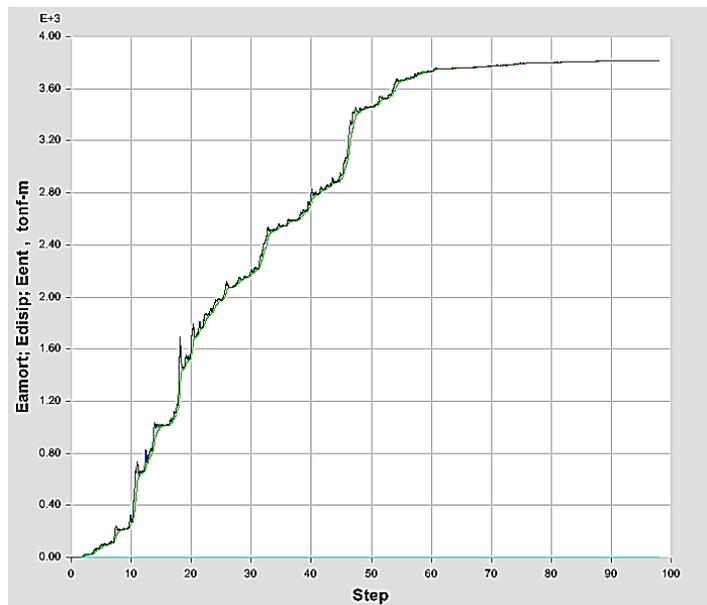


Figura N° 40. .Balance de energía de la estructura aporticada.

En el grafico anterior muestra que la estructura absorbe parte de la energía de entrada pero no disipa la energía del sismo, por lo que esta energía será absorbida por los elementos estructurales los cuales sufrirán daños severos.

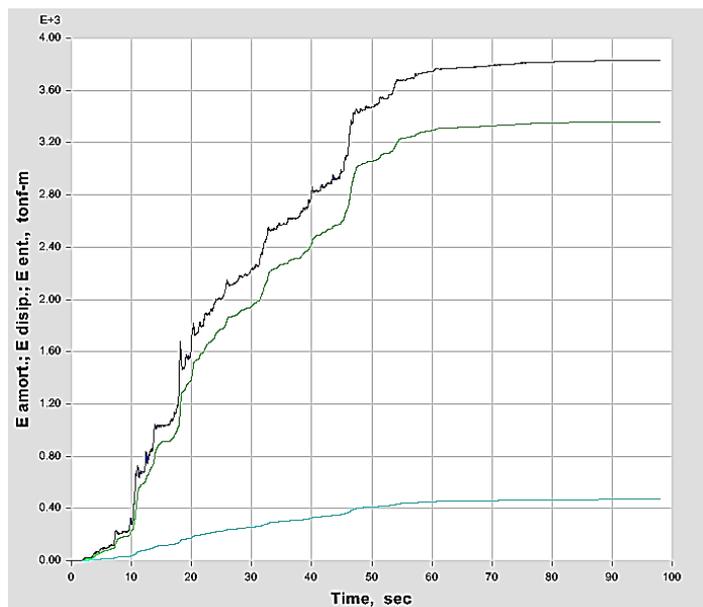


Figura N° 41. Balance de energía de la estructura reforzada con disipadores de fluido viscoso.

El gráfico anterior muestra que la participación de energía del sistema es de 88.78%, participación que refleja la efectividad del sistema. Este indicador nos muestra que con el reforzamiento de los disipadores nos garantiza una buena respuesta de la estructura frente a un evento sísmico.

4.11.3 ANALISIS COMPARATIVO DE DERIVAS DE ENTRE PISO

Según la tabla 14, se observa que las derivas del sistema estructural reforzado han disminuido considerablemente respecto a los resultados de la estructura inicial.

Como se puede observar, en la figura N° 18 se puede observar que las derivas de entrepiso están dentro del límite de diseño (5.8%).

4.11.4 ANALISIS COMPARATIVO DE DAÑOS

Luego de ocurrido el sismo se procede a evaluar las estructuras, el criterio de se presenta en el siguiente cuadro:

| NIVEL DE DAÑO | DANOS EN ELEMENTOS |
|----------------------|--|
| Daño Ligero | Las columnas, muros de corte o muros no estructurales están ligeramente dañadas |
| Daño Moderado | Se encuentran agrietamientos típicos de corte y flexión en columnas, agrietamientos de corte en muros de corte o daño severo en muros no estructurales. |
| Daño Severo | Desprendimientos de concreto, pandeo del refuerzo y aplastamiento o falla por cortante en columnas, La resistencia lateral de los muros de corte es reducida debido al agrietamiento severo por corte. |
| Daño Parcial | La edificación es parcialmente colapsada debido a columnas y/o muros de corte fuertemente dañadas |
| Daño Total | La edificación es totalmente colapsada debido a columnas y/ o muros de corte fuertemente dañadas. |

Tabla N° 29. Niveles de daños estructurales.

Terminada la evaluación de la estructura, si los daños son graves y generalizados o si se detectan daños que ponen en peligro la estructura, se deberá tomar en cuenta la rehabilitación de la estructura reforzando los elementos estructurales que están en riesgo de colapso.

En cambio, si las estructuras están reforzadas con disipadores de energía, estos son los encargados de absorber la energía, generando estabilidad en la estructura (disminuir daños y deformaciones).

CAPITULO V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El balance de energía en un sistema tradicional no disipa la energía del sismo, por lo que, el riesgo de colapso de la estructura es alto, en cambio, si la estructura esta reforzada con disipadores de energía, estos absorben la energía hasta en un 88.78%, lo cual genera menores daños en la edificación.
- La estructura reforzada posee un mejor comportamiento frente a un sismo severo, dado que las derivas de entrepiso se reducen hasta en un 70.21 % respecto al sistema aporticado.
- La incorporación de disipadores de fluido viscoso mantiene estable la estructura, lo cual evitará el colapso frente a un sismo severo.
- La incorporación de disipadores de fluido viscoso se optimiza verificando el desempeño de cada dispositivo y realizando a su vez variaciones en la disposición, propiedades y número de disipadores.

5.2 RECOMENDACIONES

- Para emplear la metodología de diseño por desempeño se debe cumplir con los requisitos mínimos propuestos por el ASCE, los cuales ayudan a optimizar el proceso de estimación del valor del coeficiente de amortiguamiento “C”. Para que la estimación sea más acertada, se debe tener una estructura regular y la cantidad de modos no debe ser tan grande, ya que la estimación se basa en el primer modo.
- Realizar un estudio similar con otros sistemas de protección sísmica y comparar su idoneidad con este sistema en circunstancias similares.
- Realizar un estudio de la eficiencia económica a largo plazo; puesto que las reparaciones post sismo serían menores.
- Esta tesis fue elaborada en base a los cambios que se van a efectuar en la norma de diseño sismorresistente, por lo que va a servir como base para investigaciones futuras.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alejandro Muñoz Pelaez (2009). Ingeniería Sismorresistente, Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.

American Institute of steel construction (AISC) (2005). Steel construction manual (13th edition). Estados Unidos.

Anil K Chopra (2014). Dinámica de Estructuras (Cuarta Edición), Pearson Educación, México.

American Institute of steel construction (AISC) (2005). Steel construction manual (13th edition). Estados Unidos.

BLANCO BLASCO, Antonio (1990 – 1991). Estructuración y Diseño de Edificaciones de Concreto Armado, Libro 2 de la colección del Ingeniero Civil, Lima.

BOCANEGRA DÍAZ, Félix (1999). Bases Metodológicas de la Investigación Científica, Editorial Publicencia, Trujillo. 140p.

Boza Zuen y Galán Danny (2013). Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo Chevron. (Tesis). Lima: PUCP

Díaz la Rosa Sánchez, Marco Antonio (2014). Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos taylor para una edificación esencial de 6 pisos (Tesis). Trujillo: UPAO.

Federal Emergency Management Agency FEMA. Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – NEHRP. FEMA273 - 274. Washington, D.C., 1997.

LUIS M. Bozzo y ALEX H. Barbat (2000). Diseño Sismorresistente de Edificios – Técnicas Convencionales y Avanzadas, Editorial Reverté, Barcelona.

Harmsen Teodoro (2005) Diseño de estructuras de concreto armado. (Cuarta Edición). Lima: Fondo Editorial de la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Hwang, Jenn-Shin (2002) Seismic Design of Structures with Viscous Dampers. Taiwan.

Mario Paz (1992). Dinámica Estructural, Editorial Reverté. Barcelona

Morales, Luisa y Contreras Juan (2012). Protección de una edificación existente con disipadores de energía. (Tesis). Lima: PUCP.

Morales Roberto (2002). Diseño en Concreto Armado. Instituto de la Construcción y Gerencia. ICG.

OVIEDO, Ricardo (2008). Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismorresistente de estructuras. (Tesis de Maestría). Lima: UNI, 2008.

Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Privada Antenor Orrego.

Structural Engineers Association of California (SEAOC, 1996). Recommended Lateral Force Requirements and Comentary, California.

ANEXOS