

Optimización del diseño estructural de una edificación esencial mediante el empleo de disipadores viscosos

Optimization of an essential building structural design by using viscous dampers

Marco A. Díaz La Rosa Sánchez¹

Recibido: 24 de noviembre de 2014

Aceptado: 11 de diciembre de 2014

Resumen

En el presente trabajo de investigación se desarrolló la evaluación y optimización del diseño estructural de una edificación esencial de 6 pisos ubicada en la ciudad de Chiclayo. El edificio en estudio demostró presentar irregularidad torsional en el eje Y-Y y superar el valor máximo fijado por la norma peruana de diseño sismorresistente para el control de derivas (7‰). Se procedió a optimizar el diseño, reestructurando (para corregir la torsión) e implementando disipadores de energía viscosos para lograr un mejor desempeño en la estructura. Las consideraciones para el análisis no lineal tiempo historia, la determinación del sismo de diseño y el cálculo de las propiedades de los disipado-

res viscosos se obtuvieron de las normas ASCE 7-10(Capítulo 18), Fema 273,274 y del reglamento nacional de edificaciones en su sección de diseño sismorresistente (E.030). Los resultados obtenidos indican que con el empleo de estos dispositivos se logró reducir los desplazamientos en los centros de masa, las derivas de entrepiso, las fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores en los elementos estructurales, así como las velocidades y aceleraciones en cada uno de los niveles.

Palabras clave: Análisis no lineal tiempo historia, disipadores de energía viscosos, edificación esencial, irregularidad torsional.

Abstract

In the present investigation work, the evaluation and optimization of structural design of an 6 floors essential building located in Chiclayo city was developed. The studied building showed torsional irregularity in the Y-Y axis and exceed the maximum value set by the Peruvian seismic design standard for drift control (7‰). We proceeded to optimize the design, restructuring (to correct torsion) and appending viscous energy dampers to achieve a better performance in the structure. Considerations for the nonlinear time history analysis, the design ear-

thquake and the viscous dampers properties calculation were obtained from the ASCE 7-10(chapter 18), Fema 273,274 and E.030 standard. The results indicate that using these devices, center of mass shifts, drifts, axial forces, shear and flexural moments, velocities and accelerations in each level were reduced.

Keywords: Nonlinear time history analysis, viscous energy dampers, essential buildings, torsional irregularity

1. Ingeniero Civil, egresado de la Universidad Privada Antenor Orrego.

I. INTRODUCCIÓN

El Perú está ubicado en el cinturón de fuego del Pacífico, una de las regiones sísmicamente más activas del mundo, por lo que los eventos sísmicos nos han acompañado desde siempre. Muchos de estos sismos (1970, 2001, 2007, etc.) han ocasionado pérdidas económicas considerables, así como pérdidas humanas dejando además heridos y damnificados.

Los efectos perjudiciales que dejan los terremotos no dependen directamente de este fenómeno natural, sino de las fallas en las estructuras construidas por el ser humano.

Este hecho nos exige tener un buen entendimiento del comportamiento de estas estructuras, así como de las tecnologías sísmicas existentes con el fin de reducir el nivel de daño estructural y prevenir posibles fallas catastróficas.

Es así que, en las últimas décadas, se han venido desarrollando diversos avances tecnológicos para la mejora del desempeño de las estructuras frente a sollicitaciones sísmicas. Uno de estos avances son los sistemas de disipación de energía fluido viscosos, los cuales ya se vienen empleando en diversos países tales como Taiwán, Los Estados Unidos, Japón, entre otros y la experiencia que se ha obtenido con el uso de estos dispositivos muestra su gran capacidad para reducir la demanda sísmica en las estructuras.

II. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

El procedimiento empleado en este trabajo se muestra en el siguiente flujograma.

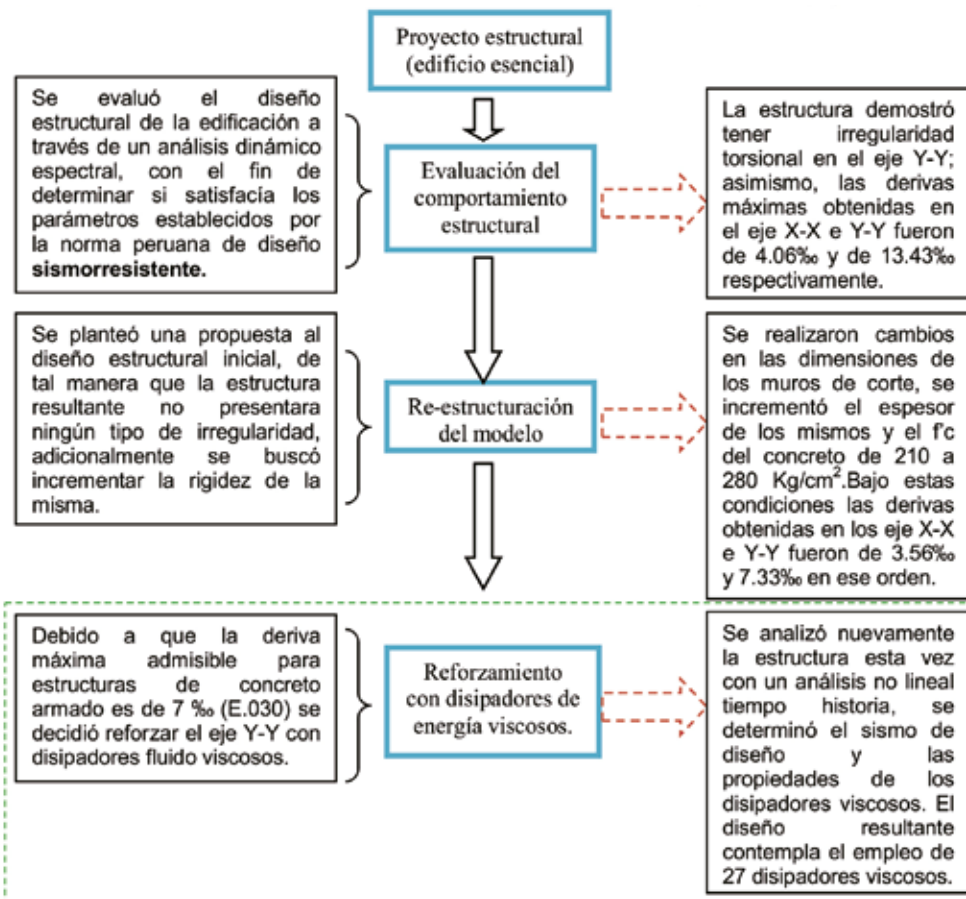


FIGURA 1. FLUJOGRAMA PARA EL DESARROLLO DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

El siguiente artículo se centra y pretende desarrollar la sección relativa al reforzamiento de la estructura (reestructurada) con disipadores de energía viscosos. A continuación se muestra la descripción del proyecto, las recomendaciones y el procedimiento para la determinación del sismo de diseño, el cálculo de las propiedades de los disipadores, la evaluación de los resultados obtenidos y las conclusiones a las que se llegó.

III. DESCRIPCIÓN DEL PROYECTO (MODELO ESTRUCTURAL REESTRUCTURADO)

A. Generalidades:

El edificio corresponde al proyecto del Hospital Clínico Próvida perteneciente a la empresa del mismo nombre.

El edificio en estudio se ubica geográficamente en la región costa de nuestro país, específicamente en la región Lambayeque, distrito de Chiclayo, en la provincia de Chiclayo.

El edificio cuenta con 6 niveles en total, dentro de los cuales los primeros 5 son típicos y tienen un área de 412.20m² y el 6to presenta una superficie menor a la de los pisos inferiores, su área es de 305.50 m². La altura del primer piso es de 3.40 metros, todos los pisos superiores tienen una altura de 3.15 metros.

Entre los ambientes más importantes se encuentra una farmacia, cinco consultorios, una sala de operaciones y otra de partos, áreas rígidas y semirrígidas, treinta dos habitaciones con dos o tres camas cada una, etc.

B. Tipo suelo y cimentación

El estudio de mecánica de suelos señala que el suelo donde estará desplantada la cimentación es del tipo SM y ML, arenas limosas, mezcla de arena y limo y limos de baja plasticidad. La capacidad portante es de: $S=0.63\text{kg/cm}^2$.

En base a la baja capacidad portante del suelo, se proyectó una losa de cimentación de 45cm de espesor, con lo que se busca garantizar que no se excedan los esfuerzos admisibles y evitar que se presenten posibles asentamientos diferenciales.

C. Diseño estructural

La estructura está conformada por un sistema de muros estructurales de concreto armado, se distingue un total de 7 diferentes tipos de placas de las cuales dos de ellas presentan una sección transversal en L.

Los muros estructurales se encuentran distribuidos en ambas direcciones del edificio, con (06) placas en la dirección X-X y (07) en la dirección Y-Y. Las placas varían de espesor, desde 20 a 30 cm.

En cada nivel se tiene una losa aligerada que hace la función de diafragma rígido, los espesores son de 20 y 25 cm dependiendo de la sobrecarga a la que es expuesta; entre los nervios se emplean bloques de Tecnopor para aligerar el peso.

La resistencia cilíndrica a la compresión del concreto es de 280 Kg/cm².

Durante la etapa de re-estructuración se consideraron espacios donde los dispositivos viscosos pudiesen ser colocados posteriormente (en arreglo doble diagonal). A continuación se muestra la distribución de los elementos de corte y la ubicación de los disipadores en los cinco primeros niveles.

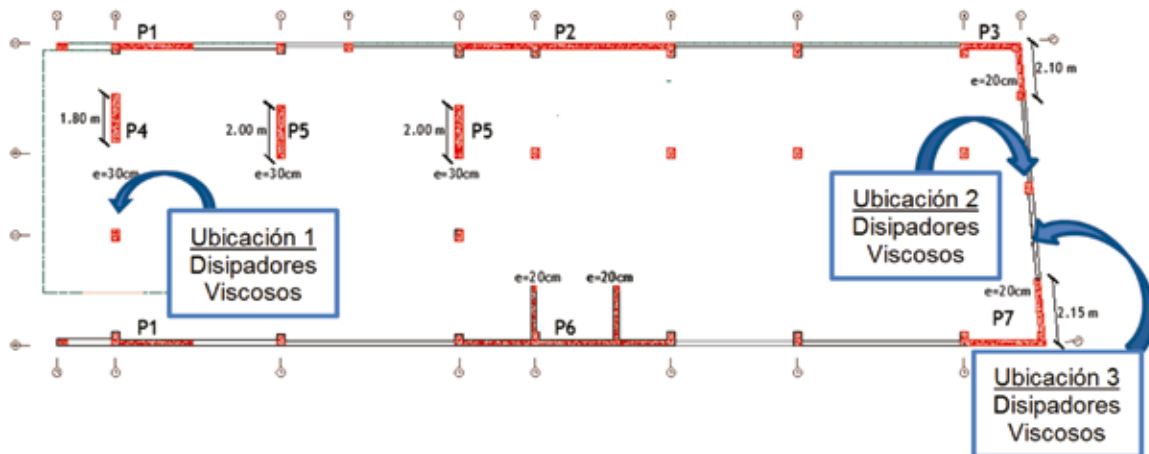


FIGURA 2. VISTA EN PLANTA – ELEMENTOS DE CORTE (1ER - 5TO NIVEL)

En el sexto nivel se tuvo una consideración especial, ya que presenta un área en planta menor a la de los pisos inferiores. Esta es la razón por la que no se puedan colocar todos los disipadores (ubicacion1 - ver figura 2), se decidió emplear arriostramiento metálico en la parte final de la estructura (lugar en donde iban a ser colocados los disipadores viscosos - ubicaciones 2 y 3).

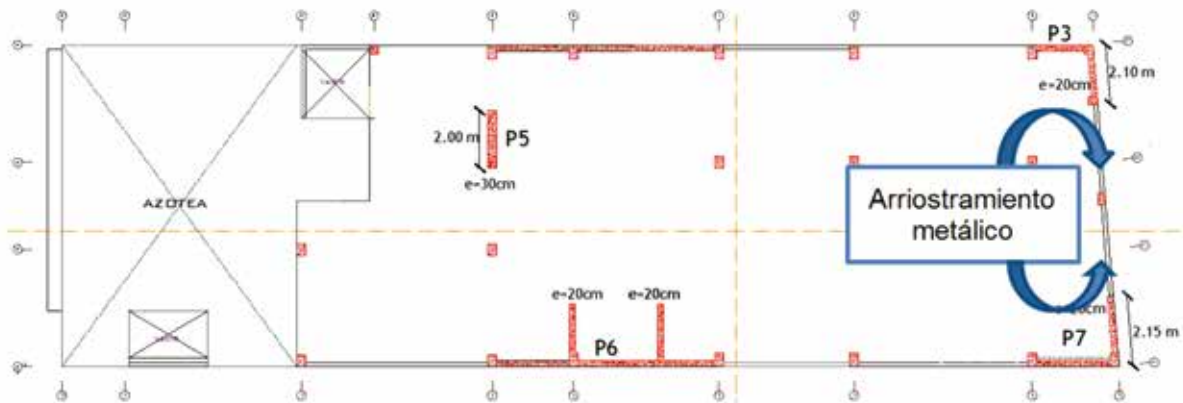


FIGURA 3. VISTA EN PLANTA – ELEMENTOS DE CORTE (6TO NIVEL)

IV. SISMO DE DISEÑO

A. Recomendaciones

- Los registros sísmicos que se empleen deberán reflejar la realidad del proyecto; es decir, deben haber sido tomados en suelos con características similares al suelo donde se desplantará la cimentación de la estructura.
- Se deben emplear al menos 3 registros sísmicos en sus dos componentes horizontales.
- La norma peruana señala que estos registros deben ser escalados a un espectro de diseño. Este espectro de pseudoaceleraciones debe ser calculado fijando el valor del coeficiente de reducción sísmica a la unidad ($R=1$).

B. Procedimiento para determinar el sismo de diseño:

1. Realizar el análisis dinámico espectral de la edificación y calcular las derivas de entrepiso, considerando el coeficiente de reducción sísmica (R) igual a 1. Esta reducción del valor de R se realiza para que el edificio entre en el rango inelástico ante un sismo severo, es importante tener en cuenta que para la obtención de derivas, los desplazamientos laterales calculados en el análisis ya no se multiplican por $0.75 \cdot R$ sino simplemente por 1.
2. Escalar los acelerogramas en sus dos componentes al espectro de diseño (paso 1). Para poder obtener una mayor exactitud se recomienda emplear un software especializado para tal tarea, en este trabajo se realizó el escalamiento con el programa Sismomatch

versión 2.1.0.

- Realizar el análisis tiempo historia con los acelerogramas escalados; es importante tener en cuenta que los registros sísmicos han sido tomados en dos componentes (E-W y N-S), de manera que por cada registro sísmico que se emplee en el análisis tiempo historia deberán analizarse dos casos por separado. El caso 1 cuando la componente E-W del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X de la estructura, mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente N-S y el caso 2, donde la componente N-S del registro sísmico actúa sobre la dirección X-X, mientras que sobre la dirección Y-Y lo hace la componente E-W.
- Finalmente, para determinar el sismo de diseño, realizar una comparación entre las derivas de entrepiso obtenidas del análisis dinámico espectral (paso 1) y del análisis tiempo historia (paso 3). El sismo de diseño será aquel que se ajuste más a las derivas obtenidas del análisis dinámico espectral (comportamiento esperado)

TABLA I
REGISTROS SÍSMICOS CONSIDERADOS PARA DETERMINAR EL SISMO DE DISEÑO

Localización de la estación acelerográfica	Fecha	Componentes	Aceleración máxima (cm/seg ²)	Duración (seg.)
Moquegua	23 de junio de 2001	E - W	-295.22	198
		N - S	220.04	
Ica	15 de agosto 2007	E - W	-272.2	218
		N - S	334.1	
La punta -Lima	15 de agosto 2007	E - W	101	326
		N - S	-95.8	

Tras realizar el procedimiento anteriormente descrito, se determinó como sismo de diseño el de Moquegua Caso 2 por ser el que más se ajustaba al comportamiento esperado. Con este sismo se calcularon las propiedades del disipador viscoso. Las derivas obtenidas en el análisis no lineal tiempo historia para este registro se muestran en las siguientes tablas.

TABLA II
CONTROL DE DERIVAS EN LA DIRECCIÓN X-X

PISO	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
6	52.9	3150	3.30	7.0
5	42.5	3150	3.37	7.0
4	31.9	3150	3.37	7.0
3	21.3	3150	3.05	7.0
2	11.7	3150	2.41	7.0
1	4.1	3400	1.21	7.0

TABLA III
CONTROL DE DERIVAS EN LA DIRECCIÓN Y-Y

PISO	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
6	143.5	3150	5.78	7.0
5	125.3	3150	7.90	7.0
4	100.4	3150	9.21	7.0
3	71.4	3150	9.71	7.0
2	40.8	3150	8.51	7.0
1	14	3400	4.12	7.0

El cálculo de las propiedades de los disipadores se realizó solo para el eje Y-Y, en donde la deriva máxima (9.71‰) es superior a la permitida (7‰); el eje X-X por tener una deriva máxima de 3.37‰ no requiere de estos dispositivos.

V. CÁLCULO DE LAS PROPIEDADES DE LOS DISIPADORES

Para la modelación de los dispositivos viscosos se tuvieron que definir las siguientes propiedades: rigidez del brazo metálico (K), exponente de velocidad (α), coeficiente de amortiguamiento(C).

A. Exponente de velocidad (α)

En la mayoría de los casos, el valor del exponente de velocidad α está comprendido en el 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. En este trabajo el valor del exponente α se fijó en 0.5.

B. Coeficiente de amortiguamiento (C)

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

$$\beta_H = \frac{\sum_j \lambda C_j \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} \sum_i m_i \Phi_i^2} \rightarrow \sum C_j = \frac{\beta_H \times 2\pi A^{1-\alpha} \omega^{2-\alpha} (\sum_i m_i \Phi_i^2)}{\lambda (\sum \Phi_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j)}$$

Dónde

β_H : Amortiguamiento inherente de la estructura.

C_j : Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.

m_i : Masa del nivel i.

θ_j : Ángulo de inclinación del disipador j.

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

Φ_{rj} : Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal (correspondiente al primer modo de vibración).

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

ω : Frecuencia angular.

λ : Parámetro lambda.

Para calcular el amortiguamiento viscoso β_H se sigue el siguiente procedimiento.

Como primer paso se determina el **factor de reducción de respuesta (B)** mediante el cociente de la deriva máxima y la deriva objetivo; la deriva máxima (D_{max}) es la obtenida del análisis tiempo historia para el sismo de diseño seleccionado.

$$B = \frac{D_{max}}{D_{objetivo}}, \text{ así tenemos } B_{yy} = \frac{0.00971}{0.007} = 1.387$$

Luego, se determina el **amortiguamiento efectivo** (β_{eff}) despejando la siguiente ecuación.

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

Donde β_0 es el amortiguamiento inherente de la estructura que usualmente se fija en 5% para estructuras de concreto armado. Al resolver la ecuación se obtiene el amortiguamiento efectivo, este incluye la acción del disipador de energía y el amortiguamiento inherente de la estructura:

$$\beta_{effyy} = 15.37\%$$

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

$$\beta_{Hyy} = 10.37\%$$

Según los fabricantes, se recomienda que los disipadores de energía viscosos sean diseñados teniendo en consideración para el cálculo un amortiguamiento viscoso (β_H) de entre 20 a 40%. Para mantener un margen de seguridad y realmente garantizar que se logre un amortiguamiento viscoso de 20%, los cálculos se realizarán fijando el amortiguamiento viscoso requerido en 23%.

El parámetro λ es dependiente del valor del exponente de velocidad (α), para un valor de α igual a 0.5 el parámetro λ es igual a 3.50.

Asumiendo que todos los disipadores tendrán el mismo coeficiente de amortiguamiento y que se emplearán 6 dispositivos por piso, se resolvió la ecuación para el cálculo del coeficiente de amortiguamiento obteniéndose un valor de $C_j = 180 \frac{m^{0.5}}{m}$

C. Rigidez del brazo metálico

Es importante que el perfil metálico tenga un área (A) significativa, esto para minimizar las deflexiones elásticas en el brazo y maximizar las del disipador, logrando de esta manera que el dispositivo se active completamente ante una excitación sísmica. Se debe verificar además que el perfil metálico seleccionado tenga suficiente momento de inercia (I) para que tenga suficiente resistencia contra el pandeo en la dirección de compresión.

El perfil metálico con el que se trabajó fue el HSS 7.50 x 0.50.

VI. RESPUESTA DE LA ESTRUCTURA CON LOS DISIPADORES

A. Control de derivas

La siguiente tabla muestra las derivas obtenidas en el edificio con disipadores de energía ubicados en el eje YY, considerando un $\alpha = 0.5$ y el valor de $C=180 \frac{m^{0.5}}{m}$

TABLA IV
Control de derivas en el eje Y-Y (Edificio con disipadores de energía viscosos)

PISO	Desplazamiento en centro de masas(mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (%)	Control R.N.E 0.30 (%)
6	84.8	3150	2.89	7.0
5	75.7	3150	4.76	7.0
4	60.7	3150	5.46	7.0
3	43.5	3150	5.87	7.0
2	25	3150	5.17	7.0
1	8.7	3400	2.56	7.0

Como se puede observar, la deriva máxima de 9.71‰ (edificio sin disipadores) se redujo hasta 5.87 ‰, valor que es mucho menor al máximo permitido (7‰). de esta manera se satisfacen las condiciones de la norma en cuanto al control de derivas.

B. Comportamiento histerético

El documento "Probabilistic Seismic Risk Identification of steel Buildings with Viscous Dampers" presenta la siguiente gráfica para representar la relación fuerza vs desplazamiento de un disipador viscoso.

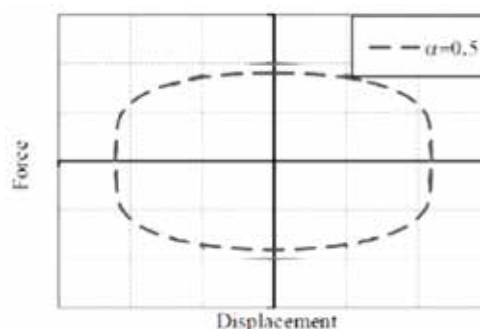


FIGURA 4. RELACIÓN DESPLAZAMIENTO VS FUERZA (CURVA HISTÉRETICA) DE UN DISIPADOR VISCOSO.

La curva que describe esta relación (desplazamiento vs fuerza) es normalmente de forma elíptica, donde los valores máximos de fuerza se alcanzan cuando los desplazamientos son nulos.

Al evaluar las curvas histeréticas de cada disipador, se observó que en la mayoría de estos se presentaba el comportamiento esperado; es decir, se logra la forma elíptica (en color verde); por otro lado, se detectó que tres de estos dispositivos presentaban un comportamiento irregular, los tres estaban ubicados en el primer nivel (en color rojo).

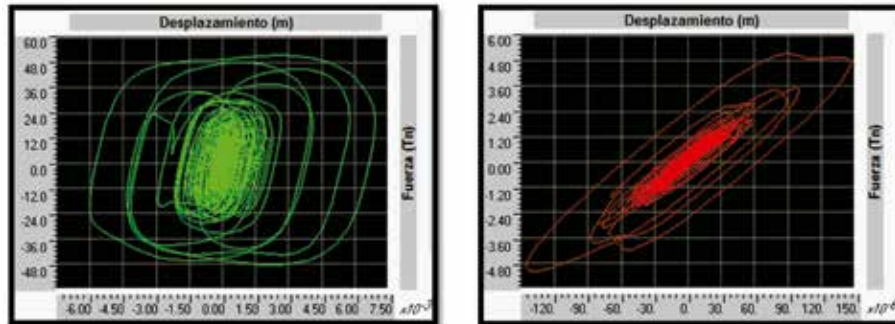


FIGURA 5. CURVAS HISTERÉTICAS EN LOS DISIPADORES DE ENERGÍA VISCOSOS DISEÑADOS.

A partir de las curvas histeréticas obtenidas, se puede prever que aquellos disipadores que no se ajustan a la forma elíptica no están trabajando correctamente; es decir, no aportan significativamente en el incremento del amortiguamiento y en la reducción de las derivas.

VII. PROPUESTA DE DISEÑO FINAL

Debido a que el aporte de estos disipadores no es significativo, se decidió cambiar la disposición de estos en el primer nivel y emplear una diagonal en lugar de dos. Se consideró el mismo coeficiente de amortiguamiento de 180 (tn*s)/m y se realizó un nuevo cálculo para la rigidez del brazo metálico (K).

Se procedió a verificar nuevamente las derivas para comprobar que la nueva disposición propuesta no hubiese generado un cambio significativo en el valor de estas.

TABLA V
Control de derivas en el eje Y-Y (Edificio con disipadores de energía viscosos)

PISO	Desplazamiento en centro de masas (mm)	Altura de piso (mm)	Distorsión de entrepiso D/h (‰)	Control R.N.E 0.30 (‰)
6	85.7	3150	2.92	7.0
5	76.5	3150	4.79	7.0
4	61.4	3150	5.56	7.0
3	43.9	3150	5.94	7.0
2	25.2	3150	5.21	7.0
1	8.8	3400	2.59	7.0

Se pudo ver un ligero incremento en los desplazamientos de cada nivel. Asimismo la deriva máxima de entrepiso se incrementó en 0.07‰, lo cual demuestra que efectivamente solo se requería de un arreglo diagonal en el primer nivel en lugar de un arreglo en doble diagonal.

A. Balance de energía

A continuación, en la figura 6 se presenta de manera gráfica el balance energético para el sismo de diseño seleccionado. En la tabla 6 se puede ver, asimismo, el porcentaje de disipación producido por los dispositivos empleados.

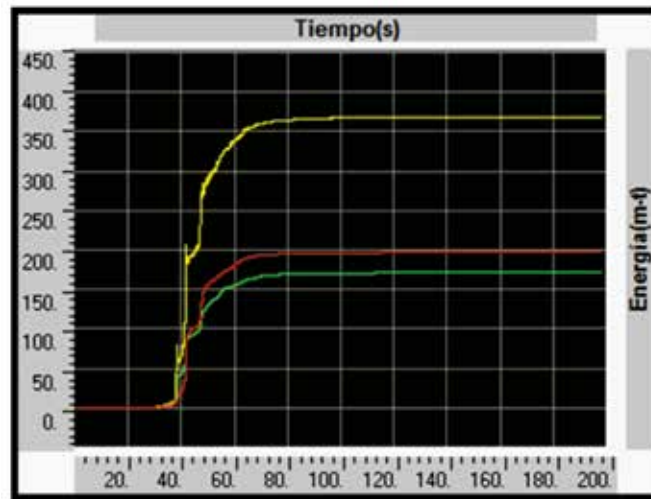


FIGURA 6. BALANCE DE ENERGÍA DE LA ESTRUCTURA CON DISIPADORES DE ENERGÍA

La energía de entrada se muestra en color amarillo, la energía de amortiguamiento inherente a la estructura con color verde y la de los dispositivos viscosos con color rojo.

El porcentaje de disipación de energía se calcula de la siguiente manera:

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

TABLA VI
PORCENTAJE DE DISIPACIÓN DE ENERGÍA EN LA ESTRUCTURA CON DISIPADORES.

Energía(m-tn)		
Entrada	Inherente de la estructura	Disipadores
368.14	171.16	196.98
100%	46.49%	53.51%

En la figura 6 se puede apreciar que la mayor parte de la energía es tomada por el sistema de disipación (53.51% de la energía de entrada). Este porcentaje es significativo y se debe principalmente a la numerosa cantidad de disipadores fluido-viscosos empleados (27 dispositivos).

VIII. EVALUACIÓN 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) teniendo como sismo de diseño el de Moquegua 2001 (caso 2) por ser el que más se ajustó al comportamiento esperado (espectro de diseño).

A. Desplazamientos en los centros de masa.

La implementación de estos disipadores en la estructura produjo una disminución de los desplazamientos máximos presentados en el sexto nivel en un 40.28%, así como la reducción de las derivas de entrepiso desde un 37.10% hasta un 49.46%.

TABLA VII
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LOS DESPLAZAMIENTOS MÁXIMOS
EN LOS C.M. DE CADA PISO

Nivel	Sin disipador	Con disipador	% Reducción
6	143.5	85.7	40.28%
5	125.3	76.5	38.95%
4	100.4	61.4	38.84%
3	71.4	43.9	38.52%
2	40.8	25.2	38.24%
1	14	8.8	37.14%

TABLA VIII
PORCENTAJE DE REDUCCIÓN DE LAS DERIVAS DE ENTREPISO

Nivel	Sin disipador	Con disipador	% Reducción
6	5.78	2.92	49.46%
5	7.90	4.79	39.40%
4	9.21	5.56	39.61%
3	9.71	5.94	38.85%
2	8.51	5.21	38.76%
1	4.12	2.59	37.10%

B. Esfuerzos máximos en los elementos de corte

Se pudo observar una reducción significativa en las fuerzas cortantes de los muros de corte en el eje Y-Y (donde están presentes los dispositivos) desde un 32.04 % hasta un 48.58%. Asimismo en las columnas esta reducción fue de hasta 35.31%, también se pudo observar una reducción de los momentos de hasta 47.93% para placas y 35.30% para columnas.

C. Aceleraciones y velocidades en los C.M.

El empleo de los disipadores viscosos generó una reducción de las velocidades máximas desde un 48.29% hasta un 52.17%; las aceleraciones máximas se redujeron desde un 44.17% hasta un 44.95%.

D. Modos y periodos de vibración de la estructura

Se puede apreciar que los periodos resultantes son los mismos a los de la estructura sin los disipadores de energía.

IX. CONCLUSIONES

En estructuras con diseño tradicional, como la expuesta en este trabajo, la estructura se encarga de tomar el 100% de la energía de entrada; pero al adicionar disipadores de energía dentro de la misma, estos realizan la disipación de energía sísmica y la reducen al ser absorbida por la estructura; es decir, una reducción de la energía inelástica a través del incremento de la energía de amortiguamiento, lo que deriva en menos daño estructural.

La disipación de energía con los disipadores viscosos es del 53.51 %, empleándose en el diseño un total 27 disipadores y considerando como sismo de diseño el de Moquegua 2001. Así se demostró que con el uso de estos dispositivos se incrementa la capacidad de disipación de energía ante la acción de un sismo.

Se demostró, además, que es posible optimizar el diseño del sistema de disipación verificando el desempeño de cada dispositivo (comportamiento histerético) y realizando a su vez variaciones en la disposición, propiedades, número de disipadores, etc.

El primer modo de vibración (modo fundamental) de la edificación se mantiene intacto tras la implementación de los disipadores de energía viscosos, comprobándose que el uso de estos dispositivos no altera la rigidez de la estructura, la que es controlada por el sistema de muros estructurales.

X. RECOMENDACIONES

Antes de diseñar el sistema de disipación de una edificación con sistema dual o de muros estructurales, se recomienda realizar una evaluación previa enfocada a detectar posibles irregularidades como esquinas entrantes, irregularidades torsionales o discontinuidades de diafragmas y proponer mejoras preliminares (al diseño del sistema de disipación) en la medida que lo permita la arquitectura y la funcionalidad de la edificación.

Se recomienda modelar la edificación empleando acelerogramas que hayan sido tomados en suelos que reflejen la realidad sobre la cual se proyecta el edificio. Estos registros sísmicos deberán ser provistos por el Instituto Geofísico Del Perú o podrán obtenerse del REDA-CIS (Red Acelerografica del CISMID).

Se recomienda escalar los registros sísmicos a un espectro de pseudoaceleraciones creado tal como lo establece la norma, considerando para esto las condiciones de importancia, tipo de suelo, etc. y fijando el coeficiente de reducción sísmica a la unidad (para considerar el comportamiento inelástico de los elementos estructurales). Finalmente, se deberá emplear un software especializado para obtener el mejor ajuste del registro sísmico al comportamiento esperado (espectro creado).

Al finalizar el diseño del sistema de disipación, se recomienda verificar los desplazamientos en los extremos de la edificación, con el fin de detectar posibles problemas torsionales.

XI. REFERENCIAS

- American Society Of Civil Engineers (ASCE). ASCE 7-10: *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. (2010 edition). Reston, VA.
- Avilés R.M. (2001). *Dispositivos para el control de vibraciones*. Tesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Falk, P.A. (2010). *Análisis del comportamiento de estructuras de acero provistas de disipadores de energía tipo "Slotted Bolted Connection"*. Tesis, Universidad de Chile, Santiago, Chile.
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). *Commentary on the Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings – NEHRP*. FEMA 273 - 274. Washington, D.C.
- Oviedo, R.R. (2008). *Dispositivos pasivos de disipación de energía para diseño sismo-resistente de estructuras*. Tesis de maestría, Universidad Nacional de Ingeniería, Lima, Perú.
- Pardo, J. P. (2007). *Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal*. Tesis, Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Villarreal, G., Oviedo, R.R. (2009). *Edificaciones con disipadores de energía*. (Primera edición). Lima, Perú.

XII. ANEXOS

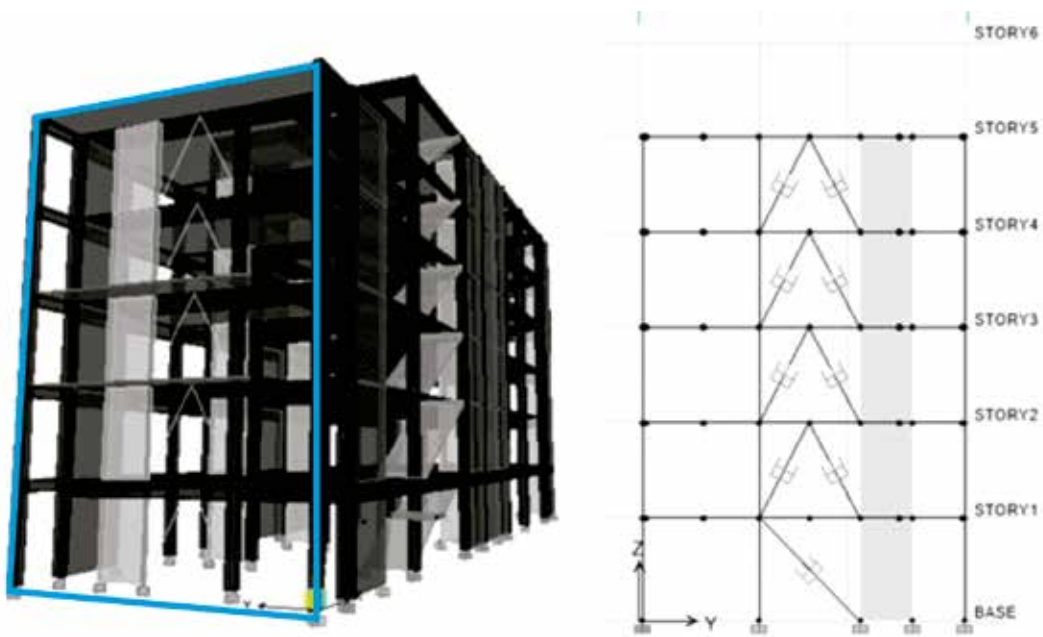


FIGURA 7. UBICACIÓN DE LOS DISIPADORES AL FRENTE DE LA EDIFICACIÓN

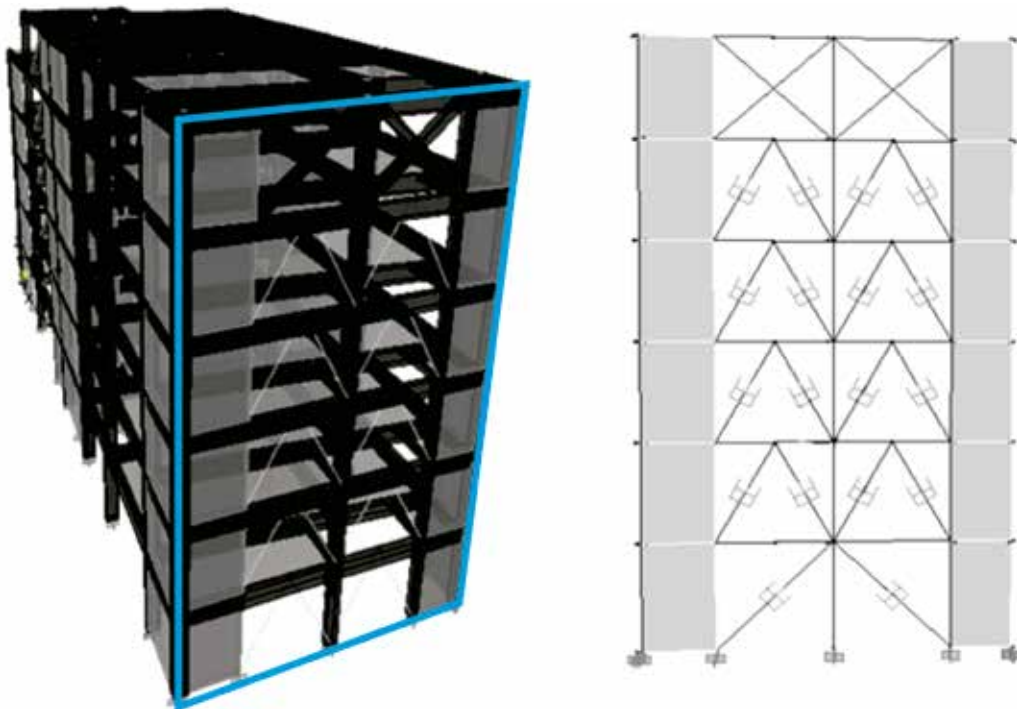


FIGURA 8. UBICACIÓN DE LOS DISIPADORES AL FONDO DE LA EDIFICACIÓN

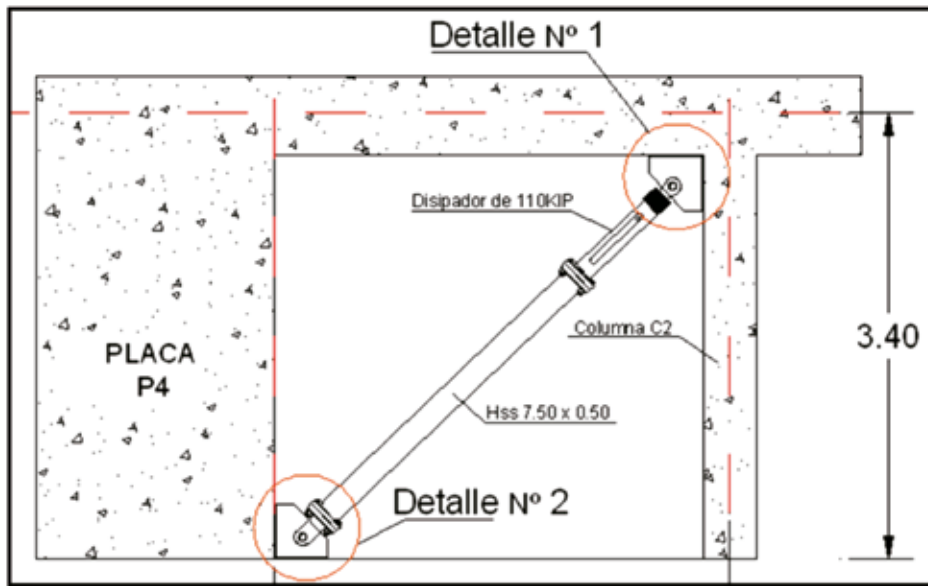


FIGURA 9. DISPOSICIÓN DIAGONAL (DISIPADORES DEL 1ER NIVEL)

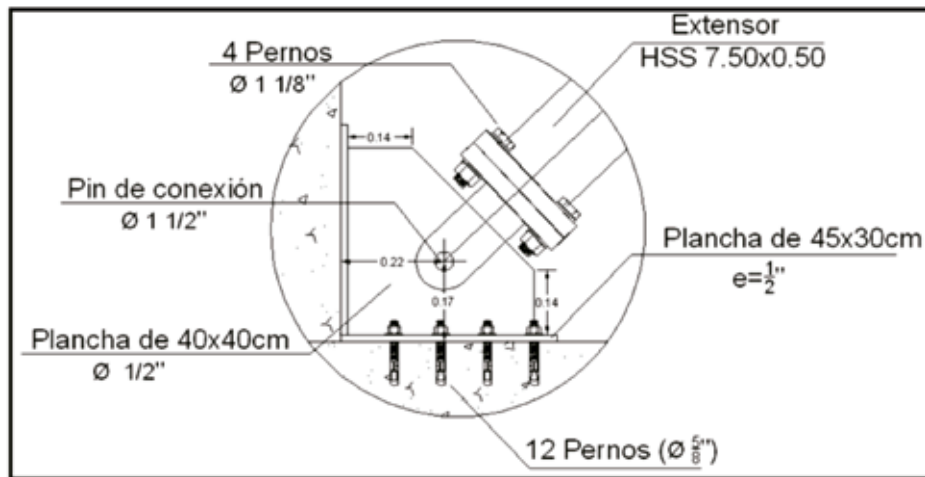


FIGURA 10. DETALLE 1 (CONEXIÓN BRAZO METÁLICO – CARTELA - ESTRUCTURA DE CONCRETO)

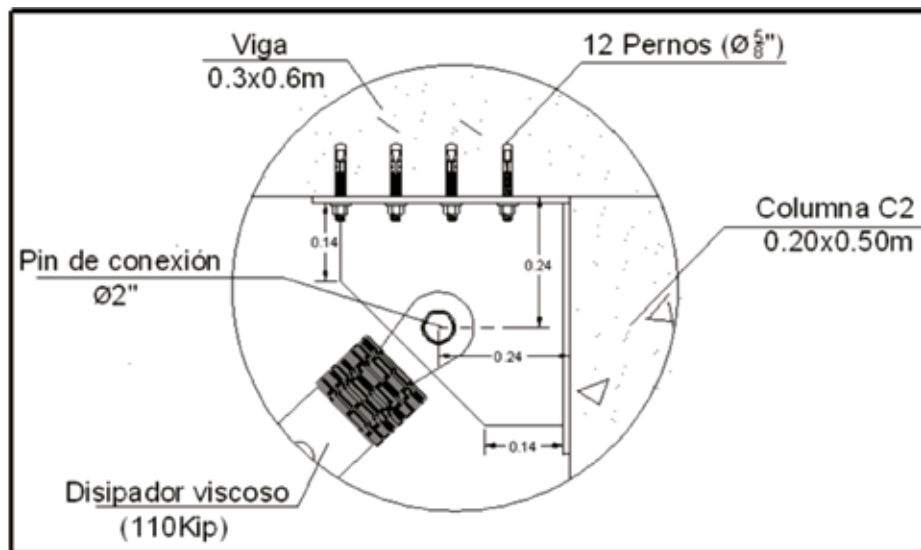


FIGURA 11. DETALLE 2 (CONEXIÓN: DISIPADOR – CARTELA – ESTRUCTURA DE CONCRETO)

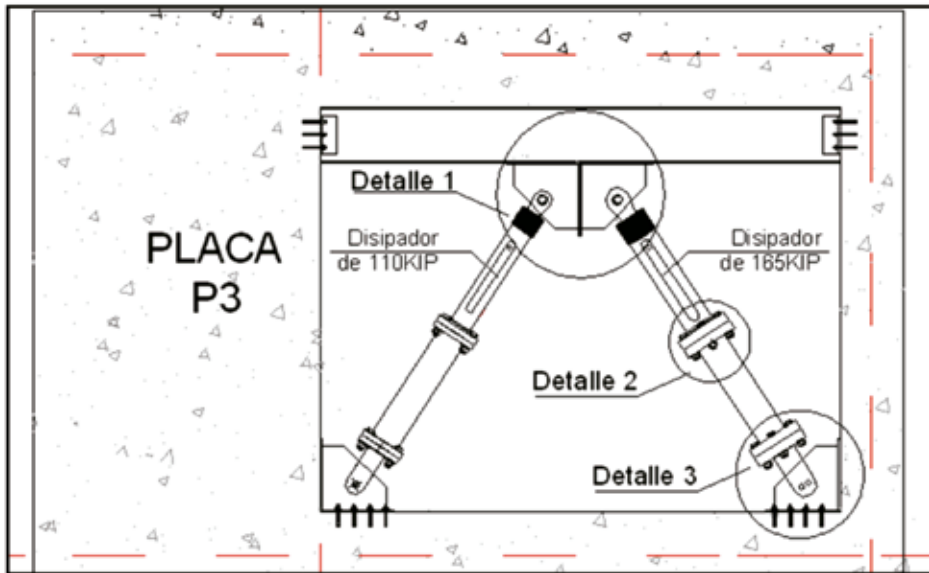


FIGURA 12. COLOCACIÓN EN DOBLE DIAGONAL (DISIPADORES DEL 2DO-5TO NIVEL)

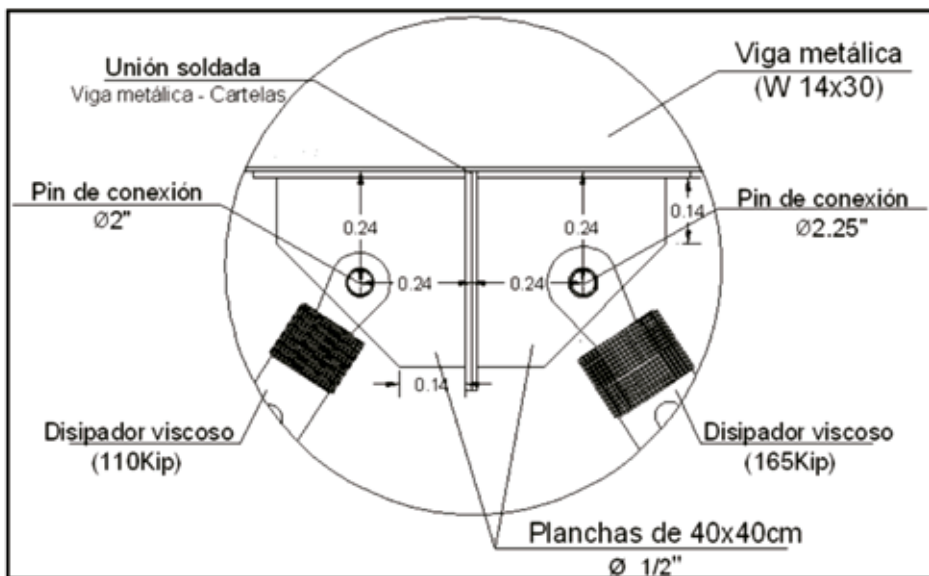


FIGURA 13. DETALLE 1: UNIÓN DISIPADORES CON LA VIGA DE ACERO

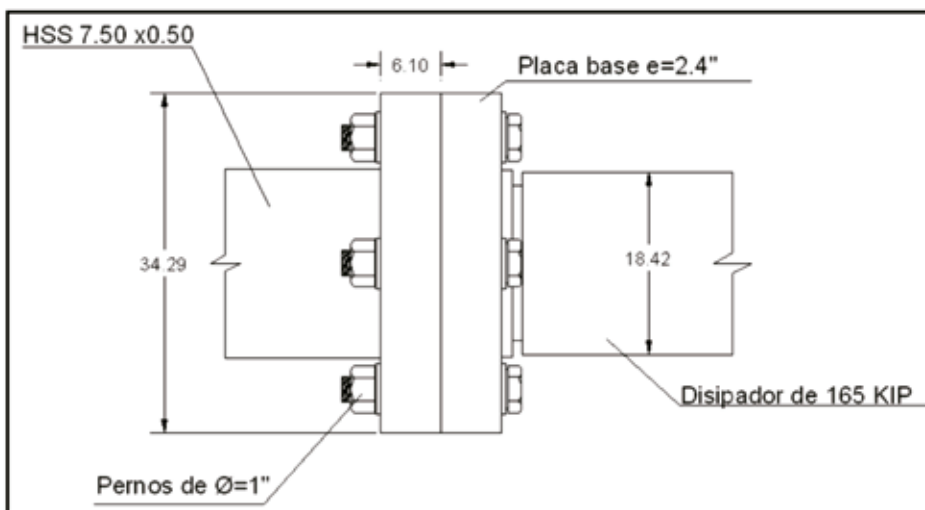


FIGURA 14. DETALLE 2: CONEXIÓN BRAZO METÁLICO CON EL DISIPADOR DE ENERGÍA DE 165KIP

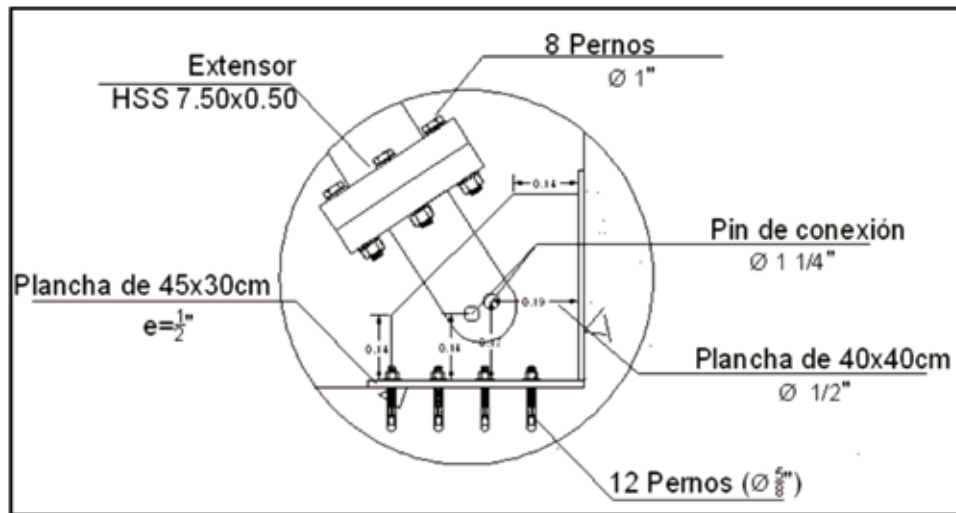


FIGURA 15. DETALLE 3 (CONEXIÓN: DISIPADOR – CARTELA – ESTRUCTURA DE CONCRETO)

XIII. AGRADECIMIENTOS

Al Ph.D Genner Villarreal Castro por el aporte de sus valiosos conocimientos, el apoyo desinteresado y generoso a lo largo de toda la elaboración de la tesis y por ser un excelente docente y un gran amigo.

Al Ing. William Conrad Galicia Guarniz por sus recomendaciones en cuanto a la modelación estructural, punto de partida y base de esta investigación.

A los ingenieros Diego Taboada Saavedra y Carlos Espinoza Morquencho, de la empresa CDV Representaciones, por la asesoría sobre las normas y consideraciones para el diseño de los disipadores viscosos, así como por el cálculo de los precios unitarios de los mismos.

Al Ing. Ricardo Ramón Oviedo Sarmiento por sus valiosas recomendaciones y sugerencias que han hecho que este trabajo sea más completo.

Finalmente, al jurado evaluador por las revisiones de los diferentes capítulos y por sus valiosos comentarios.