



**UNIVERSIDAD NACIONAL
"SANTIAGO ANTÚNEZ DE MAYOLO"
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil

**ANALISIS COMPARATIVO DEL
COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CPU-
UNASAM CON DISIPADORES DE ENERGIA DE
FLUIDO VISCOSO**

**TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL
DE INGENIERO CIVIL**

**PRESENTADO POR EL BACHILLER:
Leslie Caroll Huerta Ramírez**

**Asesor:
Ing. Luis Alberto Ita Robles**

**Huaraz – Perú
2017**

DEDICATORIA

A mi madre querida, Luisa:

Por la fortaleza que irradia en los momentos difíciles, por su confianza en mí y su gran amor maternal.

AGRADECIMIENTO

Al Dios Universal:
Por su infinita bondad y sabiduría.

INDICE

DEDICATORIA	ii
AGRADECIMIENTO	iii
INDICE	iv
RESUMEN	vi
ABSTRACT	vii
INTRODUCCION	viii
CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION	9
1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA	9
1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA	9
1.3. JUSTIFICACION	10
1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES	10
1.4.1. HIPOTESIS	10
1.4.2. VARIABLES	10
1.5. DEFINICION DE TERMINOS	10
1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION	13
1.6.1. OBJETIVO GENERAL	13
1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
CAPITULO II. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL	14
2.1. DEFINICION	14
2.2. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO SISMICO	14
2.3. FILOSOFIA DEL DISEÑO SISMO RESISTENTE	15
2.4. NORMATIVIDAD EN EL DISEÑO SISMO RESISTENTE EN EL PERU	15
CAPITULO III. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA	16
3.1. DESEMPEÑO SISMO-RESISTENTE	16
3.2. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA	18
3.3. DISIPACION DE ENERGIA	19
3.3.1. PRINCIPIOS GENERALES DE LA DISIPACION DE ENERGIA	19
3.3.2. DISPOSITIVOS DE CONTROL DE RESPUESTA SISMICA	21
3.3.2.1. SISTEMAS DE CONTROL PASIVO	21
3.4. DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO	27
3.4.1. ECUACION GENERAL	27
3.4.2. DETALLES DE LOS DISPOSITIVOS	30
3.4.3. DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS	32
3.4.4. CRITERIOS DE UBICACION	33
3.4.5. CONFIGURACION DE LOS DISPOSITIVOS	33
3.4.6. FABRICANTES	35
CAPITULO IV. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION	38
4.1. PERSPECTIVA METODOLOGIA Y TIPO DE INVESTIGACION	38
4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION	38
4.3. LIMITES DE LA INVESTIGACION	38
4.4. CONTEXTO Y UNIDAD DE ANALISIS: POBLACION Y MUESTRA	38
CAPITULO V. ANALISIS ESTRUCTURAL DEL CPU-UNASAM	39
5.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO	39
5.1.1. UBICACION	39
5.1.2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA	41
5.1.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES	43
5.1.4. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS	44
5.1.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES	44
5.1.6. CARGAS CONSIDERADAS	45
5.2. ANALISIS ESTATICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES	46

5.2.1.	PARAMETROS SISMICOS	46
5.2.2.	FUERZA CORTANTE EN LA BASE	49
5.2.3.	CONTROL DE DISTORSION DE ENTREPISO	54
5.3.	ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL	56
5.3.1.	PARAMETROS SISMICOS	56
5.3.2.	ESPECTRO INELASTICO DE PSEUDOACELERACIONES	56
5.3.3.	DEFINICION DE CASO DE CARGA DINAMICA	57
5.3.4.	CONTROL DE DISTORSION DE ENTREPISO	60
CAPITULO VI.	DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO	62
6.1.	AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO	62
6.2.	CALCULO DE LAS PROPIEDADES DEL DISIPADOR	63
6.3.	RESPUESTA ESTRUCTURAL CON DISIPADORES	69
6.3.1.	DERIVAS DE ENTREPISO CON DISIPADORES DE ENERGIA	69
6.4.	DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO	71
6.4.1.	AGRUPAMIENTO DE DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA	71
6.4.2.	ELECCION DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA	72
6.4.3.	DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE ACERO	74
6.4.3.1.	DISEÑO DEL BRAZO METALICO	74
6.4.3.2.	DISEÑO DE LA CONEXIÓN BRAZO METALICO- DISIPADOR VISCOSO	76
6.4.3.3.	DISEÑO DEL PERNO DE CONEXION	82
6.4.3.4.	DISEÑO DE LA BARRA DE CONEXION	85
6.4.3.5.	DISEÑO DE LOS PERNOS DE ANCLAJE	87
CAPITULO VII.	EVALUACION DE RESULTADOS	95
7.1.	DESPLAZAMIENTO DE LOS CENTROS DE MASA	95
7.2.	DERIVAS DE ENTREPISO	95
7.3.	ESFUERZOS MAXIMOS EN LOS ELEMENTOS DE CORTE	97
7.4.	MODOS Y PERIODOS DE VIBRACION DE LA ESTRUCTURA	101
CAPITULO VIII.	CONTRASTACION DE HIPOTESIS	102
	CONCLUSIONES	103
	RECOMENDACIONES	105
	REFERENCIA BIBLIOGRAFICA	106
	ANEXOS	108

RESUMEN

En los últimos años se han registrado muchos eventos sísmicos severos alrededor del mundo, dichos eventos sísmicos hacen que las estructuras sufran grandes daños debido a las incursiones inelásticas que sufren, por ello es necesario el uso de sistemas de reforzamiento sísmico con la finalidad de aminorar los daños como la inclusión de los disipadores de energía de fluido viscoso.

La presente investigación muestra características de diferentes sistemas de protección sísmica centrándose en los disipadores de energía de fluido viscoso y su influencia en el comportamiento estructural de nuestra muestra que es la estructura del CPU-UNASAM, edificación con un sistema de muros estructurales ubicado en el barrio de Centenario, distrito de Independencia- Huaraz, cuya deriva dinámica de entrepiso en el eje X-X (0.85%) en el tercer nivel supera el límite permitido por la norma NTE E-030 (0.70%).

Se evaluó la influencia de los disipadores de energía de fluido viscoso en el comportamiento estructural de la muestra con una deriva objetivo de 0.0056 que limita a un estado de daño moderado de la estructura.

Se estudiaron alternativas de arreglo y ubicación de los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso, eligiéndose como mejor alternativa la ubicación de dispositivos en la dirección X (ejes 4 y 8) con arreglo diagonal, consistiendo un total de 10 dispositivos empleados.

Con la incorporación de disipadores de energía en la edificación, se observó una disminución de la deriva de entrepiso en el eje X hasta un 33.35% y en el eje Y del 6.54%, disminución de los desplazamientos del centro de masa hasta un 35.77%, disminución significativa en las fuerzas internas y momento flector de los elementos estructurales.

Los resultados muestran que la edificación del CPU-UNASAM, con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso, tiene un mejor comportamiento estructural frente a un sismo severo que sin la inclusión de este sistema de protección sísmica, resultando, además, una solución efectiva para reducir costos en reparación ya que disminuya la propagación de daños en el marco convencional y facilita el reemplazo de los dispositivos una vez utilizados y dañados.

PALABRAS CLAVE:

BASE, CARGA, CARGA MUERTA, CARGA VIVA, CIMENTACION, DIAFRAGMA, ECONOMIA, ENVOLVENTE DE MOMENTOS, ESTRUCTURA, FATIGA, FLUENCIA, FUERZA CORTANTE EN LA BASE, RESPUESTA SISMICA, SEGURIDAD, SISMO, SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL, SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

ABSTRACT

In recent years there have been many severe seismic events around the world, these seismic events cause the structures suffer great damage due to the inelastic incursions that suffer, therefore it is necessary to use seismic reinforcement systems in order to reduce the damages such as the inclusion of viscous fluid energy dissipaters.

The present investigation shows characteristics of different systems of seismic protection focusing on the dissipaters of viscous fluid energy and its influence on the structural behavior of our sample that is the structure of the CPU-UNASAM, building with a system of structural walls located in the neighborhood of Centenario, district of Independencia-Huaraz, whose dynamic drift of mezzanine on the XX axis (0.85%) in the third level exceeds the limit allowed by the NTE E-030 standard (0.70%).

The influence of viscous fluid energy dissipaters on the structural behavior of the sample with an objective drift of 0.0056 that limits a state of moderate structure damage was evaluated.

Alternatives for the arrangement and location of the viscous fluid energy dissipation devices were studied, choosing as the best alternative the location of devices in the X direction (axes 4 and 8) with a diagonal arrangement, consisting of a total of 10 devices used.

With the incorporation of energy dissipaters in the building, a decrease of the mezzanine drift in the X axis was observed up to 33.35% and in the Y axis of 6.54%, decrease in the displacements of the center of mass to 35.77%, significant decrease in internal forces and bending moment of the structural elements.

The results show that the construction of the CPU-UNASAM, with the inclusion of viscous fluid energy dissipaters, has a better structural behavior against a severe earthquake than without the inclusion of this seismic protection system, resulting, in addition, an effective solution to reduce costs in repair and to reduce the spread of damage in the conventional framework and facilitate the replacement of devices once used and damaged.

KEYWORDS:

BASE, LOAD, DEAD LOAD, LIVE LOAD, FOUNDATION, DIAPHRAGM, ECONOMY, ENVELOPE OF MOMENTS, STRUCTURE, FATIGUE, FLUENCY, CUTTING FORCE AT THE BASE, SEISMIC RESPONSE, SECURITY, EARTHQUAKE, DUAL STRUCTURAL SYSTEM, PASSIVE CONTROL SYSTEMS

INTRODUCCION

Los eventos sísmicos afectan a las estructuras sometiéndolas a grandes fuerzas externas que las hace incursionar en el rango inelástico, es aquí donde los elementos estructurales sufren deformaciones importantes y fallan, llegando en muchos casos al colapso de la estructura, significando pérdidas irreparables de vidas humanas y significativas pérdidas económicas. Para evitar que las estructuras colapsen debido a fuertes solicitaciones externas, como los sismos severos, vientos, etc. Surgen sistemas modernos de protección sísmica y entre los importantes existen los disipadores de energía que aumenta el amortiguamiento de la estructura y optimiza el comportamiento estructural global.

Los sistemas de disipación de energía se vienen usando desde hace aproximadamente cincuenta años en diversas aplicaciones en la industria militar y pesada. En 1990 se empezaron a comercializar gracias al esfuerzo del US Multi-disciplinary Center (Douglas P. Taylor. Seismic Dampers for the Torre Mayor Project), siendo la Torre Mayor en la ciudad de México uno de los primeros edificios en ser construido con disipadores fluidoviscosos en Latinoamérica; dicho edificio ha tenido un comportamiento satisfactorio frente a varios eventos sísmicos a lo largo de su vida útil, siendo el más significativo el terremoto del 21 de enero del 2003 con una magnitud de 7.6.

Actualmente se vienen usando los Disipadores Fluido Viscosos (DFV) en muchos países tales como Japón, Taiwan, China, entre otros y la historia de su uso prueba la capacidad de estos sistemas de reducir la demanda sísmica sobre las diferentes edificaciones.

En los edificios aporricados estos dispositivos suelen ser muy efectivos para el control de la deriva y la reducción de las solicitaciones internas en los elementos estructurales. En el mercado local ya se encuentran disponibles dispositivos de amortiguamiento y es de esperar que paulatinamente se vayan incorporando en el proyecto de nuevas edificaciones.

CAPITULO I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACION

1.1. SITUACION PROBLEMÁTICA

El Perú se ubica en una de las regiones de mayor actividad sísmica, al borde occidental de Sudamérica donde se produce la subducción de la Placa de Nazca y Placa de Sudamérica, por lo cual estamos expuestos a una gran pérdida de vidas humanas y pérdidas económicas.

El alto riesgo sísmico de nuestro país demanda que las estructuras cumplan con un diseño sismo resistente, esto es, que las estructuras tengan elementos de mayor sección y ductilidad llevando a mayores costos de producción y limitaciones arquitectónicas, esta necesidad de incrementar tanto la resistencia como la capacidad de deformación y la disipación de energía en estructuras sujetas a sollicitaciones sísmicas abre un amplio campo de investigación del empleo de los disipadores de energía para mejorar la respuesta sísmica y el control de daño en estructuras como edificios, puentes, y otras.

Por otro lado, el estudio de los disipadores permite también enfocarlos al reforzamiento de estructuras, como el uso de dispositivos de fluido viscoso tipo Taylor en edificios existentes para mejorar su comportamiento estructural.

El edificio del CPU – UNASAM, es una estructura destinada a las actividades de enseñanza pre universitaria que desarrolla la Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo, esta estructura tiene las siguientes características.

- Área en planta: 270.80 m²
- Diseño estructural sismo resistente con la norma e.030 2003
- Sistema estructural: Muros estructurales
- Niveles: 06 niveles y azotea

El día Domingo 24 de enero del 2016, a través del Diario El Peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento publica el DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA LA NORMA TECNICA E030 "DISEÑO SISMORRESISTENTE" DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, APROBADA POR EL DECRETO SUPREMO N°011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON DECRETO SUPREMO N°002-2014-VIVIENDA, a través del cual se contemplan nuevos parámetros que se deben considerar para incluir disipadores o aisladores de energía al diseño sismo-resistente.

En la actual investigación se analizará el comportamiento estructural del CPU UNASAM con la norma técnica E.030 actualizada con la finalidad de reforzarla con disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor y verificar la disminución de desplazamientos de centros de masa, derivas de entrepiso y fuerzas internas en los elementos estructurales frente a un sismo severo.

1.2. FORMULACION DEL PROBLEMA

En función a lo manifestado anteriormente, se plantea el siguiente problema:

¿Cuál es la diferencia del comportamiento estructural del CPU-UNASAM con la inclusión y sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso?

1.3. JUSTIFICACION

Durante la ocurrencia de un sismo severo, las estructuras de concreto reforzado pueden llegar a presentar un comportamiento inelástico ocasionando daños estructurales importantes provocados por las deformaciones plásticas que sufre la estructura como medio de disipación de niveles elevados de energía entrante a la estructura. Por ello se incorporan disipadores de energía de fluido viscoso que absorban una porción importante de la energía sísmica de entrada, reduciendo con ello la demanda de disipación de energía en los elementos estructurales principales y así poder minimizar un posible daño estructural.

La inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso permite la disminución de desplazamientos de centro de masa, derivas de entrepiso, fuerzas internas en los elementos estructurales, etc. Demostrando ser un método efectivo de control de respuesta estructural frente a un sismo severo.

Es así que la presente tesis servirá como guía para futuras investigaciones ya que el uso de disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor es una alternativa de refuerzo estructural novedosa en nuestra ciudad, aportará también y de forma significativa al comportamiento estructural de edificaciones como ocurre con nuestra muestra, la edificación del CPU-UNASAM, disminuyendo su probabilidad de colapso y así salvaguardando vidas y disminuyendo los costos de reparación.

1.4. HIPOTESIS Y VARIABLES

1.4.1. HIPOTESIS

El comportamiento estructural del CPU-UNASAM es más eficiente con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso que sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso.

1.4.2. VARIABLES

- COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL DEL CPU-UNASAM

1.5. DEFINICION DE TERMINOS

BASE

Corzo (2005) señala: “Es el nivel en el cual se considera que el movimiento sísmico se transmite a la estructura; o, el nivel de empotramiento de la misma actuando como un vibrador dinámico.”

CARGA

Según la Norma Técnica E020 (2006): “Es la fuerza u otras acciones que resulten del peso de los materiales de construcción, ocupantes y sus pertenencias, efectos del medio ambiente, movimientos diferenciales y cambios dimensionales restringidos”.

CARGA MUERTA

“Es el peso de los materiales, dispositivos de servicio, equipos, tabiques y otros elementos soportados por la edificación, incluyendo su peso propio, que se propone sean permanentes o con una variación en su magnitud, pequeña en el tiempo.” Norma Técnica E020 (2006).

CARGA VIVA

“Es el peso de todos los ocupantes, materiales, equipos, muebles y otros elementos movibles soportados por la edificación.” Norma Técnica E020 (2006).

CIMENTACION

Según Corzo (2005): “Subestructura destinada a soportar el peso de la construcción que gravitará sobre ella, la cual transmitirá sobre el terreno las cargas correspondientes de una forma estable y segura.”

DIAFRAMA

Corzo (2005) indica: “Es un sistema horizontal o casi horizontal que transmite las fuerzas laterales a los elementos verticales resistentes. El término Diafragma incluye un sistema arriostrado horizontal.”

ECONOMIA

Llopiz (2010) señala: “Para que una construcción sea eficiente no basta que sea solamente funcional y segura, sino que también debe tener un costo razonable. En la medida que el proyecto de arquitectura pueda ser resuelto a través de una estructura simple, limpia y también agradable a la vista, y que además permita que los conflictos antes mencionados ni pongan en peligro la estabilidad del edificio ni provoquen daños ante sucesivos movimientos sísmicos, la solución estructural será más predecible y resultará con un factor de seguridad mayor y menores costos asociados...”

ENVOLVENTE DE MOMENTOS

Corzo (2005) señala: “Diagrama de momentos, donde se superponen los momentos producidos en la estructura de por las combinaciones de cargas, para determinar cuáles son los momentos críticos y proceder a diseñar los elementos de la estructura con ellos.”

ESTRUCTURA

Según Corzo (2005): “Ordenamiento de un conjunto de elementos encargado de resistir los efectos de las fuerzas externas de un cuerpo físico. También, se le llama a un sistema de elementos que se combinan de una forma ordenada para cumplir una función determinada, por ejemplo: cubrir una longitud, contener un empuje de tierras, cubrir un techo, conducir un caudal determinado, etc.”

FATIGA

Según Corzo (2005): “Estado que presenta un material después de estar sometido a esfuerzos de forma repetida, por encima de su límite de tenacidad.”

FLUENCIA

Corzo (2005) señala: “Fenómeno que se caracteriza porque un material sufra grandes deformaciones al ser sometido a un esfuerzo constante antes de producirse la falla. Como es el caso del acero a refuerzo.”

FUERZA CORTANTE EN LA BASE

Según la Norma Técnica E030 (2016): “La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada”

RESPUESTA SISMICA

Según Vezga (citado en Ochoa y Romero 2013): “Es el comportamiento de un edificio sometido a movimiento de su base producto de un movimiento sísmico. El movimiento es producto de una combinación de formas o modos de vibración que describe los desplazamientos de cada nivel bajo una determinada frecuencia o periodo de vibración (T seg). El periodo de vibración en el movimiento de la estructura, es el tiempo que tarda el edificio en pasar por la misma posición”

SEGURIDAD

Según Llopiz (2010): “La otra condición fundamental que deben satisfacer las construcciones es la seguridad. Se podría aducir con respecto a este requisito que, dado cualquier proyecto arquitectónico, siempre y cuando se satisfagan las condiciones de estabilidad, de rigidez, resistencia, se apliquen los reglamentos pertinentes, se trabaje con los coeficientes de seguridad adecuados y se ejecute la obra en forma adecuada, debería resultar una construcción con riesgo cero o de muy baja probabilidad de falla.”

SISMO

Según Vezga (citado en Ochoa y Romero 2013): “Los sismos, terremotos o temblores, son movimientos del terreno debidos al paso de ondas de esfuerzo que se originan por la ruptura de rocas sujetas a esfuerzos y al deslizamiento de una falla sísmica. Pueden ocurrir en cualquier parte del mundo, pero con mucha mayor frecuencia, en ciertas regiones tales como el anillo circumpacífico y el cinturón que se extiende desde el Himalaya, pasando por Irán y Turquía hasta el Mar Mediterráneo”

SISTEMA ESTRUCTURAL DUAL

Según la Norma Técnica E030 (2016): “Las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales. La fuerza cortante que toman los muros esta entre 20% y 70% del cortante en la base dl edificio. Los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30% de la fuerza cortante en la base.”

SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Cahis i Carola (2000) señalan: “los dispositivos pasivos son elementos de carácter reactivo cuya respuesta no es controlable y depende únicamente de las condiciones de trabajo (o de contorno) en que se encuentren. Son sistemas que intervienen alterando las propiedades dinámicas del edificio, provocando una reducción de su respuesta estructural. Entre sus ventajas se encuentra su competitividad económica y la robustez de su comportamiento. Los sistemas de control pasivo pueden clasificarse en: i) sistemas de aislamiento de base, ii) sistemas disipativos y iii) sistemas inerciales acoplados.”

1.6. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACION

1.6.1. OBJETIVO GENERAL

Determinar la diferencia del comportamiento estructural del CPU-UNASAM con la inclusión y sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso.

1.6.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Determinar el comportamiento estructural del CPU-UNASAM sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso (estructura convencional).
- Diseñar y modelar los disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor en la edificación del CPU-UNASAM.
- Determinar el comportamiento estructural del CPU-UNASAM con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor.

CAPITULO II. COMPORTAMIENTO ESTRUCTURAL

2.1. DEFINICION

Es la respuesta de la estructura frente a sollicitaciones externas como los eventos sísmicos, en esta respuesta intervienen diversos factores como: intensidad, duración y frecuencia del movimiento, condiciones geológicas y de suelo, o calidad de la construcción.

Con la enseñanza de sismos pasados adquirimos conocimientos sobre el comportamiento estructural y de los mecanismos de falla, así como para adoptar medidas tendientes a reducir los desastres y minimizar las pérdidas.

2.2. ASPECTOS GENERALES DEL DISEÑO SISMICO

Rochel Awad, Roberto, señala: “Todo proyecto inicia con la identificación de una necesidad que requiere algún tipo de construcción para ser satisfecha y con la realización del estudio socioeconómico que demuestre su factibilidad.

El lugar donde se construirá la nueva edificación no suele estar en discusión, aunque sea en una zona de alta sismicidad. Toda edificación debe diseñarse y construirse con especificaciones que ofrezcan garantías en cuanto a su seguridad, funcionalidad, estética, factibilidad y economía.

La seguridad de una edificación es el factor más importante, y está relacionado con la capacidad de la estructura para resistir las cargas o sollicitaciones máximas posibles que puedan ocurrir durante su vida útil, sin incurrir en daños excesivos o en colapso parcial o total de la edificación.

Hay varios tipos de funcionabilidad, las más importantes son la arquitectónica y la estructural. La funcionabilidad arquitectónica está ligada a su función misma como edificio y a sus aspectos estéticos, que suponen una configuración o distribución de espacios y formas agradables con el fin de crear un ambiente positivo y productivo para la comunidad en la cual está localizado y para los usuarios que hacen uso directo de él.

La funcionabilidad estructural, por su parte, se relaciona con las limitaciones por las deformaciones, el fisuramiento y la vibración de los elementos estructurales, de ella depende que, durante su servicio normal, la edificación no dé la impresión de haber perdido su valor, porque se considera insegura y poco confortable.

Esta clase de funcionabilidad representa la respuesta de la edificación durante su vida útil, cuando es sometida a las cargas o sollicitaciones normales; mientras que la seguridad estructural se refiere al comportamiento de la edificación durante su vida total (incluyendo el tiempo de construcción, uso, reparaciones, etc.) cuando se somete a cargas excesivas, como son las cargas vivas altas, las laterales de sismos destructivos y las de vientos de alta velocidad, por otro lado, la configuración de una edificación, y sus detalles arquitectónicos y estructurales, son factores determinantes en su comportamiento e influyen en la manera como las fuerzas sísmicas se distribuyen en su altura, en la intensidad de esas fuerzas y en la interacción entre los miembros.”

2.3. FILOSOFIA DEL DISEÑO SISMO RESISTENTE

En los países donde el riesgo sísmico es alto, como ocurre con nuestro país, el diseño apropiado para resistir las cargas inducidas por terremotos es de vital importancia en cualquier edificación. Los investigadores y profesionales suelen estar de acuerdo en los siguientes criterios de diseño que permiten definir conceptualmente la acción sísmica:

- Las estructuras deben resistir, en el rango lineal elástico, todos aquellos sismos de intensidad reducida que ocurran durante su vida útil.
- Se permiten daños menores como algún fisuramiento a flexión en el hormigón y pequeñas incursiones de fluencia del acero de vigas y losas, o fallas en los elementos no estructurales cuya reparación económica sea rápida y factible.
- El nivel permitido de daños depende de la importancia de la edificación: si una edificación es vital para la supervivencia de la comunidad, como lo son los hospitales, centros de salud, plantas de energía, agua, teléfonos, etc., el nivel permitido de daños debe ser mínimo, para así garantizar su funcionamiento después de la ocurrencia de sismos destructivos.

2.4. NORMATIVIDAD EN EL DISEÑO SISMO RESISTENTE EN EL PERU

La norma técnica peruana E030 de diseño sismo-resistente abarca todo el campo de edificaciones y señala:

“La filosofía del Diseño Sismorresistente consiste en:

- a. Evitar pérdidas de vidas humanas
- b. Asegurar la continuidad de los servicios básicos.
- c. Minimizar los daños a la propiedad

Se reconoce que dar protección completa frente a todos los sismos no es técnica ni económicamente factible para la mayoría de las estructuras.

En concordancia con tal filosofía se establecen en la presente Norma los siguientes principios:

- a. La estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes, debido a movimientos sísmicos calificados como severos para el lugar del proyecto.
- b. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto, pudiendo experimentar daños reparables dentro de límites aceptables.
- c. Para las edificaciones esenciales, definidas en la Tabla N° 5, se tendrán consideraciones especiales orientadas a lograr que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.”

El día Domingo 24 de enero del 2016, a través del Diario El Peruano, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento publica el DECRETO SUPREMO QUE MODIFICA LA NORMA TECNICA E030 “DISEÑO SISMORRESISTENTE” DEL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES, APROBADA POR EL DECRETO SUPREMO N°011-2006-VIVIENDA, MODIFICADA CON DECRETO SUPREMO N°002-2014-VIVIENDA, a través del cual se contemplan modificaciones de los parámetro de diseño y permite el uso se sistemas de aislamiento sísmico o sistemas de disipación de energía en la edificación bajo ciertos parámetros y exige que la instalación de dichos sistemas sea bajo la supervisión técnica especializada de un ingeniero civil.

CAPITULO III. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA

3.1. DESEMPEÑO SISMO-RESISTENTE

OBJETIVOS DEL DESEMPEÑO SISMO RESISTENTE DE EDIFICACIONES

La seguridad de una edificación al colapso a consecuencia de grandes sismos no implica necesariamente un comportamiento adecuado de la estructura ante sismos de menor intensidad. Es por ello que se ve necesario incluir un escenario con múltiples niveles de desempeño con el objetivo de tener alternativas aceptables de evaluación.

Es así que, desarrollando estos conceptos, surgen las propuestas presentadas por la Sociedad de Ingenieros Estructurales de California (SEAOC), el ATC-40 publicado en 1996, el programa HAZUS 99, FEMA 273 y 274, entre otros.

Las propuestas señaladas difieren en detalles, pero se basan en los mismos conceptos. Para el desarrollo del presente trabajo, se empleará la propuesta del SEAOC a través del Comité VISION 2000, la cual fue desarrollada en el año 1995 y aparece en el apéndice G del libro Recommended Lateral Force Requirements and Commentary.

Según esta propuesta, el desempeño sísmico de las edificaciones se establece sobre tres conceptos: la severidad del sismo, el nivel de desempeño esperado y la importancia que tenga la edificación, relacionándolos mediante una matriz de desempeño.

NIVELES DE AMENAZA SÍSMICA

La propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) establece cuatro niveles de amenaza sísmica en función de su probabilidad de ocurrencia en un período de 50 años de exposición, o en función del período medio de retorno, los cuales se muestran en la Tabla 1:

Tabla 1.

Niveles de Amenaza Sísmica

Movimiento sísmico de diseño	Periodo de retorno	Probabilidad de excedencia
Frecuente	43 años	50% en 30 años
Ocasional	72 años	50% en 50 años
Raro	475 años	10% en 50 años
Muy raro	950 años	10% en 1000 años

Nota. Fuente: SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

NIVELES DE DESEMPEÑO

La propuesta del Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) define cinco niveles de desempeño resumidos en la Tabla 2:

Tabla 2.
Niveles de Desempeño

Nivel de desempeño	Descripción de los daños	Estado de daño	Límite de desplazamiento del Sistema
Totalmente Operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo.	Despreciable	Δy
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales. Las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.	Leve	$\Delta y + 0.30\Delta p$
Resguardo de Vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse, aunque no siempre sea económicamente aconsejable	Moderado	$\Delta y + 0.60\Delta p$
Cerca al Colapso	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar el colapso.	Extenso	$\Delta y + 0.80\Delta p$
Colapso	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación	Completo	$\Delta y + 1.00\Delta p$

Nota. Fuente: SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

A continuación, se muestra la curva de capacidad sectorizada en la Figura 1:

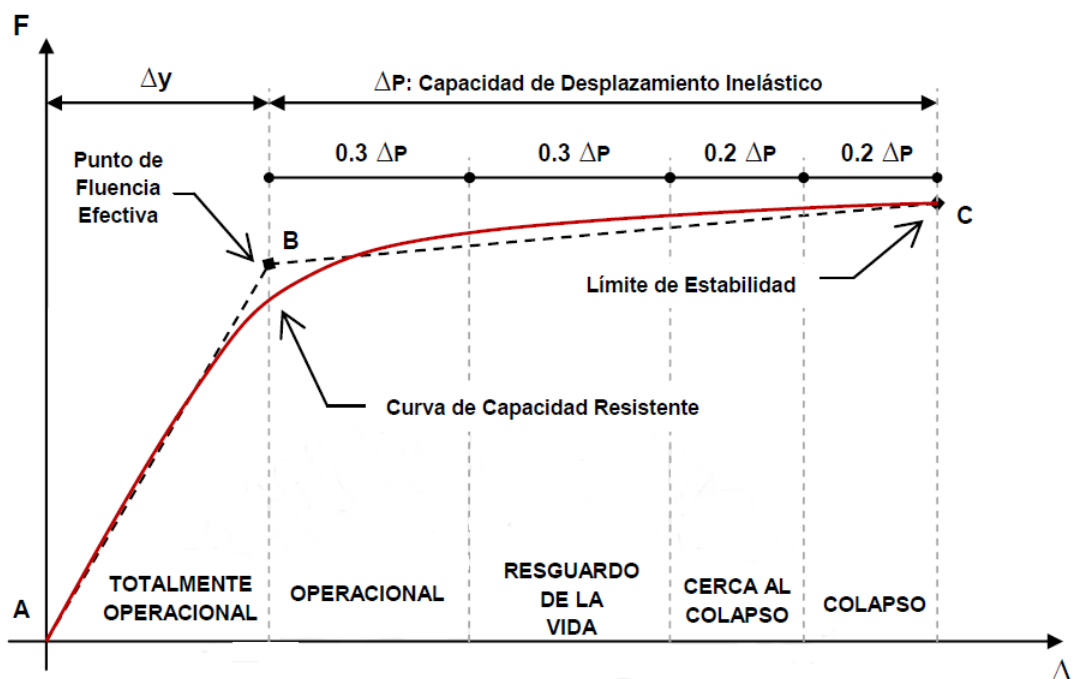


Figura 1. Curva de Capacidad Sectorizada
Fuente: SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

OBJETIVOS MÚLTIPLES DE DESEMPEÑO

La propuesta establecida por el Comité VISION 2000, señala lo siguiente:

“Los objetivos del desempeño Sismo resistente se definen por la combinación entre los niveles de desempeño deseados y los niveles de amenaza sísmica esperada de acuerdo a la importancia de la edificación.”

Estos objetivos se relacionan entre sí mediante la denominada matriz de desempeño, la cual establece los requerimientos mínimos sobre el desempeño sísmico antes los diferentes niveles de amenaza como muestra la Tabla 3:

Tabla 3.
Matriz de Desempeño

		Nivel de Desempeño de la Edificación			
		Totalmente Operacional	Operacional	Resguardo de vida	Cerca al colapso
Nivel de Demanda Sísmica	Sismos frecuentes (43 años)	Edificaciones Comunes			
	Sismos Ocasionales (72 años)	Edificaciones Esenciales	Edificaciones Comunes		
	Sismos Raros (475 años)	Edificaciones de Seguridad Crítica	Edificaciones Esenciales	Edificaciones Comunes	
	Sismos Muy raros (970 años)	Edificaciones de Seguridad Crítica	Edificaciones de Seguridad Crítica	Edificaciones Esenciales	Edificaciones Comunes

	Edificaciones Comunes
	Edificaciones Esenciales
	Edificaciones de Seguridad Crítica

Nota. Fuente: SEAOC Vision 2000 committee, 1995.

3.2. SISTEMAS DE PROTECCION SISMICA

Los sistemas de protección sísmica modifican las características estructurales que consisten en la combinación de rigidez, resistencia y capacidad de disipación de energía en el rango inelástico tomando como condición su ductilidad.

Existen dos formas de protección sísmica estructural que son: convencional y mediante la incorporación de sistemas de disipación y/o aisladores de energía. La primera es a base de un diseño estructural convencional que crea estructuras rígidas y dúctiles que puedan incursionar en el rango inelástico como por ejemplo el sistema estructural aporticado (columnas-vigas), dual (muros de corte), elementos de reforzamiento como los arrostramientos metálicos, etc. De tal manera que la estructura así diseñada pueda resistir diferentes sollicitaciones sísmicas; sin embargo, las estructuras diseñadas convencionalmente, al ser sometidas a sismos severos presentan un comportamiento inelástico que se caracteriza por la disipación de energía a través de deformaciones no recuperables que se agravan conforme la deriva de entrepiso se incrementa; teniendo como consecuencia daño estructural cuantioso e irreparable.

La segunda forma de protección sísmica es a través de la incorporación de sistemas de disipación de energía con el fin de disminuir los desplazamientos, velocidades y aceleraciones, es decir, mejoran el desempeño sísmico de la estructura ante un sismo severo.

3.3. DISIPACION DE ENERGIA

3.3.1. PRINCIPIOS GENERALES DE LA DISIPACION DE ENERGIA

El sismo transmite energía a la estructura, esta 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 balance de energía:

$$EI = E_S + E_K + E_d + E_H$$

Donde:

E_I : Energía de entrada durante el movimiento sísmico.

E_S : Energía de deformación elástica no disipada o recuperable.

E_K : Energía cinética.

E_d : Energía de amortiguamiento.

E_H : Energía de deformación plástica o histerética, irrecobrable disipada por el sistema estructural a través de la inelasticidad.

Para que el sistema estructural sea capaz de soportar las solicitaciones sísmicas, la capacidad de respuesta de esta debe ser mayor que la demanda sísmica.

Asumiendo que la energía de entrada es constante será evidente que existen dos alternativas para optimizar el desempeño estructural:

- A través del método convencional, es decir aumentando la rigidez y la ductilidad en el sistema, incrementando así la energía por deformación inelástica (E_H). Esto responde al diseño convencional en el que se trabaja en función de la resistencia y la ductilidad de la estructura para que logre un adecuado desempeño sísmico permitiendo cierto grado de daño en la estructura sin llegar al colapso.
- Incrementando el amortiguamiento interno (E_d) mediante la incorporación de dispositivos suplementarios colocados en lugares estratégicos. Esta alternativa consiste en la inclusión de dispositivos suplementarios a edificaciones nuevas o existentes para maximizar el amortiguamiento del sistema y así disipar parte de la energía inducida por el terremoto en elementos desechables que no forman parte del sistema estructural.

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.

En estructuras sin disipadores de energía, la energía de entrada es completamente absorbida por la estructura, en la Figura 2 se muestra dicho balance energético.

Si a la misma edificación se le incorporan dispositivos de disipación de energía, se observa que la energía de amortiguamiento aumenta, reduciendo a su vez la demanda de disipación de energía por ductilidad como se ve en la Figura 3.

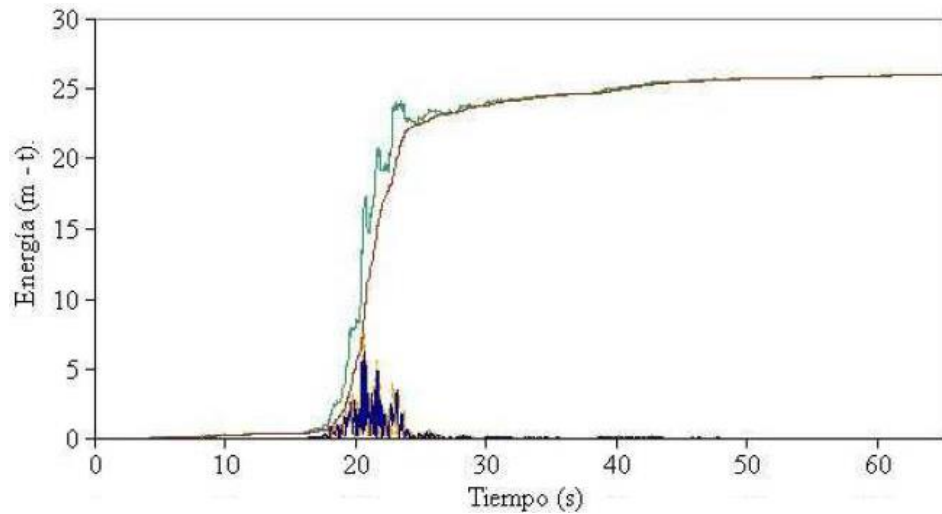


Figura 2. Distribución de Energía en un Edificio sin Disipadores.

Fuente: Oviedo, R. 2008

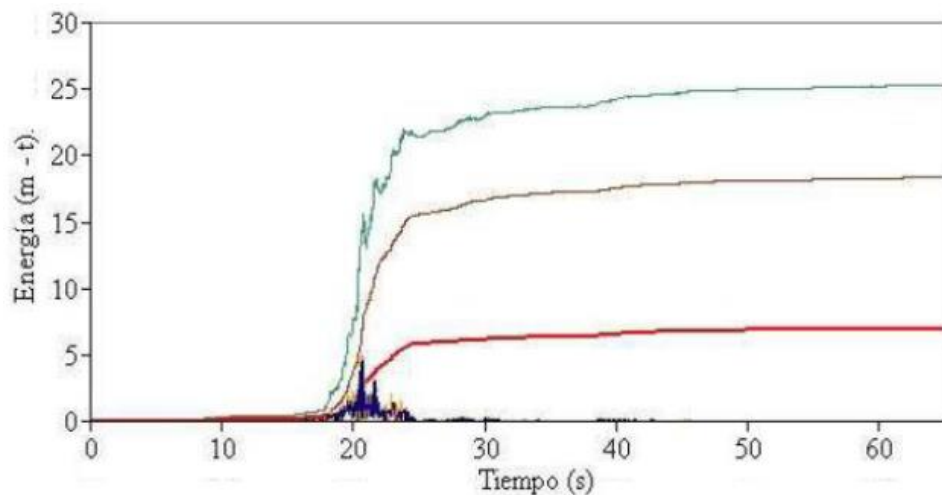


Figura 3. Distribución de Energía en un Edificio con Disipadores.

Fuente: Oviedo, R. 2008

Dónde:

Energía de ingreso del sismo se representa con el color verde, la energía que absorbe el material de construcción (mostaza), energía que absorbe el disipador de energía (rojo), energía cinética (amarillo), energía potencial (azul).

3.3.2. 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 4 se muestran los sistemas de protección sísmica, los cuales poseen diferentes tipos de dispositivos que producen el correspondiente control requerido:

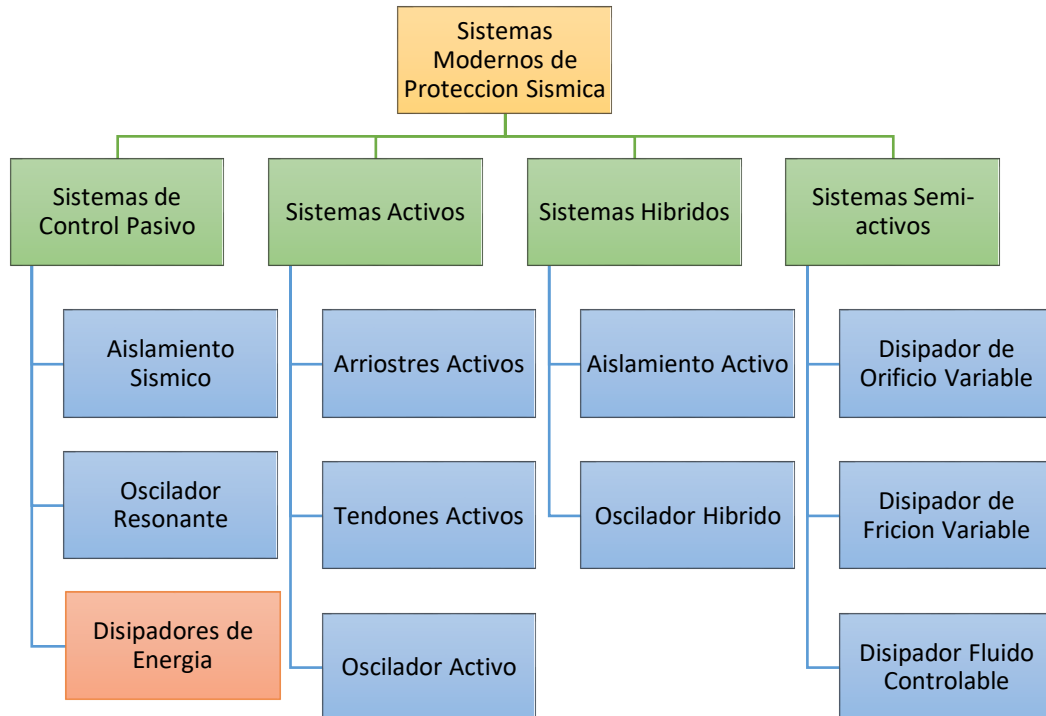


Figura 4. Clasificación de los Sistemas Modernos de Protección Sísmica.

3.3.2.1. SISTEMAS DE CONTROL PASIVO

Los sistemas de control pasivo son elementos de carácter reactivo, cuya respuesta no es controlable y depende únicamente de las condiciones de trabajo en que se encuentran, tienen como objetivo la incorporación de dispositivos mecánicos que absorban parte de la energía sísmica, proporcionando de esta manera mayor ductilidad a la estructura, protegiéndola en sus zonas críticas y aumentando su amortiguamiento.

Estos sistemas son, además, mucho más económicos en comparación a los sistemas híbridos, activos y semi-activos, y se clasifican en tres sistemas:

- Sistema con aislamiento sísmico
- Sistema oscilador resonante o inerciales acoplados
- Sistema con disipadores de energía

SISTEMAS CON AISLAMIENTO SISMICO

“El aislamiento sísmico es una estrategia de diseño basada en la premisa de que es posible separar una estructura de los movimientos del suelo mediante la introducción de elementos flexibles entre la estructura y su fundación. Los aisladores reducen notablemente la rigidez del sistema estructural, haciendo que el periodo fundamental de la estructura aislada sea mucho mayor que el de la misma estructura.” (Farzard Kelly 1999, 54).

El empleo de estos dispositivos incrementa el periodo fundamental de la estructura, reduce las deformaciones de entrepiso y limita notablemente la energía de entrada (EI) ocasionando en consecuencia que la respuesta dinámica de la estructura también se vea reducida. El aislamiento de la base es más recomendable en estructuras rígidas sobre terrenos rígidos. El principal inconveniente que se presenta en estructuras con una elevada relación altura-ancho son los elevados momentos de volteo que pueden suponer la pérdida de equilibrio. Además, al incrementarse la altura las ventajas obtenidas al variar el período de vibración disminuyen.

En la Figura 5 se muestran los diferentes tipos de sistemas de aislamiento en la base:

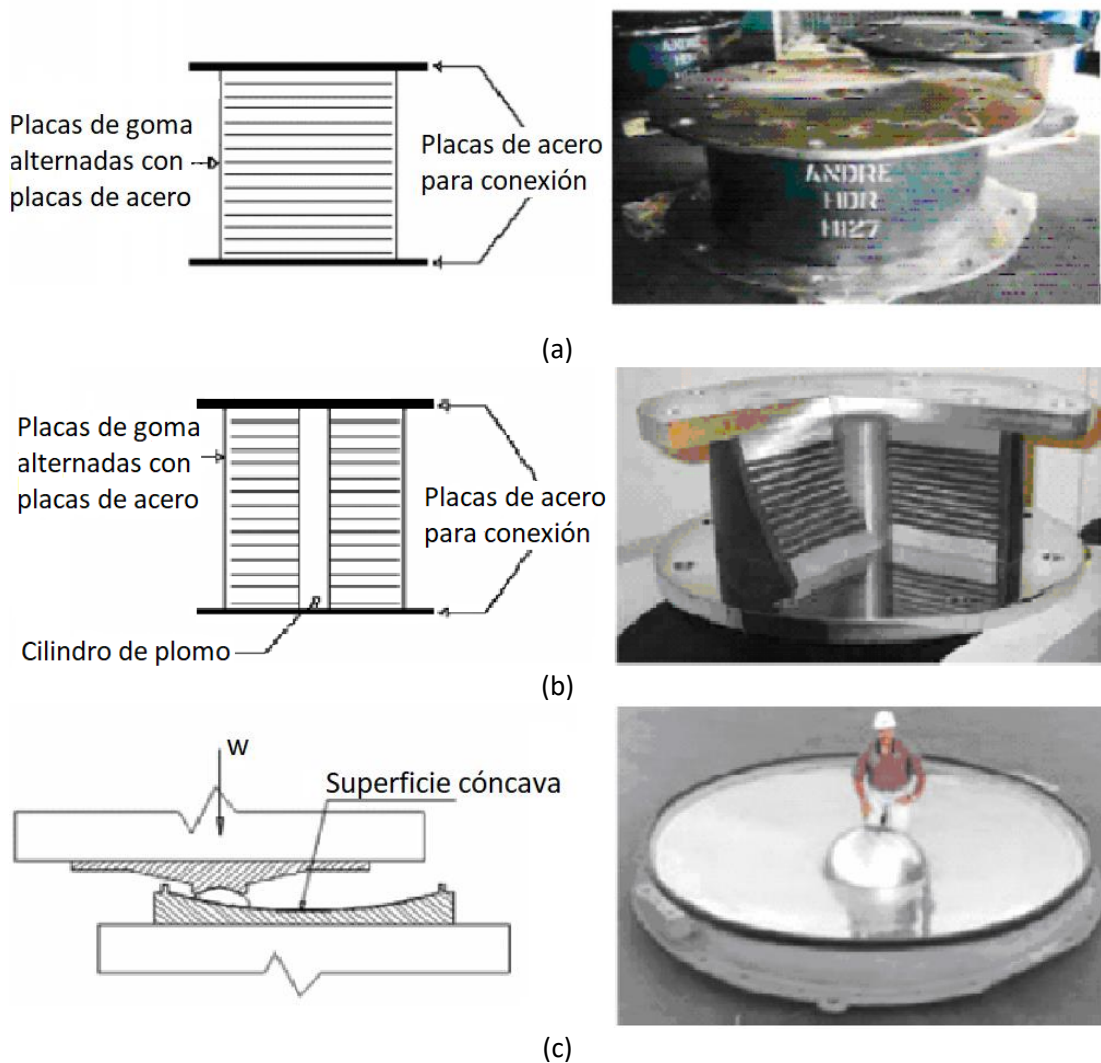


Figura 5.

(a) Aislador Basal de Alto Amortiguamiento (HDR)

(b) Aislador Basal con Núcleo de Plomo

(c) Aislador Basal de Péndulo Friccionante

Fuente: Arriaga, H. 2005.

OSCILADOR RESONANTE “TUNED MASS DAMPER- TMD” O SISTEMAS INERCIALES ACOPLADOS

Los sistemas inerciales acoplados, en esencia, introducen masas adicionales a la estructura. Generalmente estos disipadores se disponen en la parte alta de los edificios y ante un sismo trabajan neutralizando las vibraciones producidas por éste. Dentro de este sistema existen principalmente dos tipos de disipadores: los amortiguadores de masa sintonizada (“Tuned Mass Damper”) y los amortiguadores de líquido sintonizado.

Los disipadores de masa sintonizada (Tuned Mass Damper) están constituidos principalmente con los siguientes elementos: Un oscilador de un grado de libertad, un mecanismo de resorte y un mecanismo de amortiguamiento.

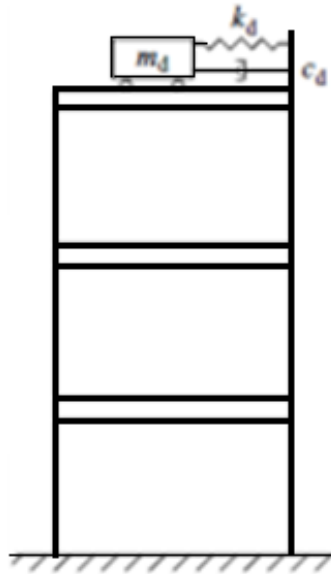


Figura 6. Esquema de Amortiguamiento de masa sincronizada
Fuente. Boza, Z. et al. 2013

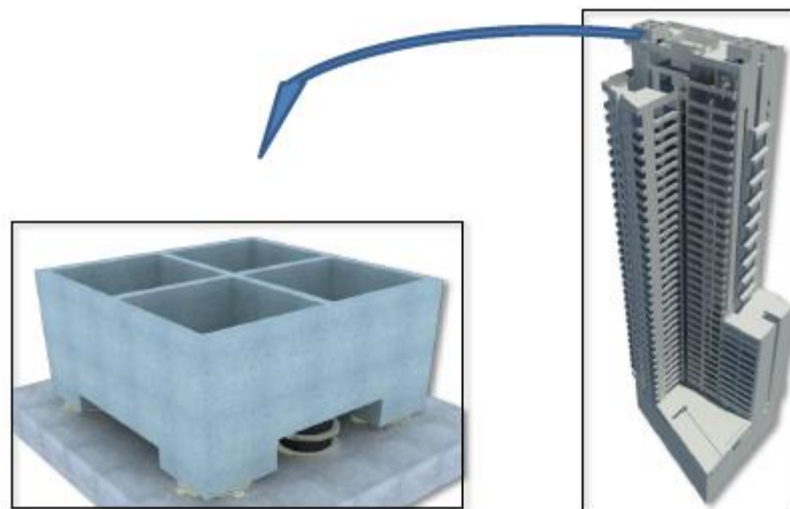


Figura 7. Amortiguadores de Masa Sincronizada en el Edificio Geocentro Agustinas (Chile)
Fuente. SIRVE- Seismic Protection Technologies

SISTEMAS CON DISIPADORES DE ENERGÍA

Estos dispositivos disipan grandes cantidades de energía, asegurándose de esta manera que otros elementos estructurales no sean sobre exigidos. Estos dispositivos captan la fuerza telúrica a través del comportamiento plástico de metales dúctiles, la fricción entre superficies en contacto bajo presión, las deformaciones de corte de polímeros, la pérdida de energía en fluidos viscosos circulando a través de orificios, etc. y así evitan que el edificio reciba todo el impacto, generando una reducción en las deformaciones de la estructura.

Los disipadores presentan numerosas ventajas como:

- Reducen el nivel de daño de la estructura y concentran la energía en los dispositivos adicionales.
- Elementos totalmente identificados y fáciles de reemplazar.
- Reducen las fuerzas cortantes, aceleraciones y derivas en cada nivel; por lo tanto, reducen los daños en elementos estructurales y no estructurales.
- Pueden suplir exigencias estructurales en arquitecturas muy exigentes.
- Permite espacios más grandes generando confort a los usuarios.
- Los disipadores de energía no solamente se han utilizado contra sismos, sino también para el control de vibraciones inducidas por viento y en aplicaciones militares.

CLASIFICACIÓN:

El ASCE 7-10 en su capítulo 18 señala que estos dispositivos se clasifican según su comportamiento en tres categorías diferentes: Dependientes del desplazamiento, dependientes de la velocidad y dependientes del desplazamiento y de la velocidad

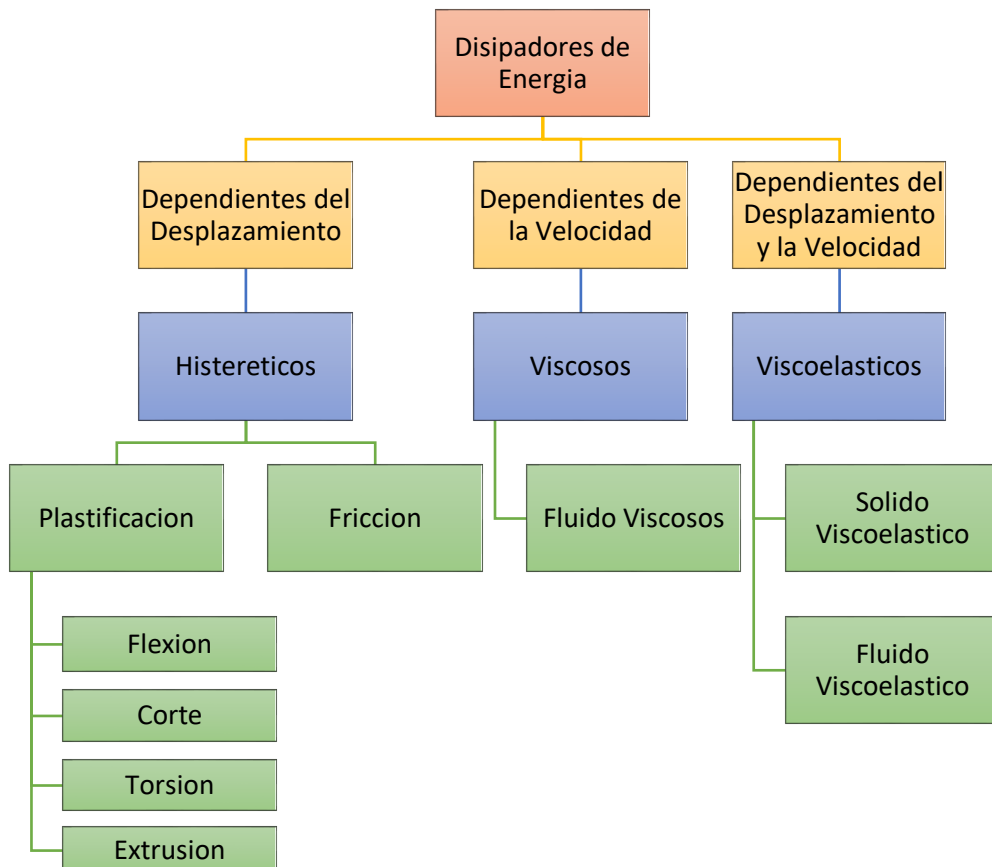


Figura 8. Clasificación de los Disipadores de Energía.

A. DISIPADORES 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 10 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.

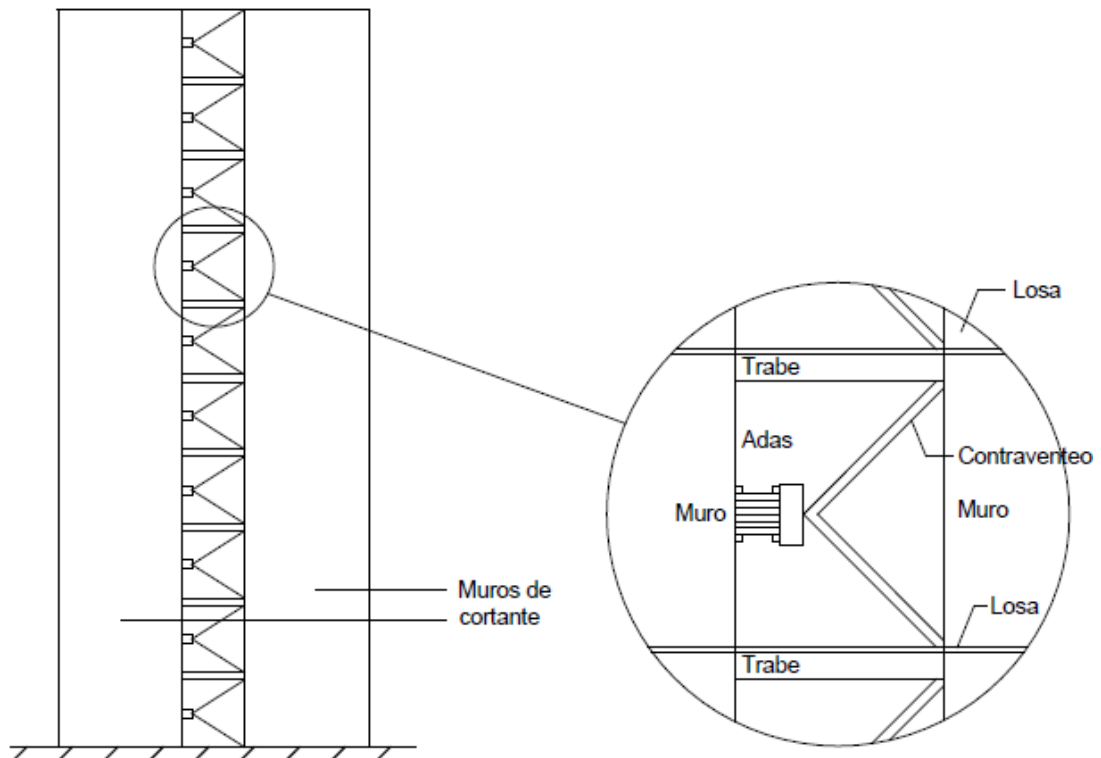
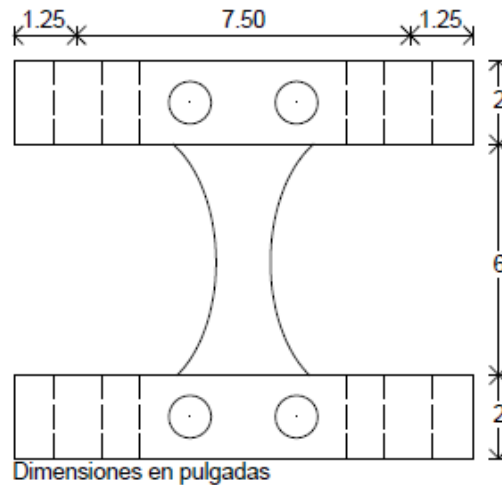


Figura 9. Colocación de los dispositivos tipo ADAS en muros cortantes
Fuente. Bonilla, L. 2012.



Figura 10. Dispositivo Histórico Metálico Tipo ADAS
Fuente. Aiken et al, 1993

B. DISIPADORES DE 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 el reforzamiento de edificaciones, la industria militar y aeroespacial.



Figura 11. Disipador de Energía de Fluido Viscoso
Fuente. Taylor Devices Inc.

El disipador de fluido viscoso requiere materiales resistentes a la corrosión, al despostillamiento, libre de esfuerzos de ruptura y alta resistencia al impacto, 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.

C. DISIPADORES VISCOELÁSTICOS

Este tipo de disipadores dependen básicamente de la velocidad relativa entre dos puntos de la estructura y se basan en el incremento del amortiguamiento estructural, además, están formados por planchas metálicas unidas por un material viscoelástico, 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 incorporadas a chapas unidas con capas finas de material viscoelástico y presentan unos ciclos histéreticos característicos elípticos.

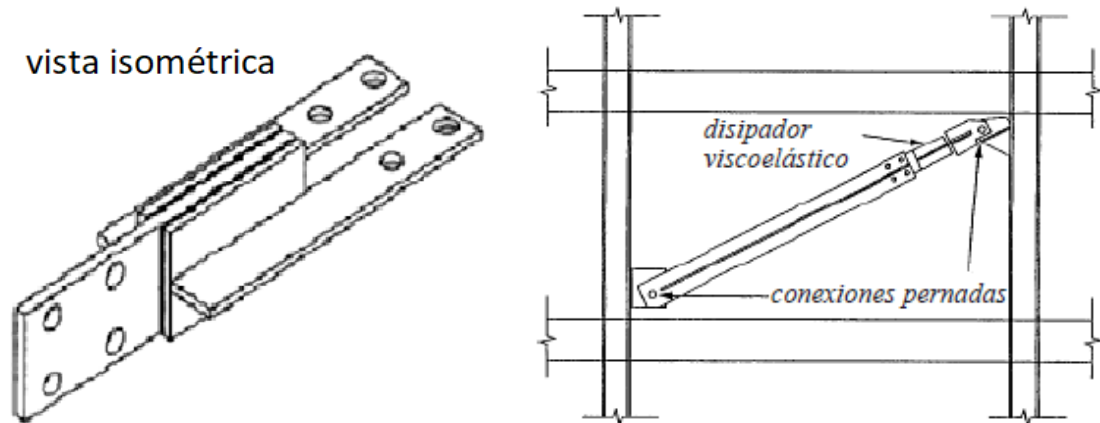


Figura 12. Disipador Viscoelástico
Fuente. Kitamura, 1991.

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.

3.4. DISIPADORES DE ENERGIA 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.

3.4.1. ECUACION GENERAL

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

$$F = C * V^\alpha$$

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

COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO "C"

Su valor se estima con la siguiente expresión del FEMA 274.

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

Donde:

B_H : Amortiguamiento viscoso del disipador de energía

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j

θ_j : Angulo de inclinación del disipador j

ϕ_i : Desplazamiento modal en el nivel i (correspondiente al primer modo de vibración)

ϕ_{rj} : Desplazamiento relativo normalizado del primer modo

α : Exponente de velocidad

A: Amplitud del desplazamiento del ultimo nivel (D_{max}/B_x)

ω : Frecuencia angular

λ Parámetro lambda obtenido de FEMA 274

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 4.

Tabla 4. Valores del Parámetro λ .

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.00
1.50	2.90
1.75	2.80
2.00	2.70

Fuente. FEMA 274

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 13 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, los valores de α que han demostrado ser los más empleados para el diseño sísmico de edificios y de puentes están en el orden de 0.4 a 0.5, para el caso de puentes con bajas solicitaciones sísmicas, se puede emplear un valor de α igual a 2, mientras que para todas las estructuras diseñadas bajo cargas de viento se suelen emplear valores en el rango de 0.5 a 1.

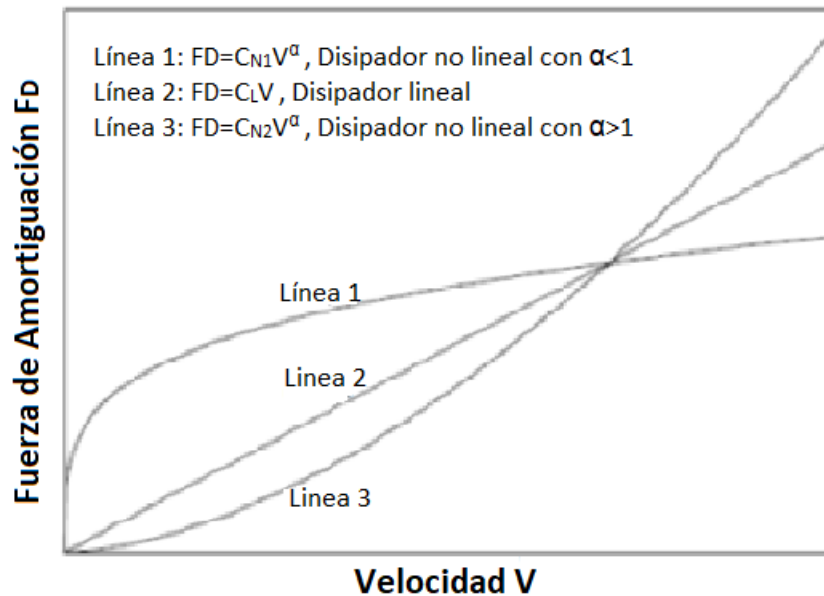


Figura 13. Relación Velocidad vs Fuerza del Disipador
Fuente. Hwang Jenn-Shin

RIGIDEZ DEL DISPOSITIVO “K” (RIGIDEZ DEL BRAZO METALICO)

Este dispositivo solo depende de la velocidad para controlar la respuesta dinámica de la estructura. Para poder lograr esto, en la modelación se debe considerar la rigidez del sistema con un valor muy alto.

Es así que la rigidez que se debe tomar para la modelación es la del brazo metálico (que conecta al dispositivo a la estructura). Esto debido a que la rigidez axial de este es mucho mayor a la del disipador. La rigidez de este brazo se calcula con la siguiente ecuación:

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

Donde:

E : Módulo de elasticidad del acero.

A : Área de la sección del brazo metálico

L : Longitud del brazo metálico

Así mismo, es importante que el perfil metálico seleccionado tenga suficiente momento de inercia (I) y área (A) para que este tenga suficiente resistencia contra el pandeo en la dirección de compresión.

Para la selección del perfil metálico es muy común emplear perfiles del tipo HSS o PIPE por razones de estética y por las facilidades que se obtiene en la instalación.

Para el diseño del brazo metálico se deben satisfacer las siguientes condiciones:

$$\phi T_n = \phi * F_y * A_g < T_u; \text{ para verificar la tensión.}$$

Donde:

T_n : Tensión nominal

ϕ : Factor de reducción (0.9)

A_g : Área bruta de la sección del brazo metálico

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

$$\emptyset P_n = \emptyset * F_{cr} * Ag < P_u; \text{ para verificar la compresión.}$$

Donde:

P_n : Compresión nominal

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

3.4.2. DETALLES DE LOS DISPOSITIVOS

COMPONENTES DE LOS DISPOSITIVOS VISCOSOS

En general, el dispositivo consiste en dos elementos: un cilindro y un pistón de acero inoxidable. El cilindro tiene en su interior silicona incompresible como fluido viscoso, el cual permite que el sistema de amortiguación se mantenga estable dentro de un rango considerable de variaciones de temperatura.

El dispositivo se activa mediante la transferencia del fluido de silicona a través de compartimientos en lados opuestos de la unidad mediante pequeños orificios. Las propiedades del dispositivo son especificadas por el proyectista, pero estas deberán ser desarrolladas por el fabricante mediante variaciones en la construcción mecánica y las propiedades de los orificios. Estos detalles determinarán además si es un amortiguador lineal o no lineal.

A continuación, se muestra un esquema de un amortiguador y sus partes principales:

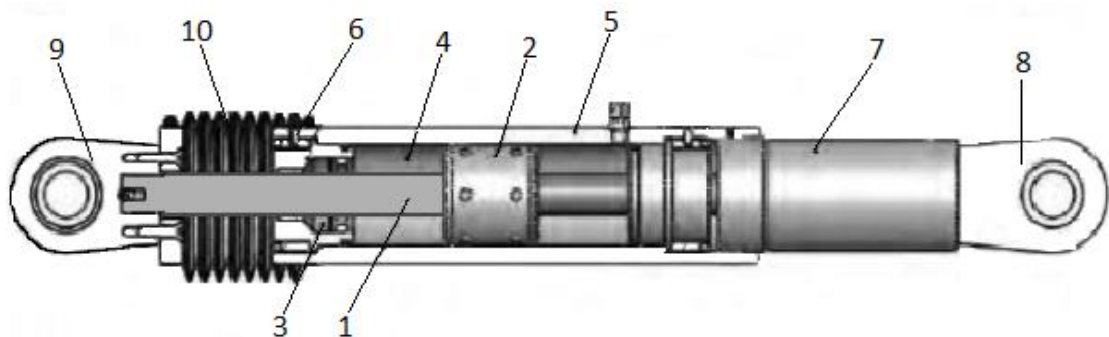


Figura 14. Componentes de los Disipadores de Fluido Viscoso Taylor

Fuente. Oviedo R. 2008

Donde:

1. Vástago de acero inoxidable.
2. Cabeza del pistón de acero sólido o de bronce.
3. Sellos / rodamientos de sello, juntas dinámicas.
4. Fluido viscoso, silicona incompresible.
5. Cilindro con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
6. Tapa con tratamiento térmico de aleaciones de acero, protegido contra la corrosión a través de placas y/o pintura.
7. Extender, acero al carbono forjado en aluminio con protección contra la corrosión.
8. Horquilla final con tratamiento térmico de aleaciones de acero con protección contra la corrosión.
9. Cojinete esférico forjado con aleación de acero de calidad aeronáutica.
10. Fuelle, nylon reforzado de inicio de neopreno.

FUNCIONAMIENTO DE LOS DISIPADORES

El disipador fluido viscoso consiste en esencia de dos elementos: un cilindro de alta resistencia y de un pistón (ambos de acero inoxidable). El cilindro contiene en su interior un fluido perteneciente a la familia de las siliconas (es resistente al fuego, estable a los cambios de temperatura y a los largos periodos de tiempo).

El pistón tiene en uno de sus bordes una cabeza (ver Figura 15) con pequeños orificios. Esta divide el interior del cilindro en dos cámaras.

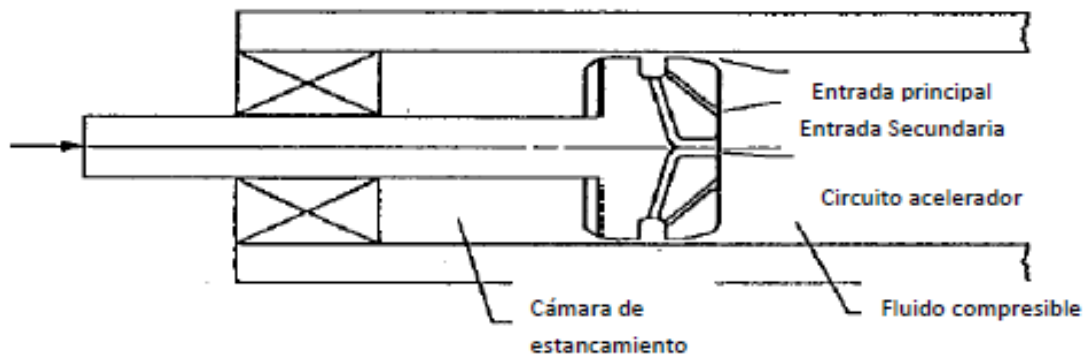


Figura 15. Detalle de la Cabeza del Pistón
Fuente. Oviedo R. 2008

Ante una excitación sísmica, se produce el deslizamiento del pistón dentro del cilindro, este movimiento ocasiona el paso del fluido de una cámara a otra (ver Figura 16), esto a su vez genera una presión diferencial, la misma que origina la fuerza de amortiguamiento.

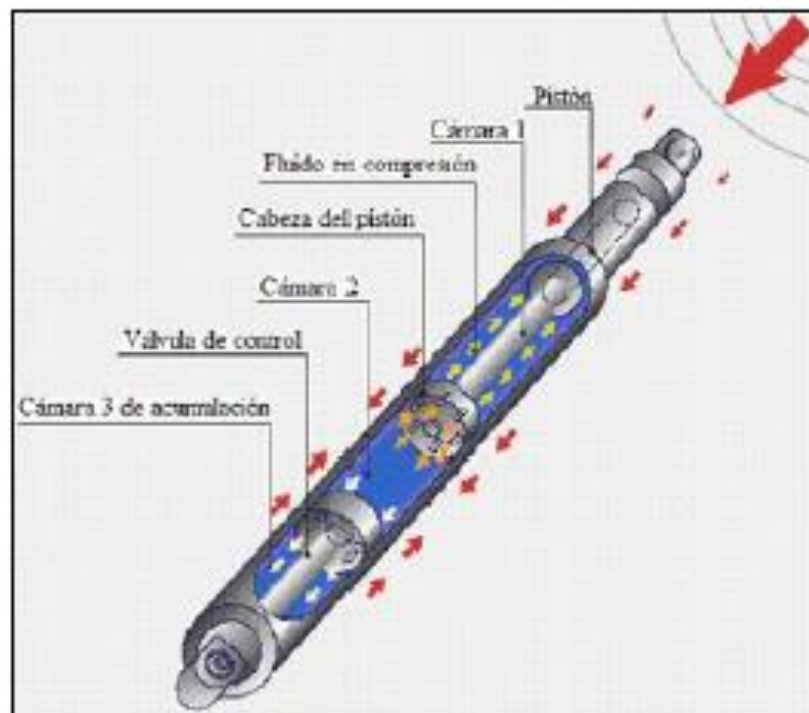


Figura 16. Funcionamiento de los Dispositivos de Fluido Viscoso
Fuente. Oviedo R. 2008

Debido al desplazamiento interno del pistón se genera la conversión de energía cinética en calor, lo que produce la expansión y contracción térmica del fluido, debido a esto el cilindro contiene una tercera cámara (Cámara de acumulación) que permite que se puedan compensar las variaciones del fluido(volumen).

3.4.3. DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS

RECOMENDACIONES PARA EL DISEÑO DE CONEXIONES

La norma ASCE 7-10 señala que las conexiones deben ser evaluadas usando el criterio de diseño por resistencia y que deben ser diseñadas para que resistan las fuerzas, desplazamientos y velocidades del máximo sismo esperado.

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

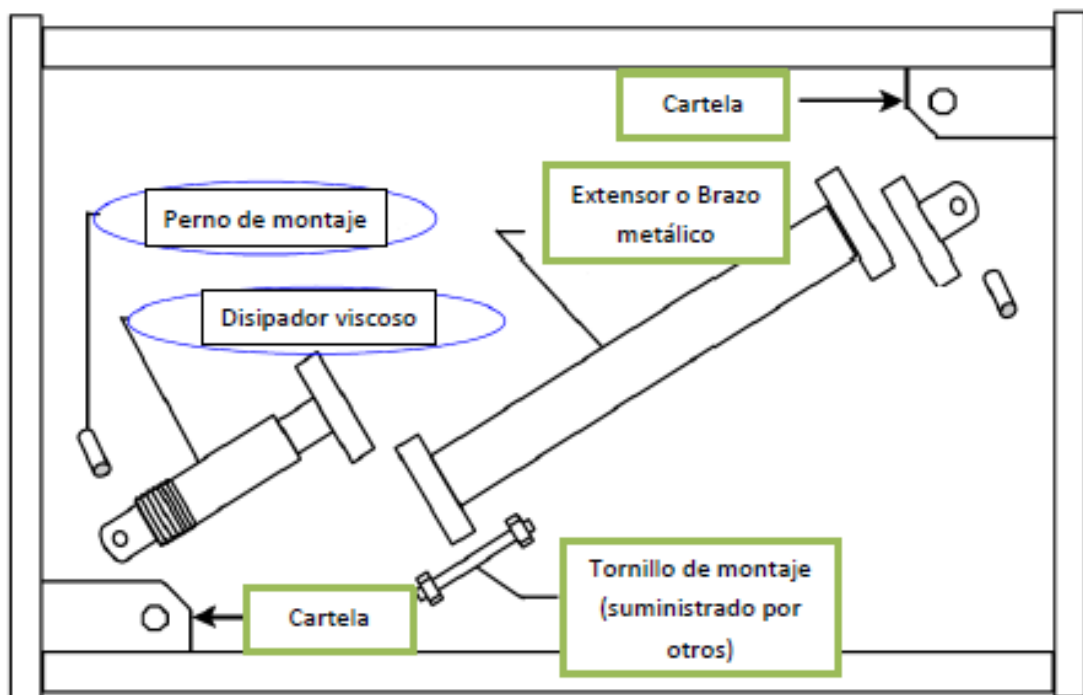


Figura 17. Conexiones en la disposición diagonal (en verde los elementos a ser diseñados).

Fuente. Taylor-Sp Etabs Modeling

RECOMENDACIONES PARA LA MODELACIÓN

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

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

3.4.4. CRITERIOS DE UBICACION

La ubicación, disposición y número de amortiguadores en el edificio influyen significativamente en la efectividad del sistema de amortiguamiento. En este proceso es importante tener en cuenta la arquitectura, por lo que los profesionales involucrados en el proyecto deben llegar a un acuerdo en la ubicación, de tal forma que no afecte los requerimientos del diseño arquitectónico, además, la mejor ubicación de los disipadores viscosos se consigue a través de un proceso iterativo, en donde el diseñador debe probar diversos arreglos y ubicaciones.

La norma ASCE 7-10 en su capítulo 18 da algunas recomendaciones:

- La estructura no debe presentar irregularidades.
- Se deben emplear como mínimo dos dispositivos en la dirección a reforzar.
- Se deben disponer los dispositivos en todos los niveles.
- Para no generar torsión se debe buscar la simetría.

3.4.5. CONFIGURACION DE LOS DISPOSITIVOS

Existen diversas configuraciones, disposiciones o arreglos de los dispositivos, sin embargo, los que comúnmente se emplean son los de disposición Chevron y Diagonal, en ambos, se requiere de brazos metálicos para conectar el dispositivo a la estructura

DISPOSICION CHEVRON

En este tipo de arreglo los dispositivos se colocan en posición horizontal (en forma paralela al plano del techo), de tal forma que absorben directamente las fuerzas de sismo, es decir, que se emplea toda la capacidad de estos para controlar los movimientos laterales producidos por la excitación sísmica, por lo que la eficiencia es del 100%.

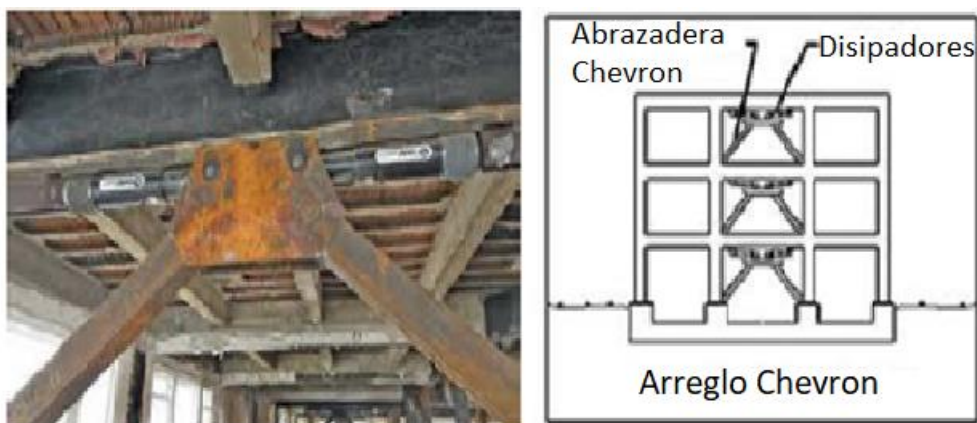


Figura 18. Disposición Chevron

Sin embargo, tiene grandes desventajas y una de las principales es que produce sobreesfuerzos en la parte intermedia de la viga cercana al disipador, para controlar estos esfuerzos se emplea un refuerzo adicional a través de planchas, anclajes, etc. Como se muestra en la siguiente figura:



Figura 19. Refuerzo Adicional que se Emplea en la Disposición Chevron

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 ya que solo la componente horizontal participa en la absorción de las fuerzas horizontales, por lo que el amortiguamiento depende el ángulo de inclinación del brazo metálico que sostiene el disipador.

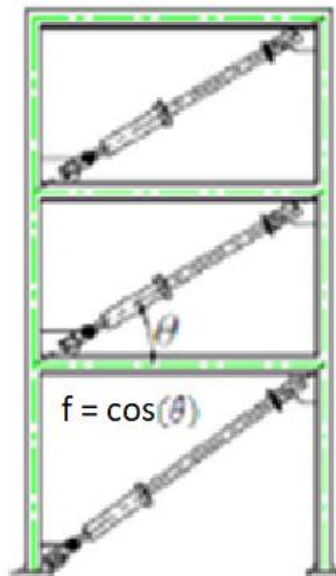


Figura 20. Esquema de la Disposición Diagonal.

Este tipo de disposición resulta ser la más económica ya que solo requiere extensores o brazos metálicos para ser anexado a la estructura en un nudo rígido (unión viga columna) significando ningún refuerzo adicional en ningún elemento en el pórtico.

Debido a que no genera sobreesfuerzos en la estructura, este tipo de arreglo puede ser diseñado e instalado tanto para nuevas estructuras como para las ya existentes que requieran de reforzamiento, siendo así muy efectivo para fines de rehabilitación, la Figura 21 ilustra el empleo de un disipador viscoso en esta disposición.

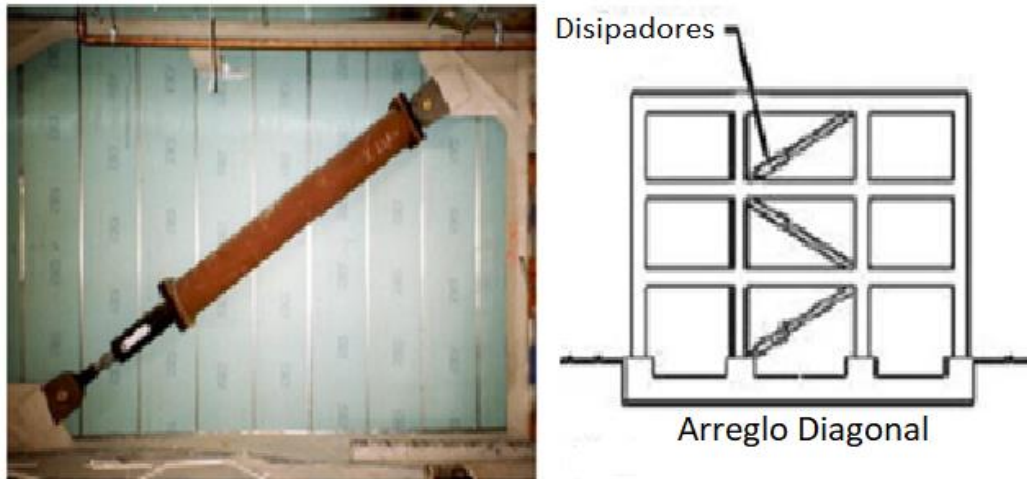


Figura 21. Disposición Diagonal de disipadores de energía.

En la Figura 22 se muestran otros arreglos que también se pueden tomar encuentra al momento de diseñar el sistema de disipación empleando este tipo de disipadores de energía.

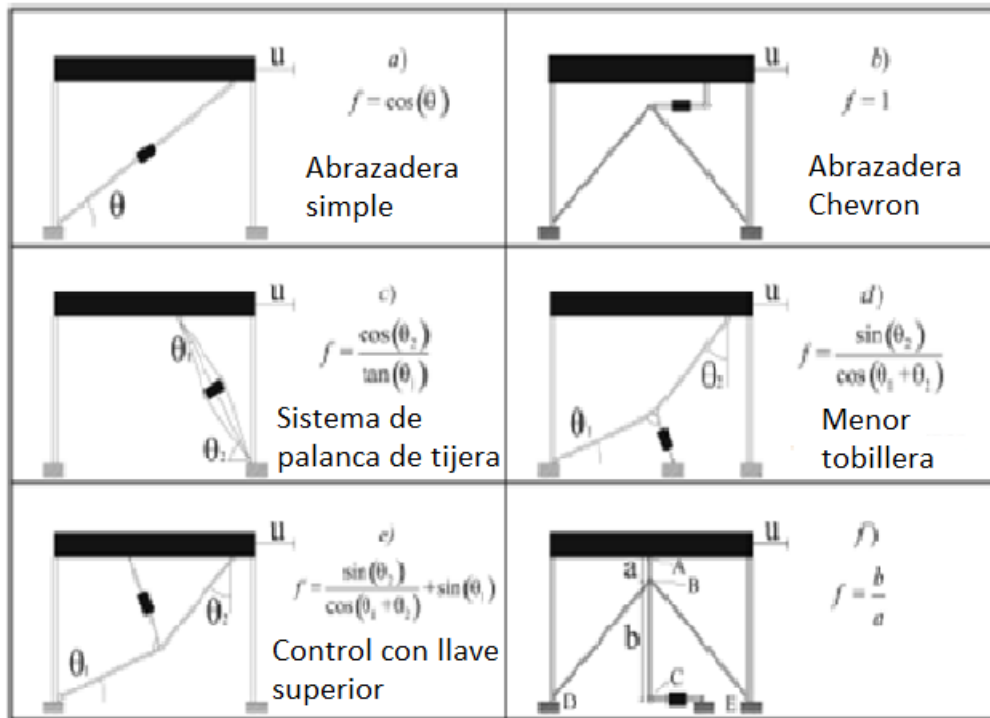


Figura 22. Diferentes Configuraciones que se Pueden Emplear con el Disipador Viscoso Fuente. M. Di Paola, G. Navarra. Pag.96.

3.4.6. FABRICANTES

Actualmente existen dos grandes fabricantes: Kajima Corporation de Japón y Taylor devices incorporation de Estados Unidos, los disipadores manufacturados por ambas empresas se basan en el mismo concepto, disipar energía mediante el flujo forzado de un fluido (ya sea aceite o silicona).

En este caso se emplearon disipadores viscosos Taylor por ser el principal fabricante y el que puede encontrarse en el mercado peruano.

KAJIMA CORPORATION

Esta corporación japonesa fabrica dos tipos de disipadores viscosos los HiDAM y los HiDAX-e ambos son amortiguadores de aceite de alto rendimiento, estos dispositivos encierran aceite en ambos lados de un pistón; la eficiencia del amortiguamiento es lograda por el movimiento relativo del pistón y la resistencia del fluido (aceite) que pasa por las válvulas de control de presión que conectan ambas cámaras, de esta manera se genera una gran fuerza de amortiguamiento.



Figura 23. Disipador Viscoso HiDAM
Fuente. Vargas, C. 2015



Figura 24. Disipador Viscoso HiDAX-e
Fuente. Vargas, C. 2015

Estos dispositivos son anexados a la estructura con la ayuda de arrostramientos metálicos y siempre en arreglo Chevron; es decir, los disipadores se disponen en forma horizontal paralelos al plano del techo.

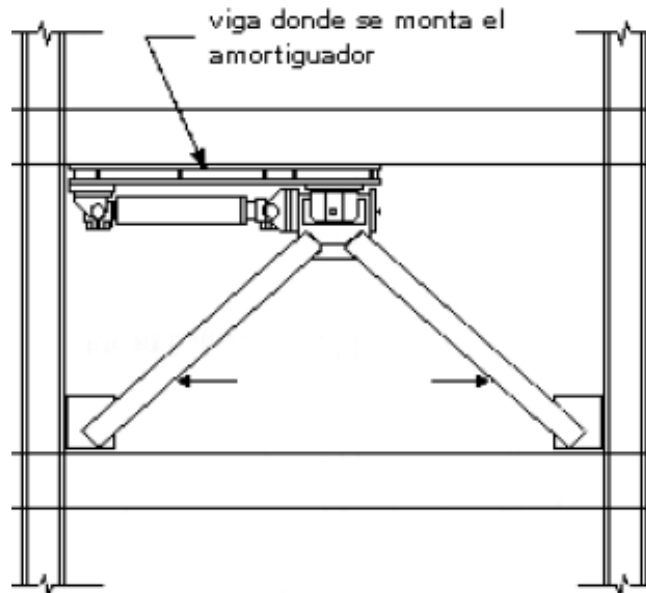


Figura 25. Arreglo del disipador en la estructura
 Fuente. Vargas, C. 2015

TAYLOR DEVICES INC.

Los disipadores fluido viscosos se vienen manufacturando desde hace aproximadamente cincuenta años, donde su uso era limitado solo para aplicaciones militares. Con el fin de la guerra fría en 1990 se permitió la comercialización (para el público en general) de tecnología previamente restringida como esta. Dado que esta tecnología era confiable y había demostrado un buen comportamiento a través de las décadas, la implementación a estructuras comerciales se llevó a cabo rápidamente. Fueron pocas las empresas capaces de hacer la transición de su tecnología para el mercado comercial. Taylor Devices Inc., un fabricante con sede en Nueva York de productos de disipación de energía para uso militar y de defensa, comenzó a buscar salidas comerciales para sus productos de defensa en 1987.

Hasta la fecha más de 240 estructuras están empleando estos amortiguadores viscosos para obtener un mejor comportamiento estructural ante excitaciones sísmicas o de viento.

CAPITULO IV. METODOLOGIA DE LA INVESTIGACION

4.1. PERSPECTIVA METODOLOGIA Y TIPO DE INVESTIGACION

- **PERSPECTIVA METODOLOGICA:** Es de perspectiva Metodológica **Cuantitativa** ya que se generan datos numéricos para representar el efecto de la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor en el CPU-UNASAM, es decir, se cuantifican los datos y resultados usando magnitudes numéricas tratados mediante herramientas de cálculo.
- **TIPO DE INVESTIGACION:** Es del tipo **Descriptivo** ya que describe el comportamiento estructural del CPU-UNASAM con y sin disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor de forma real, precisa y sistemática luego de la recolección de datos con el objetivo de llegar a conocer los efectos de los disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor en el desempeño sísmico de la estructura.

4.2. DISEÑO DE LA INVESTIGACION

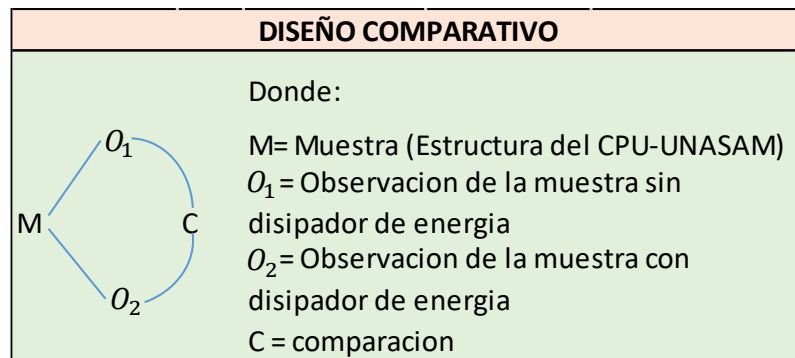


Figura 26. Diseño de la Investigación

4.3. LIMITES DE LA INVESTIGACION

La presente investigación se limita al análisis comparativo sísmico de la estructura del CPU-UNASAM con y sin disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor sometida a solicitaciones sísmicas severas a nivel de modelamiento siendo limitantes importantes también la capacidad del software utilizado (ETABS v 16.2.0) y el sismo severo al que será expuesto, por ello se realizará la recopilación de datos, cálculos e interpretación de resultados de la influencia de los disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor en la muestra (CPU-UNASAM) a nivel de modelamiento. Otra limitante importante en la investigación es la ausencia de un laboratorio de estructuras suficientemente equipado para evaluar en forma real los resultados obtenidos virtualmente.

4.4. CONTEXTO Y UNIDAD DE ANALISIS: POBLACION Y MUESTRA

- **CONTEXTO:** La presente investigación se contextualiza a los parámetros de sitio y de suelo del barrio de Centenario, Distrito de Independencia, Provincia de Huaraz y Departamento de Ancash.
- **UNIDAD DE ANALISIS:** POBLACION: Edificaciones educativas de 06 niveles en la ciudad de Huaraz. MUESTRA: Estructura del CPU-UNASAM

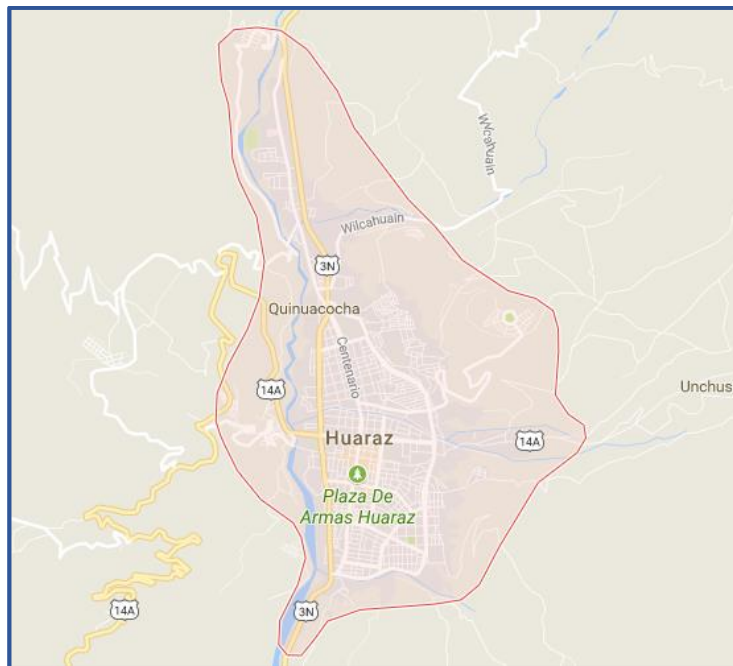
CAPITULO V. ANALISIS ESTRUCTURAL DEL CPU-UNASAM

5.1. DESCRIPCION DEL PROYECTO

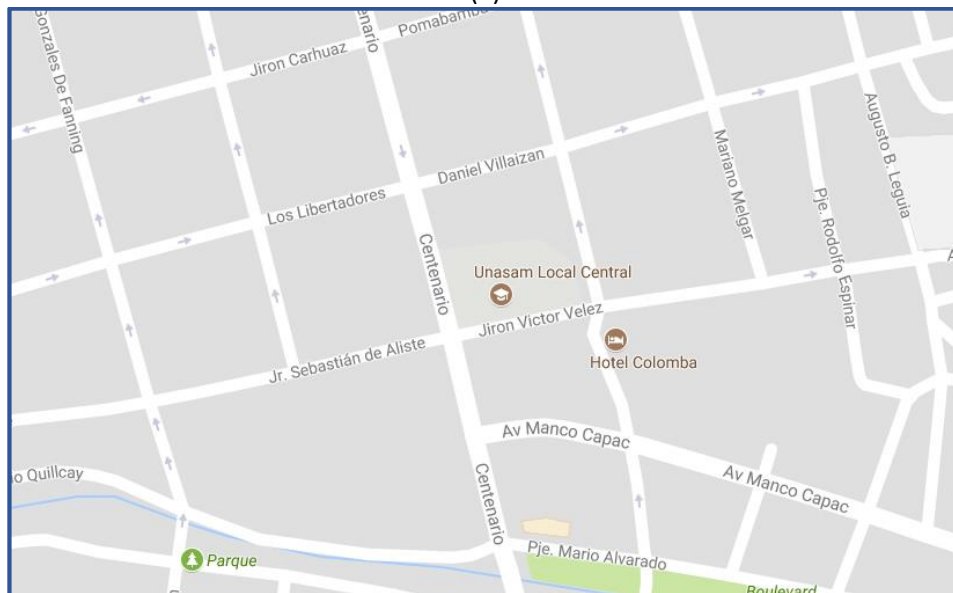
La edificación a evaluar es el Centro Pre Universitario CPU-UNASAM.

5.1.1. UBICACION

Departamento : Ancash
Provincia : Huaraz
Distrito : Independencia
Calle : Av. Centenario N° 200



(a)



(b)



(c)



(d)

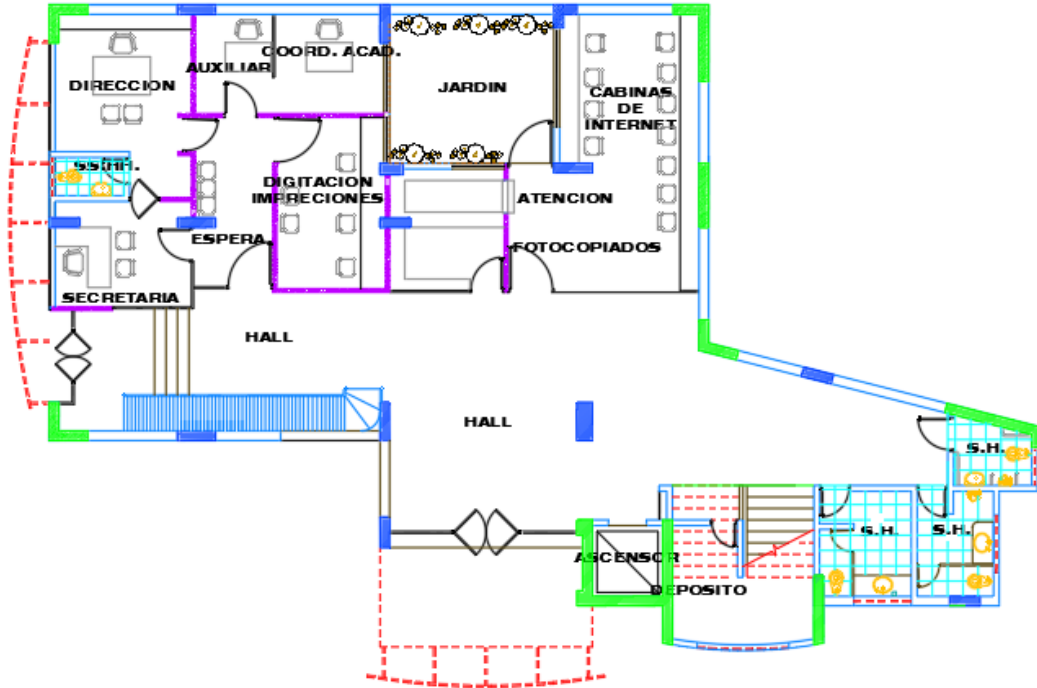
Figura 27.

- (a) Vista Satelital de la Ciudad de Huaraz
 - (b) Vista Satelital del Barrio Centenario
 - (c) Vista Satelital del CPU-UNASAM
 - (d) Vista Frontal y Lateral de CPU-UNASAM
- Fuente. Google Maps

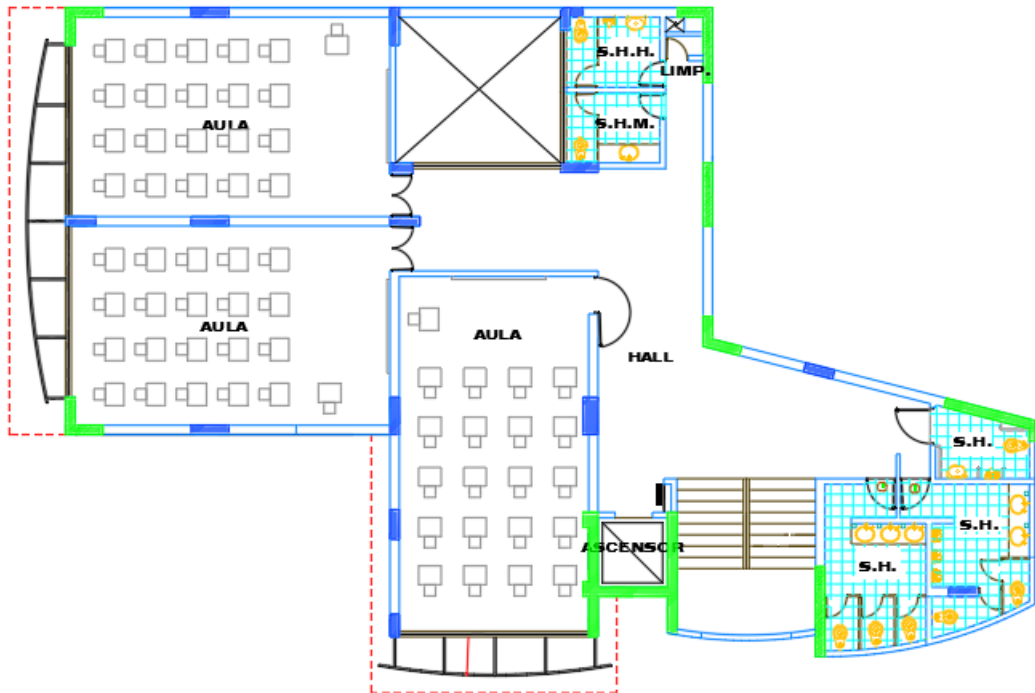
5.1.2. DESCRIPCION DE LA ESTRUCTURA

La edificación corresponde al Centro Pre-Universitario de la UNASAM y cuenta con 6 niveles, azotea y tanque elevado, tiene un sistema de muros estructurales, consta de un sistema conformado por vigas, columnas, placas, techo aligerado y losas rígidas en algunos casos.

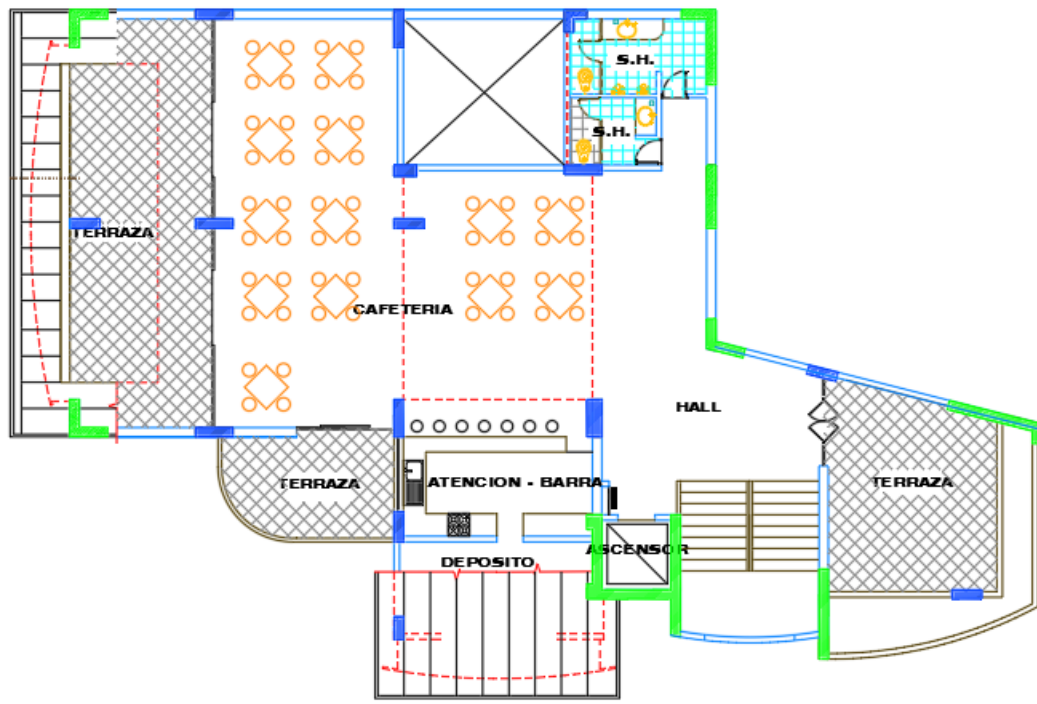
A continuación, se muestran las siguientes vistas de la edificación:



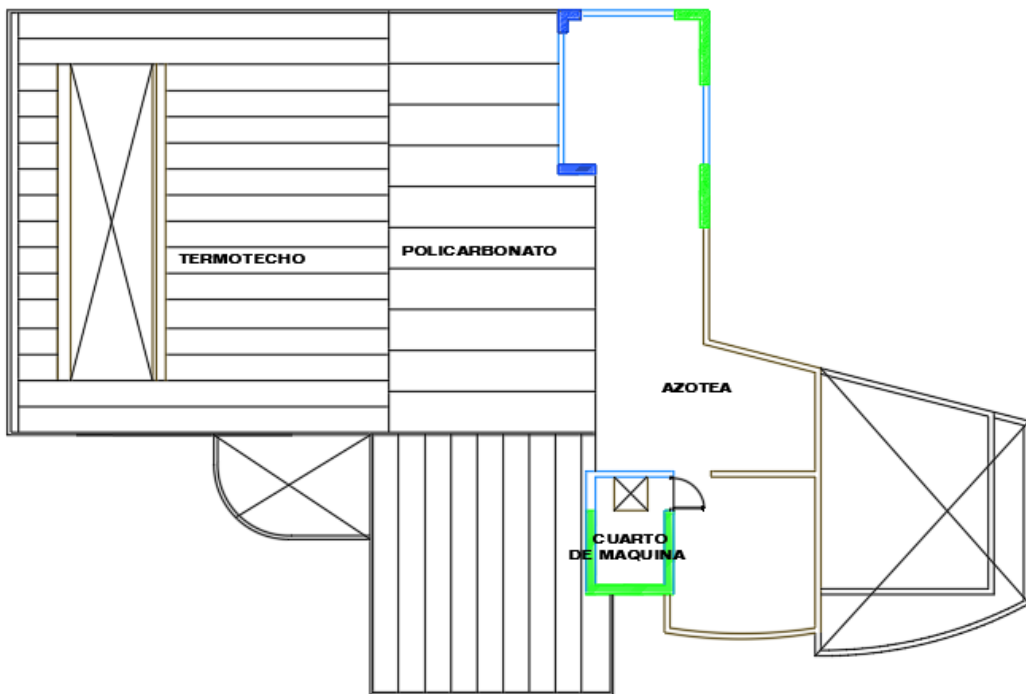
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 28.

- (a) Vista en planta del primer nivel
- (b) Vista en planta del segundo, tercero, cuarto y quinto nivel
- (c) Vista en planta del sexto nivel
- (d) Vista en planta de la azotea

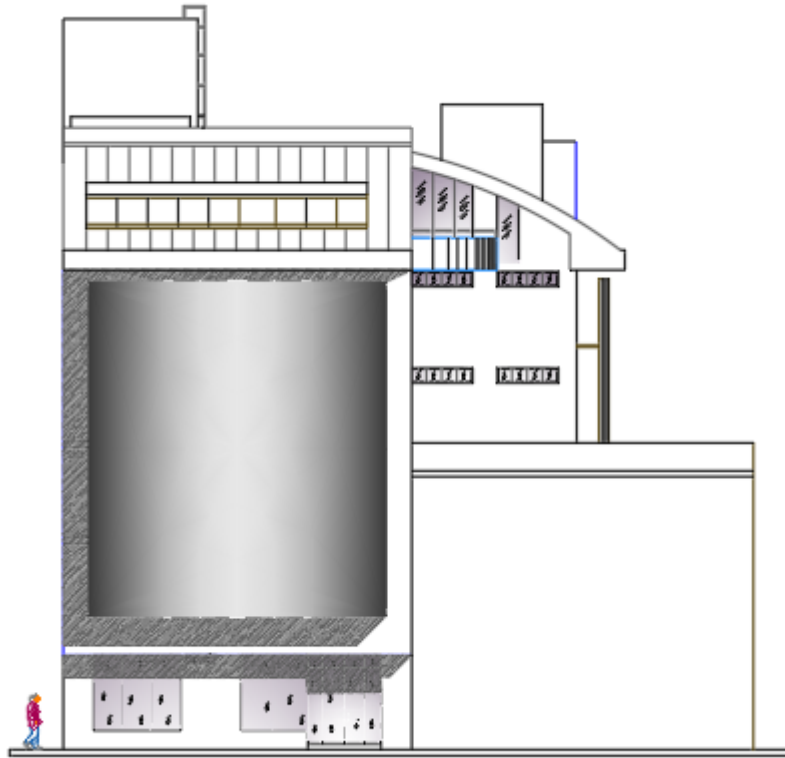


Figura 29. Elevación frontal de la edificación

5.1.3. ELEMENTOS ESTRUCTURALES

La estructura está conformada por un sistema de muros estructurales de concreto armado cuyos elementos estructurales se muestra en la Figura 30, donde las placas se muestran de color rojo, las columnas de color azul y las vigas de color blanco:

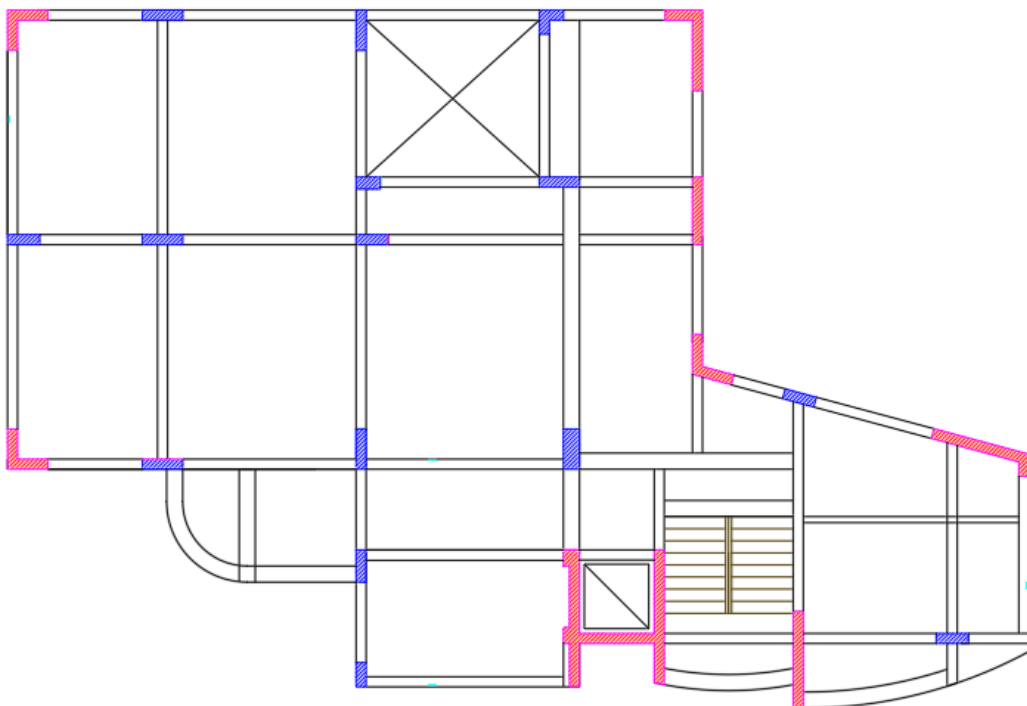


Figura 30. Distribución de elementos estructurales de la edificación- Piso 5

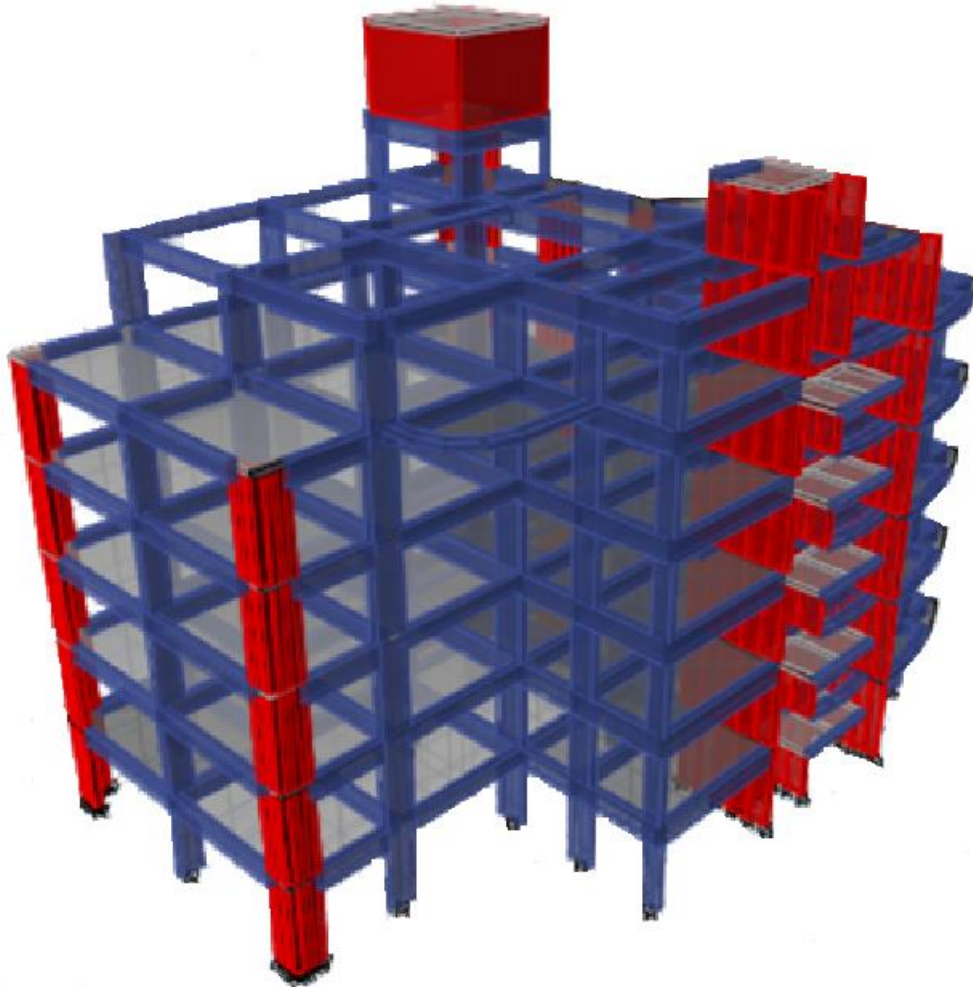


Figura 31. Vista del Modelamiento de la Edificación en el Software Etabs v16.2.0

5.1.4. ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS

El estudio de Mecánica de Suelos correspondiente al terreno indica que el suelo tiene las siguientes características:

- Clasificación: SC (Arena Arcillosa)
- Capacidad Portante: $\sigma\tau=1.60\text{kg/cm}^2$
- Angulo de Fricción Interna: $\phi=14.5^\circ$
- Cohesión: $C=0.2228$
- Profundidad de cimentación: 2.20m
- Peso Volumétrico: $\gamma=1.90\text{ ton/m}^3$

5.1.5. PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Las especificaciones generales de los materiales empleados son:

- Resistencia a la compresión de concreto: $f'c = 210\text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 218820\text{ kg/cm}^2$
- Peso específico del concreto: $\gamma = 2400\text{ kg/m}^3$
- Coeficiente de Poisson: $\nu = 0.20$
- Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 4200\text{ kg/cm}^2$
- Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 2000000\text{ kg/cm}^2$

5.1.6. CARGAS CONSIDERADAS

A. CARGA VIVA:

Se emplearon los valores de la Tabla 1 (Cargas Mínimas Repartidas) de la Norma E.020:

- Cargas en Escaleras = 400 kg/m²
- Cargas en Auditorios = 400 Kg/m²
- Cargas en Cafetería = 400 Kg/cm²
- Cargas en Bibliotecas = 750 Kg/m²
- Cargas en Almacenes = 500 Kg/m²
- Cargas en Aulas = 250 Kg/m²
- Cargas en SS HH. = 300 Kg/m²
- Cargas en Oficinas = 250 Kg/m²
- Cargas en corredores = 400 Kg/m²
- Carga en la Azotea = 100 Kg/m²

Además, la Norma E.20 señala “El piso de los tabiques móviles se incluirá como carga viva equivalente uniformemente repartida por metro cuadrado, con un mínimo de... 1,0 kPa (100 kgf/m²) para divisiones móviles de altura completa.”

Por ello se añadirá dicho peso a la carga viva anteriormente señalada.

B. CARGA MUERTA:

La carga muerta está constituida principalmente por el piso terminado y se uniformizo con un valor de 100kg/m².

C. MODELAMIENTO:

El modelamiento matemático se hizo tratando en lo posible de reflejar el modelo arquitectónico, para ello se consideró las diferentes secciones de los elementos estructurales como placas, columnas, vigas, losas, ets.

D. PESO DE LA EDIFICACION:

Según indicación del Art. 4.3 de la Norma E.030, el Peso (P) se calcula adicionando, a la carga muerta y peso propio, el 50% de la carga viva o sobrecarga, por ser una edificación que clasifica como tipo A, y el 25% de la carga viva en azoteas.

5.2. ANALISIS ESTATICO O DE FUERZAS EQUIVALENTES

Para la evaluación de este proyecto se realizó un análisis dinámico espectral, pero previo a este, se llevó a cabo el análisis estático con las siguientes finalidades:

- Verificar si la edificación presenta irregularidad estructural en altura o en planta.
- Examinar la cortante que toman las placas y columnas del primer nivel y verificar si el sistema estructural es efectivamente de muros estructurales o si es un sistema dual.
- Verificar que las derivas de entrepiso sean correspondientes a lo reglamentado.

5.2.1. PARAMETROS SISMICOS

ZONIFICACIÓN SÍSMICA (Z)

Según la Figura 32, la edificación, que está ubicada en la ciudad de Huaraz, pertenece a la ZONA 3, por lo tanto, le corresponde un factor de zonificación de $Z = 0.35$.



Figura 32. Zonas Sísmicas
Fuente: Norma E.030, pág. 5

CONDICIONES GEOTÉCNICAS (S, TP, TL)

La edificación se encuentra sobre suelos intermedios y, según la norma E.030 corresponde a un suelo tipo S2, cuyo factor de amplificación del suelo es de $S = 1.15$, con un periodo que define la plataforma de factor $C_T = 0.6$ seg y con un periodo que define el inicio de la zona del factor C con desplazamiento constante $T_I = 2.0$ seg.

PERIODO FUNDAMENTAL DE VIBRACIÓN (T)

Según la Norma E.030., es estimada con la siguiente expresión:

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

Donde:

$C_t = 60$, para edificios de concreto armado con sistema de muros estructurales

$h_n = 23.25$ m (altura total del edificio)

Luego:

$$T = \frac{h_n}{C_T} = \frac{23.25}{60} = 0.388 \text{ seg}$$

FACTOR DE AMPLIFICACIÓN SÍSMICA (C)

De acuerdo al Art. 2.5 de la Norma E.030, el factor de amplificación sísmica se define:

$T < T_p$  $C = 2.5$

$0.388 < 0.60$

CATEGORÍA DE LA EDIFICACIÓN Y FACTOR DE USO (U)

Al ser una institución educativa, corresponde a la descripción A2 de la Tabla 5 de la Norma E.030, correspondiéndole la categoría de Edificación Esencial con Factor de Uso $U = 1.5$, como se observa en la Figura 33.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud .	Ver nota 1
	<p>A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. <p>Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades.</p> <p>Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional,</p>	1,5

Figura 33. Categoría de las Edificaciones y Factor "U"

Fuente: Norma E.030 RNE

SISTEMAS ESTRUCTURALES Y COEFICIENTE BÁSICO DE REDUCCIÓN DE LAS FUERZAS SÍSMICAS (RO)

De acuerdo a la Tabla 7 de la Norma E030, la muestra es de concreto armado de sistema de muros estructurales en ambas direcciones, correspondiendo los coeficientes de reducción **Rox =6** y **Roy =6**.

Finalmente, los parámetros serán:

Tabla 5. parámetros sísmicos

Parámetros	Valor
Z	0.35
S2	1.15
Tp (s)	0.60
Tl (s)	2.00
C	2.50
U	1.50
Rox	6
Roy	6

5.2.2. FUERZA CORTANTE EN LA BASE

La fuerza cortante total en la base de la estructura, correspondiente a la dirección considerada, se determinará por la siguiente expresión:

$$V = \frac{ZxUxCxS}{R} \times P$$

debiendo considerarse para C/R el siguiente valor mínimo:

$$\frac{C}{R} = \frac{2.5}{6} = 0.417 \geq 0.125$$

Reemplazando los valores de la Tabla 5 y con el peso P= 1,619.67 tn (valor calculado por el Software Etabs v16.2.0), tenemos:

$$V_X = V_Y = \frac{0.35 \times 1.50 \times 2.5 \times 1.15}{6} \times 1,619.67$$

$$V_X = V_Y = 407.45 \text{ tn}$$

VERIFICACION DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

- **VERIFICACION EN EL EJE X:**

En la Figura 34 se muestra la fuerza cortante estática soportada por los muros estructurales y los pórticos en la dirección X:

Force	Right Side			Left Side			Unit
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	-294.8094	11.2093	-173.6462	294.8094	-11.2093	173.6462	tonf
Moment	-2689.2775	-3382.7742	5611.0839	2689.2775	3382.7742	-5611.0839	tonf-m

(a)

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	-17.6878	20.1735	m
Global Y	-10.3666	-10.2805	m

Load Case

Sismo Estatico XX

Resultant Force Location and Angle

Global X	1.2429	m
Global Y	-10.3235	m
Global Z	0	m
Angle	0.13	deg

Objects to Include

Columns Beams Braces
 Floors Walls Links

Integrated Forces

	Right Side			Left Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	-111.9283	-10.2849	173.6462	111.9283	10.2849	-173.6462	tonf
Moment	2677.5458	-1779.2406	2175.2765	-2677.5458	1779.2406	-2175.2765	tonf-m

(b)

Figura 34.

(a) Fuerza cortante estática soportada por los muros estructurales en la dirección X

(b) Fuerza cortante estática soportada por los pórticos en la dirección X

Fuente: Software Etabs v16.2.0

De lo anterior se contempla que los muros estructurales soportan 294.8094 tn de la Fuerza cortante basal estática en la dirección X, representando el 72.36%.

La Norma E.030 en el Art. 3.2.1. señala "**Muros Estructurales...** dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70 % de la fuerza cortante en la base." Por lo tanto, la edificación tiene un sistema de muros estructurales en el eje X.

- **VERIFICACION EN EL EJE Y:**

En la Figura 35 se muestra la fuerza cortante estática soportada por los muros estructurales y los pórticos en la dirección Y:

Section Cutting Line

	Start Point	End Point	
Global X	-16.7412	19.7432	m
Global Y	-10.5386	-10.0224	m

Load Case

Sismo Estatico YY

Resultant Force Location and Angle

Global X	1.501	m
Global Y	-10.2805	m
Global Z	0	m
Angle	0.811	deg

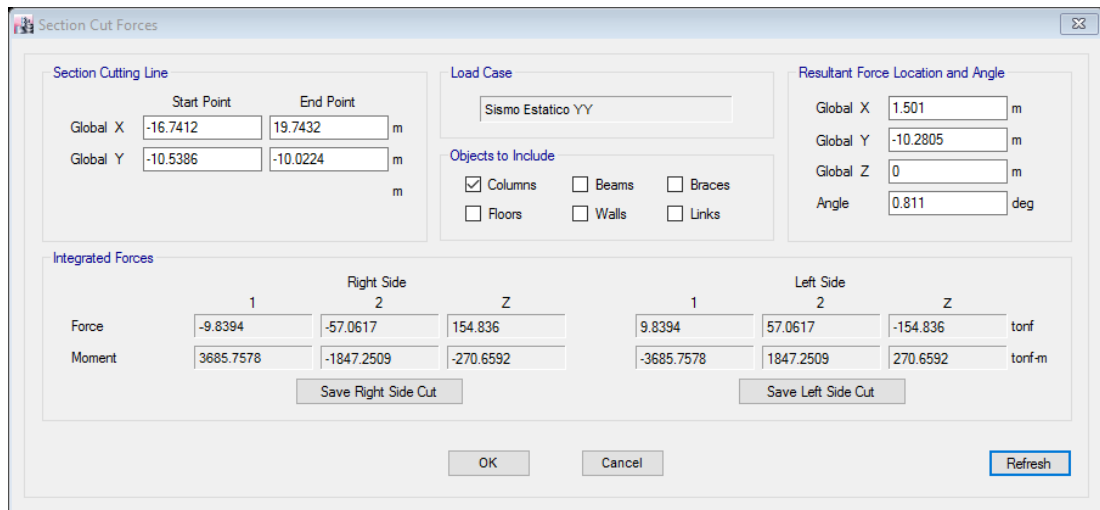
Objects to Include

Columns Beams Braces
 Floors Walls Links

Integrated Forces

	Right Side			Left Side			
	1	2	Z	1	2	Z	
Force	4.0839	-349.6366	-154.836	-4.0839	349.6366	154.836	tonf
Moment	1475.7586	1774.2068	-4719.1307	-1475.7586	-1774.2068	4719.1307	tonf-m

(a)



(b)

Figura 35.

(c) Fuerza cortante estática soportada por los muros estructurales en la dirección Y

(d) Fuerza cortante estática soportada por los pórticos en la dirección Y

Fuente: Software Etabs v16.2.0

De lo anterior se contempla que los muros estructurales soportan 349.64 tn de la Fuerza cortante basal estática en la dirección Y, representando el 85.81% y verificando que la edificación tiene un sistema de muros estructurales también en el eje Y.

VERIFICACION DE LA REGULARIDAD ESTRUCTURAL

La verificación de la regularidad estructural se realiza con el fin de determinar el Coeficiente de Reducción de las fuerzas Sísmicas (R) que se calcula con la siguiente expresión:

$$R = R_0 \times I_a \times I_p$$

Donde:

R_0 : Coeficiente básico de reducción de las fuerzas sísmicas, calculado previamente y obteniéndose $R_{0X} = R_{0Y} = 6$.

I_a : Factor de irregularidad en altura.

I_p : Factor de irregularidad en planta.

- **VERIFICACION DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN ALTURA:**

- **IRREGULARIDAD DE RIGIDEZ- PISO BLANDO:**

“Existe irregularidad de rigidez cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, la distorsión de entrepiso (deriva) es mayor que 1,4 veces el correspondiente valor en el entrepiso inmediato superior, o es mayor que 1,25 veces el promedio de las distorsiones de entrepiso en los tres niveles superiores adyacentes. La distorsión de entrepiso se calculará como el promedio de las distorsiones en los extremos del entrepiso.” (RNE E.030 2016, 9).

En las Tablas 6 y 7 se observa la verificación de irregularidad de rigidez en los ejes X y Y respectivamente:

Tabla 6. Control de Irregularidad de Rigidez en el eje X.

NIVEL	Distorsión Extremo 01	Distorsión Extremo 02	Promedio	Dist i / Dist i+1	3Dist i/ ΣDist i+3
AZOTEA	0.02915	0.03002	0.02958		
PISO 5	0.02602	0.02608	0.02605	0.88065	
PISO 4	0.02051	0.02084	0.02067	0.79362	
PISO 3	0.01425	0.01480	0.01452	0.70254	0.57104
PISO 2	0.00842	0.00845	0.00843	0.58066	0.41309
PISO 1	0.00281	0.00281	0.00281	0.33319	0.19321

Tabla 7. Control de Irregularidad de Rigidez en el eje Y.

NIVEL	Distorsión Extremo 01	Distorsión Extremo 02	Promedio	Dist i / Dist i+1	3Dist i/ ΣDist i+3
AZOTEA	0.01814	0.01825	0.01819		
PISO 5	0.01601	0.01628	0.01615	0.88745	
PISO 4	0.01215	0.01281	0.01248	0.77296	
PISO 3	0.00892	0.00899	0.00896	0.71762	0.57386
PISO 2	0.00499	0.00500	0.00499	0.55753	0.39859
PISO 1	0.00159	0.00165	0.00162	0.32475	0.18407

Se observa en ambos casos que la razón entre la distorsión de un piso y el inmediato superior no supera a 1.4, además, la razón de la distorsión de un piso y el promedio de las distorsiones de entrepiso de los tres niveles superiores adyacentes no supera a 1.25.

Con los resultados obtenidos concluimos que la estructura no tiene irregularidad de rigidez o de piso blando, por ello, el valor del factor de irregularidad en altura (I_a) es:

$$I_{aX} = I_{aY} = 1$$

- **VERIFICACION DE IRREGULARIDAD ESTRUCTURAL EN PLANTA**

- **IRREGULARIDAD TORSIONAL:**

“Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (Δ_{max}), es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (Δ_{cm}). Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 50 % del desplazamiento permisible.” (RNE E.030 2016, 9).

En las Tablas 8 y 9 se observa la verificación de irregularidad en planta en los ejes X y Y respectivamente:

Tabla 8. Control de Irregularidad en Planta en el eje X.

NIVEL	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO CM (m)	DESPLAZAMIENTO MAX (m)	DESP. MAX / DESP. CM
AZOTEA	18.1	0.030128	0.033233	1.103061
PISO 5	15.3	0.026098	0.028828	1.104606
PISO 4	12.24	0.020842	0.022929	1.100134
PISO 3	9.18	0.014817	0.016243	1.096240
PISO 2	6.12	0.008488	0.009266	1.091659
PISO 1	3.06	0.002824	0.003065	1.085340
Restricción: 50% (0.007) = 0.0035				

Tabla 9. Control de Irregularidad en Planta en el eje Y.

NIVEL	ALTURA (m)	DESPLAZAMIENTO CM (m)	DESPLAZAMIENTO MAX (m)	DESP. MAX / DESP. CM
AZOTEA	18.1	0.01826	0.020911	1.145181
PISO 5	15.3	0.016289	0.019462	1.194794
PISO 4	12.24	0.012864	0.015400	1.197139
PISO 3	9.18	0.009014	0.010811	1.199357
PISO 2	6.12	0.005061	0.006070	1.199368
PISO 1	3.06	0.001667	0.001999	1.199100
Restricción: 50% (0.007) = 0.0035				

La estructura en estudio tiene diafragmas rígidos y el máximo desplazamiento relativo de entrepiso, en ambas direcciones, supera el 50% del desplazamiento permisible (0.0035), sin embargo, la relación entre el máximo desplazamiento relativo y el desplazamiento relativo del centro de masa no supera el valor de 1.2, por lo tanto, la estructura no presenta irregularidad en planta y su factor de irregularidad en planta (I_p) es:

$$I_{pX} = I_{pY} = 1$$

Luego de verificar la irregularidad en planta y en altura en las direcciones X y Y, se determina el Coeficiente de Reducción de las fuerzas Sísmicas (R):

$$R = R_{OX} I_{ax} I_{pX}$$

- Eje X: $R_X = R_{OX} I_{ax} I_{pX}$
 $R_X = 6 \times 1 \times 1 = 6$
- Eje Y: $R_Y = R_{OY} I_{ay} I_{pY}$
 $R_Y = 6 \times 1 \times 1 = 6$

5.2.3. CONTROL DE DISTORSION DE ENTREPISO

En las Tablas 10 y 11 se muestran las distorsiones de entrepiso estáticos en los ejes X y Y, los desplazamientos son del centro de masa de cada diafragma y fueron obtenidos con el Software Etabs V16.2.0, la distorsión inelástica se calculó multiplicando la distorsión elástica por 0.75 en valor de R.

Tabla 10. Control de distorsión de entrepiso en el eje X

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas Δ Elástica	Derivas inelásticas Δ Inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite(%)
AZOTEA	18.1	0.030128	0.001576	0.007092	0.7092	0.7
PISO 5	15.3	0.026098	0.001931	0.008690	0.8690	0.7
PISO 4	12.24	0.020842	0.002188	0.009846	0.9846	0.7
PISO 3	9.18	0.014817	0.002283	0.010274	1.0274	0.7
PISO 2	6.12	0.008488	0.002029	0.009131	0.9131	0.7
PISO 1	3.06	0.002824	0.001002	0.004509	0.4509	0.7

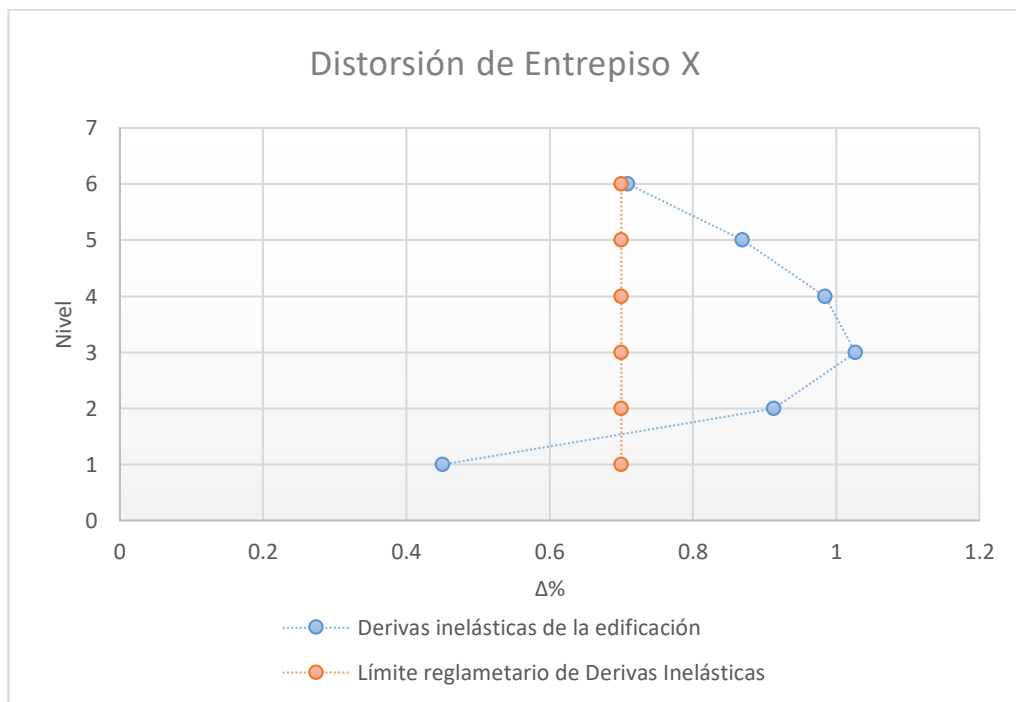


Figura 36. Distorsión inelástica de entrepiso en el eje X VS Distorsión de entrepiso reglamentario

Tabla 11. Control de distorsión de entrepiso en el eje Y

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas Δ elástica	Derivas inelásticas Δ inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite(%)
AZOTEA	18.1	0.01826	0.000892	0.004014	0.4014	0.7
PISO 5	15.3	0.016289	0.001225	0.0055125	0.55125	0.7
PISO 4	12.24	0.012864	0.001459	0.0065655	0.65655	0.7
PISO 3	9.18	0.009014	0.001566	0.007047	0.7047	0.7
PISO 2	6.12	0.005061	0.001415	0.0063675	0.63675	0.7
PISO 1	3.06	0.001667	0.000705	0.0031725	0.31725	0.7

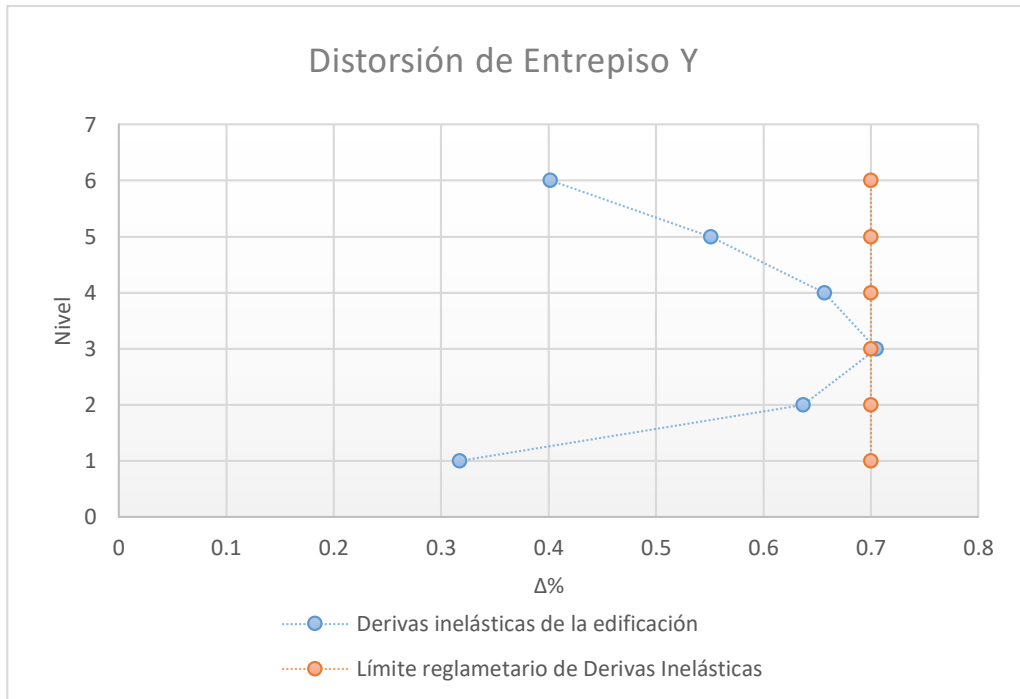


Figura 37. Distorsión inelástica de entrepiso en el eje Y VS Distorsión de entrepiso reglamentario

5.3. ANALISIS DINAMICO MODAL ESPECTRAL

5.3.1. PARAMETROS SISMICOS

Los parámetros sísmicos usados serán los mismos calculados en el análisis estático, ver Tabla 5.

5.3.2. ESPECTRO INELASTICO DE PSEUDOACELERACIONES

“Para cada una de las direcciones horizontales analizadas se utilizará un espectro inelástico de pseudo-aceleraciones definido por:

$$S_a = \frac{Z.U.C.S}{R} \cdot g'' \quad (\text{RNE E.030 2016, 12}).$$

A continuación, se genera la Tabla 12 para generar el espectro inelástico de pseudo-aceleraciones visualizado en la Figura 38.

Tabla 12. ZUCS/R (g) vs T (periodo) para las direcciones X y Y.

T (seg)	ZUCS/R (g)
0.0	0.2515625
0.2	0.2515625
0.4	0.2515625
0.6	0.2515625
0.8	0.1886719
1.0	0.1509375
1.4	0.1078125
1.8	0.0838542
2.2	0.0686080
2.6	0.0580529
3.0	0.0503125
3.5	0.0431250
4.0	0.0377344
4.5	0.0335417
5.0	0.0301875
6.0	0.0251563
7.0	0.0215625
8.0	0.0188672
9.0	0.0167708
10	0.0150938

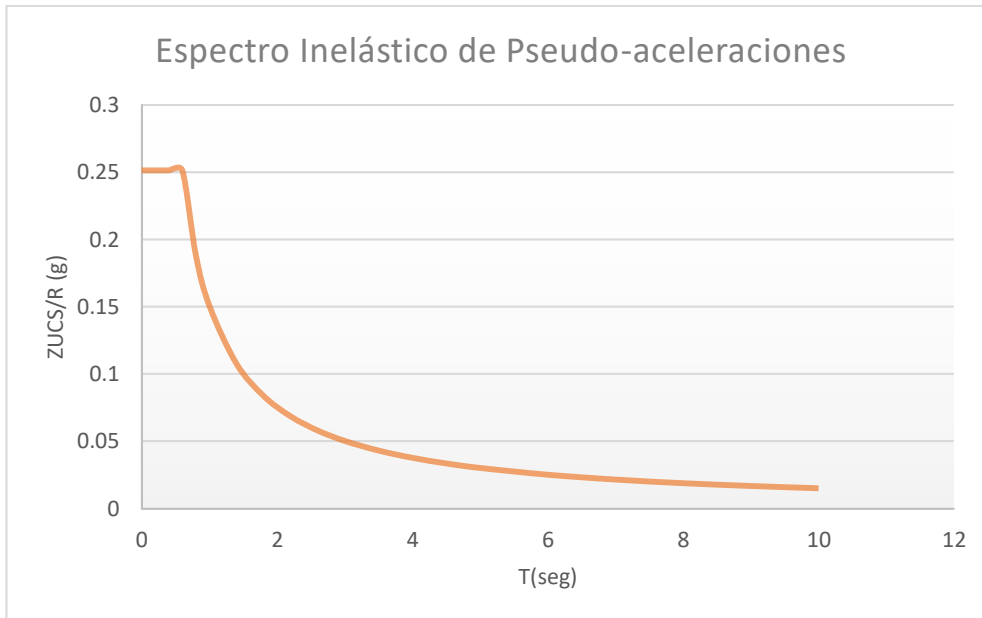


Figura 38. Espectro Inelástica de Pseudo-aceleraciones para los ejes X y Y.

5.3.3. DEFINICION DE CASO DE CARGA DINAMICA

Se importa el Espectro Inelástico de Pseudo-aceleraciones al Software ETABS v16.2.0. como se muestra en la Figura 39.

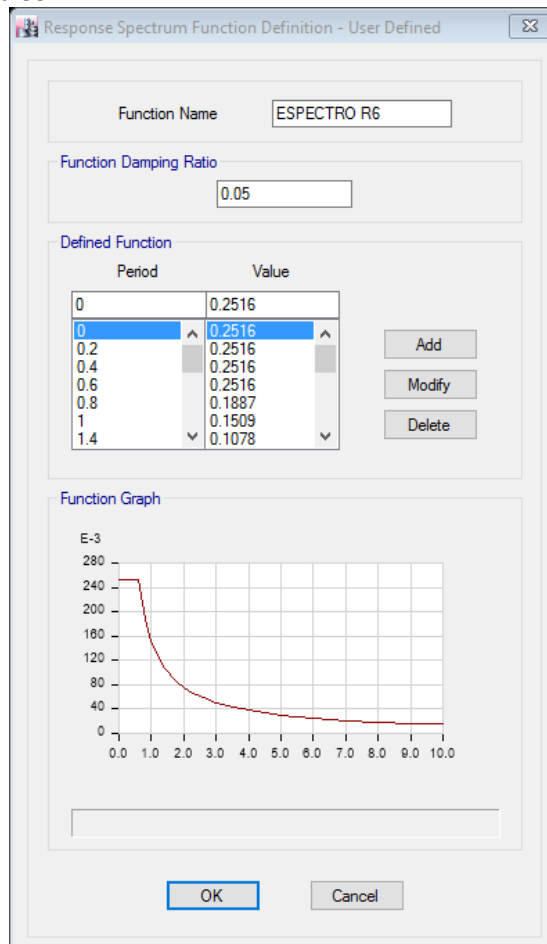


Figura 39. Espectro Inelástica de Pseudo-aceleraciones importado para los ejes X y Y.

Luego se define el caso de carga dinámica que para los ejes X y Y, como indican las Figuras 40 y 41 respectivamente, que comparte el mismo espectro inelástico de pseudo-aceleraciones ya que los parámetros sísmicos en ambas direcciones son los mismos.

Load Case Data

General

Load Case Name: SISDX [Design...]

Load Case Type: Response Spectrum [Notes...]

Exclude Objects in this Group: Not Applicable

Mass Source: Previous (Peso Sísmico)

Loads Applied

Load Type	Load Name	Function	Scale Factor
Acceleration	U1	ESPECTRO R6	9.8067

[Add] [Delete] [Advanced]

Other Parameters

Modal Load Case: Modal

Modal Combination Method: CQC

Include Rigid Response

Rigid Frequency, f1: []

Rigid Frequency, f2: []

Periodic + Rigid Type: []

Earthquake Duration, td: []

Directional Combination Type: SRSS

Absolute Directional Combination Scale Factor: []

Modal Damping: Constant at 0.05 [Modify/Show...]

Diaphragm Eccentricity: 0.05 for All Diaphragms [Modify/Show...]

[OK] [Cancel]

Figura 40. Definición del Caso de Carga Dinámico en Dirección X, SISDX.

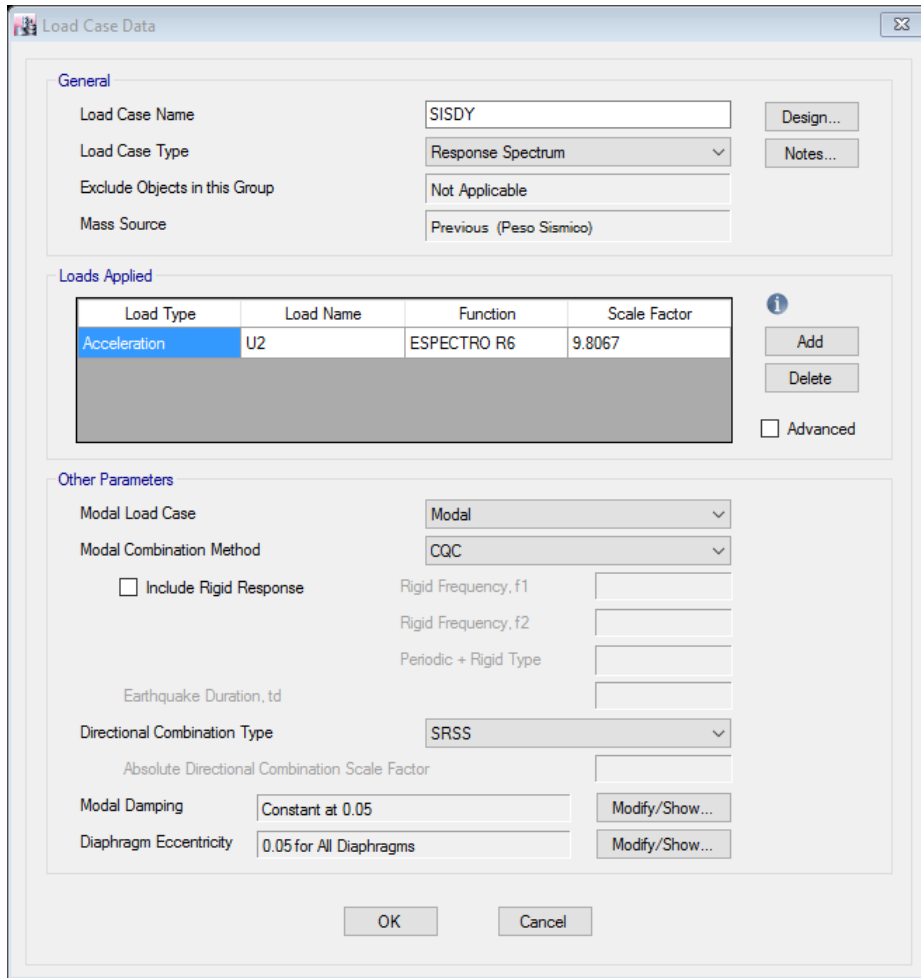


Figura 41. Definición del Caso de Carga Dinámico en Dirección Y, SISDY.

Luego de estas definiciones, la Figura 42 muestra todos los casos de carga definidos hasta el momento que servirán para los análisis estáticos y dinámicos.

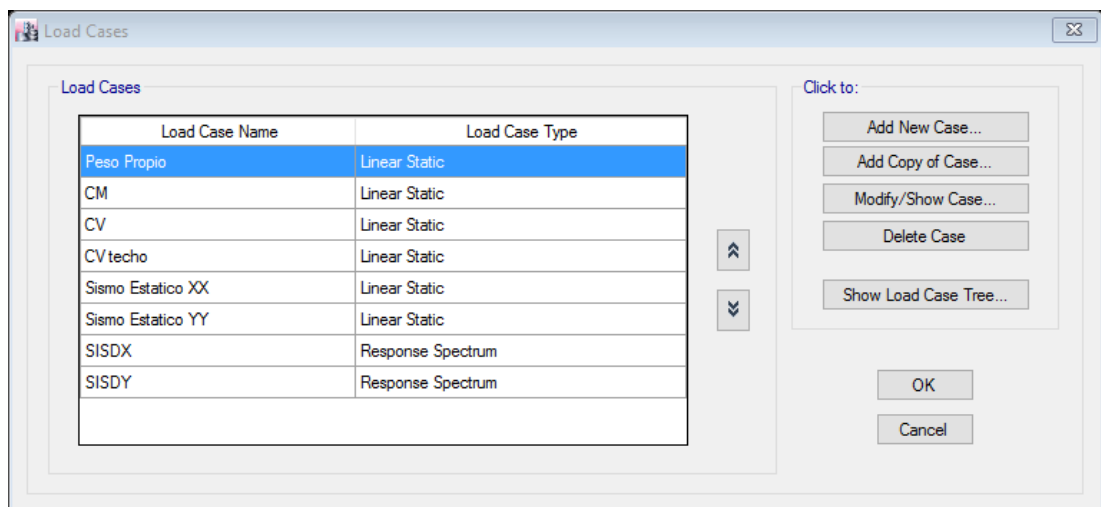


Figura 42. Visualización de Casos de Carga Estáticos y Dinámicos.

5.3.4. CONTROL DE DISTORSION DE ENTREPISO

En las Tablas 13 y 14 se muestran las distorsiones de entrepiso dinámico en los ejes X y Y, los desplazamientos son del centro de masa de cada diafragma y fueron obtenidos con el Software Etabs V16.2.0, la distorsión inelástica se calculó multiplicando la distorsión elástica por 0.75 en valor de R.

Se observa que las derivas inelásticas en los ejes X y Y superan el límite establecido en la NTE E0.30.

Tabla 13. Control de distorsión dinámica de entrepiso en el eje X

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas Δ Elástica	Derivas inelásticas Δ Inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ límite(%)
AZOTEA	18.1	0.022615	0.001247	0.005612	0.5612	0.7
PISO 5	15.3	0.019671	0.001562	0.007029	0.7029	0.7
PISO 4	12.24	0.015662	0.001782	0.008019	0.8019	0.7
PISO 3	9.18	0.011114	0.001877	0.008447	0.8447	0.7
PISO 2	6.12	0.00635	0.00168	0.00756	0.7560	0.7
PISO 1	3.06	0.002105	0.000832	0.003744	0.3744	0.7

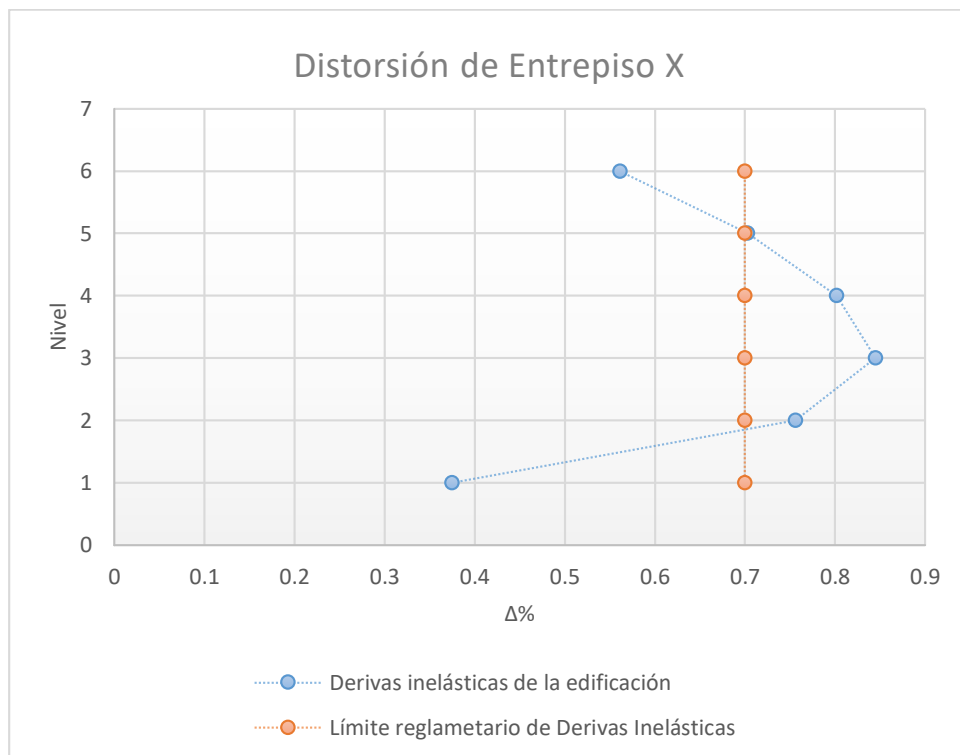


Figura 43. Distorsión dinámica inelástica de entrepiso en el eje X VS Distorsión de entrepiso reglamentario

Tabla 14. Control de distorsión dinámica de entrepiso en el eje Y

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas $\Delta_{elástica}$	Derivas inelásticas $\Delta_{inelástica}$	Derivas inelásticas $\Delta(\%)$	Deriva límite $\Delta_{límite}(\%)$
AZOTEA	18.1	0.010121	0.000706	0.003177	0.3177	0.7
PISO 5	15.3	0.009368	0.001238	0.005571	0.5571	0.7
PISO 4	12.24	0.007356	0.001474	0.006633	0.6633	0.7
PISO 3	9.18	0.005159	0.0016	0.0072	0.72	0.7
PISO 2	6.12	0.002901	0.00145	0.006525	0.6525	0.7
PISO 1	3.06	0.000958	0.000701	0.0031545	0.31545	0.7

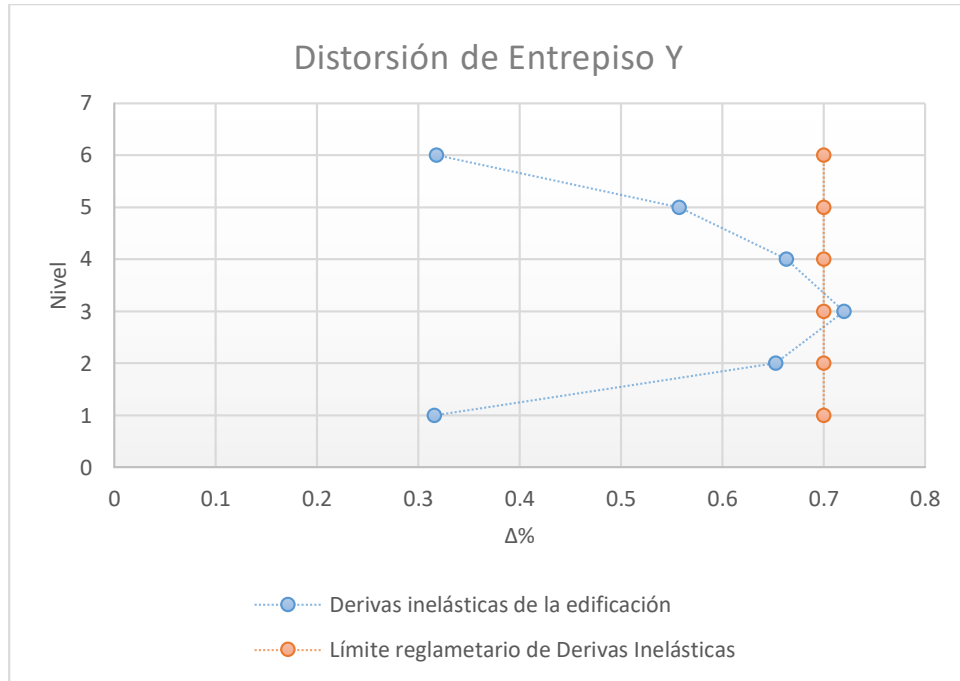


Figura 44. Distorsión dinámica inelástica de entrepiso en el eje Y VS Distorsión de entrepiso reglamentario

Tabla 15. Límites Reglamentarios para la Distorsión de entrepiso

LÍMITES PARA LA DISTORSION DE ENTREPISO	
MATERIAL PREDOMINANTE	Δ/H
Concreto Armado	0.007
Acero	0.01
Albañilería	0.005
Madera	0.01
Edificios con concreto armado con muros de ductilidad limitada	0.005

Fuente. RNE E.030.2016. 13

Se observa que en las direcciones X y Y encontramos distorsiones de entrepiso que no cumplen con el límite reglamentario, siendo la distorsión máxima de 0.845% en el eje X y 0.72% en el eje Y.

A continuación, se colocarán dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso tipo Taylor en el eje X para mejorar las distorsiones de entrepiso.

CAPITULO VI. DISIPADORES DE ENERGIA DE FLUIDO VISCOSO

A continuación, se optimiza el desempeño estructural de la edificación del CPU-UNASAM incrementando el amortiguamiento interno a través de disipadores de energía, de esta manera se incrementará el amortiguamiento del sistema y se disminuirá la demanda de disipación de energía a través de la inelasticidad en los elementos estructurales, evitando de esa manera la posible falla de los mismos ante un evento sísmico.

6.1. AMORTIGUAMIENTO OBJETIVO

Para la presente investigación se consideró como deriva objetivo 0.0056 que determina una distorsión límite moderada para edificaciones de muros de concreto armado de altura media según el manual técnico Multi-hazard Loss Estimation Methodology- HAZUS, cuya tabla se muestra a continuación:

Tabla 16. Valores Medios de Daño Estructural Según el Tipo de Edificación.

Propiedades de la Edificación			Distorsión límite según el estado de daño			
Edificación	Tipo	Altura (m)	Leve	Moderado	Extenso	Completo
Pórticos de acero a momento	Bajo	7.2	0.0060	0.0104	0.0235	0.06
	Medio	18	0.0040	0.0069	0.0157	0.04
	Alto	46.8	0.0030	0.0052	0.0118	0.03
Pórticos de acero arriostrados	Bajo	7.2	0.0050	0.0087	0.0233	0.06
	Medio	18	0.0033	0.0058	0.0156	0.04
	Alto	46.8	0.0025	0.0043	0.0117	0.03
Pórticos de concreto armado	Bajo	6	0.0050	0.0087	0.0233	0.06
	Medio	15	0.0033	0.0058	0.0156	0.04
	Alto	36	0.0025	0.0043	0.0117	0.03
Muros de concreto armado	Bajo	6	0.0040	0.0084	0.0232	0.06
	Medio	15	0.0027	0.0056	0.0154	0.04
	Alto	36	0.0020	0.0042	0.0116	0.03

Fuente. Multi-Hazard Loss Estimation Methodology - HAZUS

FACTOR DE RESPUESTA "B"

Relaciona la Deriva máxima con la Deriva objetivo en cada dirección:

$$B = \frac{D_{MAX}}{D_{OBJETIVO}}$$

Donde:

D_{MAX} : Deriva máxima obtenida del análisis dinámico espectral en la dirección X

$D_{OBJETIVO}$: Deriva objetivo: 0.0056

Reemplazando:

$$B = \frac{D_{MAX,xx}}{D_{OBJETIVO}}$$

$$B = \frac{0.008447}{0.0056}$$

$$B = 1.5084$$

AMORTIGUAMIENTO EFECTIVO “ B_{eff} ”

Se calcula para cada dirección despejando la siguiente expresión:

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

Donde:

B_0 : Amortiguamiento inherente de la estructura (5.00%).

B_{eff} : Amortiguamiento efectivo de la estructura

Reemplazando:

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(B_0)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

Reemplazando:

$$1.5084 = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5\%)}{2.31 - 0.41 \ln(B_{eff})}$$

$$B_{eff} = 19.41\%$$

AMORTIGUAMIENTO INHERENTE “ B_H ”

Es el amortiguamiento que aportan los disipadores de energía, se calcula con la siguiente expresión:

$$B_H = B_{eff} - B_0$$

Donde:

B_{eff} : Amortiguamiento efectivo de la estructura

B_0 : Amortiguamiento inherente de la estructura (5.00%).

Reemplazando:

$$B_H = 19.41\% - 5.00\%$$

$$B_H = 14.41\%$$

RECOMENDACIONES ADICIONALES:

Los fabricantes de disipadores de energía de fluido viscoso recomiendan que los disipadores sean diseñados teniendo en consideración para el cálculo un amortiguamiento viscoso(β_H) sea entre 20 a 40%, por lo tanto, se elige un amortiguamiento inherente del 20% en ambas direcciones.

$$B_{Hx} = 20.00\%$$

6.2. CALCULO DE LAS PROPIEDADES DEL DISIPADOR

RIGIDEZ DEL BRAZO METÁLICO “ K ”

La rigidez del brazo metálico que conecta el dispositivo a la estructura se calcula con la siguiente expresión:

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

Donde:

E : Módulo de elasticidad del acero.

A : Área de la sección del brazo metálico

L : Longitud del brazo metálico

Para los disipadores de energía de fluido viscoso se usa un perfil metálico estándar HSS o PiPE STD, eligiéndose en este caso un perfil metálico del tipo HSS 7.50 x 0.50, cuyas características son las siguientes:

Tabla 17. Dimensiones HSS 7.50 x 0.50

Dext (in)	Dint (in)	Espesor (in)	Area (in^2)	Inercia (in^4)
7.5	7.035	0.465	10.3	63.9

Luego: $E = 29000 \text{ ksi} = 2.04 \times 10^7 \text{ tn}/m^2$

$A = 10.3 \text{ in}^2 = 6.645 \times 10^{-3} m^2$

L = En las siguientes imágenes se observa la longitud del brazo metálico a usar considerando la longitud mínima de los disipadores de energía (31 in).

UBICACIÓN DE LOS DISIPADORES

La ubicación de los disipadores de fluido viscoso en la dirección X es como se muestra en la Figura 45.

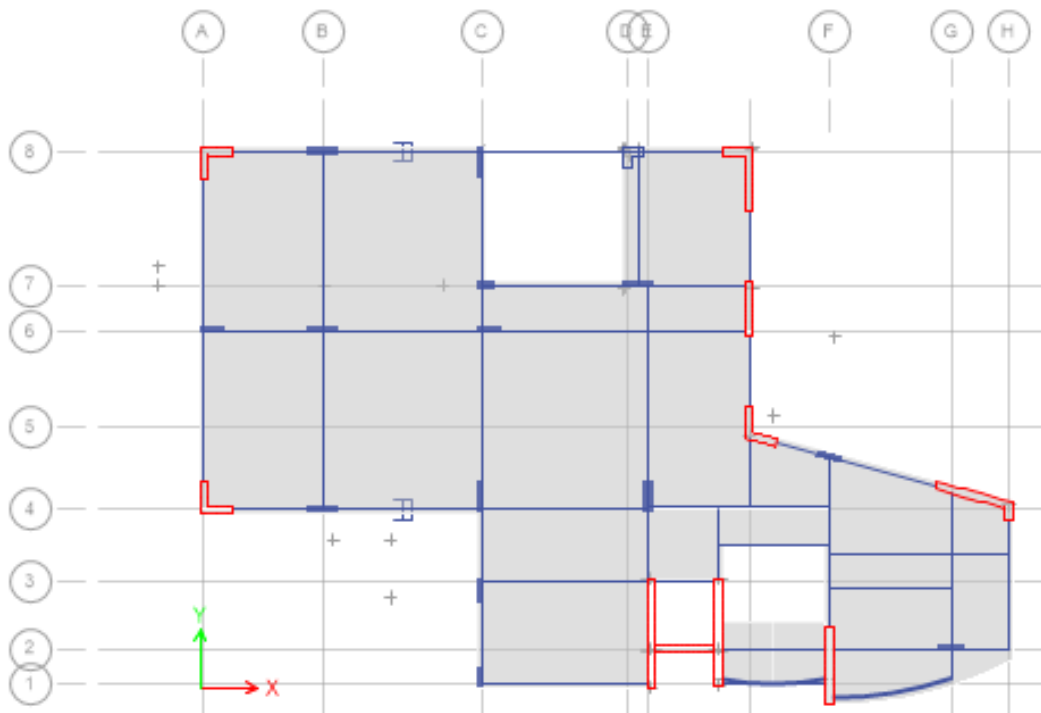


Figura 45. Ubicación de disipadores en la dirección X.

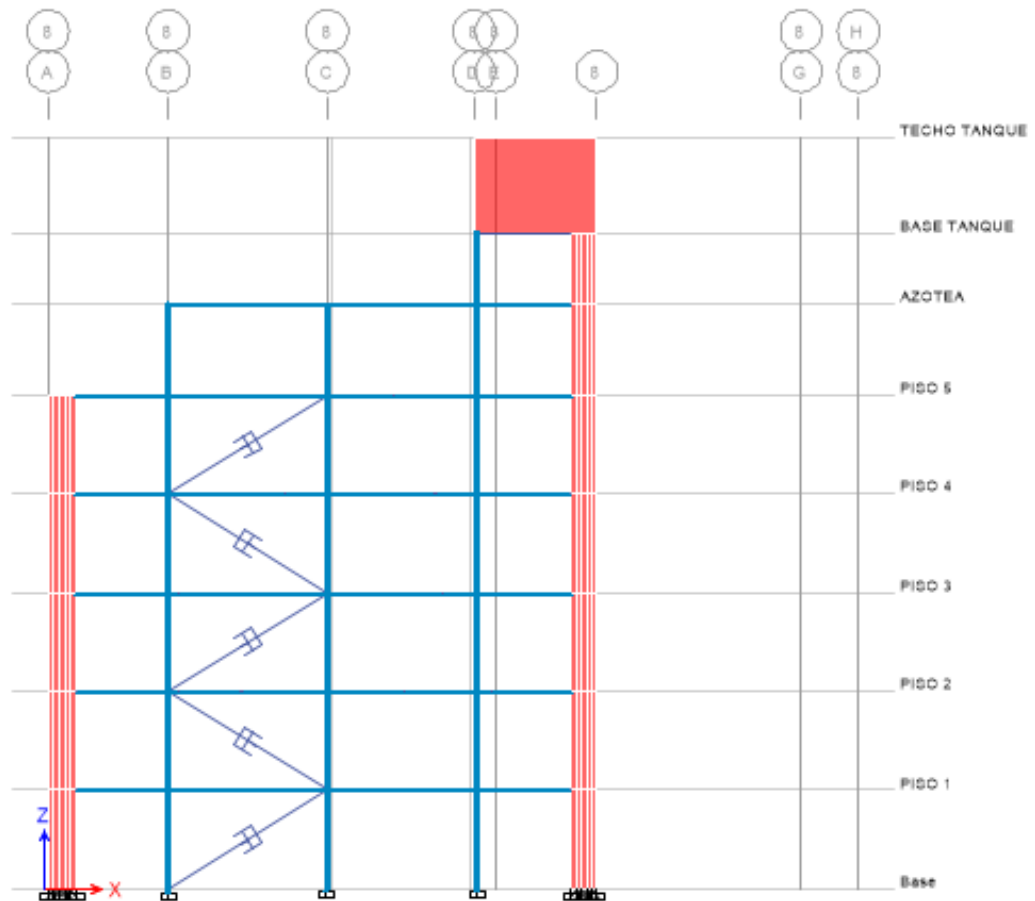


Figura 46. Disposición de los disipadores en elevación del eje 8.

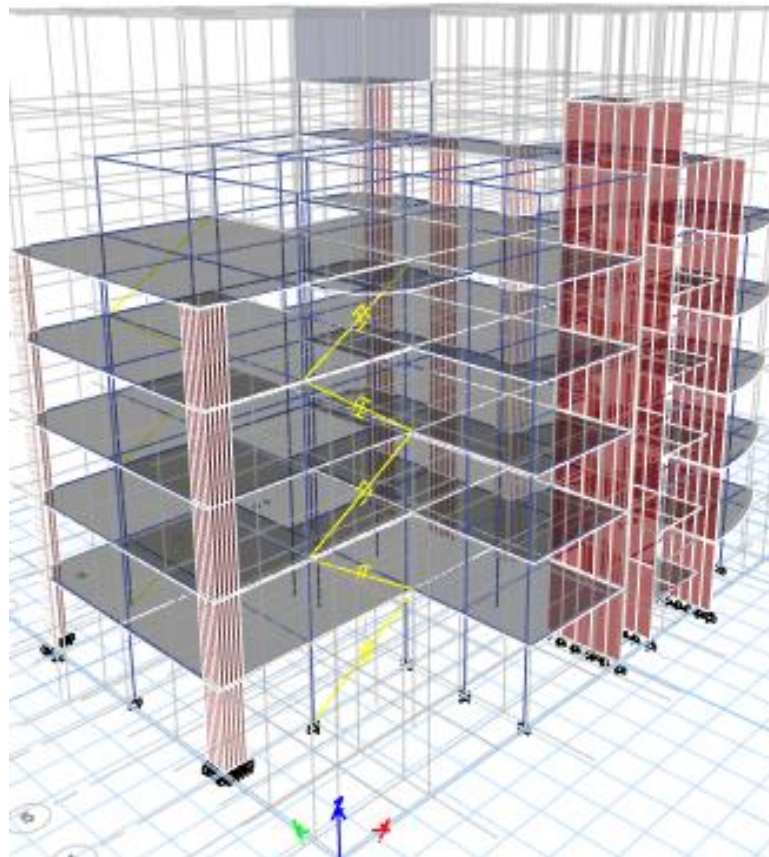


Figura 47. Vista en 3D de la disposición de los disipadores de fluido viscoso

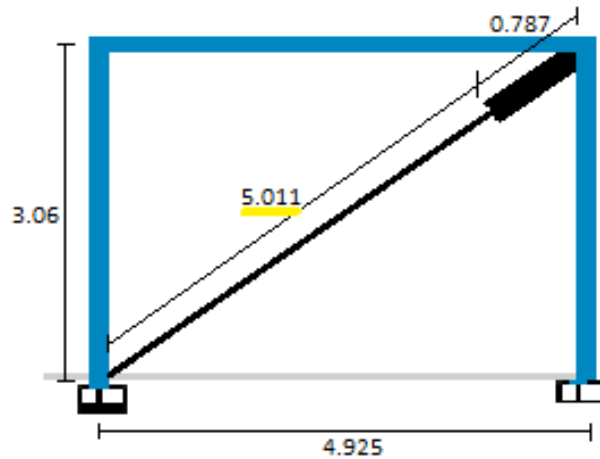


Figura 48. Longitud del brazo metálico de los dispositivos

Por lo tanto:

Rigidez del Brazo Metálico:

$$K = \frac{EA}{L_{1^{\circ}-5^{\circ}}}$$

$$K = \frac{2.04 \times 10^7 \times 6.645 \times 10^{-3}}{5.011}$$

$$K = 27,052.09 \text{ tn/m}^2$$

CÁLCULO DEL COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO

Se usará la siguiente expresión:

$$C_j = \frac{B_H \times 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \varnothing_i^2)}{\lambda (\sum \varnothing_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Donde:

B_H : Amortiguamiento viscoso del disipador de energía

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j

θ_j : Angulo de inclinación del disipador j

\varnothing_i : Desplazamiento modal en el nivel i (correspondiente al primer modo de vibración)

\varnothing_{rj} : Desplazamiento relativo normalizado del primer modo

α : Exponente de velocidad

A: Amplitud del desplazamiento del ultimo nivel (D_{max}/B_x)

ω : Frecuencia angular

λ : Parámetro lambda obtenido de FEMA 274

Cálculos:

- B_H : Amortiguamiento viscoso del disipador de energía

$$B_{Hx} = 20.00\%$$

- ω : Frecuencia angular

Case	Mode	Period sec	Frequency cyc/sec
Modal	1	0.534	1.874
Modal	2	0.514	1.945
Modal	3	0.376	2.662
Modal	4	0.161	6.207
Modal	5	0.152	6.599
Modal	6	0.104	9.635
Modal	7	0.089	11.268

Figura 49. Periodo fundamental de la estructura

$$\omega = 2\pi f = \frac{2\pi}{T} = \frac{2\pi}{0.534}$$

$$\omega = 11.766$$

- A : Amplitud del desplazamiento del ultimo nivel (D_{max}/B_x)

$$A = \frac{D_{max}}{B_x}$$

$$A = \frac{0.008447}{1.5084}$$

$$A = 0.0056$$

- \emptyset_i y \emptyset_{rj} :

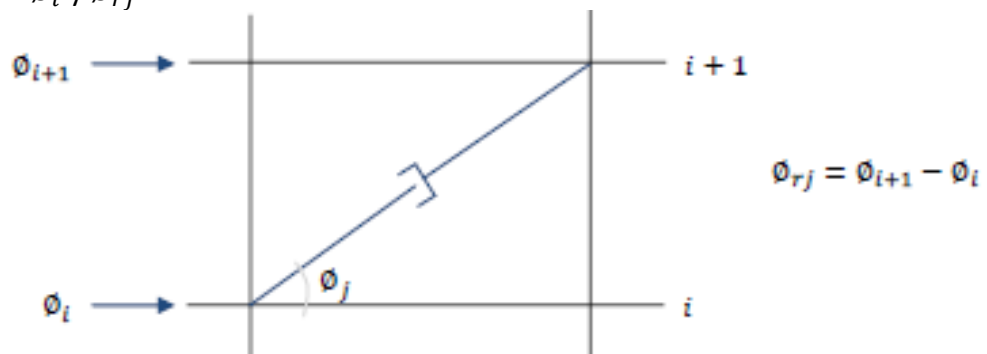


Figura 50. Desplazamientos modales y desplazamientos relativos

Tabla 18. Desplazamiento modal (\emptyset_i) y desplazamientos relativos (\emptyset_{rj}) en el eje X

Nivel	\emptyset_i	\emptyset_{i+1}	$\emptyset_{rjv}(\emptyset_{i+1} - \emptyset_i)$
Base	0	0.005	0.005
1° Piso	0.005	0.015	0.01
2° Piso	0.015	0.026	0.011
3° Piso	0.026	0.037	0.011
4° Piso	0.037	0.046	0.009
5° Piso	0.046	0.052	0.006
Azotea	0.052		

- λ y α :

Tabla 19. Valores de λ respecto al exponente de velocidad α

Exponente α	Parámetro λ
0.25	3.70
0.50	3.50
0.75	3.30
1.00	3.10
1.25	3.00
1.50	2.90
1.75	2.80
2.00	2.70

Fuente. FEMA 274

- Cálculos realizados para obtener el coeficiente de amortiguamiento C:

Tabla 20. Cálculos para C

NIVEL	Masa t.s2/m	Θ	$\cos \Theta$	ϕ_i	ϕ_{rj}	$\phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \Theta_j$	$m_i \phi_i^2$
AZOTEA	10.8218	29.6194°	0.8693	0.052	0.006	0.000377	0.029262
PISO 5	27.1784	31.8535°	0.8494	0.046	0.009	0.000668	0.057510
PISO 4	27.3845	31.8535°	0.8494	0.037	0.011	0.000903	0.037489
PISO 3	27.3273	31.8535°	0.8494	0.026	0.011	0.000903	0.018473
PISO 2	27.4225	31.8535°	0.8494	0.015	0.010	0.000783	0.006170
PISO 1	27.8042	31.8535°	0.8494	0.005	0.005	0.000277	0.000695
					Σ	0.003911	0.149600

Reemplazo de valores:

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

$$C_j = \frac{0.20 \times 2\pi 0.0056^{1-0.5} 11.766^{2-0.5} (0.14960)}{3.5(0.003911)}$$

$$C_j = 41.48 \text{ tn.s/m}$$

Finalmente, las propiedades de los disipadores son:

$$C_j = 50 \text{ tn.s/m}$$

$$K = 27,052.09 \text{ tn/m}^2$$

$$\alpha = 0.5$$

6.3. RESPUESTA ESTRUCTURAL CON DISIPADORES

6.3.1. DERIVAS DE ENTREPISO CON DISIPADORES DE ENERGIA

En las siguientes tablas se muestran las distorsiones de entrepiso dinámico en los ejes X y Y de la edificación con disipadores de energía.

Tabla 21. Control de distorsión dinámica de entrepiso en el eje X con disipadores de energía

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas Δ Elástica	Derivas inelásticas Δ Inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite(%)
AZOTEA	18.1	0.014582	0.000906	0.004077	0.4077	0.7
PISO 5	15.3	0.012635	0.001041	0.0046845	0.46845	0.7
PISO 4	12.24	0.010143	0.001199	0.0053955	0.53955	0.7
PISO 3	9.18	0.007356	0.001303	0.0058635	0.58635	0.7
PISO 2	6.12	0.004343	0.001213	0.0054585	0.54585	0.7
PISO 1	3.06	0.00152	0.000636	0.002862	0.2862	0.7

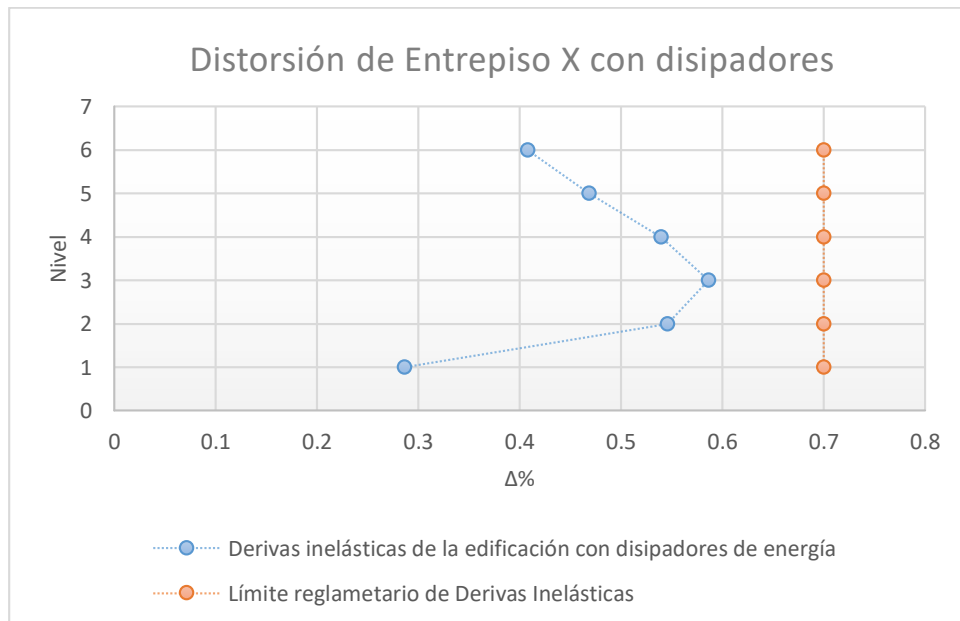


Figura 51. Distorsión dinámica inelástica de entrepiso en el eje X con disipadores de energía VS Distorsión de entrepiso reglamentario

Tabla 22. Control de distorsión dinámica de entrepiso en el eje Y con disipadores de energía

Piso	Altura m	Desp. m	Derivas Δ Elástica	Derivas inelásticas Δ Inelástica	Derivas inelásticas Δ (%)	Deriva límite Δ limite(%)
AZOTEA	18.1	0.009138	0.000706	0.003177	0.3177	0.7
PISO 5	15.3	0.008836	0.001157	0.0052065	0.52065	0.7
PISO 4	12.24	0.006939	0.001394	0.006273	0.6273	0.7
PISO 3	9.18	0.004892	0.001534	0.006903	0.6903	0.7
PISO 2	6.12	0.002771	0.001422	0.006399	0.6399	0.7
PISO 1	3.06	0.000927	0.000716	0.003222	0.3222	0.7

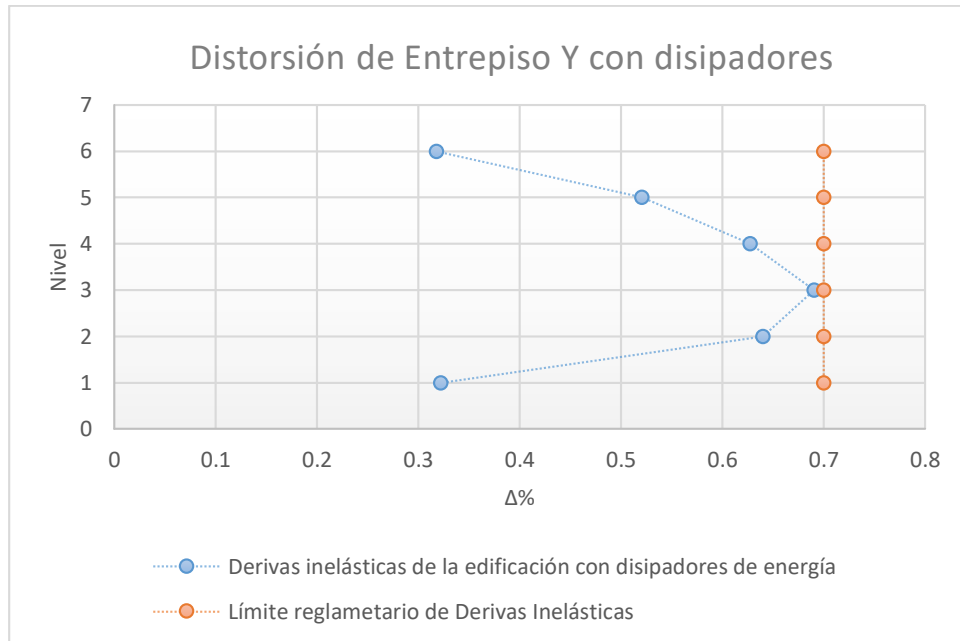


Figura 52. Distorsión dinámica inelástica de entrepiso en el eje X con disipadores de energía VS Distorsión de entrepiso reglamentario

Se observa que en los ejes X y Y las distorsiones dinámicas con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso disminuyen hasta cumplir con el límite reglamentario.

6.4. DISEÑO DE LOS DISPOSITIVOS DE AMORTIGUAMIENTO

6.4.1. AGRUPAMIENTO DE DISPOSITIVOS POR NIVELES DE FUERZA

En las Figuras 53 y 54 se observan la disposición de los disipadores de energía y las fuerzas máximas axiales a las que son sometidas en el análisis dinámico.

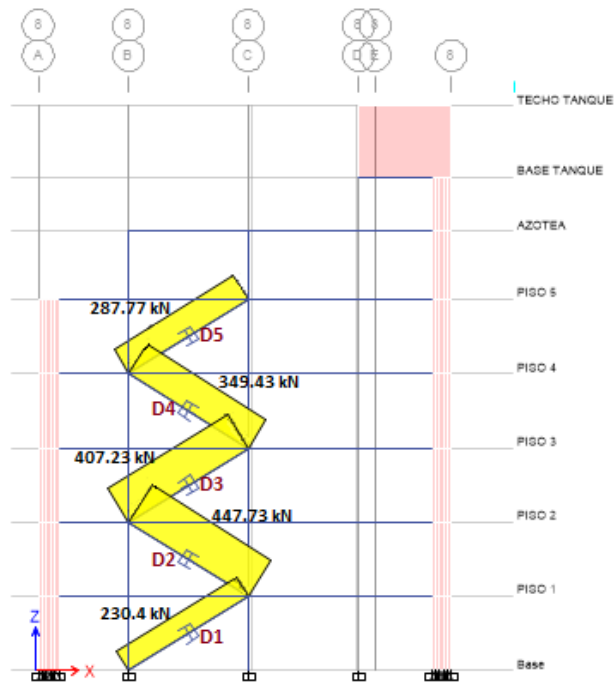


Figura 53. Disipadores de energía en el eje 8 y las fuerzas que estos soportan en kN

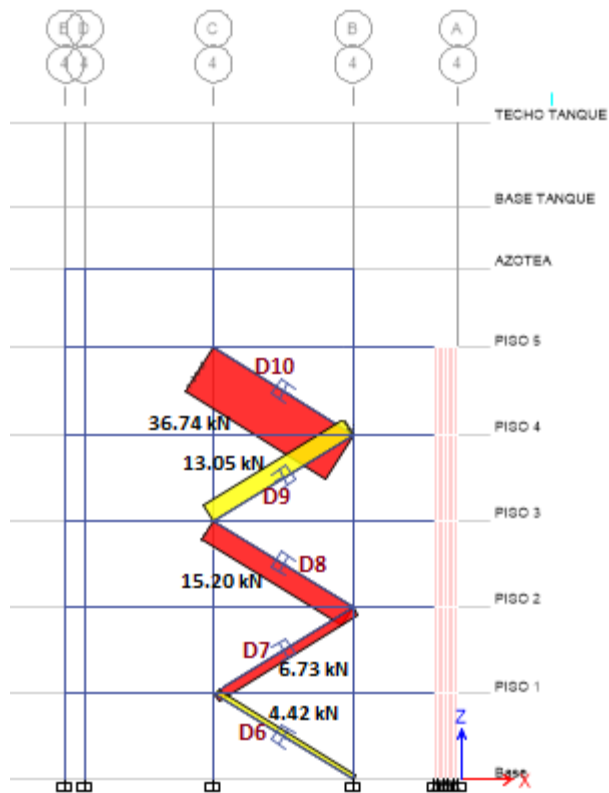


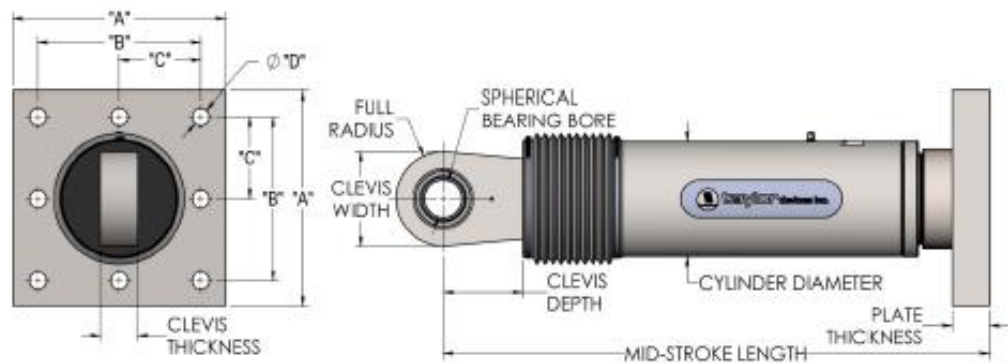
Figura 54. Disipadores de energía en el eje 4 y las fuerzas que estos soportan en kN

Tabla 23. Resumen de disipadores y las fuerzas actuantes (kN)

Disipador	Fuerza (kN)
D1	230.4
D2	447.73
D3	407.23
D4	349.43
D5	287.77
D6	4.42
D7	6.73
D8	15.2
D9	13.05
D10	36.74

6.4.2. ELECCION DE LOS DISIPADORES DE ENERGIA

Los disipadores de energía empleados en la investigación son manufacturados por la corporación **Taylor Devices inc**, principal fabricante de los disipadores fluido viscosos, en la Figura 55 se muestran las dimensiones provistas por este fabricante para los diferentes niveles de fuerza.



FORCE (kN)	TAYLOR DEVICES MODEL NUMBER	SPHERICAL BEARING BORE DIAMETER (mm)	MID-STROKE LENGTH (mm)	STROKE (mm)	CLEVIS THICKNESS (mm)	MAXIMUM CLEVIS WIDTH (mm)	CLEVIS DEPTH (mm)	BEARING THICKNESS (mm)	MAXIMUM CYLINDER DIAMETER (mm)	WEIGHT (kg)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	PLATE THICKNESS (mm)
250	17120	38.10	787	±75	43	100	83	33	114	44	178±3	127±.25	†	20.6±.25	38±.76
500	17130	50.80	997	±100	55	127	102	44	150	98	282±3	203±.25	†	31.8±.25	38±.76
750	17140	57.15	1016	±100	59	155	129	50	184	168	343±3	254±.25	127±.25	28.7±.25	61±.76
1000	17150	69.85	1048	±100	71	185	150	61	210	254	419±3	318±.25	159±.25	31.8±.25	76±1.5
1500	17160	76.20	1105	±100	77	205	162	67	241	306	432±3	330±.25	165±.25	34.9±.25	76±1.5
2000	17170	88.90	1346	±125	91	230	191	78	286	500	457±3	343±.25	171.5±.25	38.1±.25	102±1.5
3000	17180	101.60	1441	±125	117	290	203	89	350	800	508±3	406±.25	203±.25	41.4±.25	102±1.5
4000	17190	127.00	1645	±125	142	325	273	111	425	1088	**	**	**	**	**
6500	17200	152.40	1752	±125	154	350	305	121	515	1930	**	**	**	**	**
8000	17210	177.80	1867	±125	178	415	317	135	565	2625	**	**	**	**	**

Figura 55. Propiedades de los Dispositivos y Dimensiones de la Placa Base Fuente. Taylor Devices Inc.

Los disipadores de fluido viscoso seleccionados son los modelos número 17120 y 17130 de Taylor Devices con capacidad de 250kN Y 500kN respectivamente, en las Tablas 24 y 25 se muestran los detalles de cada uno de ellos.

Tabla 24. Dimensiones de los Disipadores Seleccionados

Fuerza (kN)	Numero de modelo- Taylor Devices	Diámetro de agujero esférico (mm)	Longitud media del brazo (mm)	Movimiento (mm)	Espesor de horquilla (mm)
250	17120	38.1	787	± 75	43
500	17130	50.8	997	± 100	55

Ancho máximo de horquilla (mm)	Profundidad de horquilla (mm)	Espesor de rodamiento (mm)	Diámetro máximo del cilindro (mm)	Peso (kg)
100	83	33	114	44
127	102	44	150	98

Tabla 25. Dimensiones de la Placa Base de los Disipadores Seleccionados.

Fuerza (kN)	"A" (mm)	"B" (mm)	"C" (mm)	"D" (mm)	Espesor de la placa (mm)
250	178 ± 3	127 ± 0.25	-	20.6 ± 0.25	38 ± 0.76
500	282 ± 3	203 ± 0.25	-	31.8 ± 0.25	38 ± 0.76

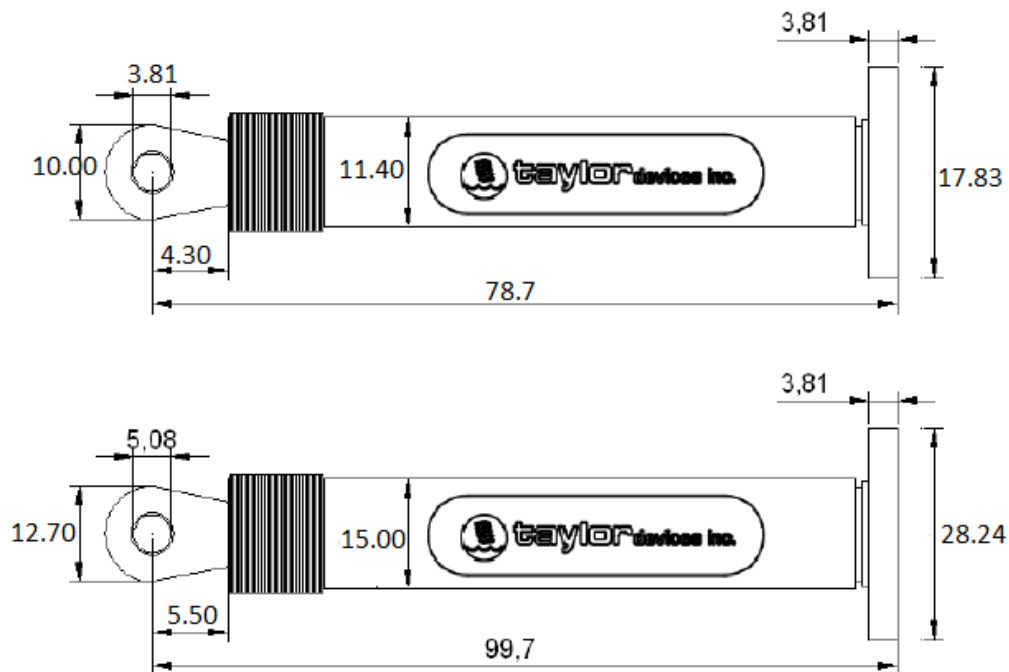


Figura 56. Dimensiones de los disipadores seleccionados 17120 (arriba) 17130 (abajo) en cm.

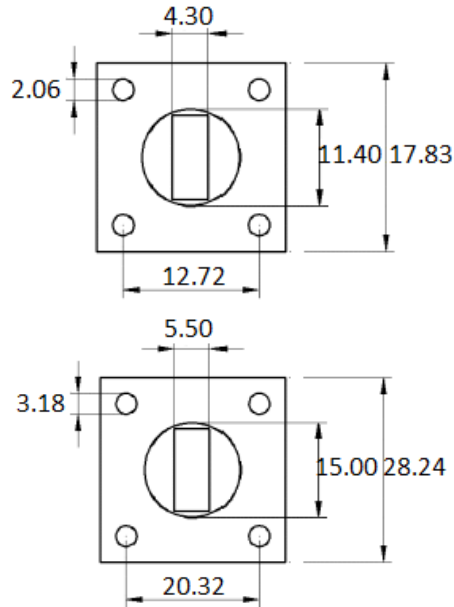


Figura 57. Dimensiones de las placas base de los disipadores seleccionados 17120 (arriba) 17130 (abajo)


6.4.3. DISEÑO DE LOS ELEMENTOS DE ACERO

En el diseño se ha considerado la disposición diagonal de los disipadores en los ejes 4 y 8 entre los ejes B y C, los 5 niveles tienen el mismo ancho y alto, por lo tanto, es suficiente el diseño de un elemento de acero con la máxima carga axial soportada.

6.4.3.1. DISEÑO DEL BRAZO METALICO

Se escogió el perfil HSS 7.50x0.50 como brazo metálico de los disipadores, a continuación, se verificará si dicho perfil tiene la resistencia suficiente para trabajar con la fuerza máxima calculada.

Tabla 26. Propiedades Geométricas del Perfil HSS 7.50x0.50

Table 1-13 (continued) Round HSS Dimensions and Properties										 HSS9.625- HSS6.875	
Shape	Design Wall Thickness, <i>t</i> in.	Nominal Wt. lb/ft	Area, <i>A</i> in. ²	<i>D/t</i>	<i>I</i> in. ⁴	<i>S</i> in. ³	<i>r</i> in.	<i>Z</i> in. ³	Torsion		
									<i>J</i> in. ⁴	<i>C</i> in. ³	
HSS7.50x0.500	0.465	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	

Fuente. AISC Steel Construcción Manual 13th

Tabla 27. Características especificadas para el diseño

Perfil	Área del perfil metálico A (m ²)	Radio del perfil metálico r (m)	Módulo de elasticidad E (tn/m ²)	Esfuerzo de fluencia F _y (tn/m ²)	Resistencia en tensión F _u (tn/m ²)
HSS 7.50x0.50	0.006645	0.06325	20400000	24620.75	35172.5

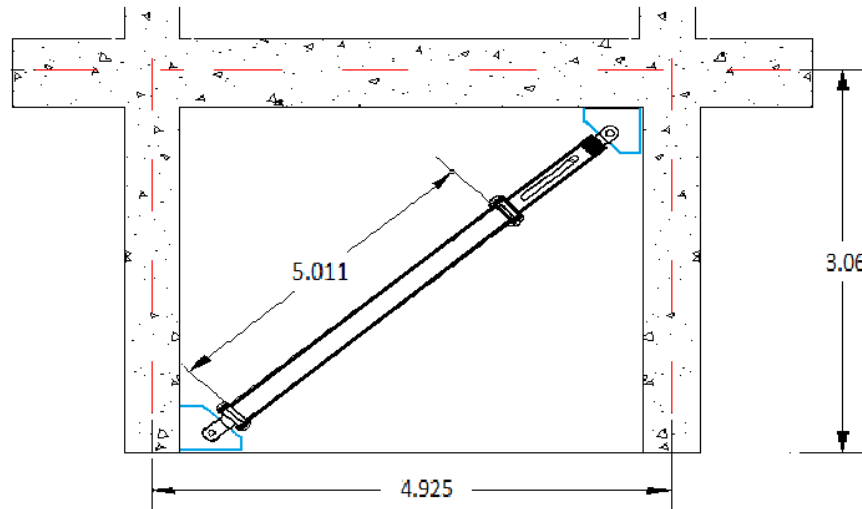


Figura 58. Disipador típico

Fuerza axial máxima actuante: 447.73kN = 44.655tn

Luego:

$$F_e = \frac{\pi^2 * E}{\left(\frac{L}{r}\right)^2} = \frac{\pi^2 * 20400000}{\left(\frac{5.011}{0.06325}\right)^2} = 32,077.62 \text{ tn/m}^2$$

$$F_{cr} = \left(0.658^{F_y/F_e}\right) * F_y = \left(0.658^{24620.75/32077.62}\right) * 24620.75 = 17855.95 \text{ tn/m}^2$$

$$\emptyset P_n = \emptyset * F_{cr} * A = 0.9 * 17855.95 * 0.006645 = 106.79 \text{ tn}$$

$$\emptyset T_n = \emptyset * F_y * A = 0.9 * 24620.75 * 0.006645 = 147.24 \text{ tn}$$

Comprobación:

$$\emptyset P_n = 106.79 \text{ tn} > 44.655 \text{ tn} \quad \text{OK}$$

$$\emptyset T_n = 147.24 \text{ tn} > 44.655 \text{ tn} \quad \text{OK}$$

6.4.3.2. DISEÑO DE LA CONEXIÓN BRAZO METALICO- DISIPADOR VISCOSO

La Figura 59 muestra las dimensiones de la placa base para un disipador número 17130, los pernos a emplear son 4 y su diámetro será:

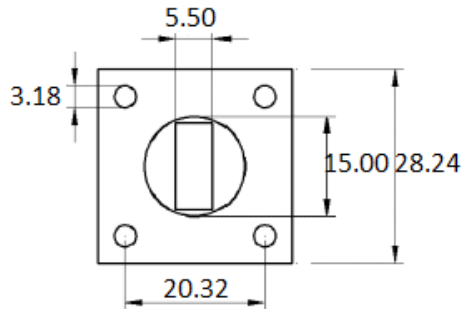


Figura 59. Dimensiones de las placas base de los disipadores 17130

$$db + 1/8" = dh$$

Donde:

db : Diámetro del perno

dh : Diámetro del agujero

Luego:

$$db = dh - 1/8" = 1.25" - 1/8" = 1.125"$$

El diámetro del perno a utilizar es 1.125" o 1 1/8"

A continuación, se calcularán las dimensiones y tipo de pernos, arandelas y tuercas a emplear, para ello se siguen las especificaciones de los códigos AISC, ASTM y RCSC, los cuales se emplean como guía de diseño al momento de requerir conexiones emperradas.

TIPO DE PERNO A EMPLEAR

Los pernos de alta resistencia están especificados bajo las normas ASTM A325 y A490, siendo los pernos A325 fabricados bajo tratamiento térmico y con un acero temperado de medio carbono, poseen una resistencia mínima a la tensión de 120 KSI para diámetros entre 1/2" - 1", así mismo para diámetros entre 1 1/8" - 1 1/2" la resistencia mínima es de 105 KSI.

Estos pernos están divididos en dos grupos según su clasificación metalúrgica:

- Grupo 1: Es el más usual, se usa en altas temperaturas.
- Grupo 3: Es el resistente a la corrosión.

Los pernos A325- Grupo 1 serán los utilizados en la investigación y posteriormente se verificará si satisfacen las solicitaciones de carga a las que son sometidos.

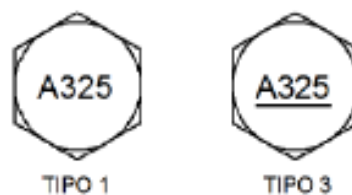


Figura 60. Clasificación de los pernos A325- grupo 1 y grupo 3

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 y son las siguientes:

Tabla 28. Dimensiones estándares de pernos y tuercas de alta resistencia

Diámetro Nominal del Perno db , in.	Dimensiones de Pernos Estructurales de Cabeza Hexagonal Pesada			Dimensiones de Tuercas Hexagonales Pesadas	
	Ancho a través de cara plana F , plg.	Altura $H1$, plg.	Longitud Roscada T , plg.	Ancho a través de cara plana W , plg.	Altura $H2$, plg.
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

Fuente. Garzón, C. 2011.

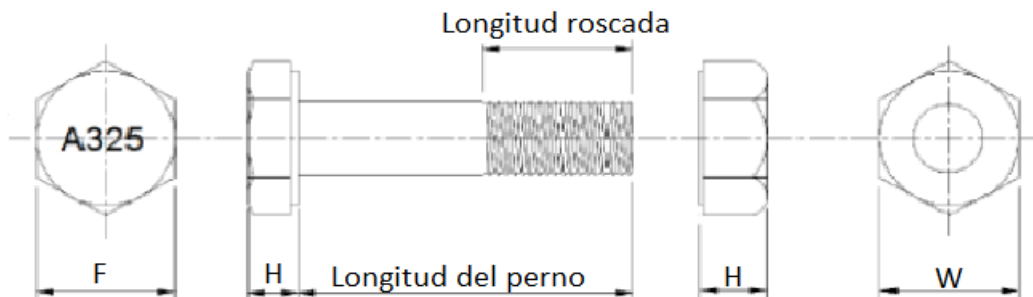


Figura 61. Detalle de las dimensiones estándares de pernos de alta resistencia
Fuente. Garzón, C. 2011.

De la tabla 29 se determinan las dimensiones del perno 1 1/8" que son:

Tabla 29. Dimensiones del perno de 1 1/8"

Und	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 1/8	1 13/16	11/16	2	1 13/16	1 7/64
cm	2.857	4.6	1.746	5.08	4.6	2.818

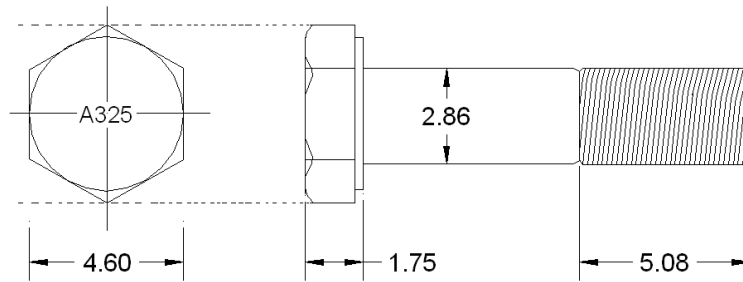


Figura 62. Detalle de las dimensiones del perno de 1 1/8" en cm.

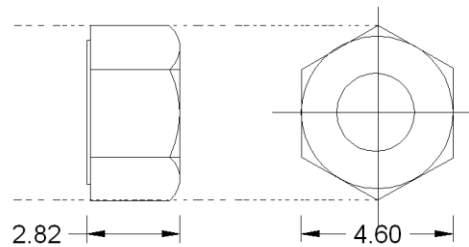
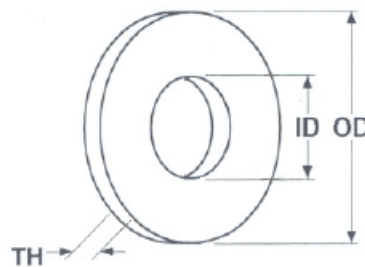


Figura 63. Detalle de las dimensiones de la tuerca a emplear (cm)

El tipo de arandela que se debe utilizar en conjunto con los pernos de alta resistencia están normalizadas bajo el código ASTM F436; las dimensiones estandarizadas de las arandelas se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 30. Dimensiones estándares de las arandelas (in)



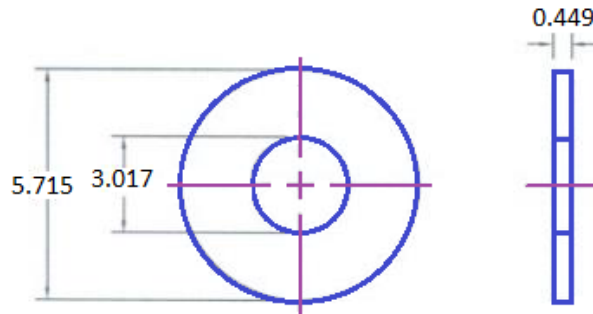
Size	OD	ID	Thickness	
	Nominal	Nominal	Min.	Max.
1/4	.625	.281	.051	.080
5/16	.688	.344	.051	.080
3/8	.813	.406	.051	.080
7/16	.922	.469	.051	.080
1/2	1.063	.531	.097	.177
9/16	1.188	.625	.110	.177
5/8	1.313	.688	.122	.177
3/4	1.468	.813	.122	.177
7/8	1.750	.938	.136	.177
1	2.000	1.063	.136	.177
1 1/8	2.250	1.188	.136	.177
1 1/4	2.500	1.375	.136	.177
1 3/8	2.750	1.500	.136	.177

Fuente. ASTM F436. 2015

Las dimensiones de la arandela a emplear son:

Tabla 31. Dimensiones de la arandela para un perno de 1 1/8"

Und	Diámetro nominal del perno	Diámetro exterior (B)	Diámetro interior (A)	Espesor máximo (C máx)
in	1 1/8	2.25	1.188	0.177
cm	2.857	5.715	3.017	0.449



Fuente 64. Dimensiones de la arandela empleada.

Para el cálculo de la longitud del perno se usará la siguiente tabla:

Tabla 32. Incremento adicional al Grip de acuerdo al diámetro del perno.

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

Fuente. Garzón, C. 2011.

El esquema de conexión brazo metálico- disipador es como se muestra:

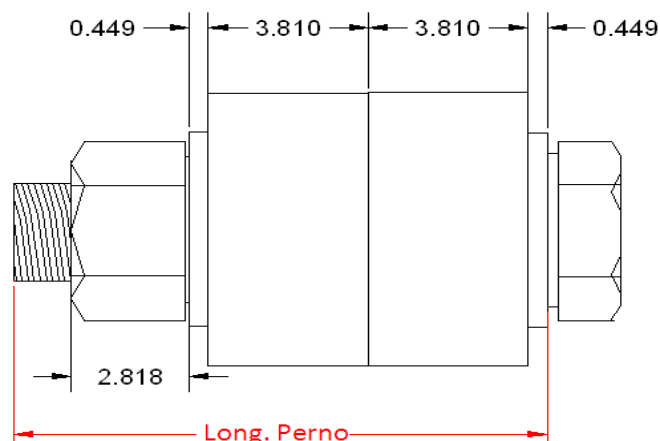


Figura 65. Esquema para el cálculo de longitud del perno

$$\text{Long. Perno} = 2(\text{arandela}) + \text{Grid} + 1 \frac{1}{2}''$$

$$\text{Long. Perno} = 2(0.449\text{cm}) + 2(3.81\text{cm}) + 3.81\text{cm}$$

$$\text{Long. Perno} = 12.328\text{cm} \text{ ó } 4.85''$$

Luego, se toma el valor comercial:

$$\text{Long. Perno} = 12.70\text{cm} \text{ ó } 5''$$

Finalmente, las medidas del perno serán:

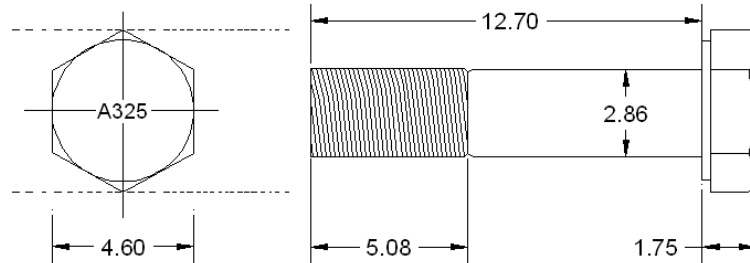


Figura 66. Dimensiones de los pernos A325 a emplear en la conexión extensor- disipador (cm)

Los pernos A325 de diámetro 1 1/8" tiene una resistencia mínima a la tensión 105ksi, entonces la resistencia de diseño de cada uno de ellos será:

$$\phi T_n = \phi * A_b * F_u, \text{ donde } \phi = 0.75 \text{ (para todos los diámetros)}$$

$$\phi T_n = 0.75 * (1.125\text{in})^2 * 105 \frac{\text{kip}}{\text{in}^2}$$

$$\phi T_n = 99.67 \text{ kip} = 45.21\text{tn}$$

Solo se verifica la resistencia ante fuerzas de tensión ya que la conexión brazo metálico- disipador está expuesto solo a esfuerzos axiales y no de corte:

$$\phi T_n \geq T_u$$

$$\phi T_n = 4\text{pernos} * 45.21 \frac{\text{tn}}{\text{perno}} = 180.84 \text{ tn}$$

$$180.84\text{tn} \geq 44.655\text{tn} \quad \text{OK}$$

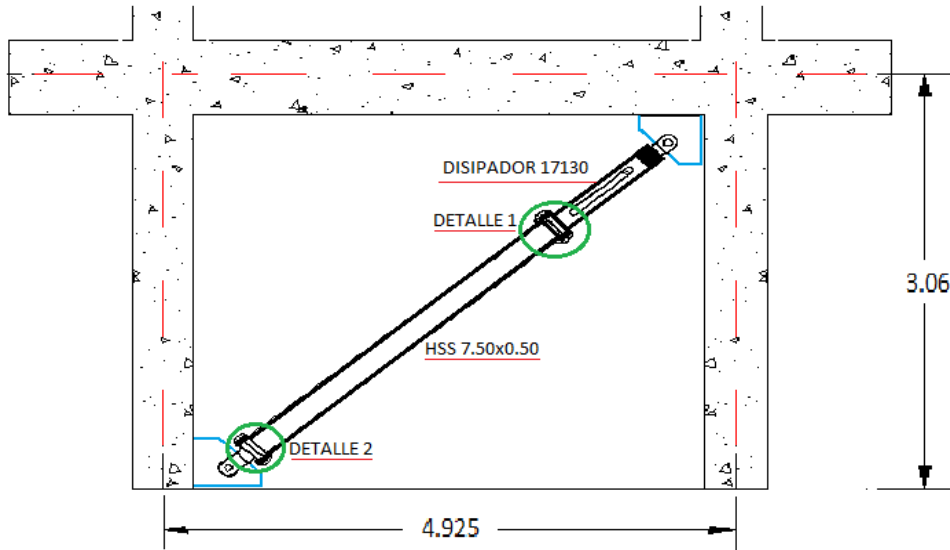


Figura 67. Colocación del dispositivo en disposición diagonal

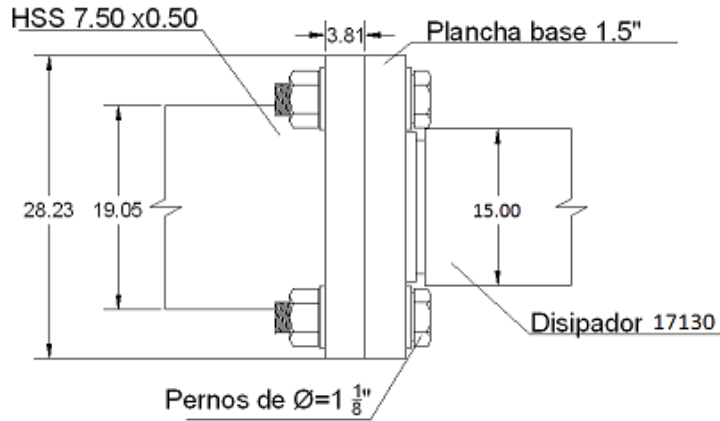


Figura 68. Detalle 1 conexión brazo metálico (HSS 7.50x0.50)- Dissipador de fluido viscoso Taylor 17130

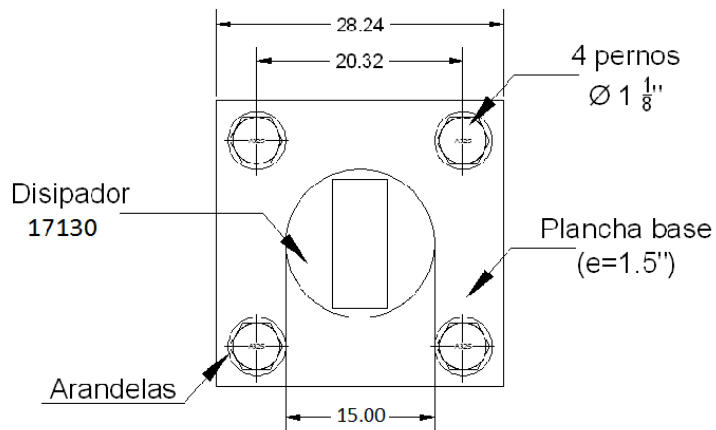


Figura 69. Detalle de la unión placa base- dissipador de energía

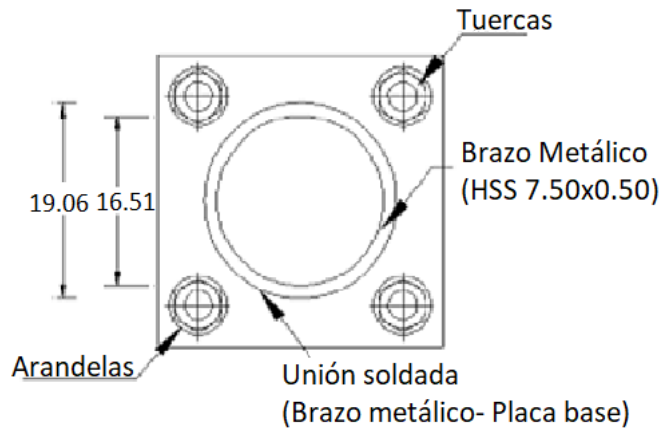


Figura 70. Detalle de la unión brazo metálico- Placa base

Ya que las fuerzas generadas en el brazo metálico son las mismas, se emplea la misma placa base y la misma disposición de pernos para la unión brazo metálico- barra de conexión como muestra la Figura 71:

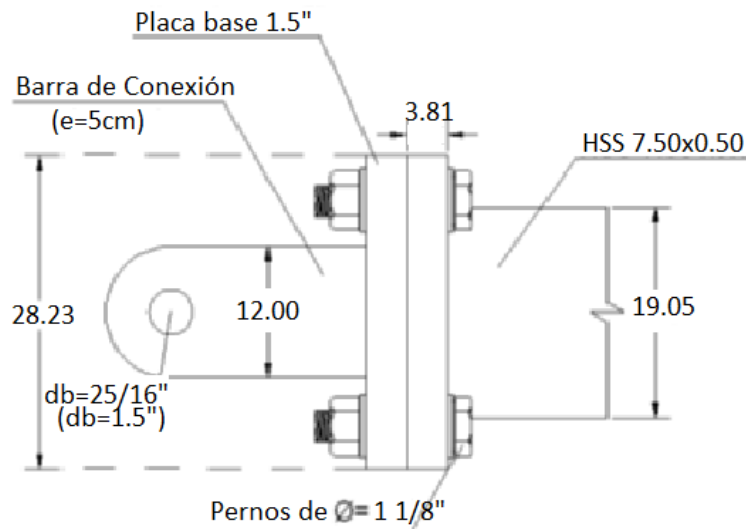


Figura 71. Detalle 2 Conexión brazo metálico HSS 7.50x0.50- Barra de conexión.

6.4.3.3. DISEÑO DEL PERNO DE CONEXION

El perno que une la barra de conexión con las cartelas debe ser diseñado para resistir altas solicitaciones de corte, es por eso que se consideró un perno A490 de un diámetro significativo (1.5").

En la Figura 72 se muestra el esquema general de esta conexión; en la Figura 73 se puede observar el detalle de las dimensiones de la cartela, medidas que fueron empleadas para definir la longitud del perno.

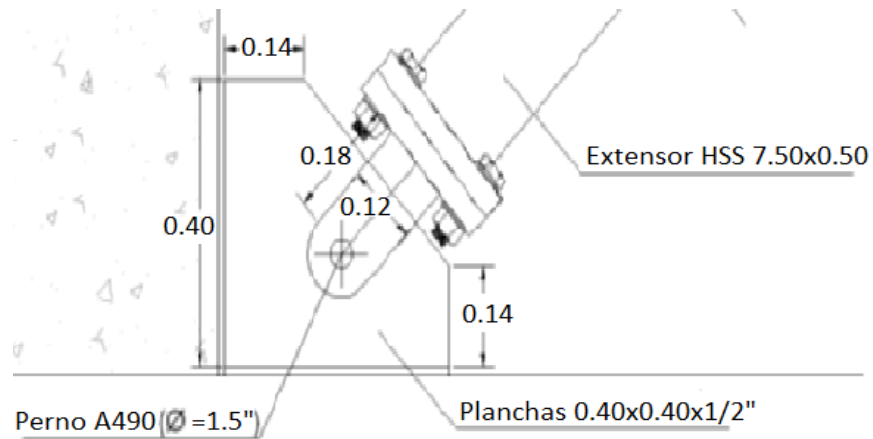


Figura 72. Detalle de la conexión inferior Long. Perno

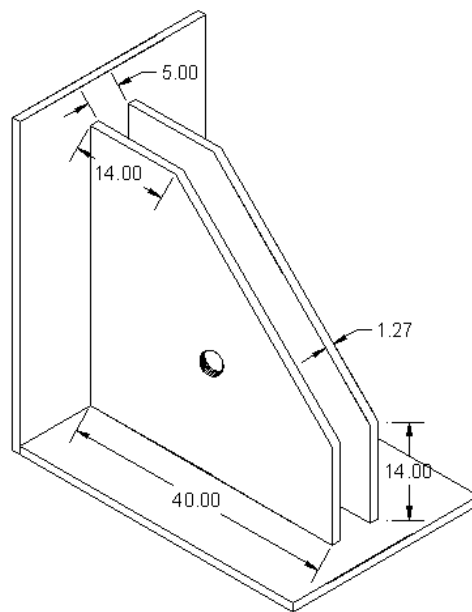


Figura 73. Detalle de las cartelas metálicas (cm)

Los detalles de los pernos y arandelas a utilizar se observan en las siguientes tablas:

Tabla 33. Dimensiones del perno de 1 1/2"

Und	Dimensiones del perno estructural				Dimensiones de la tuerca	
	Diámetro nominal del perno	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 ½	2.3/8	15/16	2 ¼	2 3/8	1 15/32
cm	3.81	6.03	2.381	5.73	6.04	3.731

Tabla 34. Dimensiones de la arandela para un perno de 1 1/2"

Und	Diámetro nominal del perno	Diámetro exterior (B)	Diámetro interior (A)	Espesor máximo (C máx)
in	1 ½	3.00	1.625	0.177
cm	3.81	7.62	4.128	0.449

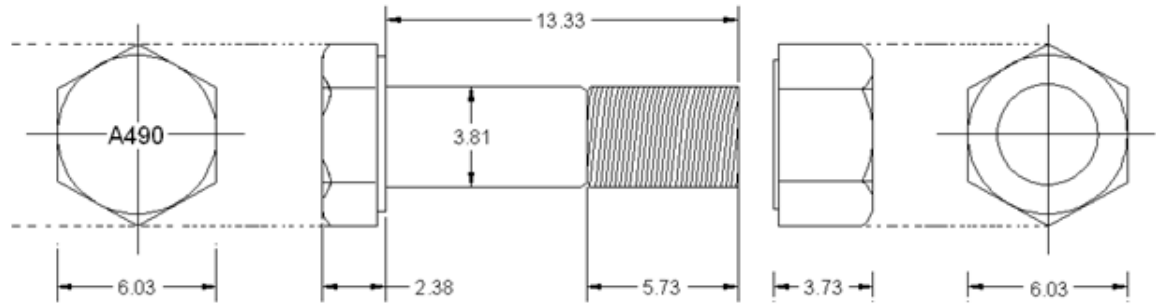


Figura 74. Detalle de las dimensiones del perno de 1 1/2"

Verificación por corte:

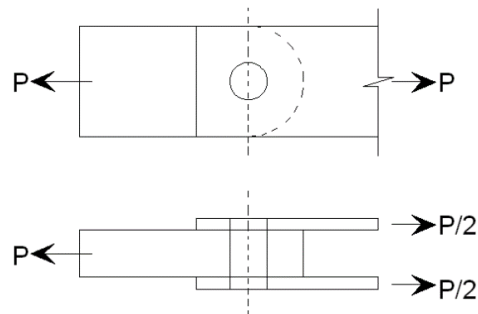


Figura 75. Fuerza a la que es sometido el perno (Cortante doble)

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

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

Donde:

ϕR_n : Esfuerzo máximo de corte

ϕ : 0.75

m : Numero de planos

F_v : $0.50F_u$ (falla en la parte lisa)

F_v : $0.40F_u$ (falla en la parte en rosca)

A_b : Área neta transversal del perno a la altura del plano de corte

ϕP_n : Fuerza cortante máxima

n : Numero de pernos

El valor de "m" es igual a 1 cuando el perno está sometido a cortante simple; será igual a 2 cuando la conexión está 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 150Ksi

El valor de ϕP_n deberá ser mayor a la carga actuante P_u , que como ya se mencionó es igual a 44.655tn

Así tenemos que el esfuerzo máximo de corte será:

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

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

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

La fuerza cortante máxima es:

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

$$\phi P_n = 90 \frac{Kip}{in^2} \left(\frac{\pi * (1.5in)^2}{4} \right) (1)$$

$$\phi P_n = 159.04 Kip = 72.141tn$$

$$\phi P_n = 72.141tn > 44.655tn \quad \text{OK}$$

Una vez verificado un adecuado comportamiento ante el corte y con las dimensiones finales del perno se procedió al diseño de la barra de conexión.

6.4.3.4. DISEÑO DE LA BARRA DE CONEXION

En la siguiente imagen se muestran las dimensiones de este elemento metálico.

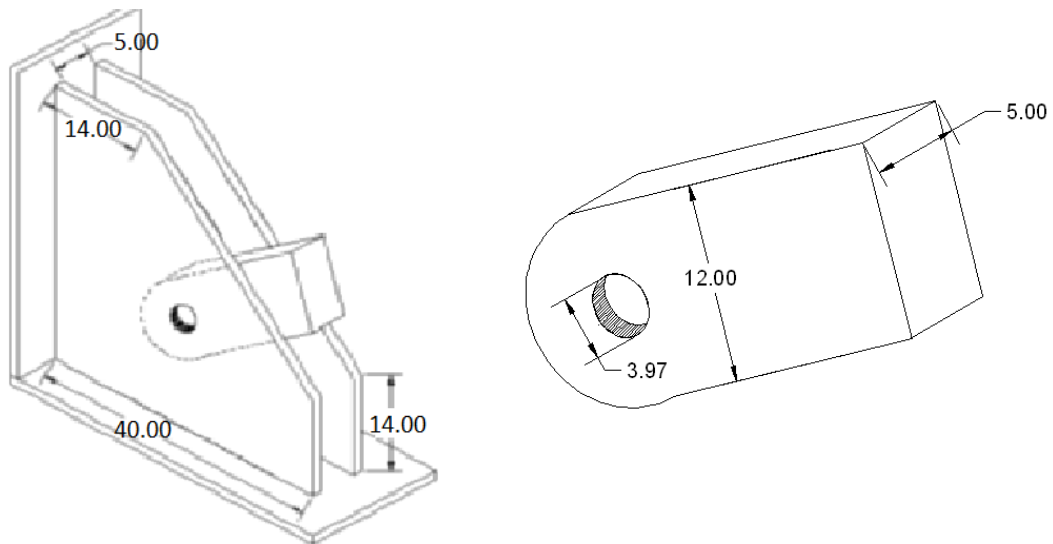


Figura 76. Dimensiones de la barra de conexión (cm).

La barra de conexión es un miembro que está sometido a tensión, para este tipo de condiciones se debe verificar la posible fluencia del área bruta y la fractura del área neta, el área que debe tener este elemento debe ser la mayor de las calculadas con las siguientes ecuaciones:

$$A_{greq} \geq \frac{Pu}{\phi F_y} \quad ; \text{ (Para verificar la fluencia del área bruta)}$$

Donde:

A_g : Área bruta requerida de la sección

ϕ : Factor de resistencia igual a 0.90

F_y : Esfuerzo de fluencia 36Ksi (Acero A36)

$$A_{greq} \geq \frac{Pu}{\mu \phi F_u} + Ah \quad ; \text{ (Para verificar la fractura del área neta)}$$

Donde:

A_{greq} : Área bruta requerida de la sección

A_h : Área del agujero

μ : Porcentaje de la sección que trabaja para absorber esfuerzos

\emptyset : Factor de resistencia igual a 0.75

F_u : Esfuerzo mínimo de ruptura en tensión 58Ksi (Acero A36)

Empleando estas dos expresiones tenemos:

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\emptyset F_y} \quad ; \text{ (Para verificar la fluencia del área bruta)}$$

El valor de $P_u = 44.655tn$ ó $98.447Kip$

$$A_{g_{req}} \geq \frac{98.447Kip}{0.9(36Ksi)}$$

$$A_{g_{req}} \geq 3.04in^2$$

$$A_{g_{req}} \geq 19.61cm^2$$

$$A_{g_{req}} \geq \frac{P_u}{\mu \emptyset F_u} + A_h \quad ; \text{ (Para verificar la fractura del área neta)}$$

El diametro del agujero (dh) = \emptyset perno + Agujero Std

El diametro del agujero (dh) = 1.5"+1/16"

El diametro del agujero (dh) = 1.56"

Espesor del elemento = 5cm ó 1.968in

Área del agujero = (1.968)(1.56) = 3.07in²

Reemplazando:

$$A_{g_{req}} \geq \frac{98.447Kip}{(1)(0.75)(58Ksi)} + 3.07in^2$$

$$A_{g_{req}} \geq 5.33in^2$$

$$A_{g_{req}} \geq 34.38cm^2$$

El área bruta requerida será igual al mayor valor obtenido, es decir:

$$A_{g_{req}} \geq 34.38cm^2$$

El área bruta que tiene la barra de conexión es:

$$A_g = (5cm)(12cm)$$

$$A_g = 60cm^2$$

$A_g(60cm^2) > A_{g_{req}}(34.38cm^2)$ **OK**

La barra de conexión satisface las solicitaciones frente a fuerzas de tensión

Finalmente se debe verificar la separación mínima que debe tener el perno con respecto a los bordes

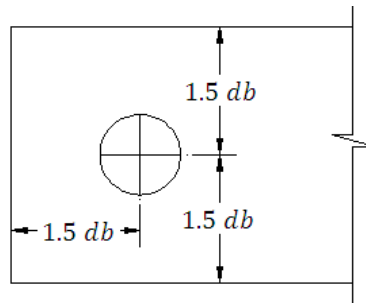


Figura 77. Espaciamento mínimo de un perno con respecto a los bordes

Para este caso el perno tiene un diámetro de 1.5" o 3.81cm; la distancia mínima con respecto a los bordes debe ser por lo tanto $1.5 (3.81\text{cm}) = 5.715\text{cm}$

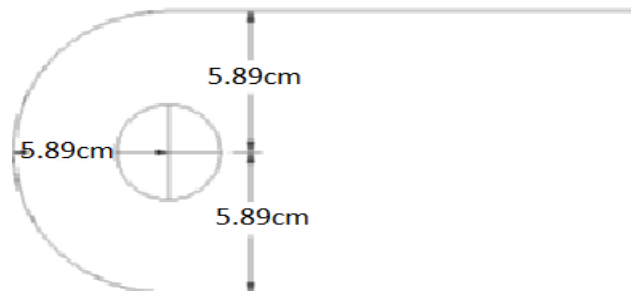


Figura 78. Espaciamento del perno de conexión empleado con respecto a los bordes

Como se puede ver en la imagen el espaciamento que hay es de 5.89cm > 5.715 cm (ok), se verifica esta condición.

6.4.3.5. DISEÑO DE LOS PERNOS DE ANCLAJE

El diseño de los pernos de anclaje se realizó de acuerdo a las especificaciones del apéndice D del código ACI 318-08.

Esta norma señala que los pernos de anclaje pueden ser colocados antes o después del vaciado de concreto, tal cómo se puede apreciar en las siguientes figuras.

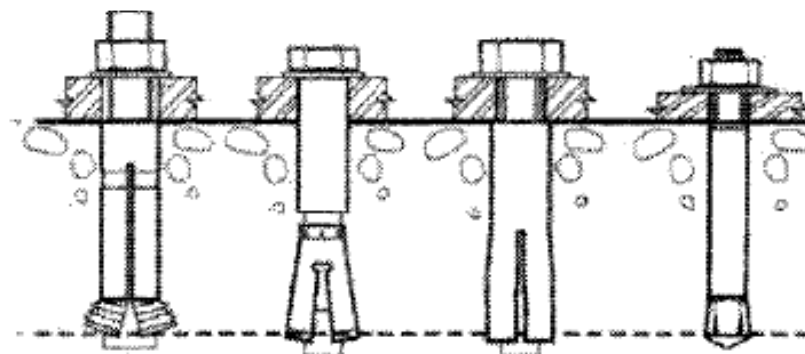


Figura 79. Anclajes post-instalados

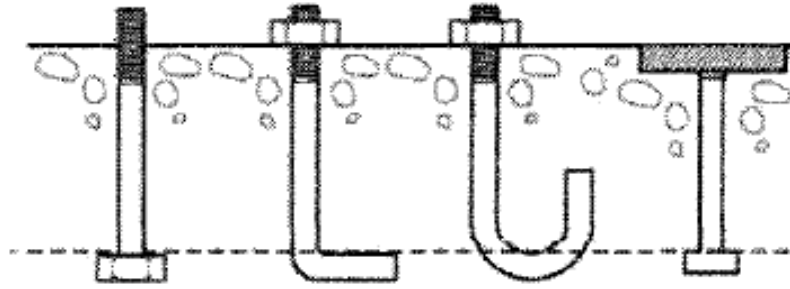


Figura 80. Anclajes pre-instalados antes de la colocación del concreto

Los requisitos que se deben cumplir en cuanto a la resistencia de los anclajes son los siguientes

$$\phi N_n \geq N_{ua}$$

$$\phi V_n \geq V_{ua}$$

Donde:

ϕN_n : Resistencia de diseño en tracción de un anclaje o grupo de anclajes

ϕV_n : Resistencia de diseño en corte de un anclaje o grupo de anclajes

La resistencia nominal " N_n " de un solo anclaje o grupo de anclajes en tracción se determina con la ecuación D-3 de dicho código:

$$N_n = n * A_{se} * f_{uta}$$

Donde:

n : Numero de anclajes en el grupo

A_{se} : Área transversal efectiva del anclaje en tracción

f_{uta} : Resistencia especificada a la tracción del acero dl perno de anclaje

Además:

El valor de A_{se} se calcula con la siguiente expresión:

$$A_{se} = \frac{\pi}{4} \left(d_a - \frac{0.9743}{n_t} \right)^2$$

Donde:

n_t : Numero de hilos por mm

d_a : Diámetro exterior del anclaje

Este valor también puede ser provisto por el fabricante, se puede encontrar en las especificaciones técnicas del perno a emplear.

Con respecto al valor de f_{uta} , este no deberá ser mayor que el menor de:

- 860MPa
- $1.9(f_{ya})$, donde f_{ya} , f_{uta} , A_{se} no deben ser asumidos, sino que deben ser obtenidos a partir de la información técnica dl perno de anclaje seleccionado.

Para este trabajo se decidió emplear los pernos expansivos Trubolt, manufacturados por la empresa ITW Red Head en Los Estados Unidos e importados y comercializados en Perú por la empresa CDV Representaciones; fueron seleccionados por contar con información técnica detallada que facilito el diseño.

Las especificaciones técnicas provistas por el fabricante para el diseño de estos anclajes se muestran en la Tabla 35.

Tabla 35. Especificaciones para el diseño (Fuente: ITW Red Head)

TRUBOLT WEDGE ANCHOR DESIGN INFORMATION ^{1,2,3}			Nominal Anchor Diameter									
DESIGN INFORMATION	Symbol	Units	1/4		3/8		1/2		5/8		3/4	
Anchor O.D.	d_o	in	0.250		0.375		0.500		0.625		0.750	
Effective embedment	h_{ef}	in	1-1/2	2	1-3/4	2-5/8	1-7/8	3-3/8	2-1/2	4	3-1/2	4-3/4
Minimum member thickness	h_{min}	in	4	4	4	5	5	6	5	8	6	8
Critical edge distance	c_{ac}	in	2-5/8	3	2-5/8	5-1/4	3-3/4	6-3/4	5	8	7	9
Minimum edge distance	c_{min}	in	1-3/4	1-1/2	2-1/4	2	3-3/4	3-3/4	4-1/4	3-1/4	3-3/4	3-1/2
Minimum anchor spacing	s_{min}	in	1-3/4	1-1/2	2-1/4	2	3-3/4	3-3/4	4-1/4	3-1/4	3-3/4	3-1/2
Min. Specified Yield Strength	f_y	lb/in ²	55,000									
Min. Specified Ultimate Strength	f_{uta}	lb/in ²	75,000									
Effective area	A_{se}	in ²	0.032		0.078		0.142		0.226		0.334	

Trubolt®
Wedge Anchors

Los factores de reducción de resistencia " ϕ " se pueden obtenerse en los códigos ACI 355.2 y ACI 318 - Apéndice D, también pueden especificarse por el fabricante, en este caso. ITW Red Head nos proporciona la siguiente información:

Tabla 36. Factores de reducción de la resistencia

Strength reduction factor ϕ for tension, steel failure modes	0.75
Strength reduction factor ϕ for shear, steel failure modes	0.65

Los pernos de anclaje deben ser diseñados para poder soportar las fuerzas de tracción y corte que se generan sobre ellos al momento de un sismo (producto del trabajo que se desarrolla en los disipadores de energía). Para el diseño se emplearon pernos de 5/8", los valores de A_{se} , f_y y ϕ se sacaron de las Tablas 35 y 36.

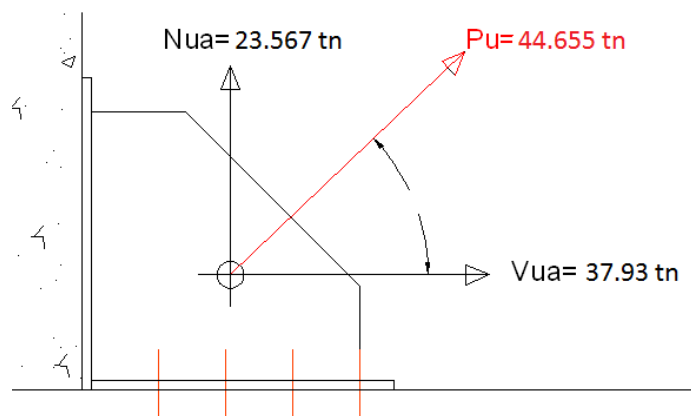


Figura 81. Fuerza de tracción (N_{ua}) y corte (V_{ua}) producto de la acción del disipador de energía

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA A LA TRACCIÓN

$$N_n = n * A_{se} * f_{uta}$$

f_{uta} , es el menor entre:

- 860MPa = 124732.422 psi
- $1.9(f_{ya}) = 1.9(55000 \text{ psi}) = 104500 \text{ psi}$

Por lo tanto, el valor de f_{uta} será 104500 psi, luego:

$$N_n = 12 * 0.226 \text{ in}^2 * 104500 \text{ lb/in}^2$$

$$N_n = 283404 \text{ lb} = 128.55 \text{ tn}$$

$$\emptyset N_n = 0.75(128.55 \text{ tn}) = 96.41 \text{ tn}$$

$$\emptyset N_n (96.41 \text{ tn}) \geq N_{ua} (23.567 \text{ tn}) \quad \text{OK}$$

VERIFICACIÓN DE LA RESISTENCIA AL CORTE

La resistencia nominal V_n de un solo anclaje o grupo de anclajes en corte se determina con la ecuación D-20 del código ACI-318-08.

$$V_n = n * 0.6 * A_{se} * f_{uta}$$

$$V_n = 12 * 0.6 * 0.226 \text{ in}^2 * 104500 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2}$$

$$V_n = 170042.4 \text{ lb} = 77.13 \text{ tn}$$

$$\emptyset V_n = 0.65(77.13 \text{ tn}) = 50.13 \text{ tn}$$

$$\emptyset V_n (50.13 \text{ tn}) \geq V_{ua} (37.93 \text{ tn}) \quad \text{OK}$$

Las dimensiones de los pernos para diferentes diámetros se muestran en las Tablas 37 y 38, la longitud total del perno se debe ajustar a las longitudes estándares que se muestran en la tabla 101, notar que para cada longitud se maneja un código de identificación en base a letras (A, B, C, etc.) (las dos tablas que siguen)

Tabla 37. Dimensiones de los pernos de anclaje por cada diámetro

TRUBOLT WEDGE INSTALLATION INFORMATION

	Symbol	Units	Nominal Anchor Diameter (in.)									
			1/4		3/8		1/2		5/8		3/4	
Anchor outer diameter	d_o	in	0.25		0.375		0.5		0.625		0.750	
Nominal carbide bit diameter	d_{bit}	in	1/4		3/8		1/2		5/8		3/4	
Effective embedment depth	h_{ef}	in	1-1/2	2	1-3/4	2-5/8	1-7/8	3-3/8	2-1/2	4	3-1/2	4-3/4
Min hole depth	h_o	in	2	2-1/2	2-1/2	3-3/8	2-3/4	4-1/4	3-3/4	5-1/4	4-3/4	6
Min slab thickness	h_{min}	in	4		4	5	5	6	5	8	6	8
Installation torque	T_{inst}	ft-lb	4		25		55		90		110	
Min hole diameter in fixture	d_h	in	5/16		7/16		9/16		11/16		13/16	

Tabla 38. Longitud estandarizada de los pernos de anclaje

LENGTH ID MARKING ON ANCHOR HEAD		UNITS	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
Length of anchor, l_{anch} (inches)	From	inches (mm)	1 1/2 (38.1)	2 (50.8)	2 1/2 (63.5)	3 (76.2)	3 1/2 (88.9)	4 (101.6)	4 1/2 (114.3)	5 (127.0)	5 1/2 (139.7)	6 (152.4)
	Up to, but not including	inches (mm)	2 (50.8)	2 1/2 (63.5)	3 (76.2)	3 1/2 (88.9)	4 (101.6)	4 1/2 (114.3)	5 (127.0)	5 1/2 (139.7)	6 (152.4)	6 1/2 (165.1)

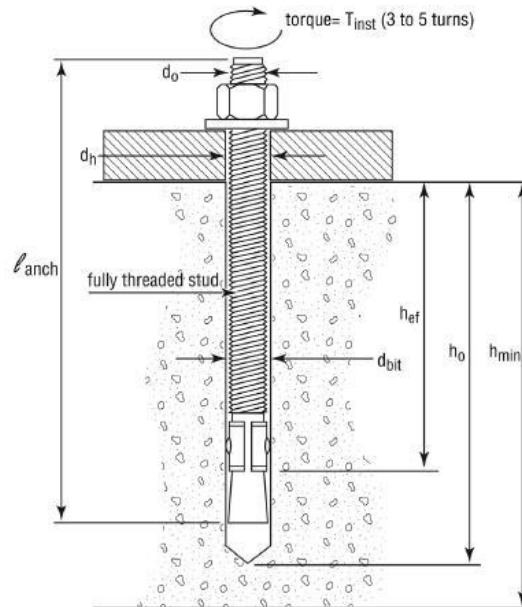


Figura 82. Nomenclatura para determinar las dimensiones de los pernos de anclaje.

Así, las dimensiones finales del perno de anclaje de 5/8" son las siguientes:

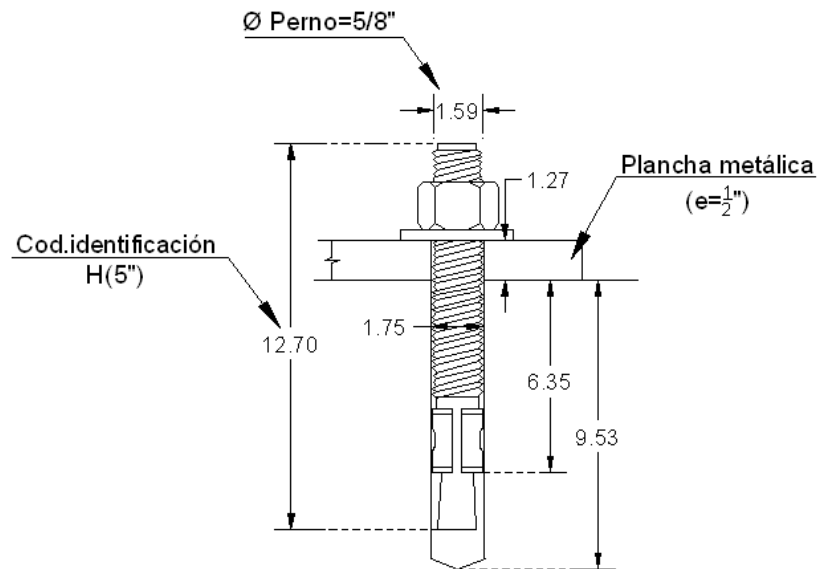


Figura 83. Dimensiones finales del perno de 5/8 " (cm)

En las Figuras 84 y 85 se muestran las vistas en planta e isométrica de la plancha metálica, el diámetro de los agujeros (dh) es igual a 11/16" (1.746cm).

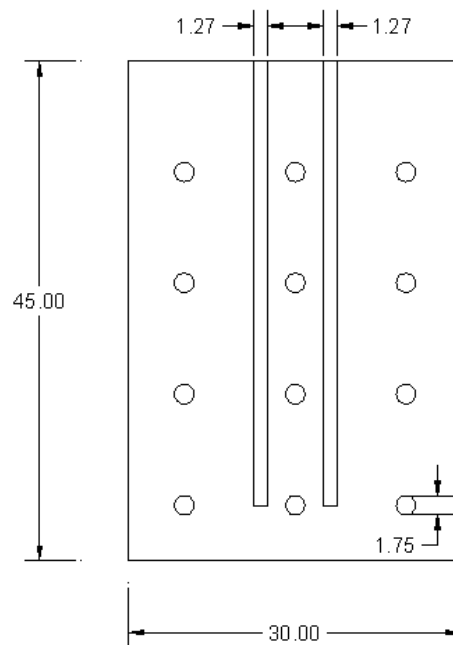


Figura 84. Plancha metálica sobre la cual irán los pernos de anclaje (Vista en planta)

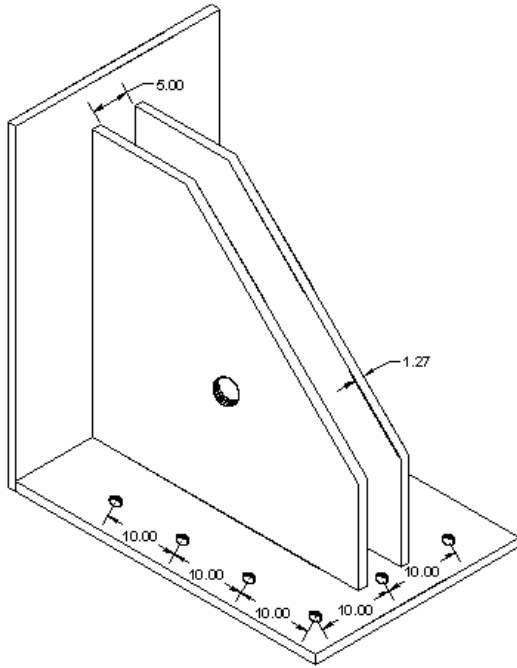


Figura 85. Plancha metálica sobre la cual irán los pernos de anclaje (Vista isométrica)
Finalmente se debe verificar que la distancia S entre centros de pernos sea:

$$S \geq 6db, \text{ para pernos post - instalados}$$

$$S \geq 6\left(\frac{5}{8} \text{ in}\right)$$

$$S \geq 3.75 \text{ in } \text{ ó } 9.53 \text{ cm}$$

El espaciamiento que se considero es de 10cm (ver Figuras 84 y 85) por lo que se satisface esta condición.

El detallado final: conexión metálica – estructura de concreto se muestra en las siguientes imágenes:

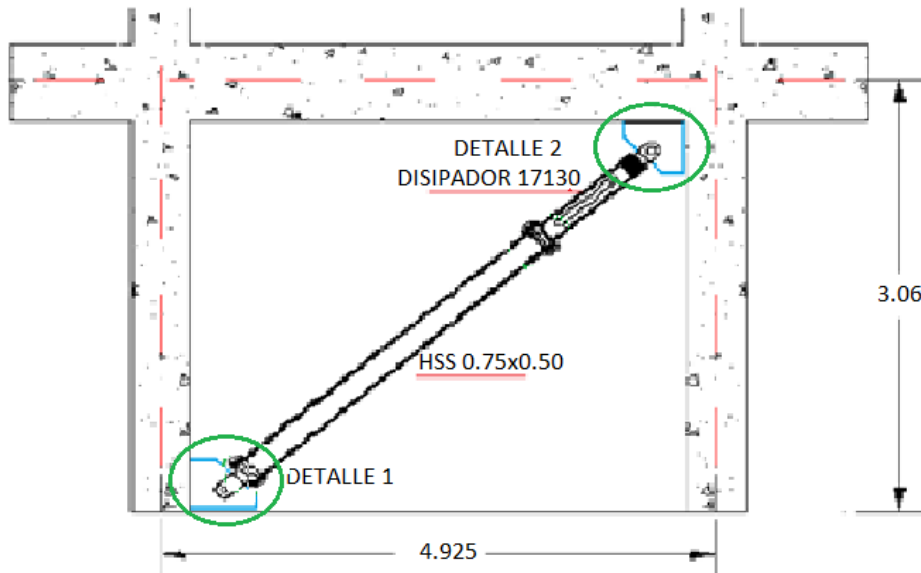


Figura 86. Disposición diagonal (Disipadores del 1er nivel)

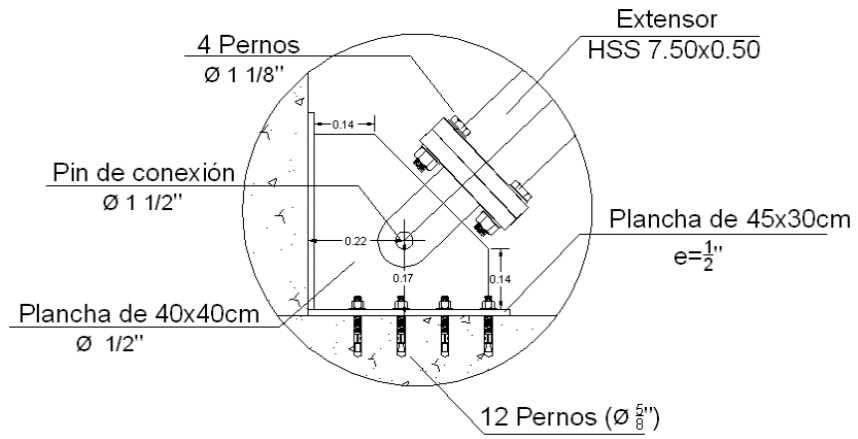


Figura 87. Detalle 1 (Conexión brazo metálico – Cartela - Estructura de concreto)

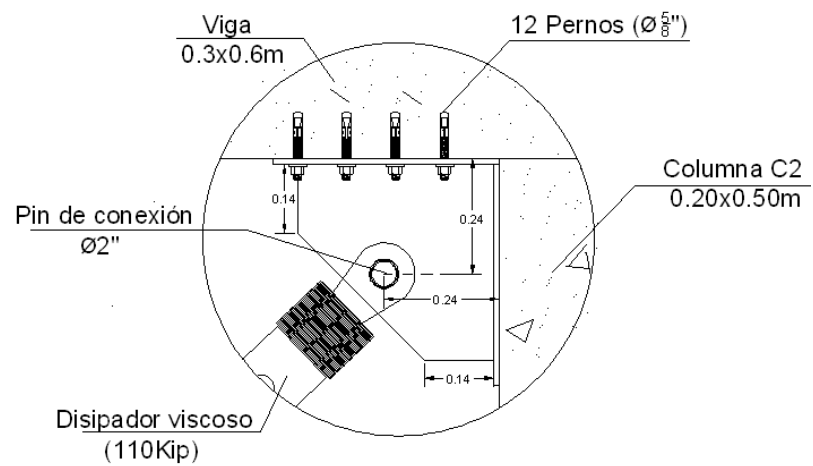


Figura 88. Detalle 2 (Conexión: Disipador – Cartela – Estructura de concreto)

CAPITULO VII. EVALUACION DE RESULTADOS

A continuación, se presentan los resultados comparativos en cuanto a desplazamientos, derivas, aceleraciones, etc. del edificio en estudio con y sin disipadores de energía.

7.1. DESPLAZAMIENTO DE LOS CENTROS DE MASA

La incorporación de disipadores de energía viscosos a la estructura reduce los desplazamientos de piso en un rango de 27.79% a 35.77%, siendo esta reducción máxima en el piso 5, tal como se muestra en la Tabla 39 y Figura 89.

Tabla 39. Porcentaje de reducción de los desplazamientos máximos en los C.M. de cada piso

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	2.105	1.52	27.79%
Piso 2	6.35	4.343	31.61%
Piso 3	11.114	7.356	33.81%
Piso 4	15.662	10.143	35.24%
Piso 5	19.671	12.635	35.77%
Azotea	22.615	14.582	35.52%

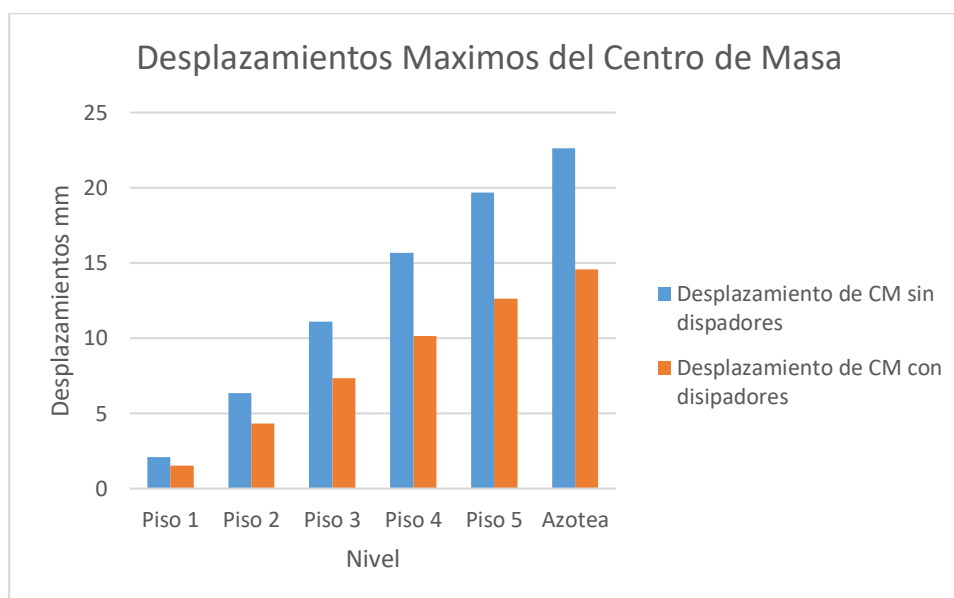


Figura 89. Desplazamientos máximos de los C.M. en cada piso, en la dirección X-X

7.2. DERIVAS DE ENTREPISO

Las derivas de entrepiso en el eje X se redujeron en un rango de 23.56% a 33.35% tal como se aprecia en la Tabla 40 y Figura 90; es importante mencionar que la deriva máxima en la estructura en el eje X sin disipadores de energía es 0.00845 y disminuye a 0.00586 con disipadores de energía viscosos, valor cercano a la deriva esperada (0.0056) asumida para el diseño de los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso.

Tabla 40. Porcentaje de reducción de las derivas de entrepiso en el eje X-X.

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	0.003744	0.002862	23.56%
Piso 2	0.00756	0.0054585	27.80%
Piso 3	0.0084465	0.0058635	30.58%
Piso 4	0.008019	0.0053955	32.72%
Piso 5	0.007029	0.0046845	33.35%
Azotea	0.0056115	0.004077	27.35%

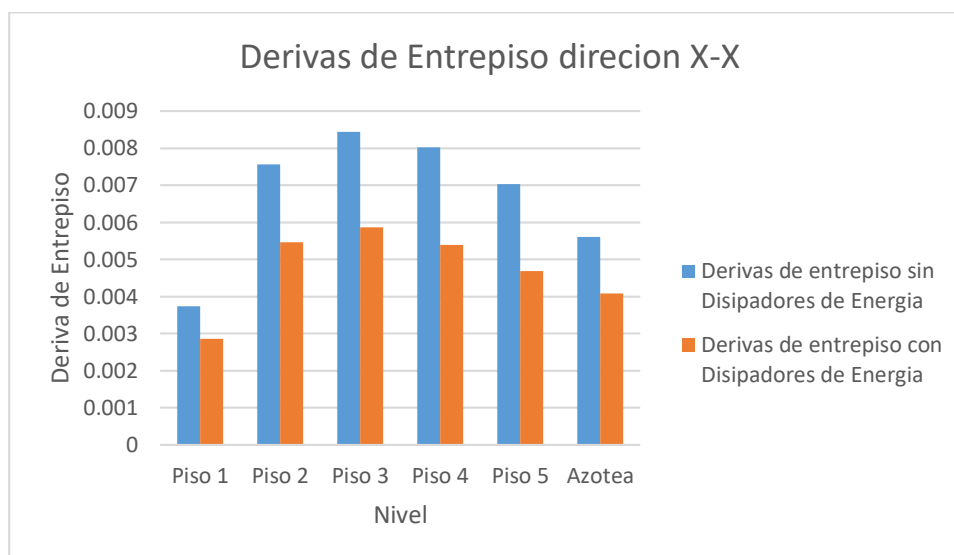


Figura 90. Derivas de entrepiso, en la dirección X-X

Además, se verifica que las derivas dinámicas en el eje Y también son afectadas por la presencia de disipadores de energía haciendo, en este caso, que cumpla con los límites reglamentarios (0.007) como muestra la Tabla 41.

Tabla 41. Porcentaje de reducción de las derivas de entrepiso en el eje Y-Y.

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	0.003177	0.003177	0.00%
Piso 2	0.005571	0.0052065	6.54%
Piso 3	0.006633	0.006273	5.43%
Piso 4	0.0072	0.006903	4.13%
Piso 5	0.006525	0.006399	1.93%
Azotea	0.0031545	0.003222	-2.14%

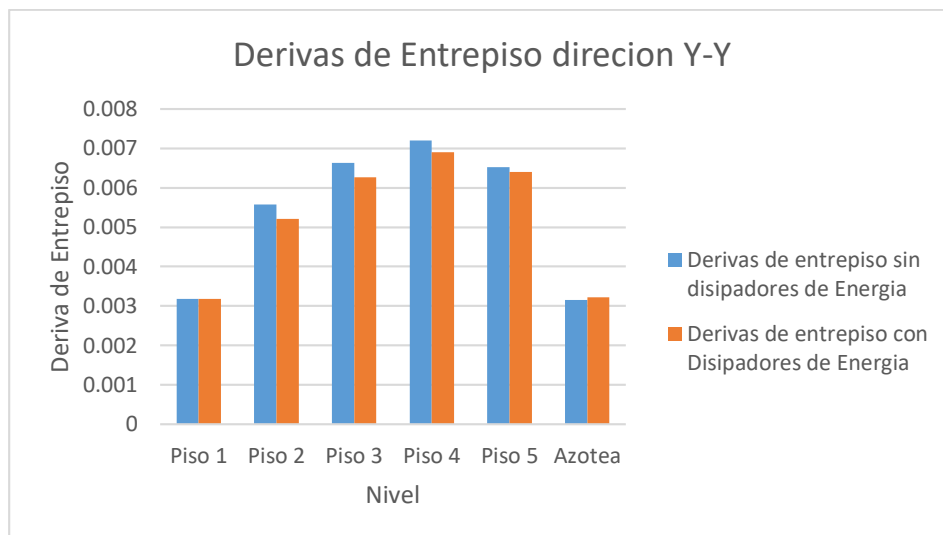


Figura 91. Derivas de entrepiso, en la dirección Y-Y

7.3. ESFUERZOS MAXIMOS EN LOS ELEMENTOS DE CORTE

Las fuerzas internas (fuerza axial, cortante y momento flector) en una de las columnas de apoyo de cada eje de aplicación de los disipadores de energía de fluido viscoso son evaluadas.

EVALUACION DE FUERZAS AXIALES

Fuerzas axiales en el eje 4:

Tabla 42. Porcentaje de Variación de las Fuerzas axiales en la Columna C-1

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	111.7162	7.9844	92.85%
Piso 2	83.8597	18.7992	77.58%
Piso 3	50.7819	12.8768	74.64%
Piso 4	21.6114	16.8839	21.88%
Piso 5	2.7244	10.0542	-269.04%
Azotea	4.3548	1.366	68.63%

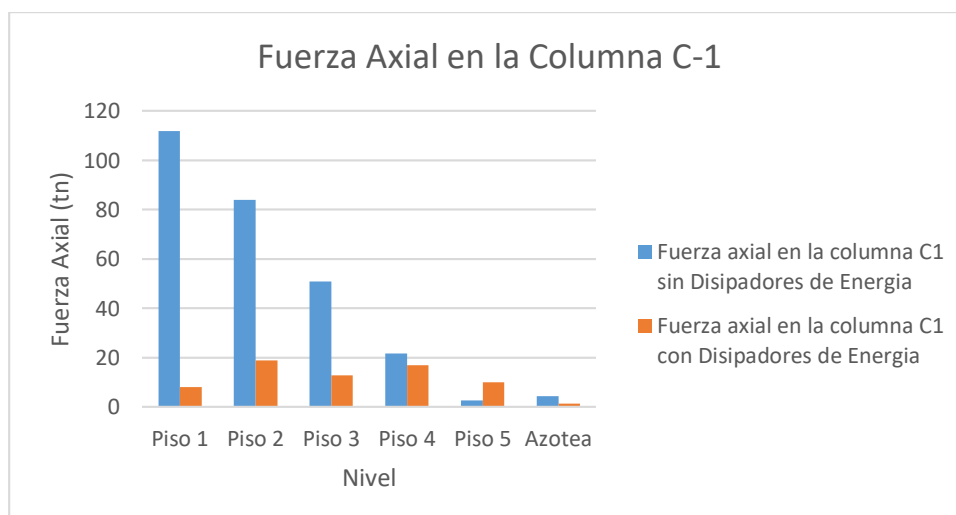


Figura 92. Reducción de Fuerzas Axiales en la Columna C-1

Fuerzas axiales en el eje 8:

Tabla 43. Porcentaje de Reducción de las Fuerzas axiales en la Columna C-2

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	45.4997	35.1722	22.70%
Piso 2	36.4469	42.7344	-17.25%
Piso 3	25.0614	7.7396	69.12%
Piso 4	14.0622	17.20849	-22.37%
Piso 5	4.5911	7.6642	-66.94%
Azotea	1.2862	0.693	46.12%

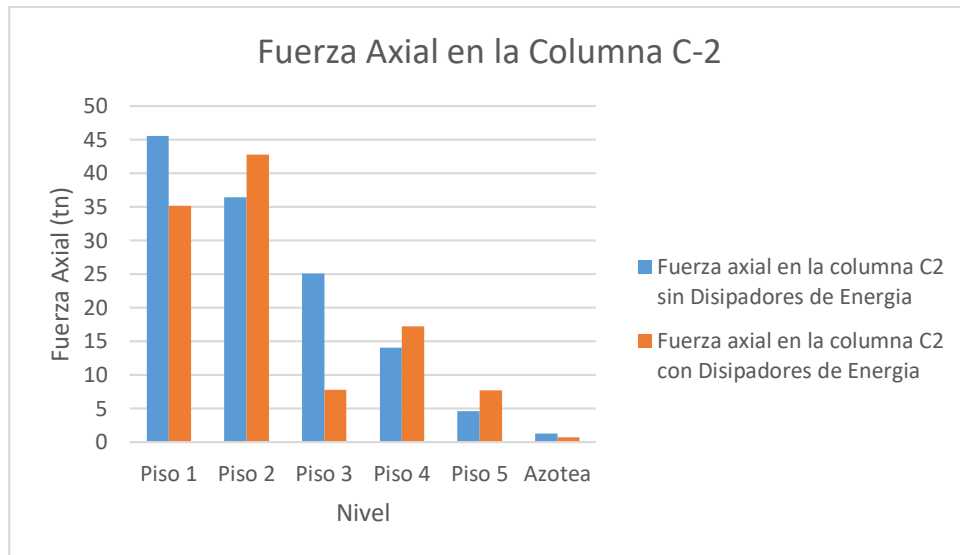


Figura 93. Reducción de Fuerzas Axiales en la Columna C-2

EVALUACION DE FUERZAS CORTANTES

Fuerzas axiales en el eje 4:

Tabla 44. Porcentaje de Reducción de las Fuerzas Cortantes en la Columna C-1

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	18.7956	15.3008	18.59%
Piso 2	31.5273	23.5678	25.25%
Piso 3	29.0878	20.9809	27.87%
Piso 4	24.2555	17.3812	28.34%
Piso 5	17.4039	12.1423	30.23%
Azotea	6.6273	4.2955	35.18%

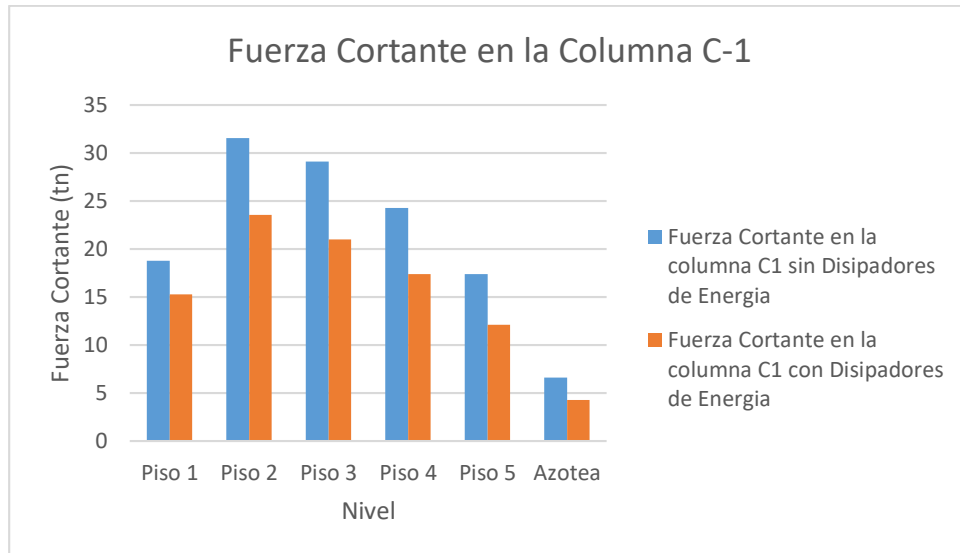


Figura 94. Reducción de Fuerzas Cortantes C-1

Fuerzas axiales en el eje 8:

Tabla 45. Porcentaje de Reducción de las Fuerzas Cortantes en la Columna C-2

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	9.1669	7.2292	21.14%
Piso 2	13.699	8.4918	38.01%
Piso 3	11.8953	6.9838	41.29%
Piso 4	10.3803	6.4015	38.33%
Piso 5	9.5677	4.4725	53.25%
Azotea	2.2377	2.6638	-19.04%

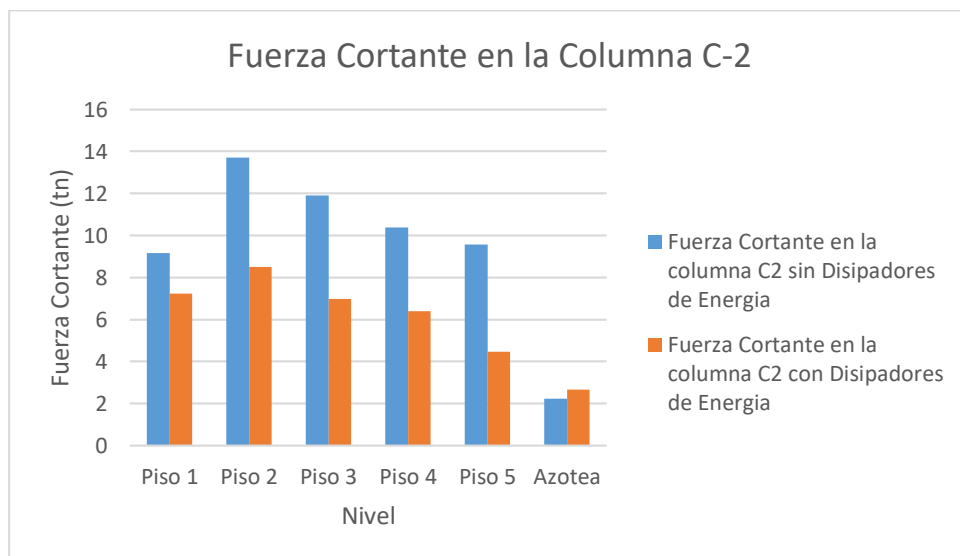


Figura 95. Reducción de Fuerzas Cortantes C-2

EVALUACION DEL MOMENTO FLECTOR

Fuerzas axiales en el eje 4:

Tabla 46. Porcentaje de Reducción del Momento Flector en la Columna C-1

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	38.0267	29.2146	23.17%
Piso 2	45.3769	32.2018	29.03%
Piso 3	41.3264	24.465	40.80%
Piso 4	29.2527	21.4617	26.63%
Piso 5	22.7055	11.1433	50.92%
Azotea	10.061	6.9903	30.52%

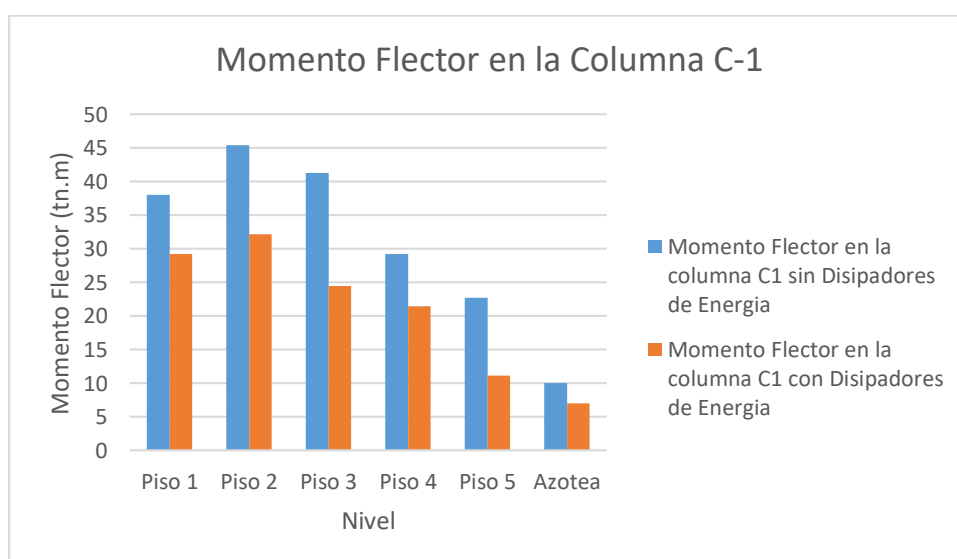


Figura 96. Reducción del Momento Flector en la Columna C-1

Fuerzas axiales en el eje 8:

Tabla 47. Porcentaje de Reducción del Momento Flector en la Columna C-2

Nivel	sin disipadores	con disipadores	% Reducción
Piso 1	29.6983	20.7876	30.00%
Piso 2	25.417	14.4358	43.20%
Piso 3	15.5585	8.7349	43.86%
Piso 4	14.6723	9.3921	35.99%
Piso 5	15.9665	7.0489	55.85%
Azotea	4.7277	6.0284	-27.51%

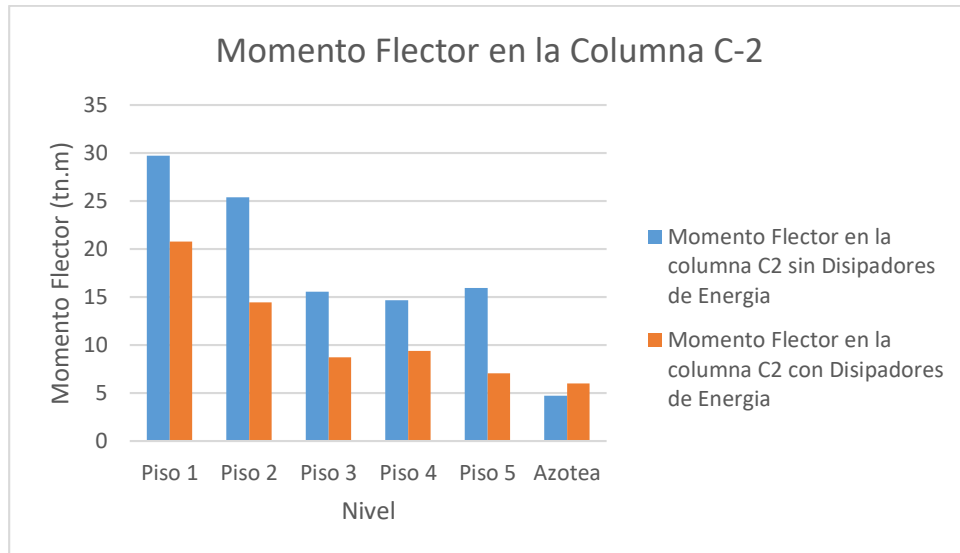


Figura 97. Reducción del Momento Flector en la Columna C-2

7.4. MODOS Y PERIODOS DE VIBRACION DE LA ESTRUCTURA

En las Tablas 48 y 49 se muestran los periodos de la estructura sin y con disipadores de fluido viscoso respectivamente.

Tabla 48. Periodos de Vibración de la Estructura sin Disipadores de Energía

Case	Modo	Periodo (seg)
Modal	1	0.534
Modal	2	0.514
Modal	3	0.376
Modal	4	0.161
Modal	5	0.152
Modal	6	0.104
Modal	7	0.089
Modal	8	0.078
Modal	9	0.065
Modal	10	0.062
Modal	11	0.062
Modal	12	0.061
Modal	13	0.059
Modal	14	0.056
Modal	15	0.05
Modal	16	0.048
Modal	17	0.037
Modal	18	0.033

Tabla 49. Periodos de Vibración de la Estructura con Disipadores de Energía

Case	Modo	Periodo (seg)
Modal	1	0.48
Modal	2	0.433
Modal	3	0.362
Modal	4	0.147
Modal	5	0.143
Modal	6	0.103
Modal	7	0.084
Modal	8	0.077
Modal	9	0.065
Modal	10	0.062
Modal	11	0.062
Modal	12	0.061
Modal	13	0.059
Modal	14	0.054
Modal	15	0.05
Modal	16	0.046
Modal	17	0.037
Modal	18	0.032

CAPITULO VIII. CONTRASTACION DE HIPOTESIS

Se verifica la **hipótesis** “El comportamiento estructural del CPU-UNASAM es más eficiente con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso que sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso.” Como **válida**, ya que la respuesta estructural de la muestra tiene un mejor comportamiento estructural luego de la incorporación de disipadores de energía de fluido viscoso como se verifica en la disminución de derivas de entrepiso, de fuerzas cortantes, momentos flectores, etc. A comparación de la estructura convencional.

CONCLUSIONES

1. Del comportamiento estructural del CPU-UNASAM sin la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso (estructura convencional).

- La edificación tiene un sistema de muros estructurales en los ejes X y Y ya que más del 70.00% la fuerza cortante estática es soportada por los muros estructurales o placas (en el eje X soporta el 72.36% y 85.81% en el eje Y)
- La estructura presenta regularidad estructural en planta y altura en las direcciones X y Y, haciendo que los factores de irregularidad sean uno ($I_a = I_p = 1$).
- El peso de la edificación es de 1,619.67tn y la fuerza cortante en la base, en ambas direcciones, de 407.45tn.
- Las distorsiones estáticas inelásticas en los ejes X y Y superan el límite reglamentario (0.007), siendo la distorsión máxima en el eje X de 0.0103 y en el eje Y de 0.00705.
- Del análisis sísmico modal espectral, se observa que la distorsión dinámica inelástica en los ejes X y Y también superan el límite reglamentario (0.007), siendo la distorsión máxima en el eje X de 0.008447 y en el eje Y de 0.0072.

2. Del diseño y modelamiento de los disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor.

- Luego de varias pruebas, la mejor alternativa de ubicación de dispositivos de disipación es en la dirección X (ejes 4 y 8) con arreglo diagonal, consistiendo un total de 10 dispositivos empleados.
- El amortiguamiento máximo objetivo es 0.0056 (para un estado de daño moderado según el manual técnico Multi-hazard Loss Estimation Methodology- HAZUS).
- Se eligió los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso manufacturados por la corporación **Taylor Devices Inc.**, escogiendo los modelos 17120 y 17130 según las fuerzas axiales actuantes.
- El perfil HSS 7.50x0.50 es usado como brazo metálico de los disipadores y cumple con las verificaciones de resistencia ($\emptyset P_n = 106.79tn$ y $\emptyset T_n = 147.24tn$) para trabajar con la fuerza máxima axial calculada (44.655tn).
- Los pernos a usar en la conexión brazo metálico- Disipador viscoso es del tipo A325- Grupo 1 de 1 1/8" de diámetro, verificándose que su resistencia ante fuerzas de tensión (180.84tn) soporta la fuerza de tensión calculada (44.655tn).
- Los pernos a usar en la conexión brazo metálico- Cartelas es del tipo A490- Grupo 1 de 1 1/2" de diámetro, verificándose que su resistencia ante fuerzas cortante (72.141tn) soporta la fuerza de tensión calculada (44.655tn).
- El diseño de la barra de conexión verifica la posible fluencia del área bruta y la fractura del área neta cumpliéndose que el Área del agujero (A_g) sea mayor al área requerida de la sección (A_{greq}): $A_g(60cm^2) > A_{greq}(34.38cm^2)$.
- El diseño de los pernos de anclaje se realizó de acuerdo a las especificaciones del apéndice D del código ACI 318-08, empleándose pernos de 5/8", pernos que cumplen con la verificación de la resistencia a la tracción $\emptyset N_n(96.41tn) \geq N_{ua}(23.567tn)$ y con la resistencia al corte $\emptyset V_n(50.13tn) \geq V_{ua}(37.93tn)$.

3. Del comportamiento estructural del CPU-UNASAM con la inclusión de disipadores de energía de fluido viscoso tipo Taylor.

- La incorporación de disipadores de energía viscosos a la estructura reduce los desplazamientos del centro de masa de cada piso en un rango de 27.79% a 35.77%, siendo esta reducción máxima en el piso 5, tal como se muestra en la Tabla 39 y Figura 89, esta reducción disminuye la posibilidad de que la estructura trabaje en el rango inelástico, impidiendo también la formación de rotulas plásticas y limita posibles mecanismos de falla.
- La adición de los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso es un método efectivo de control de la respuesta dinámica de estructuras, ya que las distorsiones de entrepiso se lograron disminuir significativamente, por ejemplo, las derivas de entrepiso en el eje X se redujeron en un rango de 23.56% a 33.35% tal como se aprecia en la Tabla 40 y Figura 90; es importante mencionar que la deriva máxima en la estructura en el eje X sin disipadores de energía es 0.00845 y disminuye a 0.00586 con disipadores de energía viscosos, valor cercano a la deriva esperada (0.0056) asumida para el diseño de los dispositivos de disipación de energía de fluido viscoso. Además, se verifica que las derivas dinámicas en el eje Y también son afectadas por la presencia de disipadores de energía haciendo, en este caso, que cumpla con los límites reglamentarios (0.007) como muestra la Tabla 15.
- Las fuerzas axiales en la columna C-1 del eje 4 (apoyo de los disipadores de energía) varían, siendo la reducción máxima de 92.85% en el primer nivel, mientras que en la columna C-2 del eje 8 tienen una reducción máxima de 69.12% en el tercer nivel.
- Las fuerzas cortantes en la columna C-1 del eje 4 (apoyo de los disipadores de energía) disminuyen, siendo la reducción máxima de 35.18% en la azotea, mientras que en la columna C-2 del eje 8 tienen una reducción máxima de 53.25% en el quinto nivel.
- El momento flector en la columna C-1 del eje 4 (apoyo de los disipadores de energía) disminuyen, siendo la reducción máxima de 50.92% en el quinto nivel, mientras que en la columna C-2 del eje 8 tienen una reducción máxima de 55.85% también en el quinto nivel.
- La disminución de los esfuerzos en la base del edificio conlleva a un diseño de fundaciones más pequeñas, trayendo consigo fundaciones más económicas.
- Desde el punto de vista constructivo en el caso de la rehabilitación sísmica, los Disipadores de Energía de Fluido Viscoso presentan una clara ventaja frente a otros tipos de Dispositivos de Control Pasivo, como los Aisladores Basales, ya que estos requieren sistemas especiales para su colocación.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda contar con un adecuado estudio de mecánica de suelos con parámetros de aceptable confiabilidad, siendo este un factor importante para el cálculo de la cortante basal del edificio.
- La norma peruana de edificaciones no cuenta con indicaciones para el diseño de sistemas modernos de protección sísmica. Esperamos que en un corto tiempo se pueda incluir un capítulo al respecto.
- Actualmente, para el cálculo y diseño de edificaciones con disipadores de energía se emplean normas americanas (SEAOC, ASCE 7-10, Fema273, Fema274) que no se ajustan del todo a la realidad y las condiciones que se presentan en nuestro país, en base a esto se recomienda mejorar estos lineamientos.
- Se sugiere la difusión las experiencias de diseño con disipadores de energía con el fin de acelerar el proceso de aprendizaje por parte de la comunidad de ingenieros en el país.
- Desarrollar investigaciones con distintos tipos de disipadores de energía, tales como los viscoelásticos, metálicos, etc. Evaluando el comportamiento de una estructura al ser implementada con cada uno de estos dispositivos.
- Realizar de forma detallada el análisis de costo del edificio con disipadores de energía de fluido viscoso y compararlo con los costos de reparación y reforzamiento de un edificio similar que haya fallado por un movimiento sísmico.
- Reforzar la estructura del CPU-UNASAM con disipadores de energía de fluido viscoso con un estudio más detallado para mejorar su desempeño sismoresistente.
- Evaluar el comportamiento estructural de otras edificaciones existentes de nuestra ciudad y analizar la necesidad de reforzamiento estructural de forma convencional con los sistemas modernos de protección sísmica.

REFERENCIA BIBLIOGRAFICA

- Arriaga, H. 2005. Aislación Sísmica de un Edificio de Oficinas de Siete Pisos. Chile.
- Bonilla, L. 2012. Teoría del Aislamiento Sísmico para Edificaciones. Tesis de Pregrado. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional Autónoma de México.
- Boza, Z.; Galán, D. 2013. Diseño de un Edificio Aporticado con Disipadores en Arreglo Chevron. Tesis de Pregrado. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cahis i Carola, X. 2000. Desarrollo de un nuevo disipador de energía para diseño sismorresistente. Análisis numérico y validación experimental de su comportamiento. Tesis Doctoral. Departament D'Enginyeria de la Construcció Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona.
- Corzo, K. 2005. Diseño de un modelo estructural con el programa ETABS. Trabajo de graduación. Facultad de ingeniería. Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Engineers, American Society of Civil ASCE 7-10. 2010. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Reston.
- Fazard, K. 1999. Design of Seismic Isolated Structures from Theory to Practice. U.S.A
- Federal Emergency Management Agency FEMA. 1997. Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings- NEHRP. FEMA 273-274. Washington, D.C.
- Federal Emergency Management Agency FEMA. Multihazard Loss Estimation Metodology Hazus. Washington, D.C.
- Garzón, C. 2011. Pernos Estructurales de Alta Resistencia.
- Hwang, J. Seismic Design of Structures with Viscous Dampers. Taiwan.
- Kitamura, Haruyuki; Teramoto, Takayuki and Kobori, Tohru. Advanced technology in response control of high-rise buildings. Second Conference on Tall Building in Seismic Regions. Los Angeles, May, 1991.
- Llopiz, C. 2010. Filosofía del diseño para estructuras de hormigón armado. Unidad II- Catedra de Hormigón II. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional del Cuyo. Argentina
- M. Di Paola, G. Navarra. Passive Control of Linear Structures Equipped with Nonlinear Viscous Dampers and Amplification Mechanisms.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2006. Cargas. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. Norma Técnica E020
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. 2016. Diseño Sismorresistente. Reglamento Nacional de Edificaciones. Perú. Norma Técnica E030

Ochoa, J. y Romero, M. 2013. Disipadores de energía como alternativa en el proyecto de edificaciones aporticadas de acero en zonas de alto riesgo sísmico. Tesis de Pregrado. Escuela de Ingeniería Civil de la Facultad de Ingeniería. Universidad Rafael Urdaneta. Venezuela.

Oviedo, R. 2008. Dispositivos Pasivos de Disipación de Energía para Diseño Sismorresistente de Estructuras. Tesis de Maestría. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima.

Rochel, R. 2017. Análisis y Diseño Sísmico de Edificios. <https://www.freelibros.org/ingeniería/analisis-y-diseno-sismico-de-edificios-roberto-rochel-awad.html#>

SIRVE- Seismic Protection Technologies. [Http. Sirve.cl](http://Sirve.cl).

Structural Engineers Association of California SEAOC. 1995. Recommended Lateral Force Requirements and Commentary. California

Taylor, D. Seismic Dampers for the Torre Mayor Project. New York: Taylor Devices Inc.

Vargas, C. 2015. Tecnología Antisísmica. <http://antisismos.blogspot.pe/2015/06/5.html>.

ANEXOS