

**UNIVERSIDAD SAN PEDRO**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA DE ESTUDIO DE INGENIERÍA CIVIL**



**Estudio y análisis de dispositivos sísmicos de Fluido Viscoso  
y Shear Link Bozzo, Chimbote, 2021**

Tesis para optar el título profesional de ingeniero civil

**Autor:**

Manrique Vega, Steven Jean Pierre

**Asesor:**

Flores Reyes, Gumercindo

Codigo Orcid: 0000-0002-2305-7339

**Chimbote-Perú**

**2021**

**PALABRAS CLAVE:**

Tema : Ingeniería Sísmica

Especialidad : Estructuras

**KEY WORDS:**

Topic : Seismic Engineering

Specialization : Structures

**LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:**

Líneas de investigación : Estructuras

Área : Ingeniería y tecnología

Sub área : Ingeniería Civil

## **TÍTULO**

Estudio y análisis de dispositivos sísmicos de Fluido Viscoso y  
Shear Link Bozzo, Chimbote, 2021

## **RESUMEN**

El presente trabajo tiene como objetivo añadir dispositivos sísmicos de protección sísmica a las edificaciones. Analizamos estos casos con cierta ubicación de Lima, Perú, esto se debe a efecto de estar cerca al mar y ciertamente vulnerable, lo cual produce deformaciones importantes, como resultado de ciertos eventos sísmicos, lo que genera una importancia hacia el análisis.

Para realizar el presente proyecto nos basamos en las normativas peruanas como RNE y NTE.

1. La edificación se analiza como modulo prefabricado para los dispositivos Shear Link Bozzo.

2. Estructura de siete niveles modelada en Etabs.

Los modelos tienen como principio, un suelo tipo S2 ante los esfuerzos producidos por el sismo.

## **ABSTRAC**

The present work aims to add seismic devices for seismic protection to buildings. We analyze these cases with a certain location in Lima, Peru, this is due to the effect of being close to the sea and certainly vulnerable, which produces important deformations, as a result of certain seismic events, which generates an importance towards the analysis.

To carry out this project we are based on Peruvian regulations such as RNE and NTE.

1. The building is analyzed as a prefabricated module for Shear Link Bozzo devices.
2. Seven-level structure modeled on Etabs.

The models have as a principle, a soil type S2 before the efforts produced by the earthquake

## Índice General

Palabra Clave	ii
Título	iii
Resumen	iv
Abstrac	v
Índice General	vi
Índice de Tablas	vii
Índice Figuras	viii
Introducción	10
Metodología	43
Resultados	44
Análisis y discusión	59
Conclusiones	62
Recomendaciones	63
Agradecimientos	64
Referencias bibliográficas	65
Anexo	66

## Índice de Tablas

<b>Tabla 1</b> .....	43
<b>Tabla 2</b> .....	48
<b>Tabla 3</b> .....	49
<b>Tabla 4</b> .....	50
<b>Tabla 5</b> .....	53
<b>Tabla 6</b> .....	54
<b>Tabla 7</b> .....	61

## Índice Figuras

<b>Figura 1.</b> Disipador Shear Link.....	12
<b>Figura 2.</b> Comportamiento histerético .....	12
<b>Figura 3.</b> Detalle de amortiguador .....	14
<b>Figura 4.</b> $\Delta_{\text{máximo}}$ = Corresponde a la fuerza máxima de la estructura, en el tiempo la fuerza del dispositivo es mínima.....	15
<b>Figura 5.</b> $\Delta_{\text{máximo}}$ = Corresponde a la máxima fuerza de la estructura, en el tiempo la fuerza del dispositivo es mínima.....	15
<b>Figura 6.</b> Fases de un proyecto. Fuente (J.L. Alonso 2016) .....	17
<b>Figura 7.</b> Identificación de las cargas. Fuente (J.L. Alonso 2016) .....	18
<b>Figura 8.</b> Disipador SLB entre viga superior y elementos de arriostramiento. ....	19
<b>Figura 9.</b> Disipador SLB embebido en barra de sección tubular.....	19
<b>Figura 10.</b> Modelo de 5 plantas para mostrar el procedimiento de diseño con disipadores histéreticos .....	19
<b>Figura 11.</b> Posición de las conexiones SLB en: (a) muros acoplados; (b) paneles;(c); (d) pórtico rígido clásicos.....	20
<b>Figura 12.</b> Vista en planta de modulo con vigas y geometría. B. Conexiones del disipador.....	23
<b>Figura 13.</b> Estructura prefabricada con dispositivos sísmicos colocados en la coronación de los muros.....	23
<b>Figura 14.</b> Vista en alzado del dispositivo sísmico ubicado encima del muro desacoplado.....	24
<b>Figura 15.</b> Dimensiones del dispositivo sísmico.....	25
<b>Figura 16.</b> Frecuencias para la estructura (a) con dispositivo sísmico ( $T=0,171s$ ) (b) sin dispositivo sísmico ( $T=0,529$ ). .....	25
<b>Figura 17.</b> Espectro de respuesta en la componente EW. (a) 31 de mayo de 1970 y (b) 5 de enero de 1974.....	26
<b>Figura 18.</b> fuerza-velocidad de dispositivos sísmicos.....	28
<b>Figura 19.</b> Distribuciones indeseables del peso del edificio.....	38
<b>Figura 20.</b> Formas asimétricas en planta que son indeseables por tender a producir vibración torsional.....	38
<b>Figura 21.</b> Posibles soluciones para eliminar los problemas de plantas asimétricas.....	39
<b>Figura 22.</b> Plantas con alas muy alargadas.....	39

<b>Figura 23.</b> Vibración en direcciones diferentes de alas de edificios.....	40
<b>Figura 24.</b> Soluciones para edificios con alas muy largas .....	40
<b>Figura 25.</b> Marcos rigidizadores. ....	42
<b>Figura 26.</b> Sistema tipo cajón. ....	42
<b>Figura 27.</b> Representación numérica del modelo.....	45
<b>Figura 28.</b> Registro analítico comparado con el experimental en la última fase de ensayo. .....	46
<b>Figura 29.</b> Desplazamientos analíticos vs experimental para dos últimas fases de ensayo. .....	47
<b>Figura 30.</b> (a) Aceleración en el forjado (g) vs aceleración en la base (g) tres primeras fases (terremoto 1974) (b) Aceleración en el forjado (g) vs aceleración en la base (g) tres últimas fases (terremoto 1970) (c)Desplazamiento en el forjado (mm) vs aceleración la base(g) tres últimas fases (terremoto 1970). ....	48
<b>Figura 31.</b> Edificación.....	49
<b>Figura 32.</b> Derivas X-X .....	50
<b>Figura 33</b> Derivas Y-Y .....	51
<b>Figura 34.</b> Colocación de dispositivos en dirección X-X.....	52
<b>Figura 35.</b> Ubicación de dispositivos en dirección Y-Y.....	53
<b>Figura 36.</b> Tiempo Vs Desplazamiento- Cargas: Pulso- Disp. no Lineales. ....	55
<b>Figura 37.</b> Disp. Line L1- Sismo 1970.....	58
<b>Figura 38.</b> Curva desplazamiento vs Fuerza- Curva histerética de disp. ....	59
<b>Figura 39.</b> Amortiguadores no Lineales Eje X-X.....	60
<b>Figura 40.</b> Amortiguadores no Lineales Eje Y-Y.....	60
<b>Figura 41.</b> Comparativo Amortiguadores no Lineales eje X-X.....	61

## Introducción

En toda edificación de hormigón armado se debe considerar para su diseño que esta sea capaz de resistir sismos leves sin daños.

La vida útil de cualquier obra, en general, puede verse afectada si se altera y deterioran los materiales utilizados en su construcción.

Los daños que se ocasionan, se deben a diversos factores que abarcan de fallas leves, que son reparables, y por último la funcionalidad estructural completa que como resultado es el colapso.

En edificaciones que han sido sacudidas y dañadas por un terremoto, o cuando se teme que algunas, bien por su antigüedad, por estar próximas a cumplir su vida útil, o por su importancia, pueden sufrir daños importantes ante la acción de seísmos futuros. Se hace preciso aprender y emplear un proceso de reforzamiento estructural mejor conocido como adecuación estructural.

(Fuentes Sadowski J. (2016)), en el trabajo de tesis “Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso”, Según los dispositivos de fluido viscoso a nivel macroscópico, pueden dar lugar a una representación del modelo de Maxwell que lleva por nombre modelo viscoelástico, que consiste en un tipo de amortiguador que se comporta no linealmente en serie con un resorte.

El programa Etabs, en un análisis lineal considera un amortiguador en paralelo con un resorte. Obteniendo un comportamiento de amortiguación pura, por lo que el resorte cuenta con una rigidez cero.

Al hacer uso de espectros de la normativa peruana del apartado (E.030). La estructura logra alcanzar derivas de entrepiso entre 9.1% y 10.5% en X e Y respectivamente. Las derivas sobrepasan limitaciones que la normativa permite (7.0%).

(Bozzo, Gonzales y Pantoja (2019)), en el artículo nombrado “

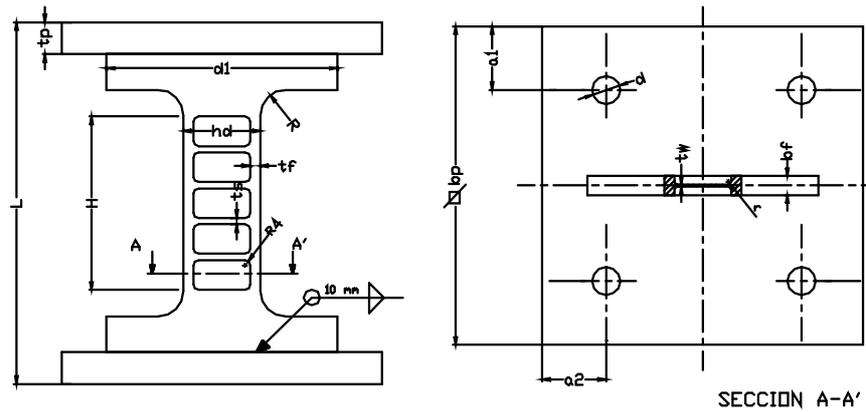
MODELING, ANALYSIS AND SEISMIC DESIGN OF STRUCTURES USING ENERGY DISSIPATORS SLB” Describen inicialmente aspectos de modelado de estructuras que están equipadas con dispositivos sísmicos de energía Shear Link Bozzo (SLB) y desarrolla dos procedimientos de diseño iterativo para seleccionar estos dispositivos. Este tipo de metodología se aplica a una estructura prefabricada de

hormigón armado de 5 pisos. Dichos dispositivos que disipan energía SLB son inicialmente rígidos per ductales con un rango de fuerzas de fluencia de 36Kn a 900Kn caracterizados por 52+52 dispositivos estándar. Además, estos dispositivos se pueden combinar en paralelo dando una gama muy amplia de posibilidades de selección y respuesta estructural correspondiente.

Por lo tanto, para simplificar su selección automática, el artículo presenta dos procedimientos: interacción directa e interacción de fuerza inversa o fija. Ambos procedimientos fueron implementados en una aplicación automática o “plugin” para el programa ETBAS que automatiza su selección para un sistema estructural específico o configuración arquitectónica de esos elementos.

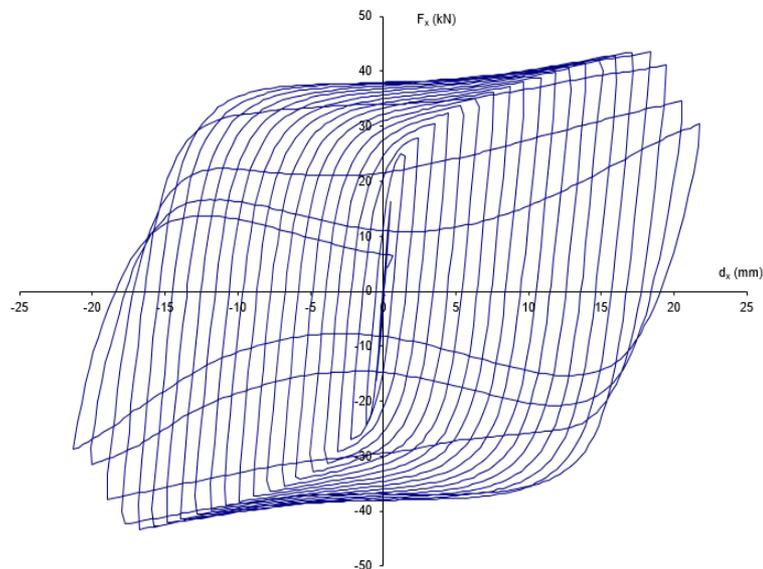
(Bozzo L. (2019)), en su investigación, actualizada, se desarrolla un dispositivo sísmico que absorbe cortantes denominado SL (Shear Link) para proteger a los muros de mampostería. El dispositivo está constituido por acero que representa a un perfil metálico que se coloca verticalmente con rigidizadores horizontales que evitan problemas de abolladura. El equipo se compone de una sola pieza de acero y geoméricamente la parte disipativa se consigue por el accionado de fresado, ya que los elementos rigidizadores suelen ser de reducidas dimensiones con lo que no tiene necesidad de añadirles elementos que sean soldados en el área que plastifica. Eliminando así esfuerzos que se han obtenido por las tensiones residuales que presentarían por la soldadura. En estudios experimentales del dispositivo, muestran una rigidez elevada elásticamente en el plano que se produce con la disipación de energía, y es flexible en el plano horizontal.

Se aprecia que el desplazamiento da un inicio a la plastificación que es reducido (0.5mm) y así disipa energía de manera estable. El comportamiento del dispositivo logra ser adecuado para utilizarse como conector en elementos que son formados por mampostería y sistemas aperticados flexibles, añadiéndole el uso que se utiliza en la práctica como dispositivo que cumple la función de liberar energía en marcos de acero y de hormigón.



**Figura 1.** Disipador Shear Link

Fuente:



**Figura 2.** Comportamiento histerético

En el modo de funcionamiento, ambos grupos existen diferencias, entre ellas los disipadores de fluido viscoso que suelen trabajar a velocidad que requieren un amortiguamiento o velocidad de la estructura que sea alta. En comparación con los dispositivos sísmicos dependientes al desplazamiento, que empiezan a disipar energía a partir de valores inferiores de desplazamientos, por lo que puede variar el periodo de la estructura globalmente con un alargamiento después de plastificar.

#### Shear Link Bozzo

El sistema de 1GL se define mediante la ecuación del movimiento que se designa de la siguiente manera.

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + Ku(t) = -M \ddot{u}_g(t)$$

donde  $M, C, K$ .  $M$ (masa),  $C$ (amortiguamiento) y  $K$ (rigidez), respectivamente y  $u$  es el desplazamiento de la masa relativo al suelo. El dispositivo Shear link que es dependiente al desplazamiento actúa en el término  $Ku(t)$ .

#### Disipadores de fluido viscoso

El disipador tiene un cuerpo cilíndrico hueco que contiene un fluido de silicona. Cuando el pistón recorre, el flujo es presionado y fluye mediante el orificio, sea alrededor o a través de la cabeza del pistón. La presión en toda la longitud del pistón logra producir esfuerzos que se oponen al movimiento.

Fluye a altas velocidades por lo que esta acción genera fricción entre partículas y la cabeza del pistón. Con el esfuerzo friccionante logra transformarse en energía y calor.

Teniendo en cuenta que este disipador es conocido como fluido viscoso, por lo que el flujo es un componente de baja densidad. Este amortiguador de fluido viscoso se encuentra asociado al comportamiento del maco sistema. (Ramírez C., E. (2016))

#### Ley de funcionamiento

##### Shear Link Bozzo

Teniendo una estructura que cuenta con dispositivos sísmicos que disipan energía que dependen del desplazamiento, puede considerarse un sistema mixto que cuenta con una parte flexible (la estructura resultante de eliminar los disipadores de energía) y una parte rígida formada por los disipadores, que trabajan en paralelo. Cada estructura dispone de sus parámetros de rigidez, resistencia, entre otros. La ecuación que se tiene como resultado sería:

$$M \ddot{u}(t) + C \dot{u}(t) + Ku(t) + R(t) = -M \ddot{u}_g(t) \quad [2.2]$$

$Ku$  (término lineal) parte flexible y  $R$  refiere a la contribución de los disipadores dependientes al desplazamiento.

#### Disipadores de Fluido viscoso

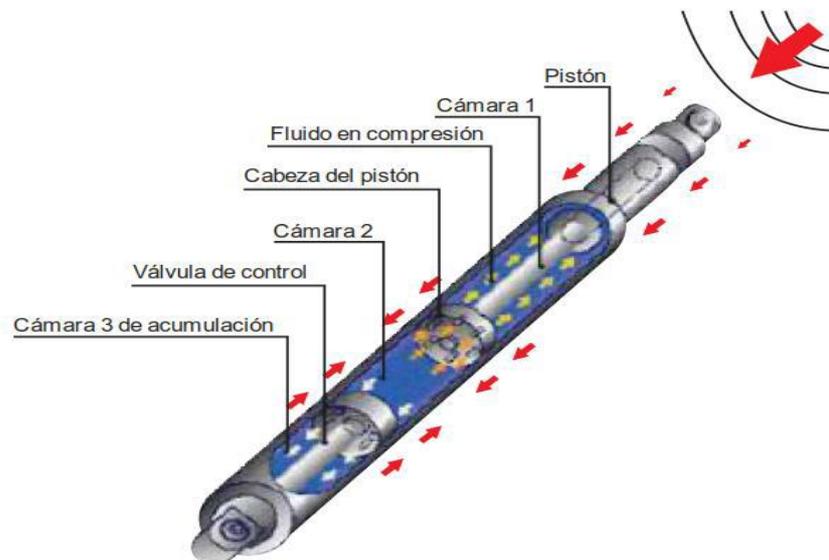
En los apartados anteriores se hace referencia a distintas colocaciones o ubicaciones

que podrían tener los disipadores. Posteriormente se comenta a mayor explicación y detalle de los tipos de configuración que existen comúnmente en la practicaría diaria.

La configuración diagonal. Se coloca de manera diagonal dentro del marco en que se encuentre y resulte ser lo óptimo y más económico, por lo que solo requiere tubos metálicos para la instalación.

La configuración brinda eficacia menor debido a que la componente horizontal que desarrolla el dispositivo, participa en la disipación de energía. (Ramírez C., E. (2016)).

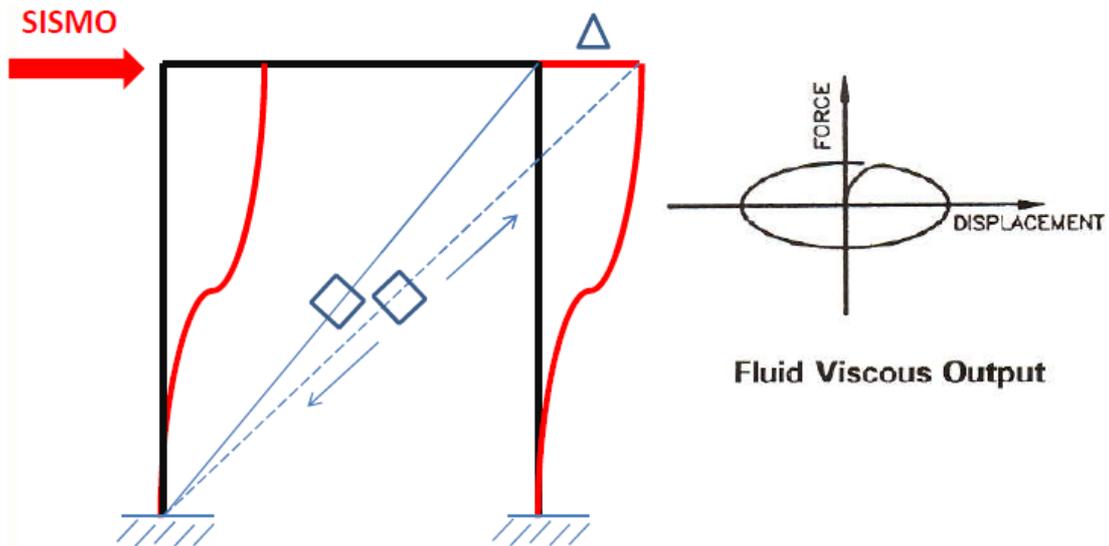
La configuración Chevron se distingue por colocarse de forma horizontal, quiere decir paralelo al entrepiso. De esta forma se logra una eficiencia del 100%, por lo que se emplea toda la capacidad del disipador para restringir los desplazamientos de entrepiso. (Ramírez C., E. (2016)).



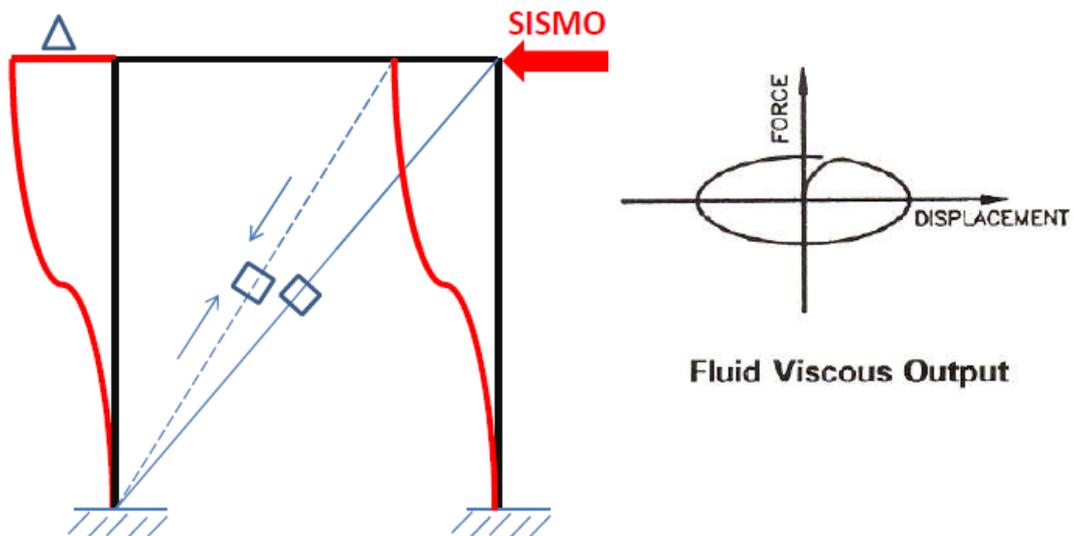
**Figura 3.** Detalle de amortiguador

El dispositivo reduce esfuerzos y deflexión en paralelo, debido a que la fuerza del propio disipador está completamente fuera de fase, respecto a los esfuerzos flectores de los pilares.

El disipador de fluido viscoso cumple solamente con el amortiguamiento, donde la fuerza que produce el disipadora varía con la velocidad.



**Figura 4.**  $\Delta$ máximo= Corresponde a la fuerza máxima de la estructura, en el tiempo la fuerza del dispositivo es mínima.



**Figura 5.**  $\Delta$ máximo= Corresponde a la máxima fuerza de la estructura, en el tiempo la fuerza del dispositivo es mínima.

Actuaciones Prácticas Utilizadas.

Shear Link Bozzo

El funcionamiento de los disipadores histeréticos se basa en los desplazamientos relativos de entrepiso. Producen un aumento de la rigidez en la estructura.

Estos dispositivos se encargan de disipar energía a través del rozamiento que produce la interface entre dos tipos materiales bajo presión y durante la fricción que ocurre entre ambos. En el conjunto de los dos cuerpos, es posible emplear materiales especiales que procuren coeficientes de fricción estables. (Ramírez C., E. (2016)).

Es importante que el lector tenga en mente que la adecuación estructural es una

especialidad dentro de la Ingeniería Civil. De hecho, todos los años se llevan a cabo un gran número de congresos internacionales dedicados a la rama de adecuación sísmica estructural conocida en Norte América como Seismic Retrofitting of Structures. En el proceso intervienen ingenieros especialistas en estructuras, en geotécnica, en geofísica, en sismología, en geología, arquitectos, constructores, compañías de seguros, organismos del Estados, bufetes de abogados, etc.

El diseño abarca la selección del uso de la edificación y del tipo de material constructivo, concepción del sistema estructural resistente a fuerzas laterales y gravitacionales, así como también el predimensionamiento de los elementos estructurales que lo confirman, selección del tipo de cimentación, etc.

Con el objetivo de construir edificaciones óptimas, cumpliendo siempre con las normativas de diseño, lo que generalmente condiciona a las estructuras ante un sismo severo, alcancen el rango no lineal. De hecho, la acción correspondiente a un sismo de este tipo es muy superior a la acción considerada en un diseño práctico, cuando se emplean normativas de diseño sísmico.

La fase del diseño es una etapa que describe un modelo a partir de ciertos requisitos en función de resistencia, construcción, coste y estética. El tipo de modelo varía según el contexto de diseño, del nivel de abstracción o de detalle.

En ingeniería de estructuras, la descripción se refiere a las características de los componentes estructurales tales como pórticos, muros de corte, conexiones y apoyos.

Generalmente diversos tipos de soluciones existen para un único problema de diseño. El análisis y proceso de diseño puede ser de forma iterativa debido a que no suele existir una solución de diseño explícita para los requisitos de función resistente y coste.

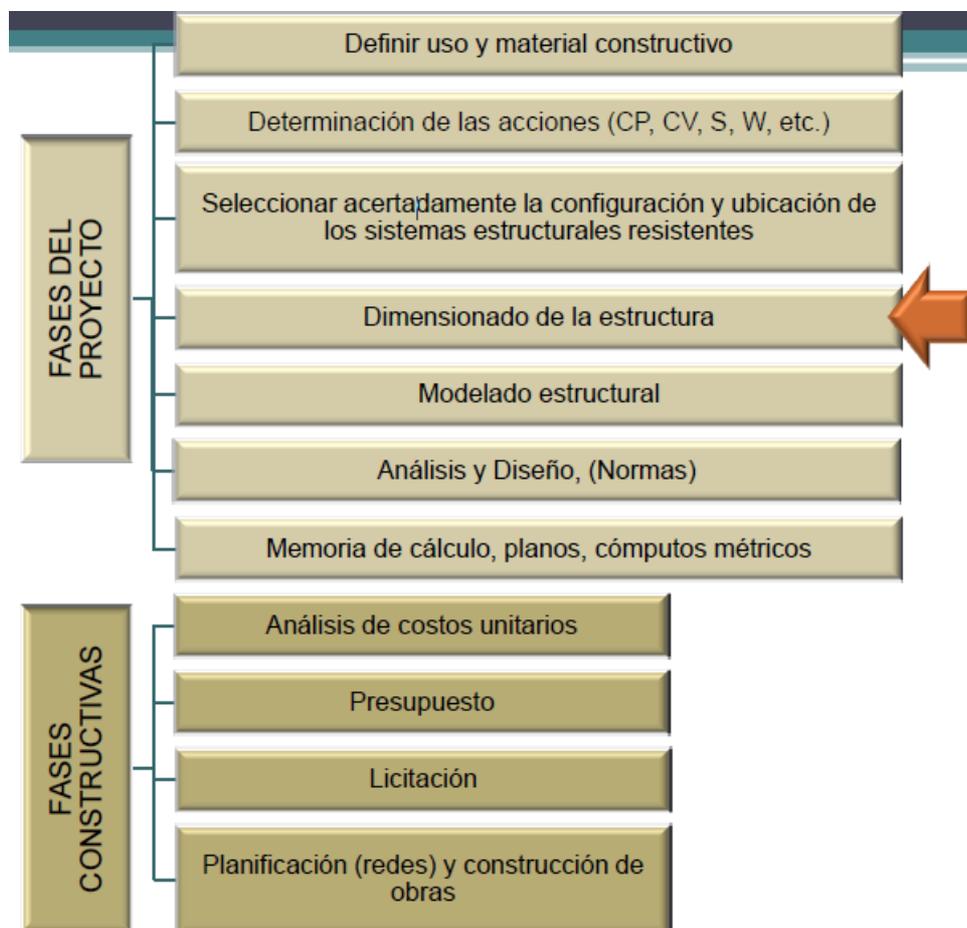
La función resistente de un edificio es alguno de los requisitos, que pueden depender de la solución de diseño adoptada, por lo que la solución incorpora requisitos adicionales.

Considerando como el tema a tratar en el proyecto de investigación, el diseño sismorresistente de un edificio de departamentos. Por lo que su función es transmitir las cargas dinámicas a la cimentación pero la propia solución estructural añade masas que no son conocidas con exactitud a priori y que modifican la función, por lo que el proceso suele ser iterativo.

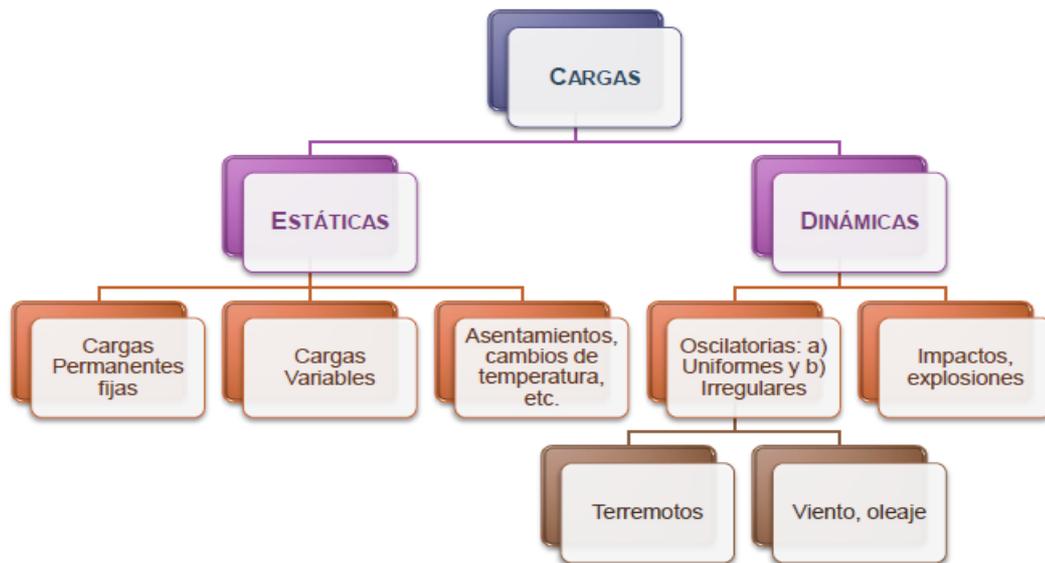
El análisis estructural se comprende:

- a) Determinación de acciones: permanentes, variables, accidentales, sismo, viento, etc.
- b) Modelado de la estructura
- c) Determinación de la demanda (Normas)
- d) Evaluación de las solicitaciones en los miembros (envolvente de máximos valores)

El diseño de los miembros comprende con el diseño por estados límite último y por estados límites de servicio. En siguiente figura tenemos la secuencia de fases de proyecto, fases constructivas y la identificación de cargas (J.L. Alonso 2016).



**Figura 6.** Fases de un proyecto. Fuente (J.L. Alonso 2016)



**Figura 7.** Identificación de las cargas. Fuente (J.L. Alonso 2016)

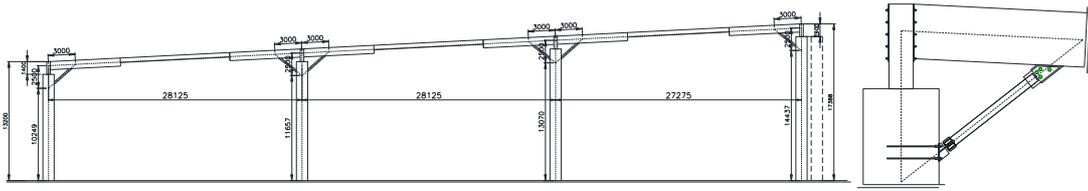
Disipadores de energía dependientes del desplazamiento

Consideraciones Generales

Hurtado (2017) investiga un tipo de disipador de energía shear-link (SL) capaz de plastificar con pequeños desplazamientos y evalúa su comportamiento experimental bajo cargas monotónicas crecientes para una posterior generalización.

Como producto de la investigación se elaboraron tablas para poder diseñar en distintas medidas el disipador, lo que se obtiene denominado disipadores Shear Link que pertenece a la segunda generación que tienen como parámetros de fuerza entre 13 y 435 Kn.

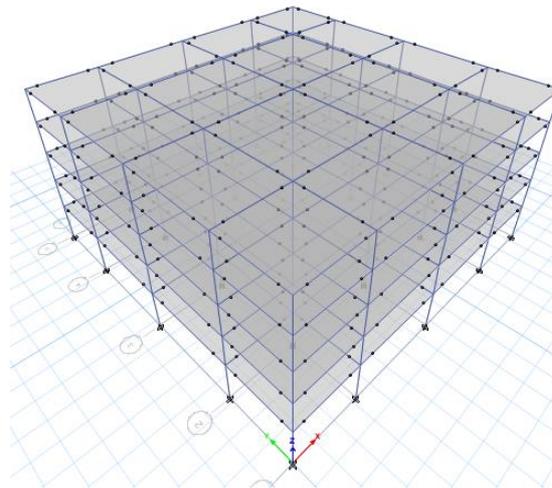
Investigaciones más recientes por L. Bozzo y M. Pantoja han planteado reemplazar el laborioso y complejo análisis experimental de un determinado disipador SLB por estudios numéricos basados en los resultados de un ensayo simple del material base el que se fabrica el disipador. En estas investigaciones se ha trabajado también en una tercera generación de los disipadores tipo SLB que mejora su ductilidad. Las Figuras 8 y 10 se muestran diferentes formas de implementarlos en estructuras. En la solución de la Figura 8 los disipadores SLB se interponen entre la viga superior y los elementos de arriostramiento mediante uniones atornilladas. También existe la posibilidad de insertar el disipador en un elemento tubular y fijarlo por soldadura como se muestra en la Figura 7. Esta solución se empleó en el reacondicionamiento sísmico de la fábrica de Lindley, en Perú. La Figura 9 muestra otras disposiciones posibles.



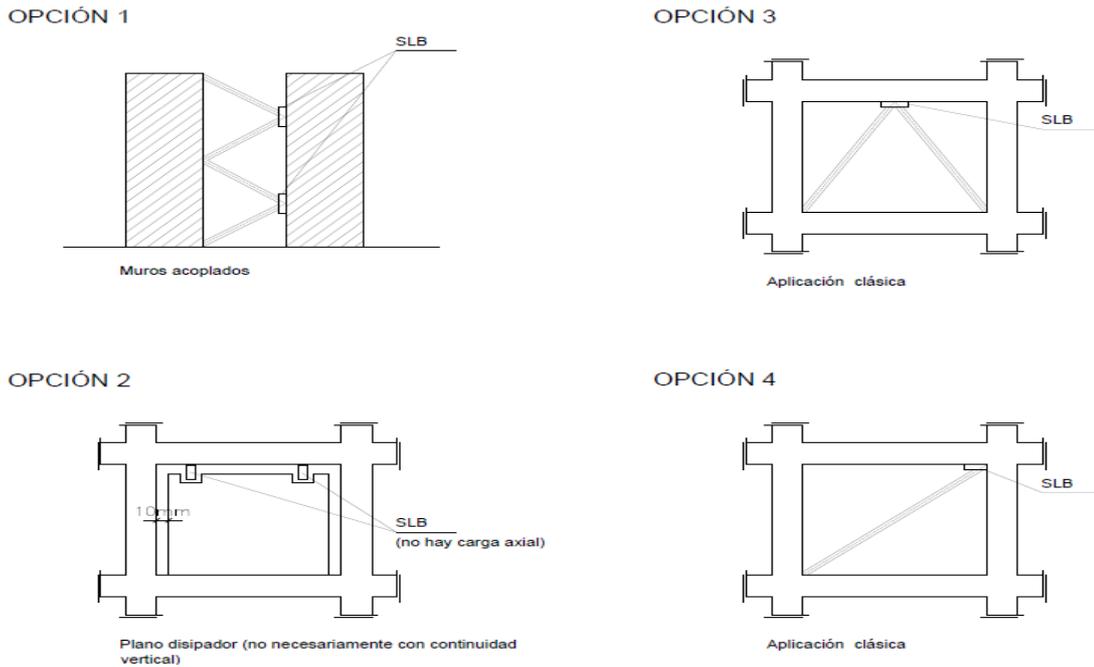
**Figura 8.** Disipador SLB entre viga superior y elementos de arriostramiento.



**Figura 9.** Disipador SLB embebido en barra de sección tubular.



**Figura 10.** Modelo de 5 plantas para mostrar el procedimiento de diseño con disipadores histéreticos



**Figura 11.** Posición de las conexiones SLB en: (a) muros acoplados; (b) paneles; (c); (d) pórtico rígido clásicos.

Entre las principales ventajas de los amortiguadores histeréticos metálicos está la predicción e interpretación relativamente simple de su comportamiento histerético Fuerza-Desplazamiento. Actualmente se han llevado a cabo amplios estudios sobre las leyes constitutivas de los metales y aunque complejas y dependientes de diversos aspectos son un orden de magnitud más simples y predecibles que otros materiales o dispositivos. Por ejemplo, en los dispositivos por fricción esta depende de la velocidad, presión, velocidad e incluso temperatura de la conexión. Después de la ocurrencia de un terremoto severo, la eventual sustitución de amortiguadores no es invasiva o compleja como si sería el caso para un aislador de base dañado. Además de esto, los amortiguadores metálicos se encuentran generalmente entre los dispositivos de disipación de energía más económicos y confiables al no requerir condiciones especiales de mantenimiento o activación.

#### Comportamiento y Modelización

Para analizar y diseñar una estructura equipada con amortiguadores metálicos pasivos, es necesario considerar directa o indirectamente su contribución sísmica en el comportamiento estructural general para lo cual se pueden emplear dos procedimientos:

- (1) mediante un simple amortiguamiento equivalente
- (2) mediante un balance energético o directamente con las propiedades histeréticas

del dispositivo y un análisis modal espectral o tiempo historia. En esta sección se presenta este último procedimiento.

La macro-modelización de los amortiguadores es necesaria para poder incluir directamente su comportamiento en el análisis estructural. El mejor enfoque para describir rigurosamente la curva fuerza-desplazamiento o histeréticas es a través de pruebas experimentales del dispositivo. De esta manera es posible obtener el ajuste de curva más preciso. Sin embargo, este enfoque no es adecuado para la práctica del diseño, ya que es bastante caro y de poca rapidez. Por esta razón, es muy útil un enfoque de modelado basado en la mecánica, que consiste en proporcionar una descripción del comportamiento mecánico del amortiguador en función de su geometría y del modelo constitutivo del metal. El enfoque de base mecánica, que debería ser aplicable a una amplia gama de geometrías de un amortiguador específico, puede verificarse mediante un análisis de elementos finitos más riguroso.

Considerando las dificultades relacionadas con la implementación de un análisis dinámico no lineal, el primer procedimiento se basa en evaluar la relación de amortiguamiento efectivo de la estructura amortiguada realizando un análisis lineal determinando la acción sísmica del espectro de respuesta elástico reducido para  $\xi_{eff}$ . Por lo tanto, es posible comparar los resultados del análisis lineal y no lineal y apreciar la precisión del análisis no lineal más complejo. Hay que tener en cuenta, sin embargo, que estos métodos permiten verificar la estructura, una vez que los dispositivos se han dimensionado.

Ensayo en mesa vibratoria de estructura equipada con disipadores SLB.

En el laboratorio se hizo la comprobación del ensayo de mesa vibratoria el comportamiento estructural del módulo prefabricado flexible con los disipadores SLB comprobando también sin el sistema de protección sísmica.

La finalidad de este ensayo es comparar experimental y numéricamente los resultados de la estructura, con y sin dispositivos sísmicos producidos por las acciones sísmicas severas.

Estos ensayos se realizaron en el laboratorio de la PUCP, en marzo del año 2018 por la empresa Postensa SAC(Perú).

Para todo el proceso de cálculo, diseño y construcción del módulo, se aplicaron con la normativa Peruana E-030 y E-060 (2017) para realizar.

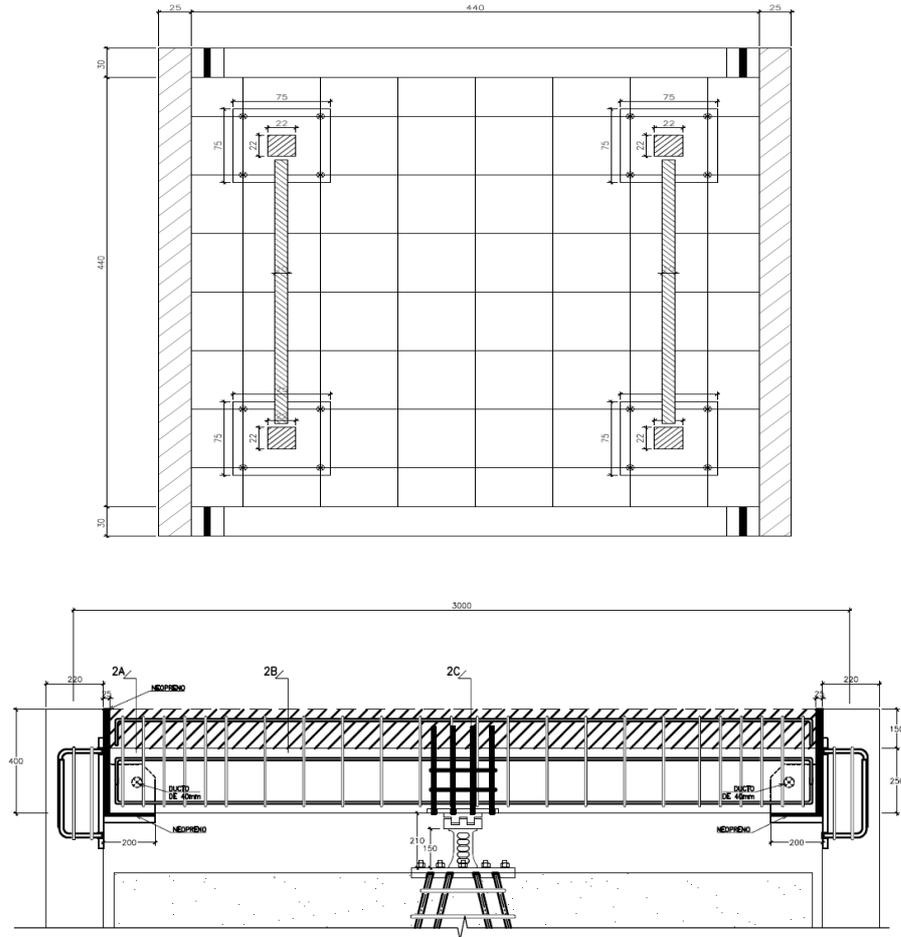
Para poder aplicar fuerzas sísmicas o dinámicas a la estructura prefabricada sin llegar al colapso, esta debe ser Rígida- Flexible- Dúctil, para así poder incorporar los dispositivitos sísmicos

El modulo se construyó externamente del laboratorio, lo cual se transportó al mencionado lugar para el ensayo. Se sometió a sismos severos a través de una mesa vibratoria y también midiendo las aceleraciones, desplazamientos relativos y absolutos, lo que determina el funcionamiento del módulo con los disipadores sísmicos y también comparando la estructura sin los dispositivos sísmicos.

En relación a los materiales se tiene acero de refuerzo ASTM A615-GRADO 60 y ASTM A 36 y para el hormigón:

- 1.- Zapatas, pilares, vigas y forjados de techo con  $f^c=28$  MPa,
- 2.- Muros con espesores mínimos, conocidos también como muros desacoplados con  $f^c=35$  MPa.

En la imagen 12 se aprecia la planta con la geometría del módulo con sus vigas y pilares. Los pilares constan de 22cmx22cm reforzada con 4 barras de 1" (25mm), hormigón C28 y estribos de ½" cada 8cm en extremo inferior y cada 15cm el resto.



**Figura 12.** Vista en planta de módulo con vigas y geometría. B. Conexiones del disipador.

La figura anterior corresponde al módulo prefabricado de hormigón armado instalado en la mesa vibratoria mostrando la cimentación, pilares y muros que trabajan en un sistema desacoplado.



**Figura 13.** Estructura prefabricada con dispositivos sísmicos colocados en la coronación de los muros.

En el módulo se observa que los muros están aislados de las vigas y los pilares, a través

de juntas sísmicas. Se observa que los muros están apoyados sobre perfiles metálicos (vigas), lo cual tienen el detalle de ser articuladas en sus extremos con los pilares. En pocas palabras, al ser articulados estos no transmiten momentos a los pilares, pero sí cargas axiales.

Se colocan los disipadores en la parte superior de los muros, lo cual proporciona ductilidad y logra dar capacidad para deformarse a la estructura. Los muros cuentan con dimensiones de 2.70 de longitud, 2.70 de ancho y 0.10 m de espesor.

El diseño tuvo una fase particular, que fue la armadura longitudinal en consideración (tipo en V invertida). Esto se debe a un mejor comportamiento de la estructura con los muros, reduciendo así los armados ya que las fuerzas se transmiten directamente a los pilares.

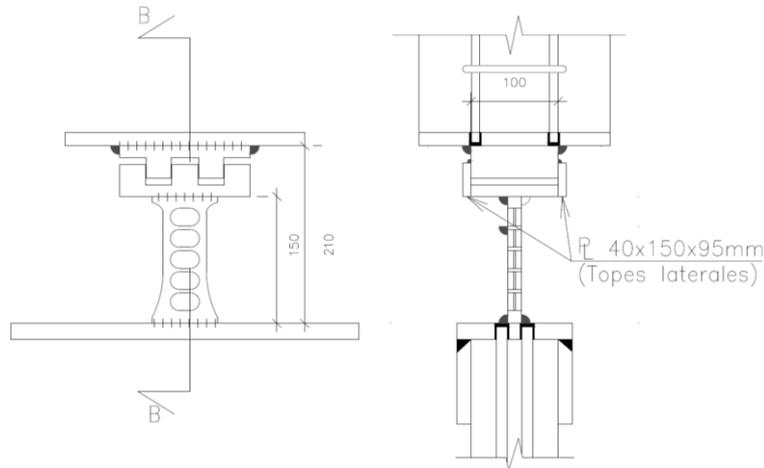
En la siguiente figura se observa el disipador que está ubicado encima del muro desacoplado.



*Figura 14.* Vista en alzado del dispositivo sísmico ubicado encima del muro desacoplado.

En la realización del ensayo, se optó por dos dispositivos de misma capacidad, cada uno de ellos está ubicado en la coronación del muro que trabaja desacopladamente, con la parte media inferior de la viga.

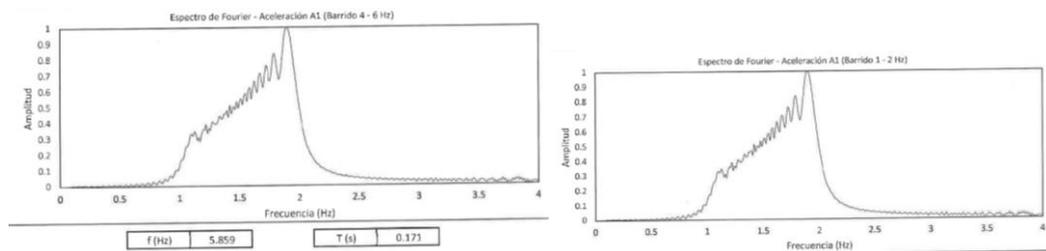
Los dispositivos poseen de una misma resistencia lateral de 15 Kn. El tipo de acero compuesto es ASTM A36, estos cuentan con un límite elástico  $f_y=253$  MPa. Respecto al ensayo realizado en el laboratorio, el límite elástico es  $F_y=350$ , este valor se utilizó para diseñar el módulo. Los dispositivos sísmicos cuentan con las siguientes dimensiones mostradas en la figura.



**Figura 15.** Dimensiones del dispositivo sísmico.

Debido a dos antecedentes sísmicos que ocurrieron en la costa peruana, y produjeron consecuencias severas a las estructuras en aquel entonces. Se utilizaron dichas señales para la realización del ensayo correspondiente. El terremoto que se produjo el 31 de mayo de 1970 (componente EW registro parque de la reserva) se toma como primera señal para el ensayo se toma como segunda señal, el terremoto del 5 de enero de 1974 (componente EW registro Zarate).

Los sismos mencionados están escalados, por lo que no sería habitual una escala tan grande, lo que mantiene la frecuencia y genera plastificación importante.



**Figura 16.** Frecuencias para la estructura  
(a) con dispositivo sísmico ( $T=0,171s$ ) (b) sin dispositivo sísmico ( $T=0,529$ ).

Se demuestra que utilizando los dispositivos SLB con muros, reducimos el periodo. Significa que se tiene un aumento de rigidez. En el periodo de cambio de 0.529 a 0.171 respecta que la reducción se ha reducido tres veces el periodo.

Conviene la reducción mayor, pero el peso y altura de la edificación condicionan la mesa vibratoria. Realizando la instalación de muros, se consigue la rigidez estructural, por lo que se tiene en cuenta utilidad que cuando los dispositivos logren alcanzar el  $f_y$ , empiezan a plastificarse. Por lo que aumentaría el periodo de la edificación, llegando a conseguir un comportamiento de estructura Flexible. Rígida-Dúctil

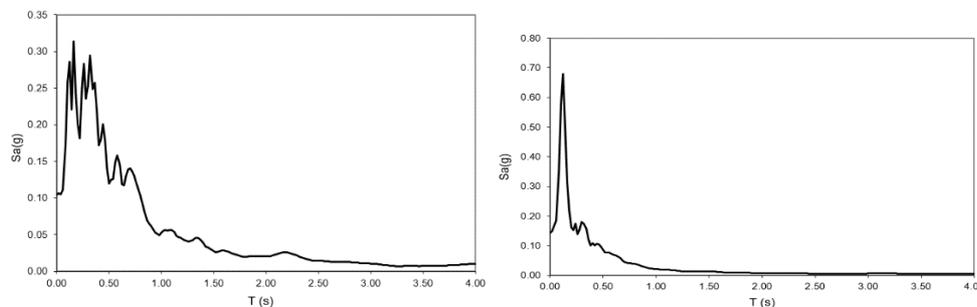
El suelo que se tiene por registro posee de materiales como grava gruesa, densa y canto rodado.

En el apartado de la normativa sobre aspectos sísmicos (E 030) refiere a que el terreno pertenece a un suelo rígido tipo S1. Con el respectivo dato se genera un periodo de resonancia con lapso corto, teniendo en cuenta que la mesa vibratoria posee una limitación de 0.15m de desfase, lo que nos limita a registros sísmicos de suelo rígido o medio.

El tipo de suelo que tienen por registro contiene grava gruesa, densa y canto rodado. En el apartado E.030 de la normativa nos indica que el terreno hace correspondencia a un tipo de suelo rígido tipo S1. Este dato se toma en cuenta debido a que genera un periodo que hace entrar en resonancia a la estructura en un rango corto, por lo que la mesa tiene la limitación por desplazamiento de 0.15m, con lo que nos limita a registros sísmicos en tipos de suelos rígidos o medios.

En el siguiente grafico se muestran los espectros del acelerograma que se utiliza para el ensayo:

Terremoto: mayo 31, 1970.



**Figura 17.** Espectro de respuesta en la componente EW. (a) 31 de mayo de 1970 y (b) 5 de enero de 1974.

Dichos terremotos mencionados anteriormente, ocurrieron en lugares con suelos rígidos de tipo S1, con lo que se tenía en cuenta que los periodos resonantes en espectros sean de corta duración (menores que 0.5seg). El periodo estructural (0.17seg) ubicado en zonas que generen periodos de corta duración, que puedan producir una posible resonancia. La estructura entra en resonancia con el periodo de la estructura y los picos de los espectros, lo que provoca un problema serio, pero no esta no lo es con una estructura que se encuentra equipada con los dispositivos sísmicos, cuando entra en plastificación con solo decimas de milímetros, cambia de manera instantánea.

## Disipadores sísmicos de fluido Viscoso

Parámetros y detalles de los dispositivos de fluido viscoso.

El resultado de un dispositivo sísmico de fluido viscoso, es provocado por la acción de las fuerzas sísmicas en la estructura:

$$F_{md} = C_{md}(\dot{x}^\alpha)$$

Donde:

$F_{md}$ : energía de amortiguamiento del dispositivo.

$C_{md}$ : Coeficiente del dispositivo en amortiguamiento.

$x$  : Desfase de los extremos del disipador.

$\dot{x}$  : Velocidad de los extremos del disipador.

$\alpha$  : Exponente velocidad o no linealidad

Exponente de velocidad o no linealidad

Refiere la característica de la no linealidad (no es proporcional) a la respuesta que genera el amortiguamiento con la fuerza.

En el grafico se presenta la relación que entre la fuerza que suele amortiguar el disipador y la velocidad que genera el disipador cuando se encuentra sometido, que depende de “ $\alpha$ ”, teniendo expresiones analíticas de cada uno de los dispositivos.

El grafico representa tres valores de “ $\alpha$ ”, y son:

$\alpha = 1$ ; Posee una fuerza de amortiguamiento que es proporcional a la velocidad

$\alpha \neq 1$ ; Posee una fuerza de amortiguamiento que no es proporcional a la velocidad

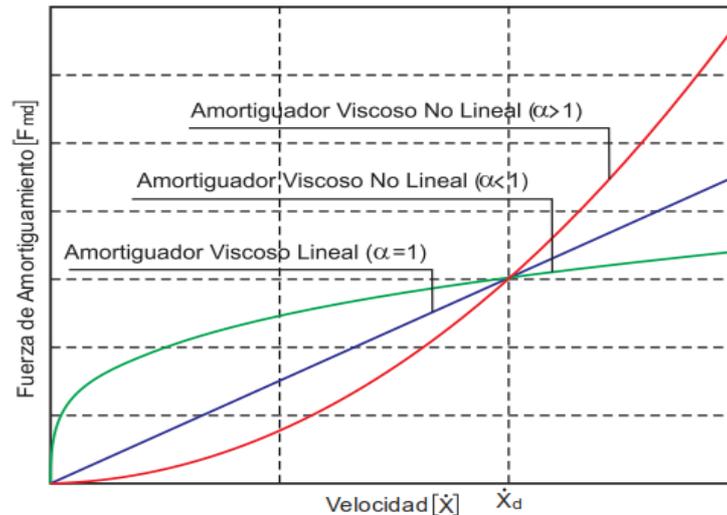


Figura 18. fuerza-velocidad de dispositivos sísmicos.

Se observa en el gráfico anterior que para una misma velocidad  $\dot{x} < \dot{x}_d$  el dispositivo no lineal ( $\alpha < 1$ ) posee de mayor fuerza para el amortiguamiento, respecto a los dispositivos sísmicos lineales ( $\alpha = 1$ ) y los no lineales ( $\alpha > 1$ ).

Ecuación de movimiento con dispositivos sísmicos

Se plantea la ecuación matricial, lo que quiere decir que pertenece a sistemas con varios grados de libertad, y la propuso Gary C. Hart y K. Wong, en su publicación denominada “Structural Dynamics for Structural Engineer”.

$$[M]\{\ddot{X}\} + ([C_{nd}] + [C_{md}])\{\dot{X}\} + [K]\{X\} = -[M]\{I\}a_g$$

Donde:

$[M]$ : M. de masa.

$[C_{nd}]$ : M. de amortiguamiento, que corresponde al amortiguamiento natural de la estructura.

$[C_{md}]$ : M. de amortiguamiento, que corresponde al amortiguamiento viscoso de la matriz de amortiguamiento y amortiguadores.

$[K]$ : M. de rigidez.

Coefficiente de amortiguamiento

El sistema puede componer “N” de amortiguadores. Teniendo la matriz de amortiguamiento de dispositivos sísmicos que se expresan de la siguiente manera:

$$[C_{md}] = c_{md1}[C_1] + c_{md2}[C_2] + c_{md3}[C_3] + \dots + c_{mdN}[C_N]$$

Donde

$c_{md1}$  : Es el coeficiente de amortiguamiento del dispositivo.

El modo fundamental de vibración es significativo, quiere decir que, con la frecuencia natural de vibración fundamental y el vector correspondiente al primer modo de vibración y suponiendo que:

$$2\xi_{nd1}\omega_1 = \frac{\{\phi_1\}^T [C_{md}] \{\phi_1\}}{\{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\}}$$

Donde:

$\{\phi_1\}$  : Vector de modos que corresponde al modo fundamental

Amortiguamiento efectivo

Teniendo las dos ecuaciones se tiene:

$$2\xi_{nd1}\omega_1 = c_{md1} \frac{\{\phi_1\}^T [C_1] \{\phi_1\}}{\{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\}} + c_{md2} \frac{\{\phi_1\}^T [C_2] \{\phi_1\}}{\{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\}} + \dots + c_{mdN} \frac{\{\phi_1\}^T [C_N] \{\phi_1\}}{\{\phi_1\}^T [M] \{\phi_1\}}$$

Teniendo una aclaración detallada y moderna acerca del amortiguamiento añadido en las estructuras, dispositivos sísmicos de fluido viscoso nos proporciona el FEMA 273, define como amortiguamiento efectivo a la sumatoria de amortiguamiento crítico natural (de la estructura) y el amortiguamiento crítico que le atribuye a los dispositivos sísmicos.

$$\xi_{eff} = \xi_{nd} + \xi_{md}$$

Donde:

$\xi_{eff}$ : Amortiguamiento efectivo

$\xi_{nd}$ : Amortiguamiento crítico natural

$\xi_{md}$ : Amortiguamiento crítico debido a los dispositivos sísmicos de fluido viscoso.

Amortiguamiento crítico en función de la energía disipada y energía elástica de deformación.

El amortiguamiento crítico se debe a los dispositivos de fluido viscoso, se puede determinar con la siguiente fórmula:

$$\xi_{md} = \frac{\sum W_i}{2 \sum W_k}$$

Donde:

$W_i$  : Energía disipada por el dispositivo de fluido viscoso en un ciclo de movimiento

$W_k$  : Energía elástica de deformación del sistema sin amortiguamiento

Rigidez del dispositivo “K”

Los disipadores de fluido viscoso, son de brazo metálico lo cual estos conectan con la estructura. La parte importante en el análisis y modelamiento de los disipadores es la rigidez axial de los brazos metálicos.

Rigidez del disipador “K” (del brazo metálico).

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

Donde:

E: Modulo de Elasticidad del acero.

A: Área de sección de brazo metálico.

L: Longitud del brazo metálico.

Reducción de la respuesta

En el apartado 18.2.2.1 del ASCE\_7-10, la respuesta estructural ante una sollicitación sísmica puede ser reducida debido al incremento del amortiguamiento proporcionado por los disipadores. La reducción de la fuerza del cortante basal se determina con la siguiente ecuación:

$$V_{min} = \frac{V}{B_{v+1}}$$

Donde:

V: Fuerza cortante basal sin la aplicación de dispositivos sísmicos.

B: Factor de reducción de respuesta del amortiguamiento cuyo valor es:

$$V_{min} = 0.75V$$

#### Análisis Estático o de Fuerzas Estáticas Equivalentes

Son las solicitaciones sísmicas que a través de un conjunto de fuerzas actuando en el centro de masa de cada nivel.

Para analizar este proceso se toma en cuenta todas las estructuras regulares o irregulares ubicadas en la zona sísmica. Las clasificaciones de estructuras regulares no pueden ser más de 30 m de altura y las estructuras de muros portantes de hormigón armado y albañilería armada o confinada no superior de 15 metros de altura, aun cuando sean irregulares.

#### Fuerzas Cortante en la Base

La cortante basal de la estructura, y la dirección que es considerada, se determina de la siguiente manera:

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

El valor C/R no debe ser menor que:

$$\frac{C}{R} \geq 0,125$$

#### Distribución de las Fuerzas Sísmicas en Altura

Las fuerzas sísmicas de cualquier nivel i, corresponde a la dirección que se considera, se calcula con la siguiente expresión:

$$F_i = \alpha_i \cdot V$$

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

Donde “n” es el número de plantas de la edificación, k es un exponente asociado con el período fundamental de vibración de la estructura (T), en la dirección considerada, que se calcula de acuerdo a:

a)  $T \leq 0,5$  segundos:  $k = 1,0$ .

b)  $T \geq 0,5$  segundos:  $k = (0,75 + 0,5 T) \leq 2,0$ .

#### Periodo Fundamental de Vibración

Se toma en cuenta la siguiente expresión:

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

CT = 35, edificaciones que cuentan con elementos resistentes en la dirección considerada sean únicamente:

- a) Pórticos de hormigón armado que no cuentan con muros que trabajen a cortante.
- b) Pórticos de acero con uniones resistentes a momentos, sin arriostramientos que se comportan dúctilmente.

CT = 45, edificaciones que cuentan con elementos resistentes a la dirección considerada:

- a) Pórticos de hormigón armado que cuentan con muros en cajas de los ascensores y escaleras.
- b) Pórticos de acero con arriostramientos.

CT = 60, edificaciones que son de albañilería y edificaciones de hormigón armado llamadas también duales, que componen elementos de muros estructurales, y muros con ductilidad limitada.

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

-  $f_i$  es la fuerza lateral en el nivel “i” correspondiente a la distribución en altura semejante a la del primer modo.

-  $d_i$  es el desplazamiento lateral de centro de masa del nivel “i” en traslación debido a las fuerzas. Se calculan desplazamientos suponiendo el comportamiento lineal elástico de la edificación y, para casos de hormigón armado y albañilería, considerándose secciones sin fisurar.

En el caso del análisis si no se llegase a considerar la rigidez de los elementos no estructurales, el período fundamental (T) de la estructura deberá tomarse como 0,85 del valor obtenido con la fórmula.

## Fuerzas Sísmicas Verticales

La fuerza sísmica vertical se considera como una fracción del peso:  $2/3 Z \cdot U \cdot S$ .

Elementos horizontales de grandes luces, incluso volados, se requiere un análisis dinámico con espectros definidos.

## Análisis Dinámico Modal Espectral

Las estructuras pueden diseñarse, utilizando resultados de los análisis dinámicos por combinación modal espectral.

Este tipo de análisis sísmico tiene como fin en que la estructura resista un sismo de baja intensidad, sin problema alguno. Para un sismo de mediana intensidad se puede aceptarse que la edificación sufra daños, efectos reversibles (daños reparables). Para un sismo de gran intensidad solo puede exigirse que la estructura no colapse, tomando en cuenta que los ocupantes deben de salir con vida de la edificación.

Este método llamado análisis modal sirve para estimar fuerzas y desplazamientos de un sistema estructural

## Modos de vibración

Pueden ser determinados a través de un procedimiento de análisis que se considere apropiadamente las características de rigidez y distribución de las masas.

Para cada dirección deberá de considerarse aquellos modos de vibración cuya suma de masas efectivas sea por lo menos el 90 % de la masa total, lo cual deberá tomarse en cuenta como mínimo los tres primeros modos que son predominantes en la dirección de análisis.

## Aceleración Espectral

Para las direcciones ortogonales analizadas utilizamos el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definida de la siguiente manera:

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

Cuando se analiza en dirección “Y” o vertical, puede utilizarse un espectro de ciertos valores iguales a  $2/3$  del espectro que se emplea para direcciones en “x” u horizontales.

## Criterios de Combinación

Mediante estos criterios que se indican, se puede obtener la respuesta máxima elástica

esperada ( $r$ ), para fuerzas internas en los elementos estructurales, como también para los parámetros globales de la edificación como fuerza cortante basal, cortantes de entrepiso, momentos de volteo, desplazamientos totales y relativos de entrepiso.

La respuesta máxima elástica esperada ( $r$ ) correspondiente al efecto conjunto de los diferentes modos de vibración empleados ( $r_i$ ) podrá determinarse mediante la combinación cuadrática de los valores calculados para cada uno de los modos.

A través de los criterios que nos indican, obtenemos la respuesta elástica máxima que se espera ( $r$ ) en fuerzas internas de los elementos de la estructura, y también para parámetros que son globales de la edificación como la fuerza cortante en la base, cortantes en cada planta, momentos al volteo, desfases totales y relativos de entrepisos.

La respuesta elástica máxima esperada ( $r$ ) corresponde al efecto de conjuntos modos de vibración empleados ( $r_i$ ) puede determinarse mediante la combinación cuadrática de valores que son calculados independientemente para cada uno de los modos.

$$r = \sqrt{\sum \sum r_i \rho_{ij} r_j}$$

Donde  $r$  pertenecen a las respuestas de los modos, desfases o fuerzas. Los coeficientes son los siguientes:

$$\rho_{ij} = \frac{8\beta^2(1+\lambda)\lambda^{3/2}}{(1-\lambda^2)^2 + 4\beta^2\lambda(1+\lambda)^2}$$

$$\lambda = \frac{\omega_j}{\omega_i}$$

$\beta$ , proporción de amortiguamiento crítico, considerado constante para todos los modos 0,05

$\omega_i$ ,  $\omega_j$  frecuencias angulares de modos  $i$ ,  $j$ .

Como alternativa, tenemos la respuesta máxima que puede referirse mediante la fórmula.

$$r = 0,25 \cdot \sum_{i=1}^m |r_i| + 0,75 \cdot \sqrt{\sum_{i=1}^m r_i^2}$$

**Fuerza Cortante Mínima**

Para el análisis en cada dirección, la cortante en el primer entrepiso de la edificación no

puede ser menor que el 80 % del valor calculado. En estructuras regulares, que no deberán ser menor que el 90 % para estructuras irregulares.

Si para cumplir mínimos señalados, deberá ser necesario el incremento de la cortante. Debiéndose escalar en proporción, todos los resultados obtenidos, excluyendo los desplazamientos.

#### Excentricidad Accidental (Efectos de Torsión)

La localización de centro de masa en cada nivel, se debe considerar mediante una excentricidad accidental que es perpendicular a la dirección del sismo siendo igual a 0,05 veces la dimensión de la edificación en dirección perpendicular a la dirección que está siendo analizada. Para cada caso debe considerarse el resultado más desfavorable.

#### Análisis Dinámico Tiempo – Historia

El presente análisis se puede emplear como proceso complementario al Análisis Estático o de fuerzas Estáticas Equivalentes y Análisis Dinámico Modal Espectral. Para el análisis se utiliza un modelo matemático que considere directamente el comportamiento histerético de los elementos, hallando la respuesta de un conjunto de aceleraciones de terreno, que mediante la integración directa de las ecuaciones de equilibrio.

#### Registros de Aceleración

En este tipo de análisis puede utilizarse como mínimo, tres grupos de registros de aceleración del terreno, que incluye independientemente dos componentes en direcciones que son perpendiculares.

Cada grupo de registro, contiene un par de componentes de aceleración horizontal, que se seleccionan para escalarlos en eventos individuales.

Las aceleraciones van a ser obtenidas de eventos de magnitud, distancia a las fallas y mecanismos sean consistentes con el máximo sismo considerado.

Cuando el número de registros apropiados no sea completo, se utilizarán registros que sean simulados para poder alcanzar el número requerido.

Para los componentes horizontales de movimientos del suelo, se construye un espectro de pseudo aceleraciones, tomando en cuenta la raíz cuadrada de la sumatoria de los

cuadros (SRSS) con valores espectrales, lo cual son calculados para cada componente por separado, con el 5 % de amortiguamiento. Ambos componentes serán escalados con un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre 0,2 T y 1,5 T (siendo T el período fundamental), el promedio de valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada según el numeral 4.6.2 con  $R = 1$ .

Para generarse registros simulados, se debe considerar los valores de C, lo cual ya son definidos previamente, excepto para zonas con períodos muy cortos ( $T < 0,2 T_p$ ) en la que se considerará:

$$T < 0,2T_p$$
$$C = 1 + 7,5 \cdot \left(\frac{T}{T_p}\right)$$

#### Modelos para el Análisis

Para el modelo matemático, se representa la distribución de masas en la estructura.

Para que los resultados sean consistentes, el modelo deberá también ser consistente con los de ensayos del laboratorio y tomando en cuenta el comportamiento de fluencia, la degradación de resistencia, degradación de rigidez, estrechez de los brazos histeréticos, y demás aspectos que sean relevantes del comportamiento estructural que es indicado por los ensayos.

La resistencia de elementos de la estructura es obtenida en base a los valores que se espera de la resistencia del material, endurecimiento por deformación y degradación de resistencia por la carga cíclica.

Se puede permitir la suposición de propiedades lineales para elementos que en el análisis demuestre que se encuentren en el rango elástico de respuesta. Será admitido considerar el amortiguamiento viscoso que equivale un valor máximo del 5 % del amortiguamiento crítico, además la disipación de la resultante del comportamiento histerético de los elementos.

Se supone que la estructura se encuentra empotrada en la base, o alternativamente considerar la flexibilidad del sistema de cimentación si fuera pertinente.

#### Tratamiento de Resultados

Si llegasen a utilizar siete grupos de registros de movimiento del suelo, las fuerzas de

diseño, las deformaciones en elementos y distorsiones de entrepiso se van a evaluar a partir del promedio de los resultados máximos que sean obtenidos en los distintos análisis. Si llegasen a utilizar menos de siete grupos de registros, las fuerzas de diseño, las deformaciones y las distorsiones de entrepiso van a ser evaluadas a partir de los máximos valores obtenidos de todos los análisis.

Las distorsiones máximas de entrepiso no serán excedidas de 1,25 veces de los valores indicados.

Las deformaciones en los elementos podrán exceder  $2/3$  de aquellas para las que perderían la capacidad portante para cargas verticales o para las que se tendría una pérdida de resistencia en exceso a 30 %.

Para la verificación de resistencia de los elementos se dividirán los resultados del análisis entre  $R = 2$ , empleándose las normas aplicables a cada material.

#### Programas utilizados

Etabs consiste desde el modelado, definición y creación de diseños y detalles. También nos cubre el proceso de los pasos de dimensionamiento. De acuerdo a la experiencia y uso del programa, se facilita el rápido modelado de plantas y alzados de la estructura. Con el programa AutoCAD, los planos en planta pueden transferirse al programa ETABS y facilitar el proceso de modelamiento, ya que pueden utilizarse como plantilla.

ETABS nos proporciona diversas herramientas que pueden utilizarse por Ingenieros estructurales que poseen modelar y dimensionar edificios, como también edificios industriales de una planta, o también torres de varias plantas. Teniendo enormes capacidades y de sencillo uso.

#### Características de la edificación para el comportamiento sísmico

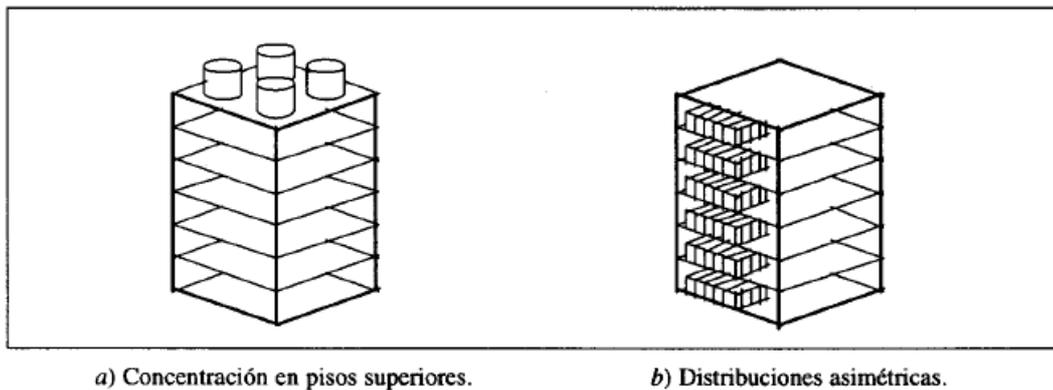
Las fuerzas de inercia son proporcionales a la masa y, por consecuencia, el peso de la edificación, por lo tanto, se procura que éste sea lo más ligero posible.

La parte importante del peso de la construcción deriva de los acabados y de los elementos de cristal o vidrios no estructurales. Es donde fácilmente se puede lograr la reducción por peso.

Se considera que las aceleraciones introducidas en la edificación crecen con la altura, por lo tanto, es importante evitar masas excesivas en las partes altas del edificio. En el proyecto arquitectónico conviene la ubicación en los pisos bajos, las áreas donde se

prevén concentraciones mayores de pesos (tales como archivos y bóvedas).

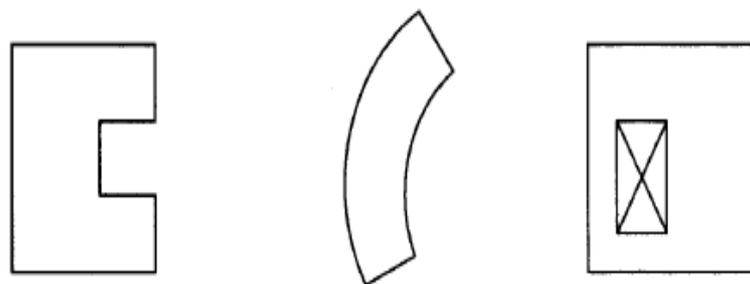
Es recomendado que el peso del edificio quede distribuido simétricamente en la planta de cada piso. La posición fuertemente asimétrica estaría expuesta a vibraciones torsionales como se observa en la siguiente figura, las situaciones que deben de evitarse. (E.Bazan & R. Meli 1985).



**Figura 19.** Distribuciones indeseables del peso del edificio.

La forma en planta del edificio ayuda a que sea una respuesta sísmica poco conveniente y deben evitarse.

Entre estos aspectos, la asimetría en planta es lo principal. Se debe a que tiende a provocar fuertes vibraciones torsionales del edificio. En el siguiente esquema se explica cómo deben evitarse estas formas:

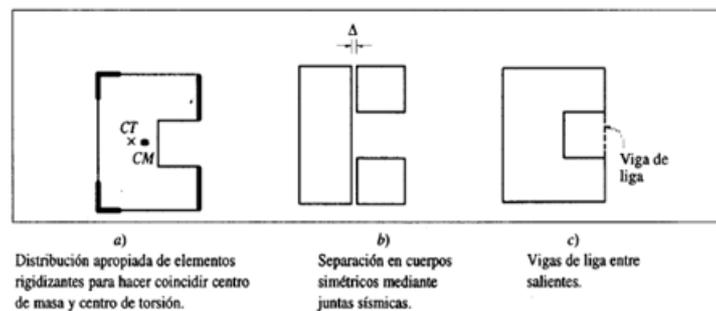


**Figura 20.** Formas asimétricas en planta que son indeseables por tender a producir vibración torsional.

Lo ideal es eliminar o minimizar la vibración por torsión a través de una distribución de elementos resistentes proporcionales que coincida con el baricentro de la masa con el centro de torsión, frecuentemente esto implica la concentración de fuerzas en ciertas zonas de la planta y vibraciones locales que son difíciles de cuantificar. Otra posible solución para los problemas de plantas asimétricas es la subdivisión del edificio en

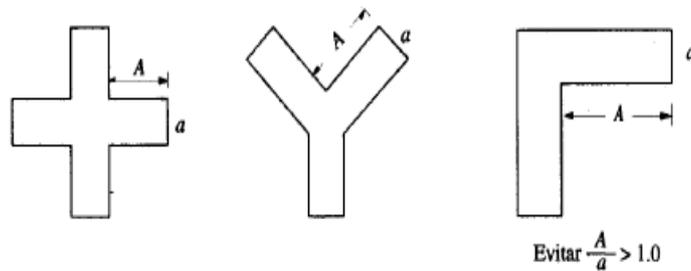
cuerpos independientes y regulares mediante juntas de sísmicas o de construcción. La separación que tiene que tener entre los cuerpos adyacentes es considerable y produce serias complicaciones en el diseño de los elementos de conexión que son necesarios para permitir el paso entre uno y otro cuerpo.

Otra recomendación de solucionar problemas de asimetría de la planta es mediante elementos estructurales exteriores que ligen las distintas partes del edificio y que lo vuelvan más simétrico.



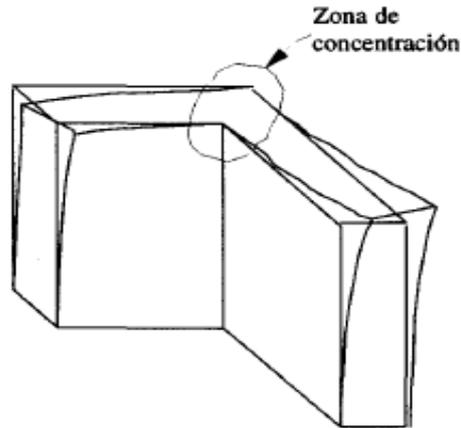
**Figura 21.** Posibles soluciones para eliminar los problemas de plantas asimétricas.

Unas irregularidades que también hay que evitar en la planta del edificio es la presencia de alas muy alargadas, como se puede observar en los siguientes.



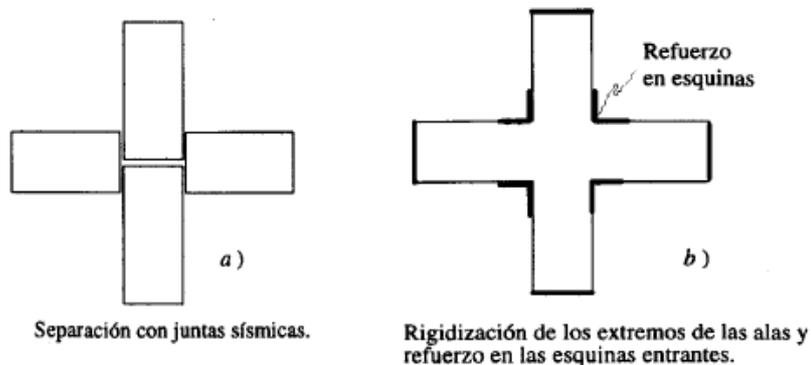
**Figura 22.** Plantas con alas muy alargadas.

Lo que nos produce en este efecto es que las alas vibren en direcciones diferentes, por lo que nos lleva a producir fuertes concentraciones de las sollicitaciones en las esquinas interiores de la planta.



**Figura 23.** Vibración en direcciones diferentes de alas de edificios.

Para la solución de estos problemas podemos optar por subdivisión de la planta en cuerpos independientes y cortos o debe proporcionarse gran rigidez a los extremos de las alas y reforzar cuidadosamente las esquinas interiores, como se puede observar en los siguientes esquemas.



**Figura 24.** Soluciones para edificios con alas muy largas

Se pueden establecer los cuatro requisitos para el sistema estructural de edificios en zonas sísmicas:

a) Para la configuración del edificio se debe tener en cuenta que los elementos estructurales confieran resistencia y rigidez a cargas laterales en cualquier dirección. Esto se logra, al proporcionar sistemas que sean resistentes en dos direcciones ortogonales.

b) Los componentes estructurales a través de su configuración deben permitir una continuidad, regular y eficiente ante las fuerzas sísmicas en que éstas se generan (todo punto donde haya una masa que puede producir fuerzas de inercia) hasta el suelo.

c) Debe evitarse amplificaciones de vibración, teniendo en cuenta que las solicitaciones y vibraciones no deben concentrarse, ya que por efectos de torsión pueden producir distribuciones irregulares de masa o rigidez en planta o en alzados.

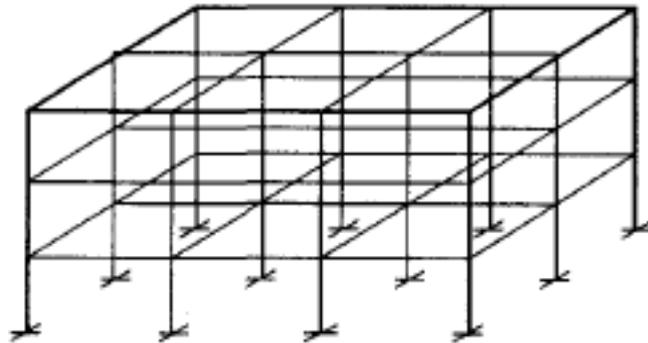
sea La estructura convenientemente debe ser:

- 1) sencilla
- 2) regular
- 3) simétrica
- 4) continua

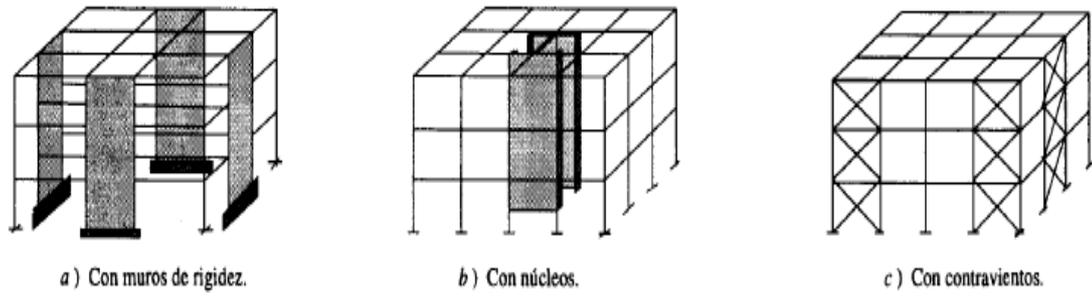
d) La estructura y sus elementos deben permitir disipar energías inducidas por los efectos sísmicos de distintas intensidades, teniendo en cuenta un amortiguamiento inelástico elevado, sin tener en cuenta la presencia de fallas frágiles locales y globales.

Se derivan diversas recomendaciones de estos principios de estructuración.

Se observa un marco tridimensional en la siguiente figura, lo cual está compuesto por vigas y pilares en direcciones ortogonales, que están conectados entre sí, logrando transmitir los momentos flexionantes y proporcionando rigidez en los lados de la edificación.



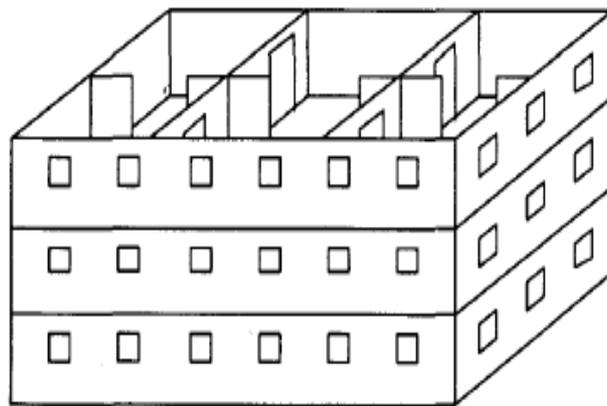
La edificación que se encuentra rigidizada con diagonales de contraviento, con muros rígidos (núcleos) o con muros de relleno. En estas estructuras la interacción entre los dos sistemas básicos produce una distribución de las cargas laterales que es compleja y variable con el número de pisos, pero que da lugar a incrementos sustanciales de rigidez y resistencia con respecto a la estructura a base de marcos.



**Figura 25.** Marcos rigidizadores.

La estructura tipo cajón, de paredes de carga, está formada por paneles verticales y horizontales conectados para proporcionar continuidad.

Existen variantes y combinaciones de estos sistemas y otros más complejos, como las estructuras espaciales a base de superficies continuas o trianguladas. Los anteriores son, sin embargo, los sistemas básicos sobre los que se concentrarán las recomendaciones de estructuración. Posteriormente comentaremos sobre las ventajas y limitaciones de estos sistemas.



**Figura 26.** Sistema tipo cajón.

**Tabla 1***Operacionalización de variables*

<b>Variables</b>	<b>Definición Conceptual</b>	<b>Definición Operacional</b>
<b>Variable Independiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Edificio con pórticos estructural</b></li> <li>• <b>Técnicas de reforzamiento</b></li> </ul>	(Gatica L. V (2011)), Este tipo de sistema se utiliza para la deformación de corte de materiales viscosos y viscoelásticos para poder dar una proporción de	Control de derivas máximas.
<b>Variable dependiente</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Amortiguadores y disipadores sísmicos.</b></li> </ul>	amortiguamiento a las estructuras	
<b>Dimensiones</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <b>Diseño sísmico Estructural.</b></li> </ul>	<b>Indicadores</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Evaluación estructural</li> <li>• Tipo de falla</li> </ul>	

Este proyecto de investigación tiene como fin aportar nuevos beneficios para garantizar ante desastres, la desestabilidad de la estructura. Aportando nuevos modelos y seguridad.

El objetivo general es determinar el estudio y el análisis de dispositivos sísmicos de Fluido Viscoso y Shear Link Bozzo; para lo cual se propusieron cinco objetivos específicos:

- Conocer el comportamiento de edificaciones que están sometidas a cargas gravitatorias y cargas sísmicas.
- Como se reparten los esfuerzos entre los diferentes elementos estructurales y deformaciones que sufre la edificación al verse sometida a cargas sísmicas.
- Realizar modelos de cálculos paramétricos que puedan permitir variar el sistema estructural utilizado como dichas características de cada uno de ellos.
- Se busca que el modelo falle para así poder incorporar los dispositivos sísmicos y con ello poder comparar los modelos, con y sin equipos sísmicos y analizar el comportamiento de cada uno de ellos.

## Metodología

En la presente tesis de investigación tipo descriptiva, se analiza, interpretar y describen problemas, soluciones y resultados que se obtendrán de fenómenos sísmicos y las soluciones con los dispositivos sísmicos.

La población y muestra del presente trabajo está conformado por:

- Una edificación de 2 niveles
- Una edificación de 7 niveles

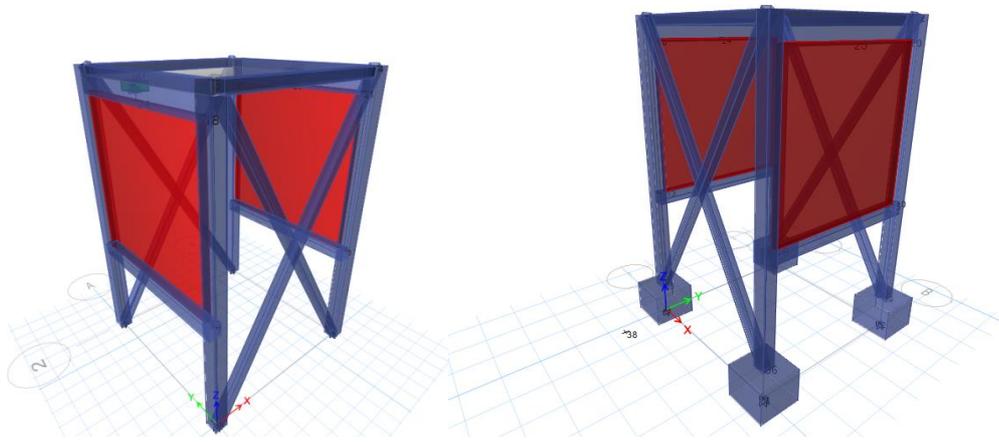
El procesamiento y análisis de información se hace mediante el software Etabs es un software que nos proporciona diversas herramientas que pueden utilizarse por Ingenieros estructurales que poseen modelar y dimensionar edificios, como también edificios industriales de una planta, o también torres de varias plantas para analizar las estructuras que son edificaciones, lo cual cuenta es una herramienta muy útil en análisis y diseño con 40 años de desarrollo e investigación, tiene una gran capacidad de poder analítico lineal y no lineal, cuenta con opciones de dimensionado sofisticadas y que abarcan un gran amplio número de materiales, esclarecedores gráficos, informes y diseños esquemáticos que nos facilitan para la comprensión de dicho análisis y los respectivos resultados. Las características que se han generado al momento de modelizar fueron:

- Las vigas y muros de hormigón armado se llevaran a cabo a través de elementos “frames”, asignando las propiedades respectivas a cada elemento.
- Las losas de hormigón armado se modelarán por medio de elementos “Shell”, con el objetivo de generar la compatibilización de los desplazamientos horizontales de cada piso. El peso de las losas, cargas permanentes y sobrecargas se distribuyó linealmente en cada marco tipo.
- La unión de las vigas y muros se modelará como simplemente apoyadas.
- Las fuerzas sísmicas se aplicarán en el centro de masa de cada piso.

## Resultados

El primer objetivo específico es Conocer el comportamiento de edificaciones que están sometidas a cargas gravitatorias y cargas sísmicas. Se simula el comportamiento de la estructura, y se utiliza posteriormente para un análisis paramétrico de variables.

Las vigas están consideradas articuladas en los extremos y los pilares se encuentran modelados como elementos tipo frame. Se le asigna en el modelo la opción de dañarse en los extremos a través de rotulas plásticas según FEMA 356.



*Figura 27.* Representación numérica del modelo

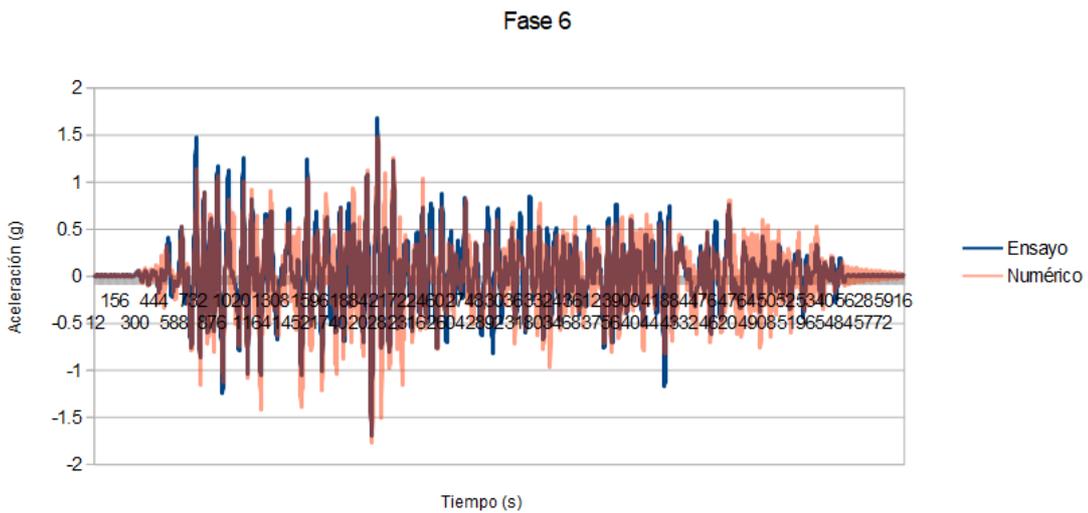
El amortiguamiento de la estructura se considera un 2% en el primer modo de vibración y en el segundo se considera un 5%, utilizando el modelo de Rayleigh. Los dispositivos sísmicos se diseñan usando el modelo de Wen en base los siguientes parámetros:  $K_1$ ,  $f_y$ ,  $K_2/K_1$  y el coeficiente “n” asumido como 2.

Para la primera fase, en ANSYS se introdujo la curva tensión-deformación, con el valor  $f_y$  del acero utilizado en el disipador, del ensayo a tracción. Con ANSYS se ha planteado la conexión tipo “peine” en la parte extrema del dispositivo, teniendo como condiciones de borde de libre giro (articulados) con fuerza axial. De este modo se obtienen las características del disipador que se encuentra empotrado en un extremo y libre en el otro. En este proceso se obtienen las curvas monotónicas del dispositivo sísmicos, trazando tangentes en la parte que inicia y finaliza en la curva, obteniendo así  $K_1$  y  $K_2$ . Con la parte final del proceso se obtiene el desplazamiento que es 0.5mm siendo este el punto final de la recta de  $K_1$  lo que respecta la tolerancia

de unir dos elementos formando el “peine” que conecta al dispositivo sísmico y así se obtienen nuevos valores de K1, K2 y fy.

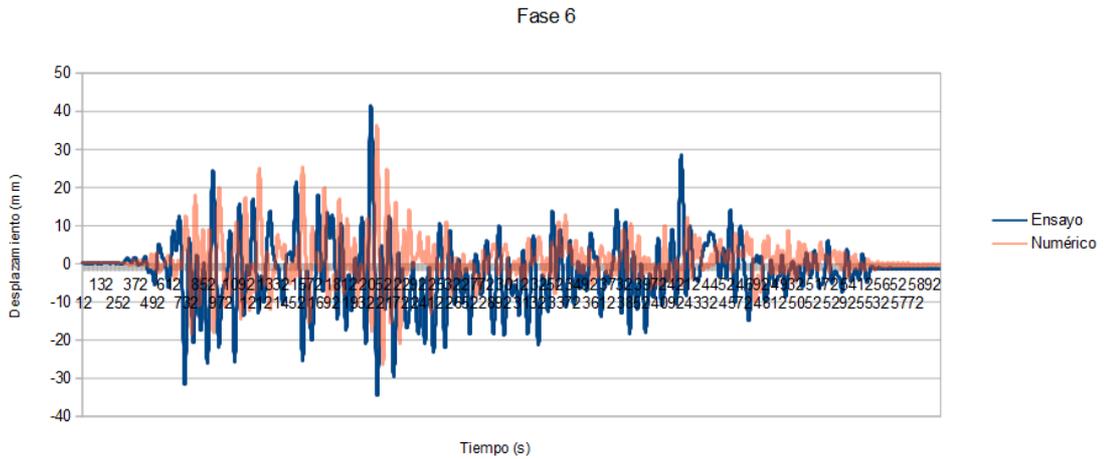
En el segundo objetivo específico obtenemos el resultado de cómo se reparten los esfuerzos entre los diferentes elementos estructurales y deformaciones que sufre la edificación al verse sometida a cargas sísmicas.

En la siguiente figura se observa la comparación de tiempo en la historia de aceleraciones y desfases que se obtienen en el experimento con el módulo y modelo numérico en la fase 6. Se muestran también los resultados de los desplazamientos máximo y las aceleraciones que se obtienen en cada fase. Las primeras tres fases se estudian individualmente a las tres últimas, se debe a que cada grupo pertenece a un tipo de registro sísmico distinto.



**Figura 28.** Registro analítico comparado con el experimental en la última fase de ensayo.

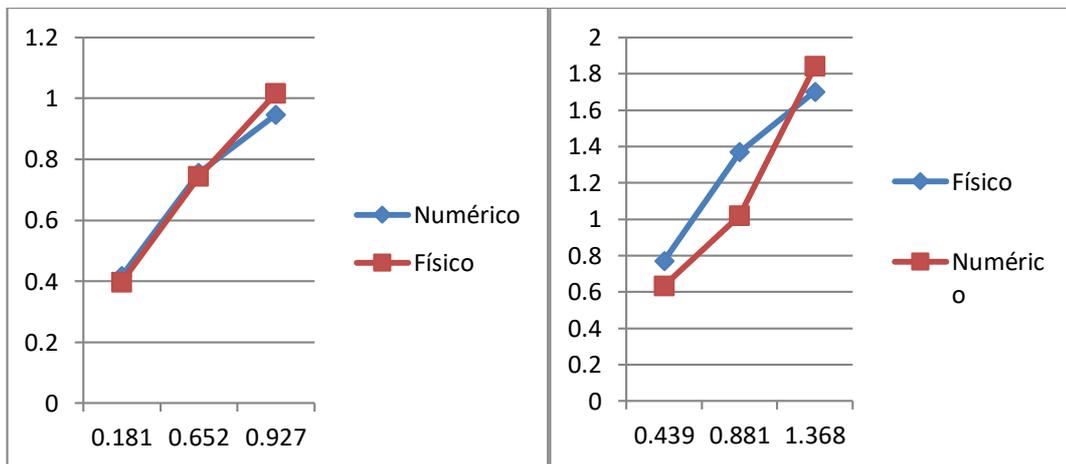
## Desplazamientos

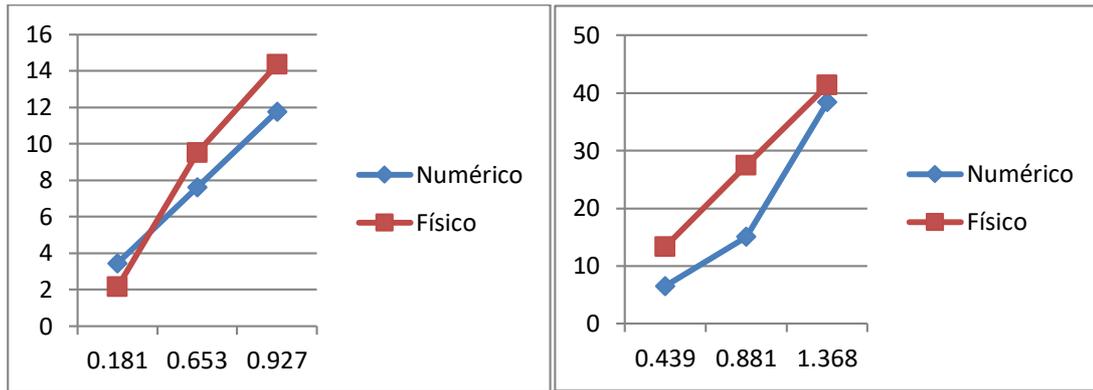


**Figura 29.** Desplazamientos analíticos vs experimental para dos últimas fases de ensayo.

En la cuarta fase se observa un desplazamiento de 1.5mm, lo que ocurre similarmente en las primeras tres fases. Lo contrario ocurre en la quinta y sexta al no observarse el desfase y esto se debe a que las cuatro primeras fases se desplazan causadas a tener toleración, lo que independientemente las dos últimas no necesariamente tiene que terminar con el desplazamiento del sismo.

Se observa el resumen del máximo en cada una de las seis fases de aceleración y desplazamientos:





**Figura 30.** (a) Aceleración en el forjado (g) vs aceleración en la base (g) tres primeras fases (terremoto 1974)  
 (b) Aceleración en el forjado (g) vs aceleración en la base (g) tres últimas fases (terremoto 1970)  
 (c) Desplazamiento en el forjado (mm) vs aceleración la base (g) tres últimas fases (terremoto 1970).

Error en las aceleraciones y desplazamientos:

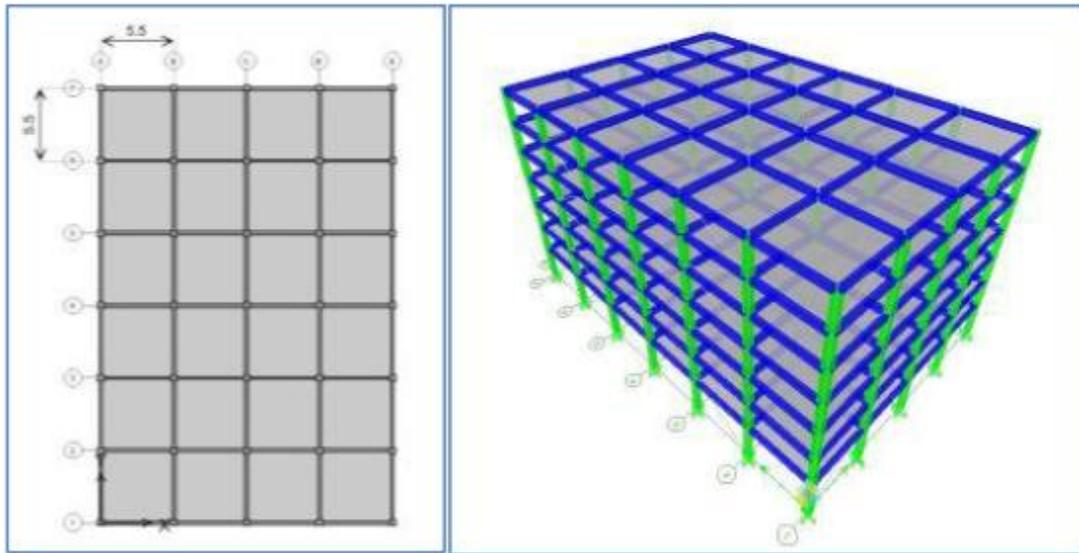
**Tabla 2.**

*Aceleraciones y desplazamientos*

	Error aceleraciones (%)	Error desplazamientos (%)
Primera fase	5.09	60.68
Segunda fase	1.68	19.98
Tercera fase	6.90	18.03
Cuarta Fase	17.83	51.10
Quinta fase	25.50	45.20
Sexta fase	8.18	7.12

Anteriormente se comenta, que en la relación de tiempo en la historia puede dar un mejor comportamiento de la edificación, por lo que necesariamente para diseñar, solamente nos interesa el valor del pico, por lo que puede ser la de aceleración o desplazamiento. De esta manera generamos resultados que se obtienen errores relativos de la aceleración y desfases de cada sismo severo.

Como tercer objetivo específico tenemos que realizar modelos de cálculos paramétricos que puedan permitir variar el sistema estructural utilizado como dichas características de cada uno de ellos.



**Figura 31.** Edificación

Se presentan a continuación las tres fases que se utilizan para el modelamiento.

Como cuarto objetivo Se busca que el modelo falle para así poder incorporar los dispositivos sísmicos y con ello poder comparar los modelos, con y sin equipos sísmicos y analizar el comportamiento de cada uno de ellos.

Se desarrolló la estructura considerando secciones fisuradas en, vigas y pilares. La edificación está sometida con los registros tiempo historia.

Se obtiene los siguientes datos de desplazamientos de entrepiso en direcciones X e Y.

**Tabla 3.**

*Desplazamientos (%) de pisos y registro de sismos (dirección X).*

Niveles	TIEMPO-HISTORIA						MAX
	6610N08	6610N82	7005N08	7005N82	7410N08	7410N82	
Nivel siete	3.94	4.24	3.42	3.35	4.41	5.03	5.03
Nivel seis	5.28	5.74	4.96	4.45	5.60	6.75	6.75
Nivel cinco	5.39	5.17	5.37	5.67	5.46	8.21	8.21
Nivel cuatro	5.44	4.71	4.35	5.99	4.93	8.34	8.34
Nivel tres	5.48	5.07	4.49	5.85	4.77	8.56	8.56
Nivel dos	5.66	5.06	5.33	6.20	5.19	9.05	9.05

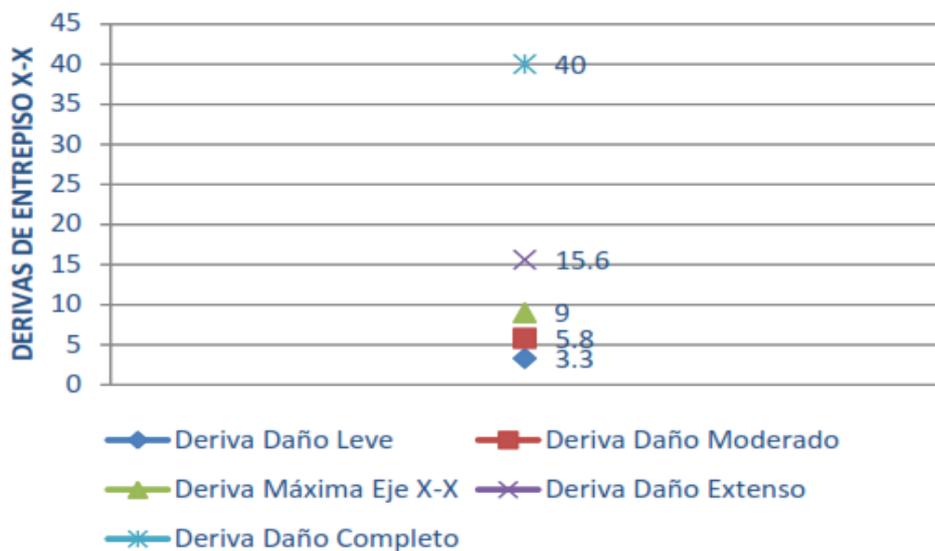
Nivel uno	4.66	3.49	4.24	4.45	4.59	6.44	6.44
Max.	5.66	5.74	5.37	6.20	5.60	9.05	9.05

**Tabla 4.**

*Desplazamientos (%) de pisos y registro de sismos (dirección Y).*

TIEMPO-HISTORIA							
Niveles	6610N08	6610N82	7005N08	7005N82	7410N08	7410N82	MAX
Nivel siete	3.93	3.65	3.40	3.39	4.76	4.31	4.76
Nivel seis	5.39	4.70	5.35	5.00	6.55	5.64	6.55
Nivel cinco	4.80	4.93	4.78	5.54	7.51	5.41	7.51
Nivel cuatro	5.18	5.10	5.02	4.53	7.88	4.43	7.88
Nivel tres	5.84	5.01	5.66	4.16	8.41	4.42	8.41
Nivel dos	5.89	5.30	6.01	5.26	8.57	5.13	8.57
Nivel uno	3.93	4.46	4.16	4.26	6.28	4.09	6.28
MAX	5.89	5.30	6.01	5.54	8.57	5.64	8.57

De acuerdo con los valores, observamos que las máximas derivas alcanzadas en las direcciones X e Y, fueron 9 y 8.6(%). Con lo que estos valores exceden a la normativa peruana E030, para edificaciones aporticadas.



**Figura 32.** Derivas X-X

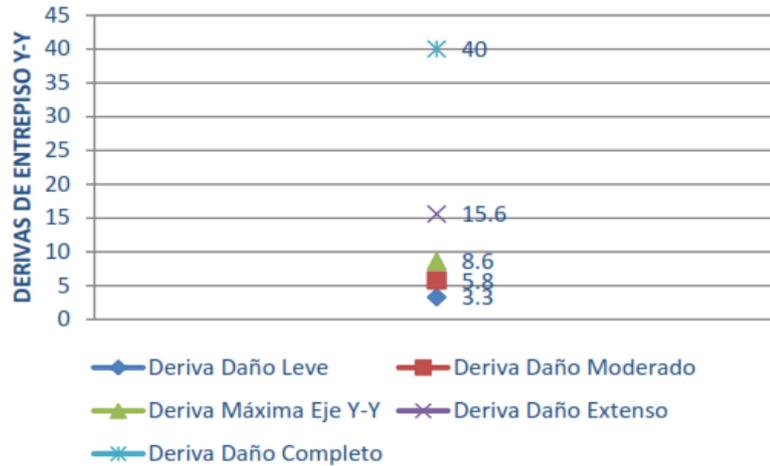


Figura 33 Derivas Y-Y

Amortiguamiento objetivo:

Determinando el factor reducido de respuesta:

$$B = \frac{\text{Deriva máxima}}{\text{Deriva objetivo}}$$

$$B_{XX} = 1.56$$

$$B_{YY} = 1.53$$

Utilizando la ecuación en función de amortiguamiento, consideramos 5% de amortiguamiento para la edificación.

$$B = \frac{2.31 - 0.4 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{eff})}$$

Amortiguamiento efectivo para cada dirección:

$$\beta_{effxx} = 21.20\%$$

$$\beta_{effyy} = 20.16\%$$

Al incorporarse los disipadores, estos amortiguamientos deberían lograrse en la edificación. Teniendo en cuenta que se descuenta el amortiguamiento viscoso de demanda.

$$\beta_{effxx} = 16.20\%$$

$$\beta_{effyy} = 15.16\%$$

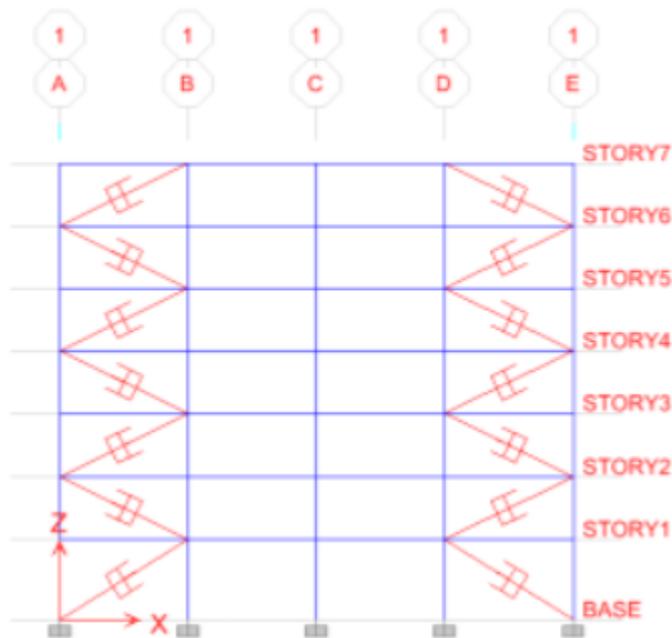
Para mantener un margen de seguridad, tendremos un solo porcentaje de amortiguamiento:

$$\beta_{visc.} = 18.00\%$$

### Ubicación de los dispositivos Sísmicos

La normativa ASCE 7-10 condiciona que mínimamente se deben colocar 2 dispositivos por cada dirección en la que se va a ser analizada por cada nivel y con cierto orden para evitar el efecto de torsión. Teniendo en cuenta la seguridad como margen, se colocan 8 disipadores por nivel, cuatro en cada sentido y colocados en pórticos externos de la edificación.

Cuando los dispositivos se encuentran alejados del centro gravedad, nos da facilidad para trabajar en la zona de máximas velocidades (zona de mayor efectividad de dispositivos sísmicos de fluido viscoso). Para las demás ventajas, también se toma en cuenta la simetría y regularidad, lo cual estos factores facilita un mejor manejo ante los efectos de torsión.



**Figura 34.** Colocación de dispositivos en dirección X-X

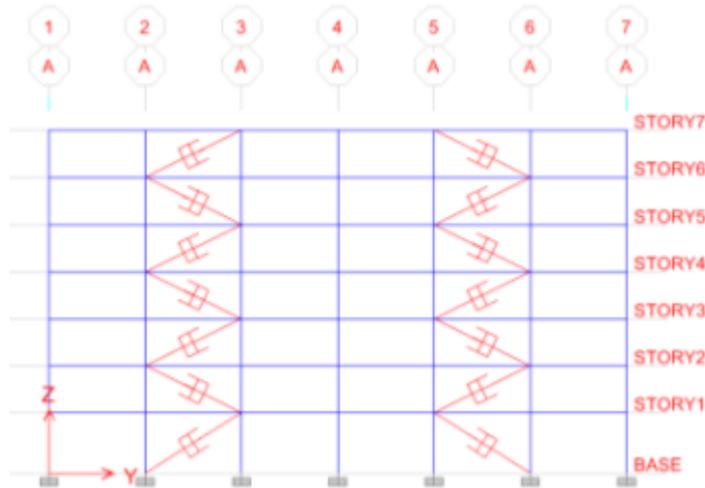


Figura 35. Ubicación de dispositivos en dirección Y-Y.

### Amortiguadores no Lineales

Consideramos un  $\alpha=0.5$  al ser un dispositivo no lineal.

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

Se toma en cuenta de que los amortiguadores tienen un coeficiente “C” constante y cuatro dispositivos por piso en cada dirección. Despejamos “C” que pertenece a la ecuación para el amortiguamiento viscoso:  $\beta_{visc.} = 18\%$ .

**Tabla 5.**

*Cálculo del coeficiente de amortiguamiento- no lineal*

COEFICIENTE DE AMORGITUAMIENTO- NO LINEAL.						
DIRECCION X-X T=1.526 seg.						
Niveles	$\Phi_i$	$\Phi_{rj}$	$M_i$	$\cos\theta$	$\sum \Phi^{1+\alpha \cos^{1+\alpha} \theta}$	$\sum \Phi_i^{2m_i}$
Nivel uno	0.1700	0.170	452094	0.844	0.05435	13065.52
Nivel dos	0.3650	0.195	452094	0.898	0.04184	60230.22
Nivel tres	0.5550	0.190	452094	0.898	0.01626	139256.25
Nivel cuatro	0.7213	0.166	452094	0.898	0.00019	235180.01
Nivel cinco	0.8538	0.133	452094	0.898	0.11899	329526.37
Nivel seis	0.9450	0.091	452094	0.898	0.08194	403731.24
Nivel siete	1.0000	0.053	352277	0.898	0.04732	352277.00
TOTAL					0.36	1533266.61
W(rad/seg)=4.02			A(m)=0.08		$\alpha=0.5$	

Obtenemos:

$$C_{xx} = 78.10 - (s/m)^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}$$

$$C_{xx} = 78.23 - (s/m)^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}$$

**Tabla 6**

*Cálculo del coeficiente de amortiguamiento- no lineal.*

COEFICIENTE DE AMORGITUAMIENTO- NO LINEAL.						
DIRECCION Y-Y T=1.526 seg.						
	$\Phi_i$	$\Phi_{rj}$	$M_i$	$\text{Cos}\theta$	$\sum \Phi^{1+\alpha\text{Cos}^{1+\alpha}\theta}$	$\sum \Phi_i^{2mi}$
Nivel uno	0.1731	0.173	452094	0.844	0.05587	13554.09
Nivel dos	0.3701	0.197	452094	0.898	0.04263	61937.85
Nivel tres	0.5596	0.189	452094	0.898	0.01615	141573.45
Nivel cuatro	0.7252	0.166	452094	0.898	0.00019	237775.87
Nivel cinco	0.8570	0.132	452094	0.898	0.11831	332011.79
Nivel seis	0.9473	0.090	452094	0.898	0.08112	405700.93
Nivel siete	1.0000	0.053	352277	0.898	0.04732	352277.00
TOTAL					0.36	1544830.98
W(rad/seg)=4.13			A(m)=0.079		$\alpha=0.5$	

$$C_{xx} = 82.03 - (s/m)^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}$$

$$C_{xx} = 82.03 - (s/m)^{\left(\frac{1}{0.5}\right)}$$

Verificando el amortiguamiento añadido, se hace el uso de la función. De esta manera obtenemos la historia de desfases.

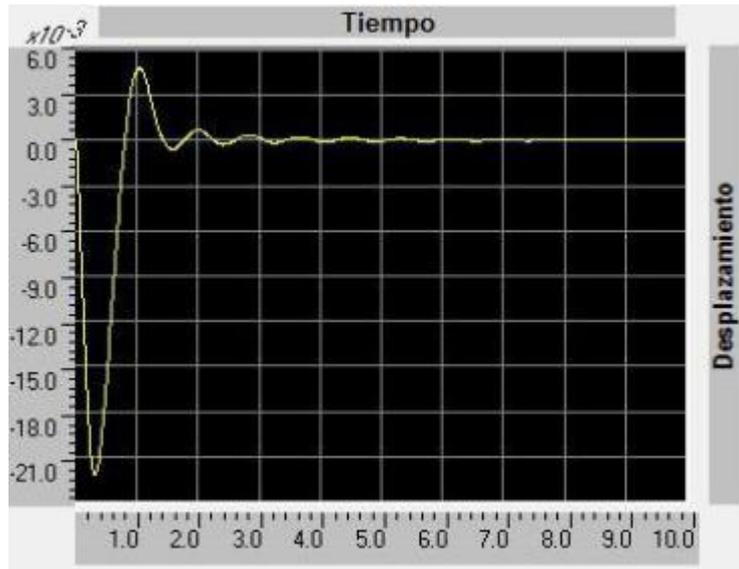


Figura 36. Tiempo Vs Desplazamiento- Cargas: Pulso- Disp. no Lineales.

Calculando la ecuación:

$$n \left( \frac{2.22 \times 10^{-2}}{1.568 \times 10^{-4}} \right) = \frac{2(3)\pi\xi}{\sqrt{1 - \xi^2}}$$

$$\xi = \beta_{eff} = 25.41\%$$

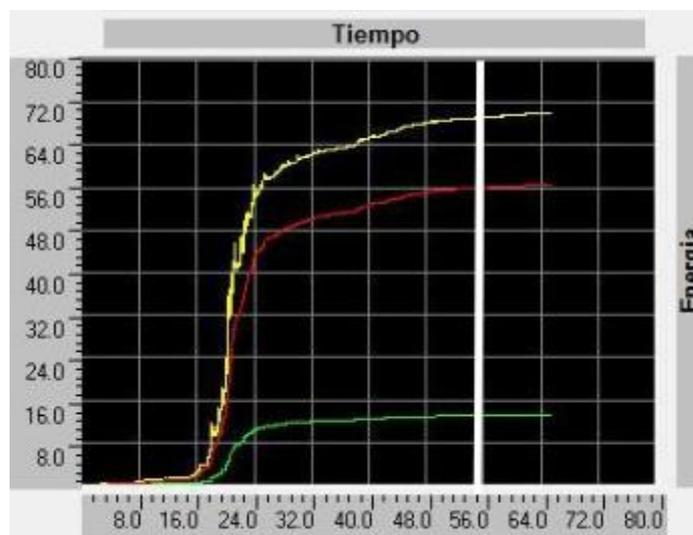
Considerando %% de amortiguamiento:

$$\beta_{eff} = 20.41\%$$

Balance de energía

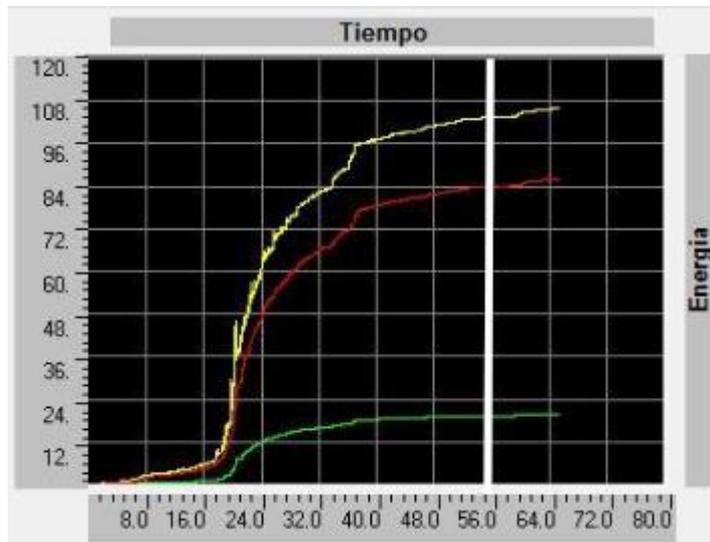
La incorporación de los dispositivos sísmicos para la disipación de energía, se observa en el gráfico Etabs nos proporciona para cada registro.

Registro 6610N08



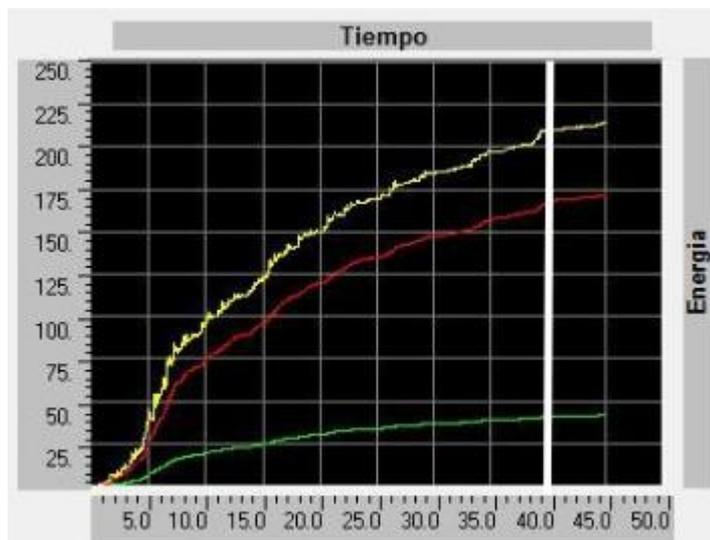
$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{56.82}{70.02} = 81.15\%$$

Registro 6610N82



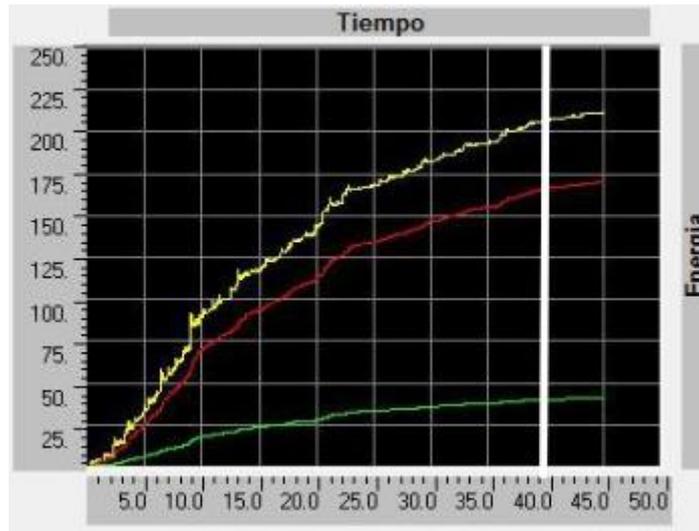
$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{86.20}{105.92} = 81.38\%$$

Registro 7005N08



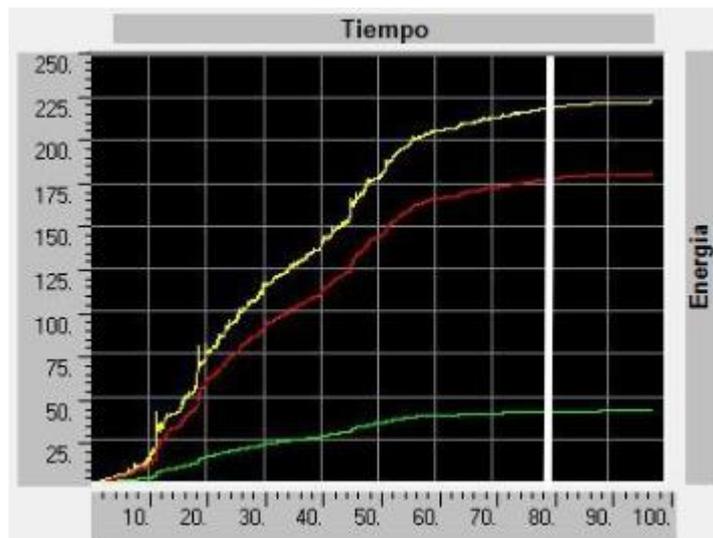
$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{172.57}{214.19} = 80.57\%$$

Registro 7005N82



$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{170.68}{211.68} = 80.63\%$$

Registro 7410N08



$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{180.94}{222.58} = 81.29\%$$

Registro 7410N82



$$(\%) \text{ Disipado: } \frac{302.03}{379.88} = 79.51\%$$

Energía sísmica (Input Energy)

Energía Estructural- Modal (MDamp Energy)

Energía de amortiguación (NDamp Energy)

### Curva de Histéresis

A continuación, se muestran los gráficos del comportamiento fuerza- desplazamiento del disipador. La forma de la curva es semi-elíptica.

Se observa la inclinación de la curva, que mantiene pre-definida los dispositivos de fluido viscoso.

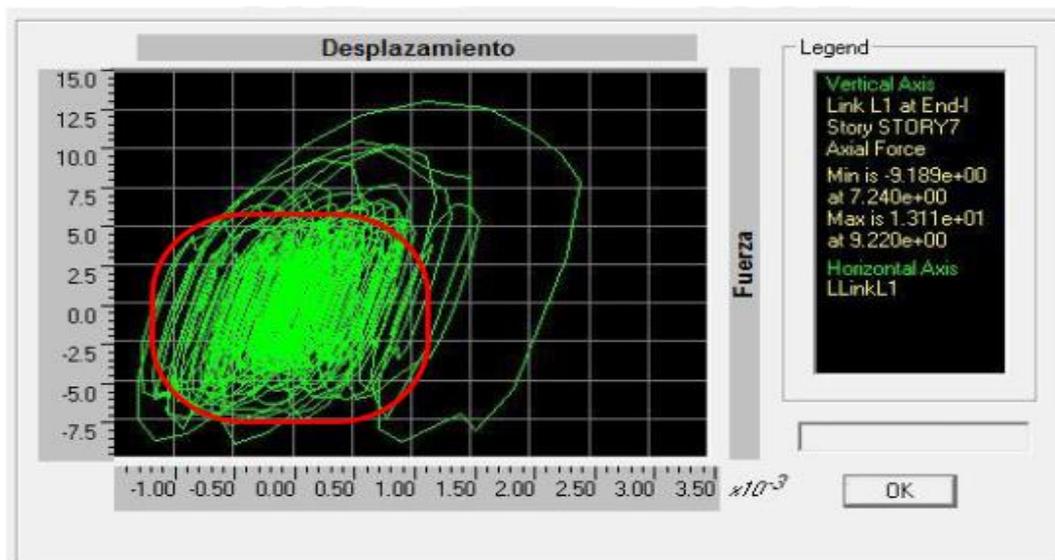
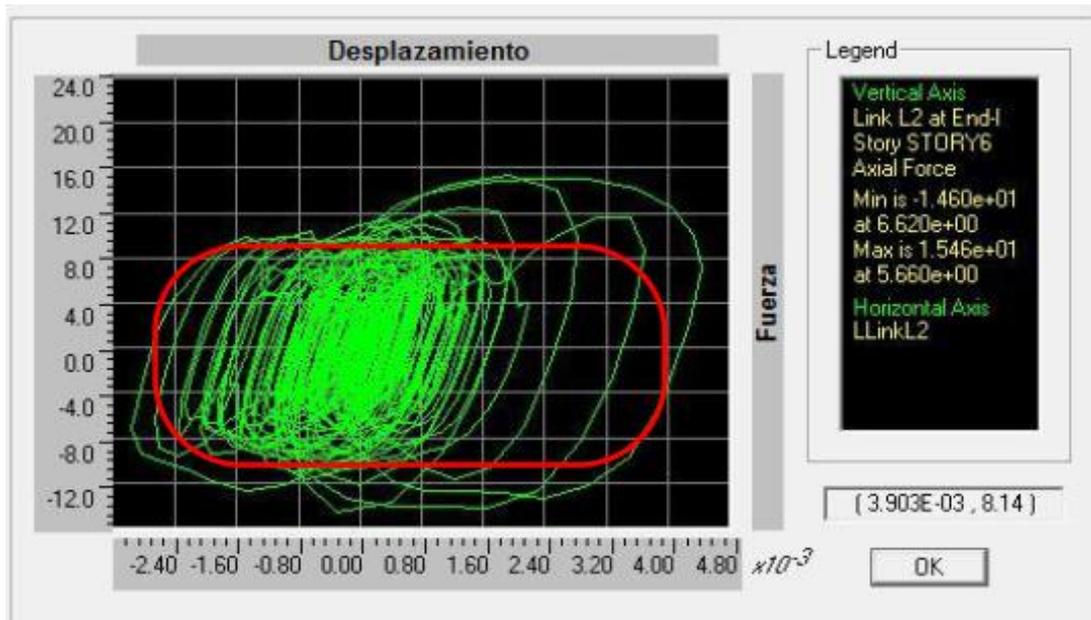


Figura 37. Disp. Line L1- Sismo 1970



**Figura 38.** Curva desplazamiento vs Fuerza- Curva histerética de disp.

### Análisis y discusión

Utilizando dispositivos de fluido viscos (lineales o no). Minimiza desplazamientos de nivel entre un 35-40%. Por lo que reduce similarmente en los ejes X-Y.



Figura 39. Amortiguadores no Lineales Eje X-X



Figura 40. Amortiguadores no Lineales Eje Y-Y

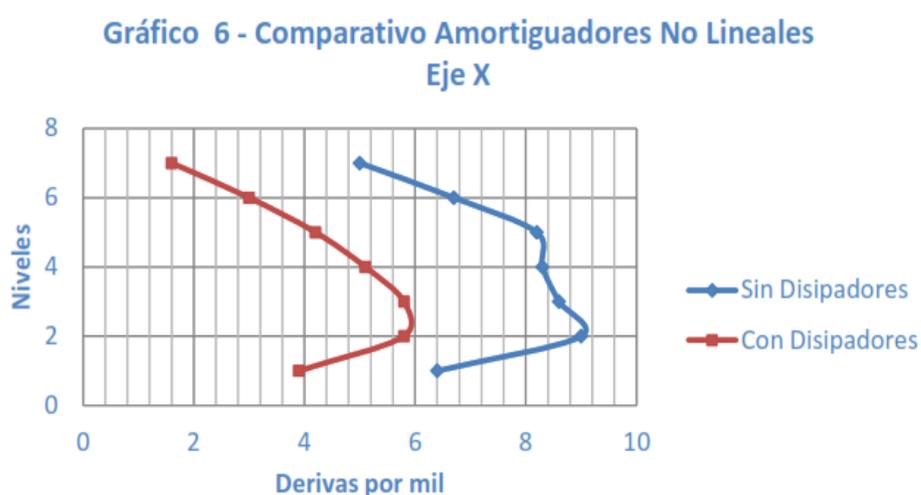
La reducción de desfases en cada nivel es mayor al utilizar disipadores no lineales, por lo que se observa en los resultados.

**Tabla 7**

*Comparación de desfases de entrepiso (1/1000)*

Comparando derivas de cada nivel (1/1000): Edificación sin dispositivos y con dispositivos en X.

Sistema con Amortiguación No Lineal			
Nivel	Sin dispositivos	Con dispositivos	Porcentaje reducido
7	5	1.60	68%
6	6.70	3.00	55%
5	8.20	4.20	49%
4	8.30	5.10	39%
3	8.60	5.80	33%
2	9.00	5.80	36%
1	6.40	3.90	39%



**Figura 41.** Comparativo Amortiguadores no Lineales eje X-X.

## Conclusiones

La capacidad de los sistemas de disipación controla desplazamientos, distorsiones, por lo cual también disminuyen esfuerzos cortantes, verificándose cada análisis en el presente trabajo de tesis. Teniendo en cuenta el estudio de dispositivos sísmicos Shear Link Bozzo, cuenta con una gran positiva capacidad de disipar energía sísmica de la edificación, que se realiza a través de la tensión inelástica de la red, caracterizándose por distribución uniforme de tensión en el área disipativa.

La banda se degrada, mientras los esfuerzos disipan de manera flexionante, por lo que cuenta con un sistema robusto para continuar disipando energía, tanto después de la degradación de la banda.

La calibración de relación fuerza- desplazamiento del modelo de cálculos paramétricos del sistema estructural, con respecto al análisis del modelo tratado en la tesis mostro una buena correlación utilizando una plastificad de endurecimiento isotrópico relativamente. Esta es una de las ventajas del dispositivo en comparación con otros dispositivos sísmicos basados en fricción o viscoso-elástico.

Este tipo de dispositivo puede utilizarse para la protección sísmica de edificaciones existente o proporcionar ductilidad a edificaciones nuevas, lo cual cumple la función de fallar si logramos incorporar en la edificación y en los modelos sísmicos.

## **Recomendaciones**

Para cumplir con la metodología, se tiene que cumplir con los requisitos solicitados por ASCE, con ello nos ayuda a optimizar el desarrollo para la estimación de “C”, con estructuras que poseen dispositivos de fluido viscoso.

Para lograr un comportamiento óptimo en los dispositivos de fluido viscoso y que sea congruente con la arquitectura, debemos de colocar los dispositivos en la zona más alejada del centro de masa, por lo que así, este trabajaría en las zonas con máximas velocidades, siendo así un diseño óptimo y con alta efectividad.

## **Agradecimientos**

Agradecer en primer lugar a Dios, por permitirme lograr este último paso en mi carrera de Ingeniero en Perú. Agradecer también a mi hermosa familia por apoyarme en todo sentido y apostar por mi persona. Agradecer también a mi hija por ser mi motor y motivo para todo lo que me propongo, este logro no es mío, este logro es un logro familiar.

Esta dedicatoria también va dirigida para mis allegados que por causa de la pandemia nos tuvieron que dejar.

## Referencias bibliográficas

Anil K. Chopra (2015). Dinámica de Estructuras.

Bozzo, L.M.; Cahis, X., Torres Ll, A (1998) shear type energy dissipater for the protection of masonry infill walls. Proceedings of the Sixth U.S. National Conference on Earthquake Engineering.

Aguiar Falconí, Roberto (2008). Análisis sísmico de edificios. Centro de investigaciones científicas. Escuela politécnica del ejército. Quito-Ecuador.

American Society of civil Engineers (2010). Minimum design loads for buildings and other structures (asce-sei-7-10), Structural Engineerin Institute.EE.UU.

Bozzo, Luis M. - Barbat, Alex h. (2005). Diseño sísmoresistente de edificios técnicas convencionales y modernas. Editorial reverté. Barcelona-España

Taylor Devices INC(2018). Earthquake Protective Systems for Building, Bridges, and other Structures. North Tonawanda, NY.

ASCE (American Society of Civil Engineers). (2014). Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures, Standard ASCE/SEI 7-16. Fourth printing. ASCE, Reston, VA.

C. M. Piscal.; F.L. Almansa (2019). Aplicabilidad del código ASCE 7-16 para diseño de edificaciones con aislamiento sísmico en Colombia.

Minimum design loads for buildings and other structures, American Society of Civil Engineers, vol. 7.

## **ANEXO 1**

<https://www.youtube.com/watch?v=8A8p0iz0wuQ>

<https://www.youtube.com/watch?v=cFNpNaaVRWo>

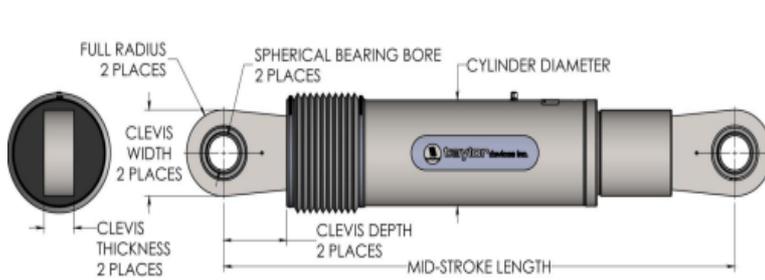
<https://www.youtube.com/watch?v=ne1wSQQRKpc>

## ANEXO 2

### TABLA DE DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO



#### FLUID VISCIOUS DAMPERS & LOCK-UP DEVICES CLEVIS – CLEVIS CONFIGURATION



NOTE:  
VARIOUS STROKES ARE AVAILABLE, FROM ±2 TO ±36 IN.  
FORCE CAPACITY MAY BE REDUCED FOR STROKE  
LONGER THAN STROKE LISTED IN THE TABLE. ANY  
STROKE CHANGE FROM THE STANDARD STROKE  
VERSION DEPICTED CHANGES THE MIDSTROKE  
LENGTH BY 5 IN. PER ±1 IN. OF STROKE.

EXAMPLE: 220 KIP±4 IN STROKE, MID-STROKE LG IS 48.75  
220 KIP ±5 INCHES STROKE, 6-4±2, 2\*5±10  
48.75±10 = 58.75 INCHES MID-STROKE LENGTH

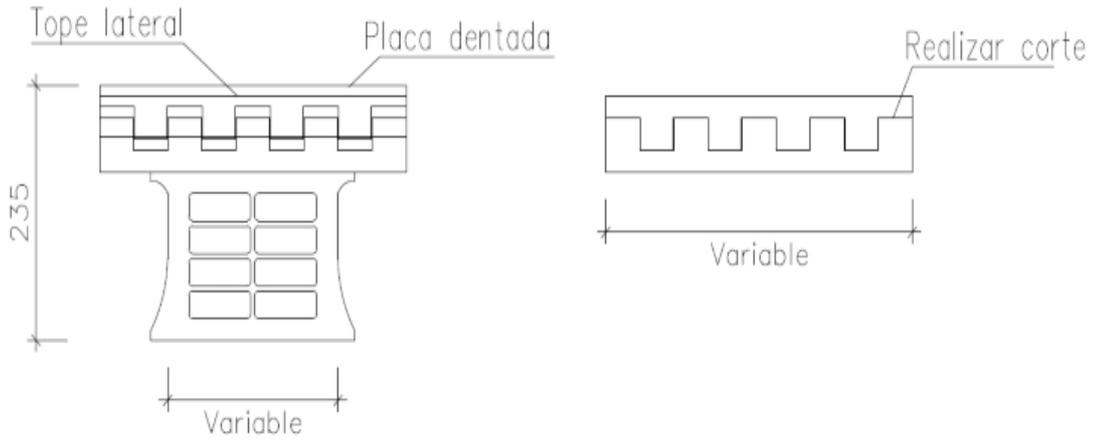
BELLOWS MAY BE REPLACED WITH A STEEL SLEEVE AS  
DESIRED STROKE LENGTHS INCREASE. CONSULT  
TAYLOR DEVICES FOR STROKE OVER ±12 INCHES  
AND/OR FOR FORCE CAPACITIES FOR STROKE LONGER  
THAN LISTED IN TABLE.

FORCE (KIP)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (IN)	MID-STROKE LENGTH (IN)	STROKE (IN)	CLEVIS THICKNESS (IN)	BEARING THICKNESS (IN)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (IN)	CLEVIS DEPTH (IN)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (IN)	WEIGHT (LB)
55	17120	1.50	34.13	±3	1.67	1.31	4	3.25	4%	90
110	17130	2.00	42.00	±4	2.16	1.75	5	4.00	5%	180
165	17140	2.25	47.00	±4	2.31	1.97	6	5.10	7%	300
220	17150	2.75	48.75	±4	2.78	2.40	7%	5.88	8%	425
330	17160	3.00	51.75	±4	3.03	2.62	8	6.38	9%	550
440	17170	3.50	62.00	±5	3.56	3.06	9%	7.50	11%	900
715	17180	4.00	62.00	±5	4.60/4.38*	3.50	11%/12%*	9.00/8.25*	13%	1550
900	17190	5.00	74.00	±5	5.56	4.38	12%	10.75	16%	2700
1450	17200	6.00	84.00	±5	6.06	4.75	13%	12.00	20%	4100
1800	17210	7.00	90.25	±5	7.00	5.25	16%	13.50	22%	5500

\* DENOTES MODEL WITH DIFFERENT CLEVIS SIZES ON EACH END.  
MADE IN USA

### ANEXO 3

#### TABLAS DE DISIPADORES SHEAR LINK BOZZO



Donde:

K1: Rigidez inicial

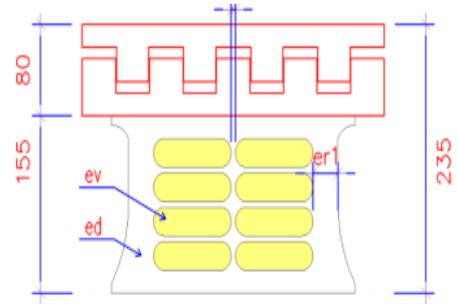
K2: Rigidez post-plastificación

Dy: Desplazamiento de plastificación

Fy=Fuerza de plastificación

Fmáx: Fuerza máxima

Ed: Energía disipada.



Parámetros de diseño para los disipadores SHEAR LINK BOZZO										
Dispositivo	ed (mm)	er1 (mm)	er2 (mm)	ev (mm)	K <sub>1</sub> (KN/cm)	K <sub>2</sub> (KN/cm)	D <sub>y</sub> (mm)	F <sub>y</sub> (KN)	F <sub>Máx</sub> (KN)	E <sub>D</sub> (KN.cm)
SLB2 6_2	19	13	-	2	363.33	9.75	0.980	35.60	69.01	87.08
SLB2 6_3	19	13	-	3	397.80	10.75	1.031	41.00	79.21	99.25
SLB2 6_4	19	13	-	4	421.73	11.65	1.065	44.90	88.58	108.31
SLB2 6_5	19	13	-	5	439.60	12.78	1.078	47.40	96.67	115.18
SLB2 8_2	19	15	-	2	592.87	13.86	0.811	48.10	92.76	119.78
SLB2 8_3	19	15	-	3	676.27	15.38	0.858	58.00	107.57	141.77
SLB2 8_4	19	15	-	4	737.00	16.28	0.900	66.30	120.87	159.39
SLB2 8_5	19	15	-	5	784.27	17.43	0.927	72.70	133.29	173.71
SLB2 10_2	19	20	-	2	893.40	19.15	0.761	68.00	128.71	168.89
SLB2 10_3	19	20	-	3	1039.13	21.57	0.780	81.10	148.63	198.84
SLB2 10_4	19	20	-	4	1149.53	22.96	0.809	93.00	166.26	224.54
SLB2 10_5	19	20	-	5	1237.80	14.93	0.906	112.20	182.26	246.55
SLB2 15_2	19	20	-	2	1571.47	31.17	0.648	101.80	199.61	258.66
SLB2 15_3	19	20	-	3	1961.47	37.36	0.643	126.10	240.45	318.16
SLB2 15_4	19	20	-	4	2290.27	42.03	0.654	149.70	276.57	373.16
SLB2 15_5	19	20	-	5	2575.60	45.69	0.670	172.50	310.13	424.52
SLB2 20_2	19	25	5	2	2073.33	37.83	0.601	124.60	243.14	316.64
SLB2 20_3	19	25	5	3	2630.13	46.27	0.597	156.90	298.30	396.26
SLB2 20_4	19	25	5	4	3105.53	53.03	0.606	188.30	348.53	470.63
SLB2 20_5	19	25	5	5	3520.20	58.63	0.620	218.40	395.71	540.18
SLB3 25_2	25	30	5	2	3214.07	58.98	0.606	194.80	383.50	494.69
SLB3 25_3	25	30	5	3	4046.67	70.69	0.589	238.20	457.15	602.54
SLB3 25_4	25	30	5	4	4783.20	81.04	0.585	279.60	526.49	703.70
SLB3 25_5	25	30	5	5	5447.47	90.85	0.586	319.00	592.39	799.88
SLB3 25_6	25	30	5	6	6064.13	99.65	0.589	357.10	655.63	891.48
SLB3 25_7	25	30	5	7	6644.13	107.41	0.594	394.50	716.83	979.51
SLB3 25_8	25	30	5	8	7191.47	114.57	0.599	430.70	776.40	1064.12
SLB3 25_9	25	30	5	9	7711.07	120.73	0.605	466.40	834.90	1145.71
SLB3 30_2	25	30	5	2	3666.73	64.22	0.578	212.10	415.33	539.19
SLB3 30_3	25	30	5	3	4717.00	78.76	0.563	265.70	507.23	672.79
SLB3 30_4	25	30	5	4	5661.33	92.21	0.560	316.90	594.62	799.16
SLB3 30_5	25	30	5	5	6525.67	104.99	0.561	366.10	678.62	920.34
SLB3 30_6	25	30	5	6	7336.60	116.45	0.565	414.20	759.77	1036.63
SLB3 30_7	25	30	5	7	8106.07	126.92	0.569	461.30	838.79	1149.06
SLB3 30_8	25	30	5	8	8840.00	135.98	0.575	508.00	915.50	1257.99
SLB3 30_9	25	30	5	9	9542.20	145.74	0.579	552.50	992.12	1363.85
SLB3 40_2	25	30	5	2	4571.07	76.44	0.543	248.30	482.60	634.54
SLB3 40_3	25	30	5	3	6043.67	97.23	0.531	321.00	609.64	817.79
SLB3 40_4	25	30	5	4	7393.67	116.17	0.530	391.60	732.20	993.03
SLB3 40_5	25	30	5	5	8650.00	133.79	0.533	460.80	851.48	1162.82
SLB3 40_6	25	30	5	6	9843.00	149.92	0.537	528.70	967.95	1327.13
SLB3 40_7	25	30	5	7	10988.00	165.19	0.542	595.40	1082.30	1487.36
SLB3 40_8	25	30	5	8	12091.27	179.81	0.547	660.90	1195.00	1643.93
SLB3 40_9	25	30	5	9	13156.07	194.00	0.551	725.10	1306.30	1797.11
SLB3 50_2	25	30	5	2	5479.60	88.67	0.520	284.90	551.27	730.67
SLB3 50_3	25	30	5	3	7367.13	114.64	0.512	377.50	713.65	963.00
SLB3 50_4	25	30	5	4	9116.00	138.30	0.513	468.10	871.40	1186.77
SLB3 50_5	25	30	5	5	10759.13	160.81	0.518	557.00	1025.70	1404.77
SLB3 50_6	25	30	5	6	12328.87	181.80	0.523	644.40	1177.30	1616.83
SLB3 50_7	25	30	5	7	13844.20	202.03	0.528	730.30	1326.80	1824.36
SLB3 50_8	25	30	5	8	15312.67	221.80	0.532	814.70	1474.50	2028.05
SLB3 50_9	25	30	5	9	16737.00	241.37	0.536	897.70	1621.20	2228.51