



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Aplicación de programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS en Perú, 2021.

TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL DE:
Ingeniero Civil

AUTORES:

Ávila Cárdenas, Graciela Marjorie (ORCID: 0000-0001-5717-0367)

Quispe Gonzales, Richard (ORCID: 0000-0002-8336-9297)

ASESOR:

Mg. Requis Carbajal, Luis Villar (ORCID: 0000-0002-3816-7047)

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN:

Diseño sísmico y estructural

LIMA – PERÚ

2021

Dedicatoria

A Dios por proveerme salud, protección y fuerza para iniciar y ser constante en cada uno de mis proyectos y así también poder culminar la presente investigación.

A mi abuelo, Cirilo Cardenas Huamán, que en vida me apoyó en mis estudios y ahora desde el cielo, me protege.

A mi madre y hermanos, por todo el apoyo incondicional que me brindaron para continuar mi carrera profesional.

Avila Cardenas Graciela

A mis padres, Gaudencio Quispe Nahui y Teodora Gonzales Palomino, por su comprensión y estímulo permanente a lo largo de mi carrera profesional.

A mis amigos y colegas que de alguna u otra manera estuvieron y contribuyeron en el presente trabajo.

Quispe Gonzales Richard

Agradecimiento

En primer lugar, a Dios, por proteger a cada familia siempre y por ayudarnos a superar cada obstáculo que se presenta en nuestras vidas.

A nuestros padres y hermanos, quienes nos brindaron su apoyo incondicional en el transcurso del tiempo, por su constante impulso para superarnos y nunca dudar de nosotros.

A nuestros amigos y colegas por su apoyo y su presencia en los buenos y malos momentos

Agradecemos a nuestro asesor y docentes por su tiempo y paciencia en guiarnos y enseñarnos para poder culminar este trabajo de investigación con éxito, sin su ayuda no los hubiéramos logrado.

Índice de contenido

Dedicatoria	2
Agradecimiento	3
Declaratoria de autenticidad	4
Índice de contenido	5
Índice de tablas	6
Índice de figura	8
Índice de abreviaturas	10
Resumen	11
Abstract	12
I. INTRODUCCIÓN	13
1.1. Realidad de problemática	13
1.2. Formulación del problema	14
1.3. Justificación del estudio	15
1.4. Objetivos	15
1.5. Hipótesis	16
II. MARCO TEÓRICO	17
III. METODOLOGÍA	32
3.1. Tipo y diseño de investigación	32
3.2. Variable y Operacionalización	32
3.3. Población, muestra y muestreo	33
3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad	34
3.5. Procedimientos	35
3.6. Método de análisis de datos	58
3.7. Aspecto ético	59
IV. RESULTADOS	60
4.1. Desarrollo del procedimiento	60
4.2. Resultados	84
V. DISCUSIONES	89
VI. CONCLUSIONES	92
VII. RECOMENDACIONES	94
REFERENCIAS	95
ANEXO	98

Índice de tablas

Tabla 1: Edificación convencional vs edificación con TADAS.	17
Tabla 2: Factor R-cortante basal en convencional vs TADAS.	17
Tabla 3: <i>Valores desarrollados de α para el reforzamiento de los bloques.</i>	19
Tabla 4: Valores de (β) y (θ°) en el 2do bloque.	19
Tabla 5: Resultados de la figura 2 y 3.	22
Tabla 6: Desplazamientos de entrepiso.	22
Tabla 7: Derivas de entrepiso.	23
Tabla 8: Fuerza interna axial máxima.	23
Tabla 9: Fuerza interna cortante máxima.	23
Tabla 10: Fuerza interna momento flector máximo.	23
Tabla 11: Comparación de derivas de diseño eje X.	24
Tabla 12: Desplazamiento de C.M.	24
Tabla 13: Comparación con y sin ADAS. de los desplazamientos laterales del C.M.	26
Tabla 14: Cortante basal en H2 sin ADAS.	26
Tabla 15: Cortante basal en H2 con ADAS.	27
Tabla 16: Comparación de amortiguamiento equivalente.	27
Tabla 17: <i>Resumen de normas.</i>	34
Tabla 18: Valores adecuados α y β .	48
Tabla 19: <i>Parámetros del diagrama bilineal para disipadores TADAS.</i>	50
Tabla 20: <i>Coordenadas de los nudos y posición de cada elemento del pórtico</i> 1.61	
Tabla 21: <i>Propiedades mecánicas de columnas y vigas.</i>	62
Tabla 22: <i>Grados de libertad global.</i>	63
Tabla 23: <i>Distorsiones de entrepiso.</i>	67
Tabla 24: <i>Parámetros iniciales de pre diseño contraviento - disipador.</i>	68
Tabla 25: <i>Parámetros impuestos para los disipadores.</i>	68
Tabla 26: <i>Dimensiones de los disipadores y la diagonal del contraviento Chevron.</i>	69
Tabla 27: <i>Coordenadas de los nudos y posición de cada elemento incorporado contraviento - disipador.</i>	73
Tabla 28: <i>Propiedades mecánicas de columnas, vigas y diagonales equivalentes.</i>	75

Tabla 29: <i>Grados de libertad global incorporado contraviento – disipador.</i>	75
Tabla 30: <i>Factor de escalamiento.</i>	79
Tabla 31: <i>Distorsión de entrepiso del pórtico 1 con disipadores.</i>	82
Tabla 32: Periodos de vibración sin disipadores de energía.	84
Tabla 33: Cortantes de entrepiso sin disipadores de energía.	84
Tabla 34: Desplazamiento absoluto inelástico y deriva de entrepiso sin disipadores de energía.	85
Tabla 35: Rigidez de los pórticos sin y con disipadores de energía.	86
Tabla 36: Periodos de vibración con disipadores de energía.	87
Tabla 37: Cortantes de entrepiso con disipadores de energía.	87
Tabla 38: Desplazamiento absoluto inelástico y deriva de entrepiso con disipadores de energía.	88
Tabla 39: Desplazamiento relativo de entrepiso sin disipadores de energía, Maza Vs Quispe.	89
Tabla 40: Derivas de entrepiso sin disipadores de energía, Maza vs Quispe.	90
Tabla 41: Parámetros iniciales de pre diseño y periodo fundamental de vibración, Nangallasmú vs Quispe.	90
Tabla 42: Desplazamiento en el tope, Cano vs Quispe.	91

Índice de figura

Figura 1: Reforzamiento del Aeropuerto Jorge Chávez.	14
Figura 2: Cortante basal con E030 vs Distorsión global del ultimo nivel.	21
Figura 3: Cortante basal con E030 vs Distorsión global del ultimo nivel.	21
Figura 4: Reforzamiento de la edificación con disipadores ADAS.	25
Figura 5: Comparación del desplazamiento que produce la formación de rótulas plásticas en el pórtico con y sin disipadores calculado con el análisis estático no lineal.	28
Figura 6: <i>Disipadores de energía TADAS sobre contraviento Chevrón.</i>	30
Figura 7: diagrama experimental de histéresis.	30
Figura 8: diagrama analítico de histéresis.	31
Figura 9: modelo bilineal de un disipador.	31
Figura 10: Ejemplo para la numeración de nudos, elementos y grados de libertad del pórtico sin disipadores de energía.	36
Figura 11: Grados de libertad en coordenadas locales, elemento viga – columna.	37
Figura 12: Sistema de coordenadas globales para un elemento viga - columna.	39
Figura 13: Vectores de colocación para 15 elementos columnas y vigas de 6 grados de libertad.	40
Figura 14: Coordenadas principales y secundarias de un pórtico de 2 pisos.	41
Figura 15: Modelo simplificado del pórtico con un grado de libertad por piso.	42
Figura 16: Zonificación sísmica del Perú.	45
Figura 17: Curva Histeretica modelo bilineal de un disipador.	50
Figura 18: Ejemplo para la numeración de nudos, elementos y grados de libertad del pórtico con disipadores de energía.	51
Figura 19: Sistema de coordenadas globales para diagonal equivalente contraviento – disipador.	53
Figura 20: Vectores de colocación para 12 diagonales equivalentes de 4 grados de libertad.	54
Figura 21: Vectores de colocación para 6 diagonales equivalentes de 4 grados de libertad.	54
Figura 22: Coordenadas principales y secundarias de un pórtico de 4 pisos.	55
Figura 23: Modelo para el cálculo de la matriz de amortiguamiento.	56

Figura 24: Modelo pórtico 1.	60
Figura 25: Modelo pórtico 2.	61
Figura 26: Modelo pórtico 3.	61
Figura 27: Curva histeretica de los disipadores del primer piso del pórtico 1.	70
Figura 28: Curva histeretica de los disipadores del segundo piso del pórtico 1.	70
Figura 29: Curva histeretica de los disipadores del tercer piso del pórtico 1.	71
Figura 30: Modelo del pórtico 1 con disipadores de energía.	72
Figura 31: Modelo del pórtico 2 con disipadores de energía.	72
Figura 32: Modelo del pórtico 3 con disipadores de energía.	73
Figura 33: Acelerograma del sismo de lima	80
Figura 34: Espectros de respuesta para el sismo de Lima	81
Figura 35: Respuesta en el tiempo del piso 1 del pórtico 1.	82
Figura 36: Respuesta en el tiempo del piso 2 del pórtico 1.	83
Figura 37: Respuesta en el tiempo del piso 3 del pórtico 1.	83

Índice de abreviaturas

TADAS	:	Triangular Added Damping and Stiffness
ADAS	:	Added Damping and Stiffness
GDL	:	grados de libertad del sistema
C.M.	:	Centro de masa
UAM	:	Universidad Autónoma Metropolitana de México
AENL	:	análisis no lineal estático
ADNL-FNA	:	análisis no lineal dinámico modal de tiempo historia

Resumen

La presente investigación “Aplicación de programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS en Perú, 2021” tuvo como objetivo principal: Evaluar los resultados de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos de concreto armado con disipadores sísmicos de material de fluencia tipo TADAS. La población del estudio son los pórticos de concreto armado, las muestras son 3 pórticos de 3, 6 y 9 pisos de altura, el muestro se realizó según el criterio del investigador. El tipo de investigación es aplicada y el diseño pre experimental. Los programas utilizan el método superposición modal – espectral para el análisis sísmico de los pórticos sin disipadores y el método Tiempo - Historia para el análisis sísmico del pórtico con disipadores de energía. Se observó que, con el diseño convencional, los pórticos sin disipadores experimentan derivas máximas de 0.011 en el segundo piso, que el aporte de rigidez de los disipadores disminuye de 218 a 160 y 148% mientras la altura del pórtico aumenta, que las derivas se reducen con el acoplamiento de los disipadores de 0.011 a 0.005 en promedio por debajo del límite impuesto por la norma peruana de acuerdo a la disposición de los sistemas contraviento – disipador. Se confirma nuestra hipótesis general que: Los programas de computación tienen resultados confiables en el análisis sísmico de pórticos de concreto armado con disipadores de energía tipo TADAS.

Palabras clave: Programas de computación, disipadores de material de fluencia, Análisis sísmico, control de derivas.

Abstract

The present investigation "Application of computer programs in the seismic analysis of frames with TADAS energy dissipators in Peru, 2021" had as main objective: To evaluate the results of the computer programs in the seismic analysis of reinforced concrete frames with seismic dissipators of TADAS type creep material. The study population is the reinforced concrete porches, the samples are 3 porches of 3, 6 and 9 stories high, the sampling was carried out according to the criteria of the researcher. The type of research is applied and the design is pre-experimental. The programs apply the modal-spectral superposition method for seismic analysis, of frames without dissipators, and the Time-History method for seismic analysis with dissipators. It is executed that, with the conventional design, the frames without heatsinks retain maximum drifts of 0.011 on the second floor, that the rigidity contribution of the heatsinks decreases from 218 to 160 and 148% while the height of the frame increases, that the drifts are they reduce with the coupling of the dissipators from 0.011 to 0.005 on average below the limit imposed by the Peruvian standard according to the disposition of the wind-dissipator systems. Our general hypothesis is confirmed that: Computer programs have reliable results in the seismic analysis of reinforced concrete frames with TADAS type energy dissipators.

Keywords: Computer programs, creep material dissipators, Seismic analysis, drift control.

I. INTRODUCCIÓN

1.1. Realidad de problemática

A lo largo de los años, las investigaciones desarrollaron tecnologías para enriquecer el desempeño sísmico con la incorporación de dispositivos de disipadores. Su metodología es ampliamente usada para contrarrestar las vibraciones ocasionadas por el sismo y las fuerzas que ocasiona el viento en la estructura. Los disipadores se dividen en: pasivos, activos y mixto (híbrido); a su vez los dispositivos pasivos están divididos en tres grupos: dispositivos de energía, aisladores sísmicos y efecto de masa adicional.(Soong y Dargush 1997). Asimismo, los dispositivos de energía se separan en: histeréticos y viscoelástico. Los dispositivos histeréticos se desarrollaron hace aproximadamente 51 años en Nueva Zelanda, entre ellos los disipadores destacados son ADAS y TADAS.

Uno de los lugares donde se usó este tipo de reforzamiento estructural, fue en Ecuador-Manta en el año 2016, donde se presenció el terremoto con 7.8 grados de magnitud en la escala de Richter, ocasionando colapsos, daños leves y extensivos en estructuras públicas y privadas. En el Hospital Rodríguez Zambrano se observó que los elementos principales no sufrieron daños visibles, pero si los elementos secundarios, por esta razón propusieron el reforzamiento estructural con el disipador histeréticos TADAS. (Aguar 2018, p. 2)

Con la finalidad de incrementar la resistencia de las estructuras ante las vibraciones sísmicas, en Perú ya tienen la disponibilidad de variedades de los sistemas de disipación de energía sísmica, siendo participativos en grandes proyectos de edificación. No obstante, en nuestro país las investigaciones de los disipadores histeréticos TADAS son escasas y de forma teórica. En estas investigaciones se concluyó que al incorporar el disipador TADAS a las estructuras de concreto armado, reduce los desplazamientos causados por la vibración sísmica, así logrando disipar la energía de entrada que ocasiona el sismo. Ante las fuerzas de los vientos y vibraciones que son ocasionadas por el sismo, el dispositivo que se estudiará es efectivo en contrarrestar mediante la disipación de energía.

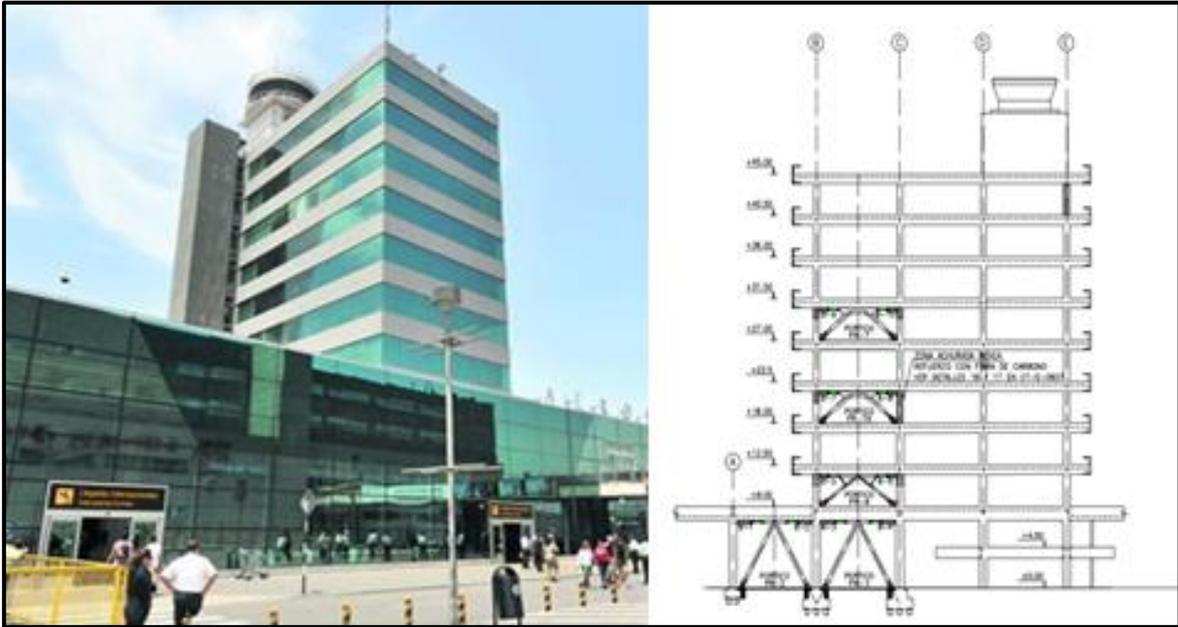


Figura 1: Reforzamiento del Aeropuerto Jorge Chávez.

Fuente: (Casabonne et al. 2006)

Huancayo pertenece a la zona 3, de alta actividad sísmica según la Norma E.030, donde las construcciones aumentan diariamente, poniendo en riesgo la seguridad de la estructura por las vibraciones sísmicas, como así también ocasionan gastos económicos, por ende, en esta investigación se desarrollará una solución ante este problema, disminuyendo los desplazamientos laterales excesivos ocasionadas por el sismo, aplicando una metodología que contribuya en la seguridad de la estructura y bienestar de los habitantes.

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general.

¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS?

1.2.2. Problemas específicos

1. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS?

2. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado?
3. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS?

1.3. Justificación del estudio

Lo que se plantea estudiar es la Aplicación de programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS. El problema principal son los desplazamientos excesivos de las edificaciones a porticadas de concreto armado, es por ello que la implementación de los disipadores histeréticos TADAS disminuyen las deformaciones, como también mejoran el amortiguamiento de la estructura, siendo así beneficiarios el propietario y los ocupantes del edificio, las cuales contarán con mayor seguridad cuando ocurran sismos, además de reducir los costos de construcción. Al usar estos dispositivos se reducirá los daños de la estructura, además de reducir los costos futuros por reparación o mantenimiento, sin embargo, esto ayudará a la ampliación del conocimiento del disipador histeréticos.

1.4. Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Evaluar los resultados de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores TADAS.

1.4.2. Objetivos específicos

1. Evaluar los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS.

2. Evaluar los resultados de los programas de computación en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado.
3. Evaluar los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS.

1.5. Hipótesis

1.5.1. Hipótesis general

Los programas de computación tienen resultados confiables en el análisis sísmico de pórticos con disipadores TADAS.

1.5.2. Hipótesis específicas

1. Los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS.
2. Los programas de computación tienen resultados confiables en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado.
3. Los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS.

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Trabajos previos

(Cano 2020), elaboró un trabajo de investigación en el país de Colombia en la cual consistió en realizar el análisis sísmico de tres estructuras de concreto armado con diferentes alturas, pero con la misma distribución en planta, cabe resaltar que las estructuras tienen la incorporación de los disipadores de energía o disipadores histeréticos TADAS. El objetivo de Cano para esta investigación es conocer el factor (R), para poder así identificar el comportamiento de estas edificaciones para una zona sísmica alta como también percibir los beneficios del disipador. Se concluyó que el factor de disipación se reduce cuando la estructura tiene mayor cantidad de pisos, obteniendo un favorable comportamiento de las estructuras analizadas. Los coeficientes (R) varían entre 3.8 y 4.8. Por último, el investigador recomienda que se siga analizando estructuras irregulares con mayor cantidad de pisos para así identificar hasta que nivel es la eficiencia de estos disipadores de energía, la cual es muy beneficioso ya que ayuda a reforzar edificios luego de sufrir daños por sismos a bajo costo.

Tabla 1. Edificación convencional vs edificación con TADAS.

Estructura	Peso (tn)			CORTANTE BASAL (tn)			DESPLAZAMIENTO DE TECHO (mm)		
	Muros	TADAS	(%)	Muros	TADAS	(%)	Muros	TADAS	(%)
4	2,5143	22597	-10,1	7197	7915	10,0	0,115	0,077	-33,0
8	57106	54582	-4,4	9318	11079	18,9	0,197	0,106	-46,2
12	92702	88888	-4,1	10868	11568	6,4	0,271	0,165	-39,1
16	134085	119112	-11,2	12920	10326	-20,1	0,320	0,242	-24,4

Fuente: (Cano 2020, p. 197)

Tabla 2: Factor R-cortante basal en convencional vs TADAS.

Edificio	Factor R			CORTANTE DE DISEÑO [kN]		
	Muros	TADAS	%	Muros	TADAS	%
4 pisos	3,17	3,88	22,4	2963	3458	16,7
8 pisos	3,29	4,32	31,3	5507	4494	-18,4
12 pisos	3,53	4,24	20,1	6219	4544	-26,9
16 pisos	3,31	4,10	23,9	6896	4684	-32,1

Fuente: (Cano 2020, p. 198)

(Zagal 2019), en su investigación realizada en Machala, enfatizó la influencia de los disipadores histeréticos, en el desempeño sísmico de sistema aporticada de concreto armado. Tomando como muestra una estructura de concreto armado de forma aporticada de 4 niveles. Con una metodología cuantitativa, en el modelado se utilizó el método de Newmark (método beta), el modelado se sometió a un sismo sintético de 1.41g de amplitud. El resultado del análisis convencional sin disipadores, se obtuvo que las derivas de planta superaron a la Norma NEC. 2015 con 2%, posteriormente se analizó el mismo modelo convencional incorporando los disipadores TADAS y ADAS, el disipador histeréticos ADAS adiciona mayor rigidez que el TADAS a la estructura, porque tiene doble empotrado. El resultado al incorporar los disipadores histeréticos se visualiza que la estructura es rígida, a si obteniendo la disminución de periodos a 0.621 s en TADAS y 0.605 s en ADAS. Finalmente se observó las participaciones de la masa en modo 1 en dirección "Y" de 99.1% y con modo 2 en dirección "X" de 92.3% del dispositivo histeréticos ADAS, para el segundo disipador es de 99.5% en "X" y 93.6% en "Y". Así logrando la incorporación de disipador a la estructura la eliminación de rotación existente.

(Aguiar et al. 2019), desarrollaron dos tipos de modelo para el análisis estructural adicionando dispositivos histeréticos TADAS, donde el modelo uno se desarrolló con la placa de flexión en la parte inferior y de corte en superior, y el segundo modelo con la placa a flexión en la parte superior y de corte en inferior, lo cual está compuesta por elementos que trabajan a flexión y corte, se denominan "elemento disipador" que trabaja mediante la rigidez plástica. El otro "Diagonal equivalente" trabaja mediante la rigidez efectiva. Con el objetivo de encontrar la matriz de rigidez en coordenadas globales del dispositivo TADAS, de ambos modelos. La metodología de los modelos se desarrolla mediante la matriz de paso (por medio de la cinemática), para poder conocer el efecto del disipador TADAS en la estructura de concreto armado, se profundizo con énfasis el procedimiento de la matriz de rigidez lateral de la muestra mencionada. Posteriormente se procede ante las cargas estáticas. Se llego a la conclusión de que el segundo caso tiene mejor funcionamiento en disipar las energías sísmicas, trabajando el elemento de diagonal en forma móvil, conjuntamente con el elemento disipador de placa a

flexión en la parte superior, lo interesante de este artículo es contribuir al sistema computacional CEINCI-LAB.

(Aguiar 2018), desarrolló el reforzamiento mediante la incorporación de los dispositivos TADAS a la estructura del Hospital Rodríguez Zambrano de Manta”, nos da a conocer el funcionamiento de los disipadores de fluencia incorporada a una estructura mediante los “parámetros α (relación de la rigidez del marco con la rigidez total de la estructura, incluyendo contravientos y disipadores) y β (relación entre la rigidez elástica del disipador con respecto a la rigidez elástica de la diagonal del contraviento)” estudiadas por Tena y Nanguillasmú (2013). La muestra usada fue el Hospital Rodríguez Zambrano luego del terremoto del 16 de abril del 2016, que dejó inestable a la estructura con fallas en los elementos no estructurales, debido a esto se le incorporó el respectivo reforzamiento estructural con los disipadores TADAS. Tuvo el objetivo de demostrar el funcionamiento de los disipadores con parámetros numéricos, haciendo el uso del Método Espectral y CQC (Combinación Cuadrática Completa) que nos dará el desplazamiento lateral y derivas del piso. Luego se aplica la metodología desarrollada por la UAM, de México, así obtuvieron los parámetros α , β y θ para obtener las dimensiones del dispositivo TADAS. Por otra parte, para la construcción del reforzamiento estructural, se le brindó a los trabajadores, conferencias y capacitación para el trabajo correcto de los dispositivos TADAS en la incorporación a la muestra, la cual fue efectivo para realizar un trabajo de la mejor manera posible.

Tabla 3: Valores desarrollados de α para el reforzamiento de los bloques.

<i>N° de Bloque</i>	1er. Bloque	2do. Bloque	3er. Bloque
Valores de “α”	0.5270	0.5960	0.8600

Fuente: (Aguiar 2018, p. 26)

Tabla 4: Valores de (β) y (θ°) en el 2do bloque.

Sentido	Longitudinal		Transversal	
	(β)	(θ°)	(β)	(θ°)
Valor de parámetros.	0.7200	51.00°	0.9300	58.00°

Fuente: (Aguiar 2018)

(Nangullasmú y Tena 2017), presentaron la comparación del análisis estructural modelados con dos programas DRAIN-2DX y MIDAS Gen, incorporando disipadores histeréticos TADAS, tomando dos muestras de concreto armado con sistema aporticada, de 5 niveles y 20 niveles con luz libre de columna a columna 8.00 m, 4.00 m de entrepiso y una inclinación de $\theta=45^\circ$ para los brazos chevron que formara una “V” invertida. La muestra de 5 niveles será analizada con marcos planos y en forma tridimensional, la estructura de 20 niveles se analizará con marcos planos, mediante el análisis estático y dinámico, se diseñaron con base en relaciones de rigidez entre el marco plano y el dispositivo contraviento–disipador $\alpha=0.250$ y la relación de rigidez entre los brazos chevron y el disipador $\beta=0.500$. Con el objetivo de verificar y comparar el resultado de marcos planos con el modelo tridimensional, ante el comportamiento de las muestras incorporadas o reforzadas con el disipador mencionado. Durante el proceso del modelado de acuerdo al análisis en marcos planos de 5 niveles, se obtuvo una ductilidad (Q) de 5.89, sobrerresistencia (R) de 1.73 y 0.634 s de periodo (T) con DRAIN-2DX. Con MIDAS Gen se obtuvo Q=5.62, R=1.83 y T=0.633 s. El análisis del pórtico de 20 pisos se obtuvo con DRAIN-2DX, Q=3.95, R=1.66 y T=1.992s, con MIDAS Gen se obtuvo Q=3.62, R=1.83 y T=1.864 s. Así mismo con el análisis tridimensional de 5 piso se obtuvo una diferencia de MIDAS Gen con DRAIN-2DX en dirección “X” de Q=9.10%, R=5.50% y T=0.50%. en dirección “Y” de Q=4.10%, R=2.20% y T=5.30%.

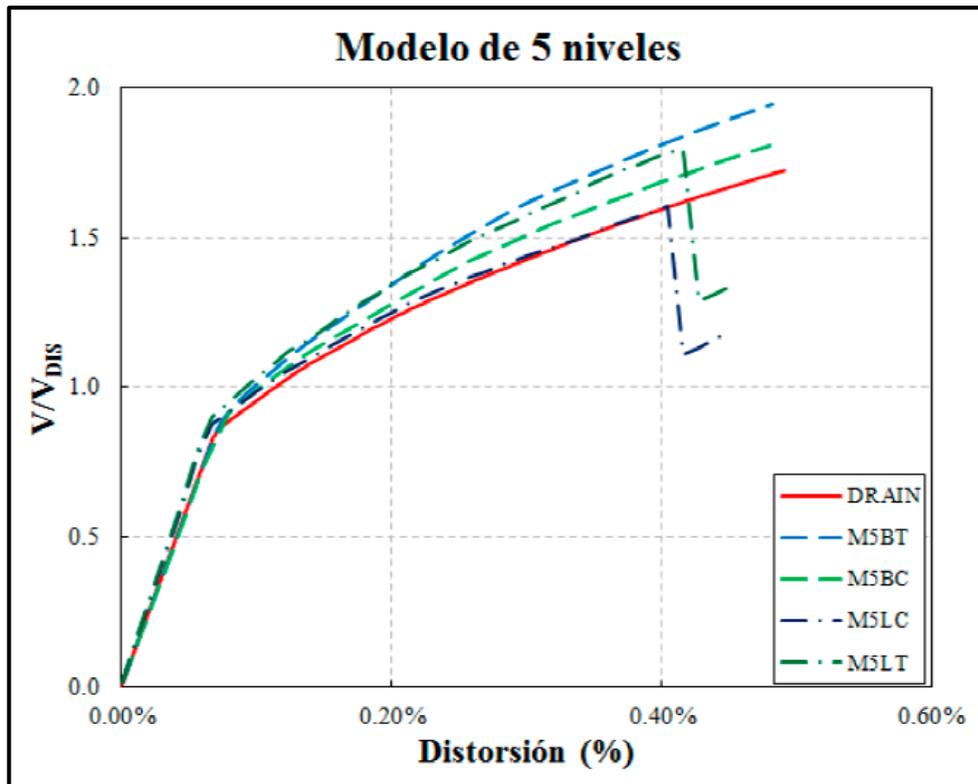


Figura 2: Cortante basal con E030 vs Distorsión global del ultimo nivel.
Fuente: (Nangullasmú y Tena 2017, p. 145)

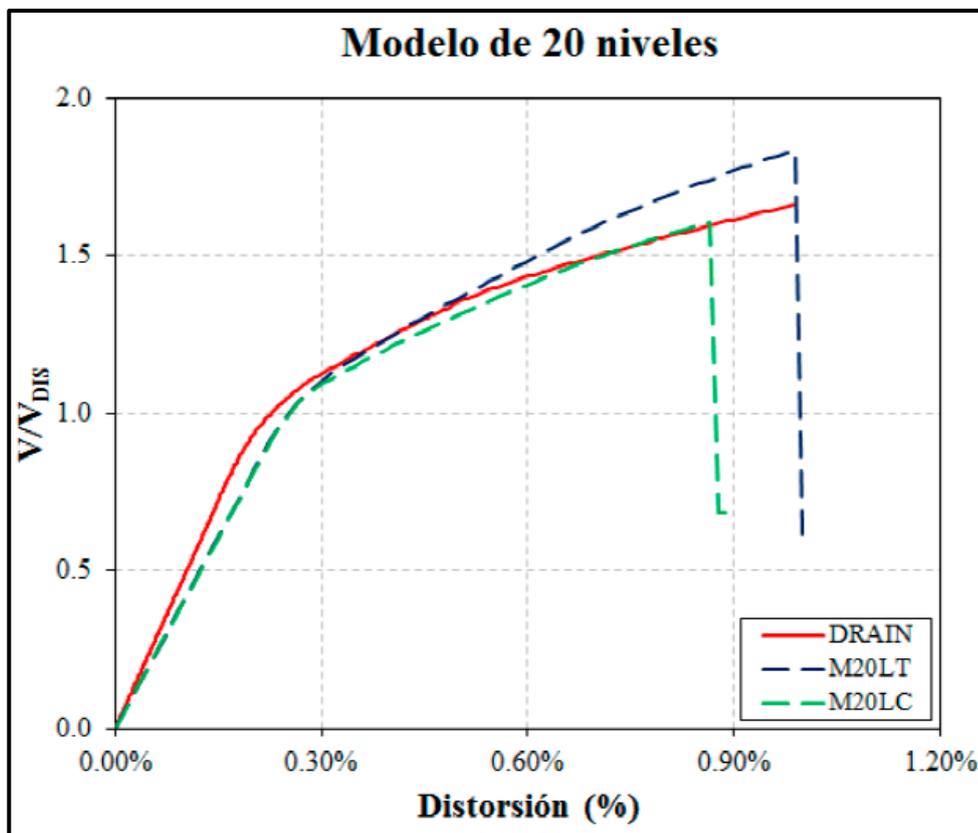


Figura 3: Cortante basal con E030 vs Distorsión global del ultimo nivel.
Fuente: (Nangullasmú y Tena 2017, p. 147)

Tabla 5: Resultados de la figura 2 y 3.

PROGRAMA	MODELOS	RESULTADO		
		(Q)	(R)	T (s)
DRAIN-2DX	M5BC	5.890	1.730	0.6340
	M20BC	3.950	1.660	1.9920
MIDAS Gen	M5BC	5.620	1.830	0.6330
	M20BC	3.620	1.830	1.8640

Fuente: (Nangullasmú y Tena 2017)

En Lima – Perú se explicaron los efectos de los dispositivos histeréticos en edificaciones sociales en Huaraz. La población del estudio estuvo constituida por todos los edificios de la ciudad de Huaraz de 3 hasta 5 pisos, tomando como muestra para el análisis las viviendas multifamiliares de 5 pisos con sistema estructural de concreto armado. Con el objetivo de determinar la influencia de los disipadores histeréticos ante la respuesta sísmica en las edificaciones sociales de Huaraz. Con una metodología cuantitativa, especificando el comportamiento de la estructura mediante el análisis estático y un análisis de aceleración espectral de la muestra, la misma muestra será incorporado dispositivos histeréticos. Llegando a la concluyendo que los disipadores histeréticos al ser incorporado a la estructura de concreto armado, reduce los desplazamientos laterales excesivos, como así también aumenta el amortiguamiento en la estructura, mejorando el comportamiento antes los sismos. (Maza 2019)

Tabla 6: Desplazamientos de entrepiso.

Pisos	X-X			
	Empotrado	Disipado	Atenuación	Variación
1er	0.0033 m	0.0000 m	100 %	00,00 %
2do	0.0083 m	0.0045 m	45,92 %	54,08 %
3er	0.0137 m	0.0090 m	34,16 %	65,84 %
4to	0.0190 m	0.0133 m	30,05 %	69,96 %
5to	0.0241 m	0.0173 m	28,27 %	71,73 %

Fuente: (Maza 2019)

Tabla 7: Derivas de entrepiso.

Pisos	X-X			
	Empotrado	disipado	Atenuación	Variación
1er	0.00168 m	0.00233 m	-38,73 %	138,73 %
2do	0.00249 m	0.00212 m	14,95 %	85,05 %
3er	0.00256 m	0.00203 m	20,77 %	79,24 %
4to	0.00250 m	0.00191 m	23,29 %	76,72 %
5to	0.00234 m	0.00176 m	24,87 %	75,13 %

Fuente: (Maza 2019)

Tabla 8: Fuerza interna axial máxima.

Piso	X-X			
	Empotrado	Disipado	Atenuación	Variación
1er	105.66 t	90.262 t	14,57 %	85,43 %

Fuente: (Maza 2019)

Tabla 9: Fuerza interna cortante máxima.

Piso	X-X			
	Empotrado	Disipado	Atenuación	Variación
1er	18.020 t	9.4520 t	47,57 %	52,43 %

Fuente: (Maza 2019)

Tabla 10: Fuerza interna momento flector máximo.

Piso	XX			
	Empotrado	Disipado	Atenuación	Variación
1er	25.414 t	7.310 t	71,20 %	28,80 %

Fuente: (Maza 2019)

Nota: En las tablas 6, 7, 8, 9 y 10 se muestra el comportamiento de la muestra estudiada, analizadas con el método espectral.

En Huancayo – Perú, se realizó el “análisis sísmico comparativo de desempeño sísmico entre el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales y los dispositivos de disipación energía visco elástico e hysteréticos” por Medina (2017). Tomando como una muestra una edificación de concreto armado multifamiliar de 13 niveles. Con una metodología cuantitativa, especificando los comportamientos de la estructura estudiada con el reforzamiento convencional y dispositivos de disipación, mediante el análisis dinámica modal espectral. Se

concluye que el análisis desarrollado con el reforzamiento convencional nos da un resultado de reducción en derivas de 5.90% en el sentido X y 6.30% en el sentido Y. Con la incorporación del disipador histeréticos TADAS, se observa la reducción de derivas de 32.02% a 41.75% y 20.84% a 37.23% en reducción de fuerza axial, de 26.46% a 45.39% en cortantes y 21.68% a 41.71% en momentos flectores. Al adicionar el disipador visco elástico se obtiene una reducción de derivas de 37.43% a 44.65%, de 30.91% a 44.27% la disminución de fuerza axial, en un rango de 33.55% a 44.90% en cortantes y de 35.39% a 57.72% en momentos flectores. Con respecto a una edificación convencional. (Medina 2017)

Tabla 11: Comparación de derivas de diseño eje X.

PISOS	ANÁLISIS	SENTIDO	Δ		REDUCCIÓN	Δ	REDUCCIÓN
			SDE	SDE			
13	DERIVA-Max	X-X	0.00600	0.00380	37.490%	0.00400	33.090%
12	DERIVA-Max	X-X	0.00680	0.00430	37.430%	0.00460	32.870%
11	DERIVA-Max	X-X	0.00750	0.00470	37.630%	0.00500	33.020%
10	DERIVA-Max	X-X	0.00810	0.00500	38.220%	0.00540	33.780%
9	DERIVA-Max	X-X	0.00860	0.00520	39.310%	0.00570	33.730%
8	DERIVA-Max	X-X	0.00880	0.00520	41.630%	0.00580	33.970%
7	DERIVA-Max	X-X	0.00880	0.00490	44.770%	0.00560	37.150%
6	DERIVA-Max	X-X	0.00880	0.00480	44.650%	0.00520	40.400%
5	DERIVA-Max	X-X	0.00860	0.00480	44.510%	0.00510	41.180%
4	DERIVA-Max	X-X	0.00820	0.00460	44.200%	0.00480	41.750%
3	DERIVA-Max	X-X	0.00720	0.00410	43.760%	0.00420	41.630%
2	DERIVA-Max	X-X	0.00590	0.00340	42.750%	0.00350	40.840%
1	DERIVA-Max	X-X	0.00270	0.00160	41.390%	0.00170	39.420%

Fuente: (Medina 2017)

Tabla 12: Desplazamiento de C.M.

PISOS	ANÁLISIS	SENTIDO	Δ		REDUCCIÓN	Δ	REDUCCIÓN
			SDE	DVE			
13	DESPL-C.M.	X-X	0.25270	0.14280	43.480%	0.15900	37.070%
12	DESPL-C.M.	X-X	0.23680	0.13300	43.810%	0.14900	37.070%
11	DESPL-C.M.	X-X	0.21900	0.12230	44.150%	0.13800	36.990%
10	DESPL-C.M.	X-X	0.19970	0.11120	44.320%	0.12500	37.400%
9	DESPL-C.M.	X-X	0.17920	0.10000	44.200%	0.11100	38.060%
8	DESPL-C.M.	X-X	0.15780	0.08830	44.020%	0.09600	39.150%
7	DESPL-C.M.	X-X	0.13530	0.07590	43.900%	0.08100	40.130%
6	DESPL-C.M.	X-X	0.11220	0.06300	43.790%	0.06600	41.150%
5	DESPL-C.M.	X-X	0.08870	0.05000	43.600%	0.05200	41.390%
4	DESPL-C.M.	X-X	0.06570	0.03720	43.320%	0.03900	40.600%
3	DESPL-C.M.	X-X	0.04380	0.02500	42.940%	0.02600	40.700%
2	DESPL-C.M.	X-X	0.02460	0.01420	42.220%	0.01500	38.940%
1	DESPL-C.M.	X-X	0.00890	0.00520	41.330%	0.00500	43.920%

Fuente: (Medina 2017)

En las tablas 11 y 12 se muestran las comparaciones de la estructura reforzada por sistema convencional de muros estructurales con el reforzamiento de disipadores de viscoelástico e hysteréticos.

EN Lima – Perú, se realizó el “diseño de disipadores de energía metálico tipo ADAS para la reducción de daños estructurales en una edificación existente de concreto armado de baja altura” por Segovia (2016). Con el objetivo de reducir daños estructurales en una edificación irregular, mediante el diseño e incorporación de disipador ADAS. La muestra de estudio es un edificio multifamiliar de 5 pisos, 10.00 m de ancho, 24.35m de largo y 2.70m de entrepiso. El sistema estructural es de muros de corte de configuración irregular. La metodología es cuantitativa donde se desarrolla un análisis no lineal comparativo con y sin disipadores ADAS. Llegando a la conclusión que la adición de disipadores ADAS en la muestra. Que el periodo disminuye y aumenta la respuesta estructural como: disminución significativa de los desplazamientos laterales en el centro de masa (C.M.) de 53.00% como máximo en el último nivel, en el muro PL-01 de la figura 5, la reducción máxima en el último piso fue 70.00%, como así también bajo significativamente la deformación en acero en el muro PL-01 de la figura 5 en un 70.00%, evitando una falla por flexión. Estos resultados son producidos bajo el sismo severo (0.50g de PGA). (Segovia 2016)

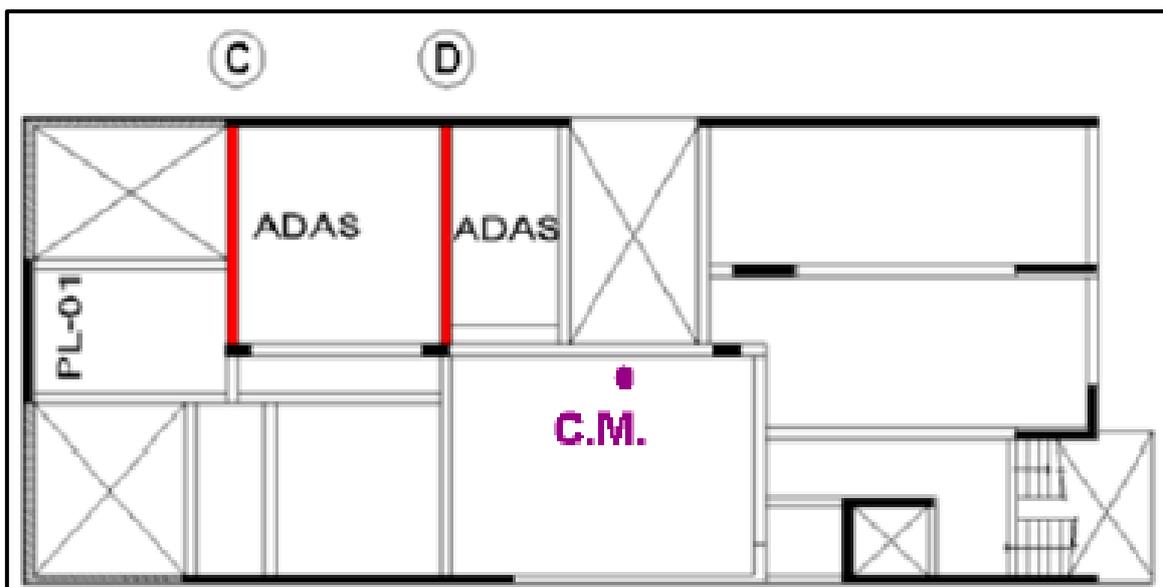


Figura 4: Reforzamiento de la edificación con disipadores ADAS.

Fuente: (Segovia 2016)

Tabla 13: Comparación con y sin ADAS. de los desplazamientos laterales del C.M.

Desplaza (cm) - ORIGINAL											
Sentido + (σ)											
Pisos	S						Sint	Prom	σ	Prom+ σ	Prom- σ
	1	2	3	4	5	6					
5	7.8	5.6	8.0	10.0	6.8	9.3	9.9	8.2	1.6	9.8	6.5
4	5.3	4.0	5.6	7.3	4.8	6.6	7.0	5.8	1.2	7.0	4.6
3	2.8	2.5	3.4	4.5	2.8	3.9	4.2	3.4	0.7	4.2	2.7
2	1.1	1.1	1.6	2.1	1.2	1.8	1.8	1.5	0.3	1.9	1.1
1	0.3	0.2	0.4	0.5	0.2	0.4	0.4	0.4	0.1	0.5	0.3
Sentido - (σ)											
5	5.3	4.1	6.9	6.4	4.8	9.5	10.0	6.7	2.2	9.0	4.4
4	3.7	2.8	5.0	5.0	3.7	7.0	7.2	4.9	1.6	6.6	3.2
3	2.2	1.7	3.1	3.4	2.4	4.4	4.3	3.1	1.0	4.1	2.0
2	1.0	0.8	1.5	1.8	1.2	2.1	2.0	1.5	0.5	2.0	1.0
1	0.3	0.2	0.3	0.6	0.3	0.6	0.4	0.4	0.1	0.5	0.2
Desplaza (cm) - ADAS											
Sentido + (σ)											
Pisos	S						Sint	Prom	σ	Prom+ σ	Prom- σ
	1	2	3	4	5	6					
5	7.7	5.5	5.4	4.6	5.2	8.6	7.6	6.4	1.5	7.9	4.8
4	5.5	4.1	4.1	3.6	3.9	6.5	5.8	4.8	1.1	5.9	3.7
3	3.4	2.7	2.7	2.4	2.6	4.2	3.8	3.1	0.6	3.8	2.4
2	1.6	1.3	1.4	1.3	1.4	2.0	1.9	1.6	0.3	1.9	1.3
1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.0	0.5	0.4
Sentido - (σ)											
5	4.1	4.3	4.0	4.4	3.8	4.5	8.2	4.7	1.5	6.3	3.2
4	3.1	3.3	3.3	3.4	3.1	3.5	6.2	3.7	1.1	4.8	2.6
3	2.2	2.4	2.4	2.3	1.2	2.5	4.0	2.4	0.8	3.3	1.6
2	1.4	1.4	1.4	1.3	0.5	1.4	2.0	1.3	0.4	1.8	0.9
1	0.5	0.4	0.4	0.4	0.1	0.5	0.6	0.4	0.1	0.6	0.3

Fuente: (Segovia 2016)

Tabla 14: Cortante basal en H2 sin ADAS.

	ton-f		ton-f		ton-f		ton-f		ton-f	
	ton-f									
	+	-	+	-	+	-	+	-	+	-
S	424.7	-397.8	336.5	-289.5	282.3	-258.6	210.2	-201.7	140.0	-135.0
1	333.8	-321.2	251.8	-239.1	216.9	-191.0	195.4	-143.7	132.3	-116.5
2	284.4	-269.7	225.5	-196.1	186.6	-172.2	148.8	-154.1	106.9	-97.2
3	382.9	-377.4	295.2	-258.9	232.2	-206.9	178.7	-167.6	131.4	-119.9
4	430.6	-493.5	339.0	-310.0	298.5	-221.6	211.4	-173.1	142.1	-117.5
5	266.8	-309.8	215.7	-247.6	206.2	-182.8	165.7	-141.8	115.7	-102.9
6	387.7	-498.5	322.0	-337.2	279.6	-290.3	201.3	-214.6	131.3	-138.3

Fuente: (Segovia 2016)

Tabla 15: Cortante basal en H2 con ADAS.

	ton-f		ton-f		ton-f		ton-f		ton-f	
	ton-f									
	+	-	+	-	+	+	-	+	-	+
S	425.7	-399.0	283.1	-264.3	233.1	-197.2	173.3	-172.2	118.3	-124.8
1	386.2	-392.6	264.2	-242.8	231.9	-152.0	153.6	-129.7	111.5	-103.1
2	353.2	-334.2	229.1	-237.5	191.0	-173.7	121.2	-127.5	94.7	-97.5
3	371.3	-360.1	249.5	-244.8	189.5	-182.0	131.0	-117.7	107.0	-96.9
4	361.6	-330.1	219.8	-217.2	166.4	-166.5	116.1	-113.3	90.7	-90.7
5	373.0	-324.1	254.7	-231.6	180.8	-155.3	131.1	-126.2	100.1	-94.5
6	425.0	-409.2	308.9	-251.5	255.7	-186.3	157.9	-148.8	112.4	-97.9

Fuente: (Segovia 2016)

Tabla 16: Comparación de amortiguamiento equivalente.

	H2			H1		
	CONV	ADAS	% Aumento	CONV	ADAS	% Aumento
1	12.80	13.70	7.03	7.30	7.9	8.20
2	11.90	12.40	4.20	6.30	6.90	9.50
3	9.50	10.30	8.42	6.10	6.60	8.20
4	11.50	11.40	-0.87	6.40	6.60	3.10
5	10.30	11.90	15.53	6.00	6.00	0.00
6	8.50	10.60	24.71	6.00	6.00	0.00
S	12.30	13.40	8.94	7.20	7.50	4.10

Fuente: (Segovia 2016)

H2 es la dirección paralela al lado corto con menos muros estructurales. S1, S2, S3, S4, S5 y S6 son registros sísmicos escalados y Sintético es un registro compatible con el espectro de diseño de la Norma E.030.

En las tablas 13, 14, 15 y 16 se muestran los resultados y comparaciones de la muestra estudiada.

En Arequipa – Perú, se desarrolló “sistemas de protección sísmica incorporando disipadores metálicos de fluencia por corte (DMFC)” por Purca (2016). Con el objetivo de determinar la disminución sísmica en la estructura aporticada de concreto armado, mediante el uso de disipadores metálicos. con una metodología cuantitativa realizando un AENL y ADNL–FNA. La muestra de estudio está representada por un edificio de 3 niveles con uso de gimnasio de 16,80 m de ancho, 42,80 m de largo y 3 m de altura de entrepiso. El sistema estructural es aporticada de configuración irregular. Se concluyó la disminución del 20.00% en AENL y

20.00% en ADNL-FNA de desplazamientos para el marco plano aislado en la dirección X y en dirección Y de 9.60% en AENL y 10.00% en ADNL-FNA. Se realizó el análisis y diseño estructural de la muestra mediante el desempeño. Así mismo se realizó el análisis dinámico, donde se observó la secuencia de formación de rótulas plásticas, la sobre resistencia ($SR=2.460$) y ductilidad ($\mu=3.870$), valores adecuados para para la muestra estudiada. De tal manera se encontró cambios en las características dinámicas en la muestra: disminución de desplazamientos de entrepiso y periodos en la edificación, incremento de fuerza cortante, finalmente aumento la rigidez inicial. (Purca 2016)

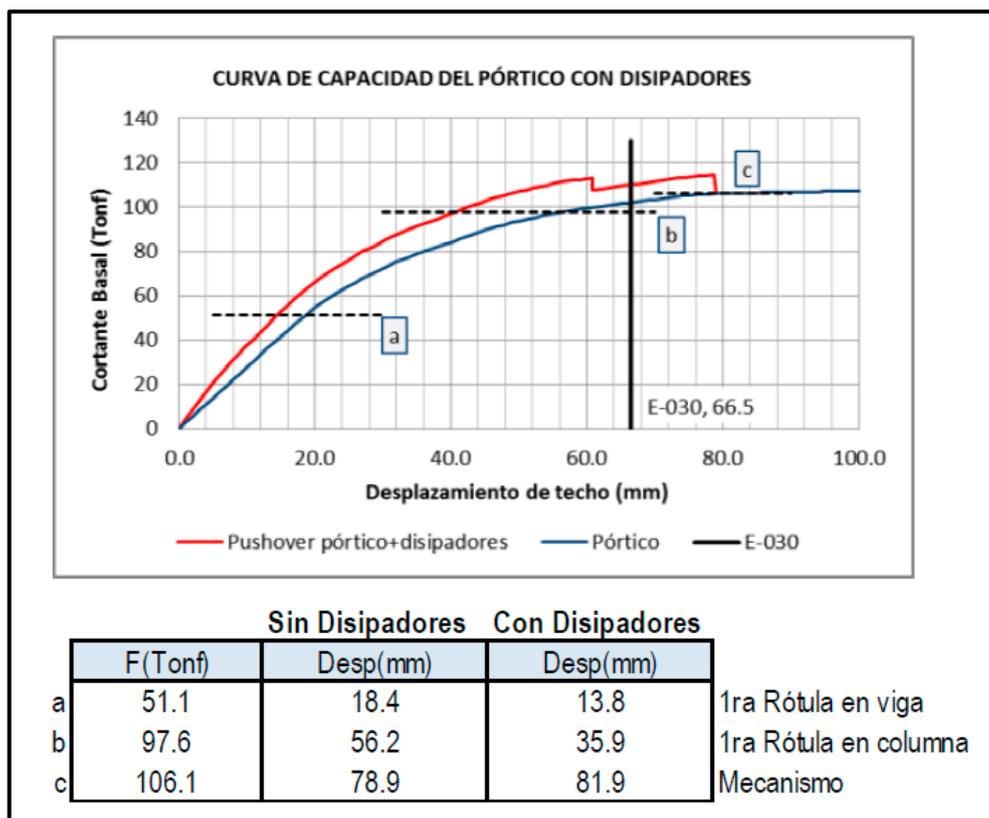


Figura 5: Comparación del desplazamiento de rótulas plásticas en el pórtico con y sin disipadores calculado con AENL.

Fuente: (Purca 2016)

Con los antecedentes mencionados, se ve la escasa información acerca del estudio de los efectos de los disipadores de energía TADAS en la respuesta sísmica de los pórticos planos de concreto armado en Huancayo, relacionando más el proyecto con lo desarrollado por Cano, Aguiar, Nangallamú y Medina en cuanto a parámetros sísmicos, modelamiento y la aplicación de los disipadores a edificios de concreto armado.

2.2. Teorías relacionadas al tema.

Los disipadores de energía, desglosando a disipadores histeréticos TADAS, pertenecen a los dispositivos pasivos, tiene como objetivo que al incorporar el dispositivo histeréticos a las superestructuras es de disipar las energías de entrada que ocasiona las vibraciones de un sismo y contrarrestar los movimientos inducidos por el viento, así logrando minimizar los posibles daños y garantizando seguridad a los habitantes. (Villarreal y Oviedo 2009, p. 7).

En la figura 6, se muestra la investigación desarrollada por Tsai et al. (1993). Que presenta una forma conveniente de adicionar o incorporar los disipadores a una estructura de concreto armado, sobre los diagonales de acero en forma de “V” invertida, detallando la forma de los disipadores histeréticos TADAS, que tiene la forma de un triángulo cuyo ancho de inicio es b , altura h , y espesor de la placa a flexión t . como así también se detalla el corrimiento relativo Δ entre el inicio de la placa a flexión y el final de la placa que se une con la placa que trabaja a corte, lo que da origen a la disipación de energía que incorpora en los elementos estructurales el sismo, finalmente se observa que está conformado por n placas (Aguar, Rodriguez y Mora 2016, p. 13).

Estos dispositivos de disipación pueden ser analizados mediante el comportamiento bilineal. Con las investigaciones se desarrollaron ecuaciones para el modelo Tsai et al. (1993). Las ecuaciones desarrolladas relacionan el diagrama histéresis con los desplazamientos que son ocasionadas fuerzas laterales (Aguar, Rodriguez y Mora 2016, p. 13).

Los diagramas histeréticos se realiza en forma analítica y experimental desarrolladas en un laboratorio, donde al disipador se somete a cargas aplicadas por ciclos, generan desplazamientos y periodo, donde se observa la plasticidad del disipador. (Amateco, Escobar y Dyer 2014, p. 11)

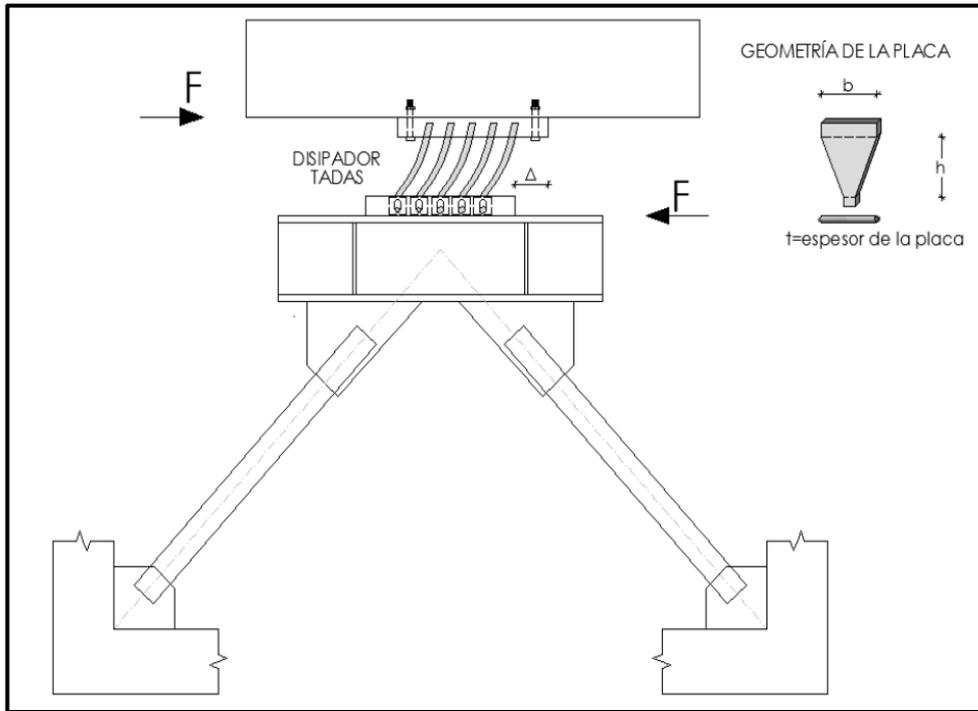


Figura 6: Disipadores de energía TADAS sobre contraviento Chevrón.

Fuente: (Aguilar, Rodriguez y Mora 2016).

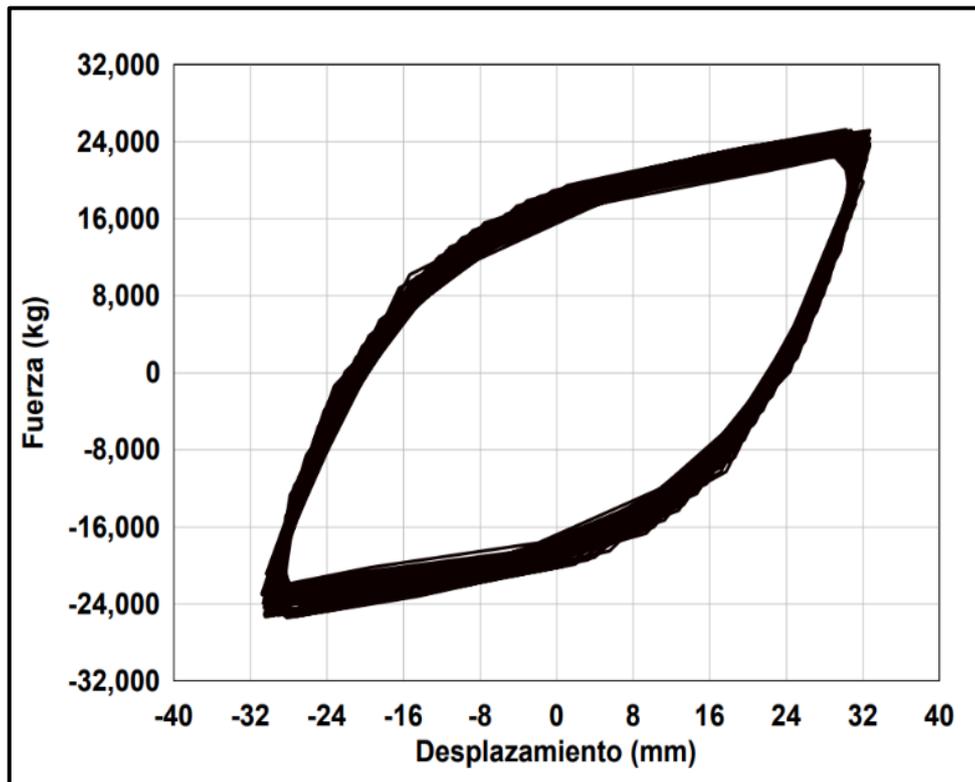


Figura 7: diagrama experimental de histéresis.

Fuente: (Amateco, Escobar y Dyer 2014, p. 11)

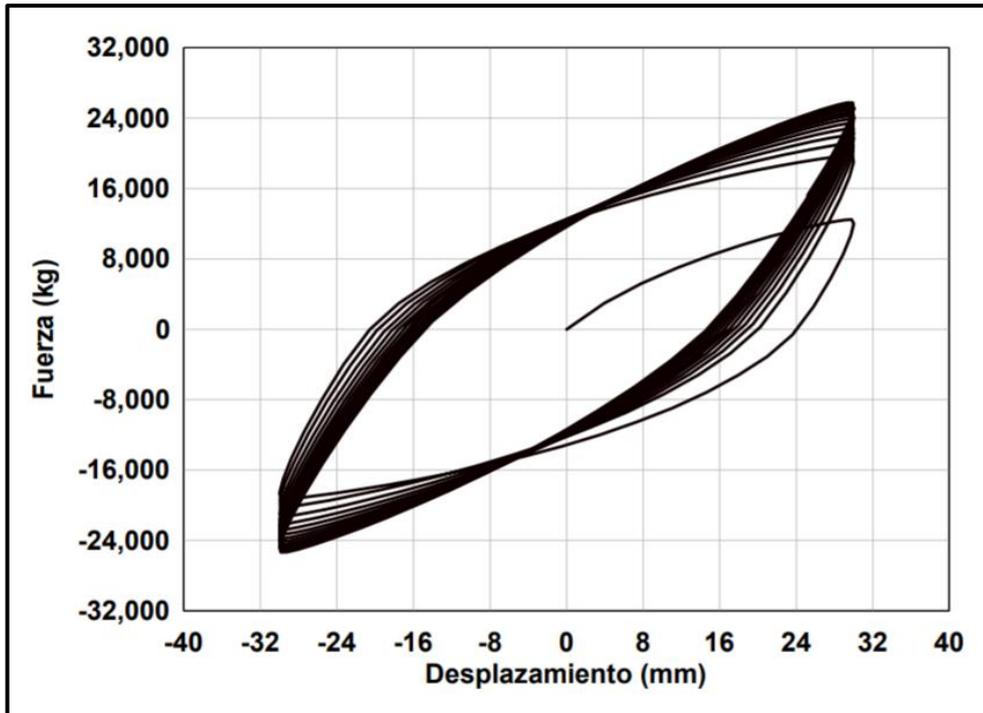


Figura 8: diagrama analítico de histéresis.
 Fuente: (Amateco, Escobar y Dyer 2014, p. 11)

Se observa en la figura 8 y 9, la diferencia de las curvas de histéresis, sucede que al aplicar fuerzas en el material disminuye significativamente las propiedades de resistencia y rigidez. Para simplificar las comparaciones experimentales y teóricas, se utiliza el modelo bilineal de un disipador, para llevar a la simplicidad de análisis del comportamiento del disipador.

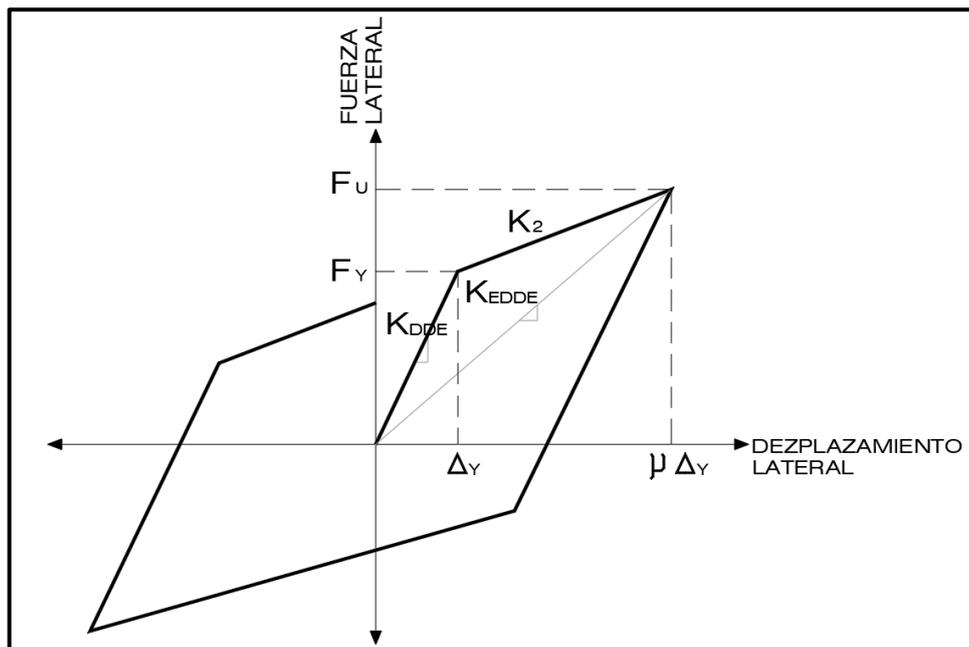


Figura 9: modelo bilineal de un disipador.
 Fuente: (Aguar, Rodríguez y Mora 2016, p. 23)

III. METODOLOGÍA

3.1. Tipo y diseño de investigación

Tipo de investigación:

La presente investigación es aplicada, ya que persigue la solución a una problemática práctica o necesidad específica de la sociedad por medios de conocimientos científicos o investigaciones básicas existentes, para poder así lograr innovación a nuevas tecnologías y metodologías dirigidas en diferentes áreas. (Concytec, 2018).

Diseño de investigación:

“El diseño es **NO EXPERIMENTAL**, particularmente **DESCRIPTIVO COMPARATIVO** de carácter transversal, se caracterizan por recoger información actualizada de varias muestras sobre un mismo objeto de investigación y lo caracteriza sobre la base de una descripción comparativa” (Espinoza 2010, p. 93), el diagrama es:

$$M1 \Rightarrow O_1$$

$$M2 \Rightarrow O_2$$

$$M3 \Rightarrow O_3$$

Donde:

$M1, M2, M3$: Cada una de las muestras de estudio (Pórticos de 3, 6 y 9 pisos).

O_1, O_2, O_3 : Observación de las muestras para recoger información relevante respecto a los indicadores derivas, desplazamiento, cortantes, periodos, rigidez, etc.

Comparación entre cada una de las muestras, pudiendo ser semejantes (\approx), iguales ($=$) o diferentes (\neq).

3.2. Variable y Operacionalización

Variable Independiente: Programas de computación.

Según (Munte, 2020), los programas de computación son algoritmos que a través de una plataforma digital colabora con el proceso facilitando la adquisición de conocimientos y la investigación.

Variable dependiente: Análisis sísmico.

El análisis sísmico de marcos planos ante el desempeño sísmico es para poder conocer: los desplazamientos, fuerzas cortantes en la planta final de la estructura, así mismo observar en los elementos principales fuerzas internas máximas. De esta forma la estructura es controlada.

3.3. Población, muestra y muestreo

La población es un conjunto finito o infinito de elementos de estudio que expone los prototipos que se estudiarán definidos en el tiempo, espacio y objeto de estudio, lo cual también es llamado universo, así mismo, esta presentada por el problema y los objetivos. Por ello se considera a fin de la investigación una población de pórticos de concreto armado modelados con programas de computación con características constructivas de la Región (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 174).

Una muestra es parte de la población que se estudiara a detalle para llegar a sus conclusiones, teniendo como objetivo estudiar a la población, será la finalidad del investigador, a esta metodología de procedimiento se le conoce como inferencia, para ello se tomara una muestra representativa (Supo 2015, p. 1).

La toma de la muestra será no probabilística, a criterio particular o a criterio discrecional, según la supo (2015) "criterio del investigador. Debido a que el investigador conoce estudios similares, idénticos y sabe con precisión que la muestra fue útil para el estudio". También porque es conveniente para estos tiempos de aislamiento social, es rápida y económica (Supo 2015, p. 56)

Se estudiará 3 modelos de pórticos planos de concreto armado con ayuda del programa de computación. La longitud de los pórticos es igual a 12 m, la cual consta

de 3 vanos de 4 m de longitud cada uno. La altura de los pórticos de 3, 6 y 9 niveles es igual a 9.5, 18.5 y 27.5 m respectivamente, con un primer nivel de 3.5 m de altura y de 3m para los pisos restantes. Posteriormente se incorporará los disipadores TADAS, utilizará los parámetros estudiados por Nangullasmú y Tena (2017).

3.4. Técnica e instrumentos de recolección de datos, validez y confiabilidad

La técnica de recolección de datos, es aquella que nos permite observar y comprender: el sentido de un hecho o un conjunto, situaciones, contexto o fenómeno de la naturaleza o comunidad, para poder obtener información evidente, por ello se utilizara aquella donde se mostrara fichas técnicas, cuadros, gráficos de los cálculos matemáticos desarrollados en el laboratorio de computación (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 217).

El instrumento de recolección de datos es un recurso del cual se puede valer, a fin de recopilar información. Así mismo se debe previamente contarse con información de datos visuales que estén relacionados las variables consideradas, es así que se obtendrán fichas de recolección de datos validada por juicio de expertos. (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 198).

La validez es el grado en que un instrumento cuantifica sus variables las cuales son medibles. Para el análisis sísmico de pórticos planos de concreto armado serán necesarios el uso de los siguientes instrumentos normativos como NTP E060, ACI 2008, ASCE 41 y NTP E030 mostrados en la Tabla 17, los cuales ya están validados por especialistas (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 200)

Tabla 17: *Resumen de normas.*

Validez	
Indicadores	Norma
Cortante requerida	ASCE 41
Cortante ultimo	ASCE 41
Desplazamiento de fluencia	ASCE 41
Rigidez elástica	ASCE 41
Ductilidad del disipador	ASCE 41
Frecuencia natural	ASCE 41

Frecuencia ultima	ASCE 41
Ductilidad del disipador	ASCE 41
Desplazamiento de fluencia	ASCE 41
Periodo	ASCE 41
Rigidez elástica	ASCE 41
Rigidez inelástica	ASCE 41
Amortiguamiento del disipador	ASCE 41
Velocidad relativa de piso	ASCE 41
Desplazamientos máximos	NTP E030
Fuerzas cortantes de entrepiso	NTP E030
Fuerza máxima en los elementos	NTP E030

Fuente: Elaboración propia, 2021.

La confiabilidad se identifica cuando los resultados son estables, predecibles y objetivos. Mostrando la confiabilidad, tanto en el pasado como en el futuro, la medición es la misma que se desarrolló más de una vez, obtenido los mismos resultados. Por ello que los instrumentos normativos ya mencionados representan especificaciones confiables para el análisis sísmico de estructuras (Hernández, Fernández y Baptista 2014, p. 200)

3.5. Procedimientos

El método para realizar la recolección de información se desarrollará de acuerdo a 3 Etapas, en el cual en la Etapa I se desarrollará el análisis modal - espectral de los pórticos con un factor de reducción $R = 1$ para que los desplazamientos laterales ingresen al rango inelástico. En la Etapa II se pre dimensionará los dispositivos de disipación de energía TADAS con el método propuesto por Tena y Nangullasmú en el año (2013) y (2015) y los parámetros iniciales alfa, beta y teta. Finalmente, en la Etapa III se analizarán los pórticos con la incorporación de los dispositivos histeréticos TADAS.

ETAPA I: Respuesta sísmica sin disipadores de energía.

Esta etapa consta de 7 pasos.

Paso 1: Modelación numérica.

Se modelarán los pórticos como se muestra en el ejemplo de la figura 10, y se desarrolla la descripción de nudos, elementos y GDL. Comenzando con la enumeración de GDL principales que están asociadas al desplazamiento lateral que será desarrollado por piso, luego los GDL secundarias. Las vigas se modelan axialmente rígidas. Además, se describirán las características y propiedades mecánicas de los elementos.

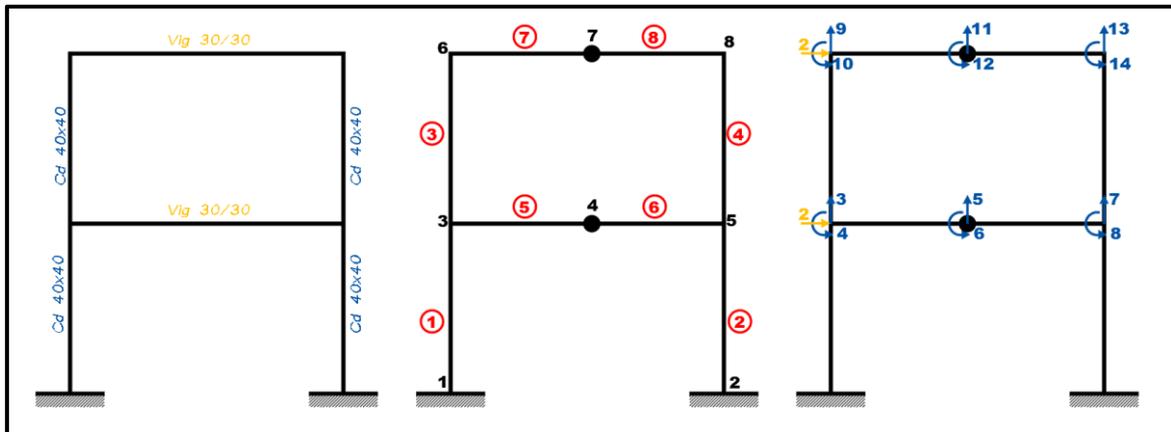


Figura 10: Ejemplo para numeración de nudos, elementos y GDL del pórtico sin TADAS.
Fuente: (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016).

Paso 2: Cálculo de la matriz de rigidez local de los elementos.

Se calculará la matriz de rigidez local de los elementos viga -columna con la ecuación 1. En el análisis sísmico de un pórtico plano, se considera que todo el piso se mueve lateralmente lo mismo. Por lo tanto, si se trata de vigas estos deben modelarse como axialmente rígidos considerando que $\nu = 0$. En cambio, para las columnas se modelan totalmente flexibles, entonces $\nu \neq 0$. Para el elemento viga - columna horizontal indicado en la figura 11, se tiene que el sistema de coordenadas locales es igual al sistema de coordenadas globales. Por otra parte, se recuerda que las estructuras se resuelven en coordenadas globales. La matriz de rigidez del elemento, es simétrica con respecto a la diagonal (Aguiar 2012, p. 114).

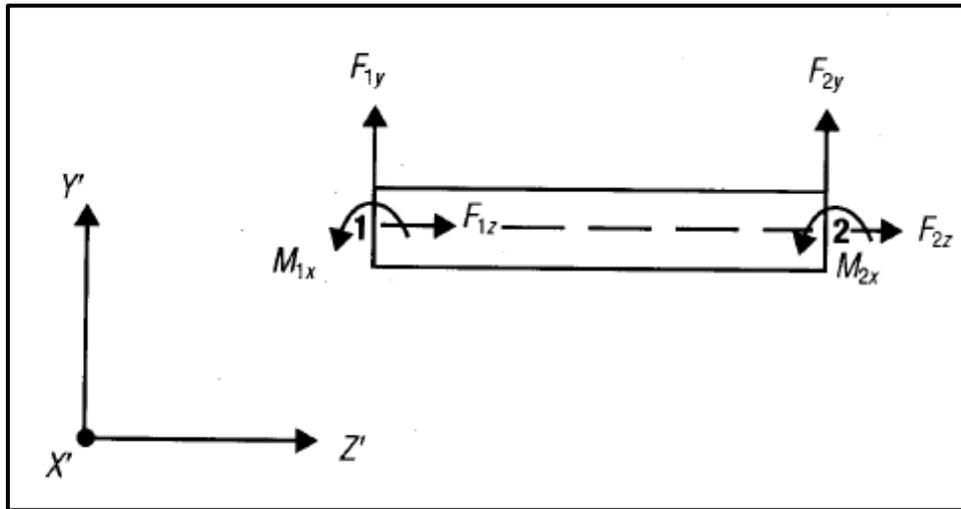


Figura 11: Grados de libertad en coordenadas locales, elemento viga – columna.
Fuente:(Tena 2005)

$$k = \begin{vmatrix} raz & 0 & 0 & -raz & 0 & 0 \\ 0 & raax & rabx & 0 & -raax & rbax \\ 0 & rabx & r11x & 0 & -rabx & r12x \\ -raz & 0 & 0 & raz & 0 & 0 \\ 0 & -raax & -rabx & 0 & raax & -rbax \\ 0 & rbax & r21x & 0 & -rbax & r12x \end{vmatrix} \quad Ec. 1$$

$$r_{11x} = \frac{4 E I o}{L} \left(\frac{1 + \phi}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$r_{22x} = r_{11x}$$

$$r_{12x} = \frac{2 E I o}{L} \left(\frac{1 - 2 \phi}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$r_{21x} = r_{12x}$$

$$r_{abx} = \frac{6 E I o}{L^2} \left(\frac{1}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$r_{bax} = r_{abx}$$

$$r_{aax} = \frac{12 E I o}{L^3} \left(\frac{1}{1 + 4 \phi} \right)$$

$$\phi = \frac{3 E I o \beta}{G A o L^2}$$

$$r_{az} = \frac{EA}{L}$$

Donde (E) es el módulo de elasticidad del material, (I) es la inercia a flexión de la sección transversal, (ϕ) es el factor de forma por corte de la sección, (A) es el área de la sección transversal, (G) es el módulo de corte y (L) la longitud del elemento. El factor (ϕ) mide el efecto de corte; en vigas y columnas de dimensiones pequeñas, este valor tiende a cero, pero en muros de corte o vigas esbeltas es muy importante este valor (Aguiar 2012, p. 115).

Paso 3: Cálculo de la matriz de rigidez global de los elementos.

En el análisis de estructuras por computadoras los programas permiten definir al usuario la geometría de la estructura con respecto a un sistema global de referencia. Sin embargo, internamente los programas resuelven el problema obteniendo primero las matrices de rigidez de cada elemento en coordenadas locales, para posteriormente transformar estas rigideces con respecto a los ejes globales de referencia, como se ve en la figura 12, y una vez resuelto el problema global, obtener los esfuerzos y deformaciones de cada elemento a partir de las deformaciones globales de la estructura transformando nuevamente al sistema local de referencia. Por tanto, resulta claro que en este procedimiento se requiere obtener las matrices de transformación (T) con la ecuación 2. Luego se calcula la matriz de rigidez del elemento referida al sistema global de referencia con la ecuación 3. (Tena 2005, p. 128)

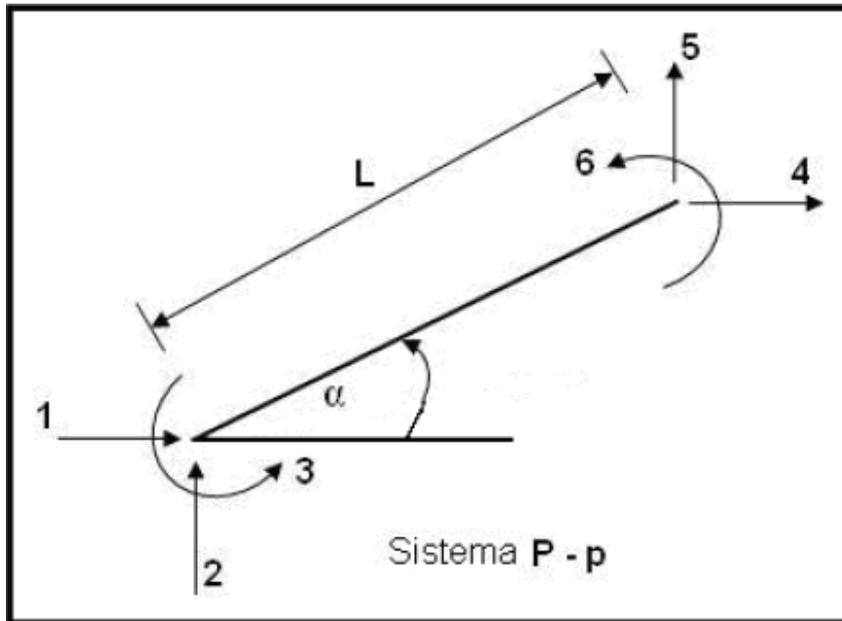


Figura 12: Sistema de coordenadas globales para un elemento viga - columna.
Fuente: (Aguar, Rodriguez y Mora 2016)

$$T = \begin{pmatrix} \cos \alpha & \sin \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \sin \alpha & \cos \alpha & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad \text{Ec. 2}$$

$$k_e = [T]^T [k] [T] \quad \text{Ec. 3}$$

Dónde: (α) es el ángulo que forma el eje del elemento con la horizontal y (k) es la matriz de rigidez calculada en el paso anterior.

Paso 4. Cálculo de la matriz de rigidez global de la estructura.

Las matrices ensambladas en el Ítem anterior deben ser colocadas en una matriz (ΔK_e) de tamaño $n \times n$, donde n es el número de grados de libertad, con ayuda de los vectores de colación ($V_{C_{HOR}}$) que tienen la forma del ejemplo de la figura 13. Así la matriz de rigidez global de la estructura se calcula con la ecuación 4. Este método está orientado al uso de ordenador. (Hurtado 2020, p. 78)

$$K = \sum_{e=1}^n \Delta K_e \quad \text{Ec. 4}$$

Dónde: (e) es número de elemento y (n) es el total de elementos de la estructura.

GRADOS DE LIBERTAD						ELEMENTOS
0	0	0	1	5	6	
0	0	0	1	9	10	
1	5	6	2	11	12	
1	9	10	2	15	16	
2	11	12	3	17	18	
2	15	16	3	21	22	
3	17	18	4	23	24	
3	21	22	4	25	26	
1	5	6	1	7	8	
1	7	8	1	9	10	
2	11	12	2	13	14	
2	13	14	2	15	16	
3	17	18	3	19	20	
3	19	20	3	21	22	
4	23	24	4	25	26	

Figura 13: Vectores de colocación para 15 elementos columnas y vigas de 6 GDL.

Fuente: (Aguiar, Rodriguez y Mora 2016).

Paso 5: Cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura.

Se calculará la matriz de rigidez lateral de la estructura (K_L) con el método de la condensación estática, con la ecuación 5, agrupando los grados de libertad en 2 grupos, principales (a) y secundarias (b). Los grados de libertad principales son traslaciones horizontales y las secundarias son traslaciones verticales y rotaciones como se muestra en la figura 14. Este método no es el más eficiente en hallar la matriz de rigidez condensada, pero es muy fácil de programar (Aguiar 2012, p. 132).

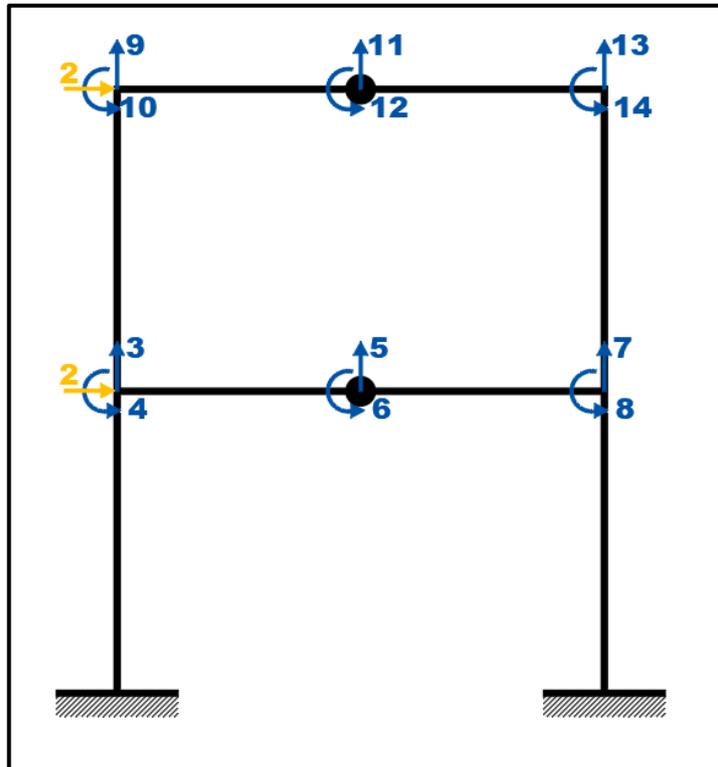


Figura 14: Coordenadas principales y secundarias de un pórtico de 2 pisos.
Fuente: (Aguilar, Rodriguez y Mora 2016).

La ecuación básica de equilibrio estático es:

$$Q = Kq$$

Dónde: (Q) es el vector de coordenadas generalizadas, (K) es la matriz de rigidez total de la estructura, (q) es el vector de coordenadas generalizadas. Se debe realizar la condensación estática y para eso desglosamos la ecuación en la forma.

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ Q_b \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix}$$

La condensación estática de la matriz de rigidez se da cuando (Q_a) o (Q_b) son ceros. Si (Q_a) son las coordenadas principales entonces debemos hacer que el vector $Q_b = 0$.

$$\begin{pmatrix} Q_a \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{bmatrix} K_{aa} & K_{ab} \\ K_{ba} & K_{bb} \end{bmatrix} \begin{pmatrix} q_a \\ q_b \end{pmatrix}$$

De donde:

$$\begin{aligned} Q_a &= K_{aa}q_a + K_{ab}q_b \\ 0 &= K_{ba}q_a + K_{bb}q_b \end{aligned}$$

Luego:

$$q_b = -K_{bb}^{-1}K_{ba}q_a$$

$$Q_a = (K_{aa} - K_{ab}K_{bb}^{-1}K_{ba})q_a$$

Entonces la matriz de rigidez condensada a las coordenadas principales (a) es:

$$KL = K_{aa} - K_{ab}K_{bb}^{-1}K_{ba} \quad Ec. 5$$

Paso 6: Análisis modal.

Se considera que las losas de la estructura son totalmente rígidas en su plano. Por lo tanto, se tiene un grado de libertad por piso como en la figura 15. Para la determinación de las masas se utilizará la norma peruana E020 que especifica las cantidades de carga muerta y viva. De igual modo la norma peruana E030 para la determinación del porcentaje de carga viva que participa en la respuesta de la estructura. La matriz de masas en el análisis plano siempre es una matriz cuadrada con dimensiones igual al número de coordenadas principales y se puede calcular con la ecuación 6 (Aguiar 2012, p. 165).

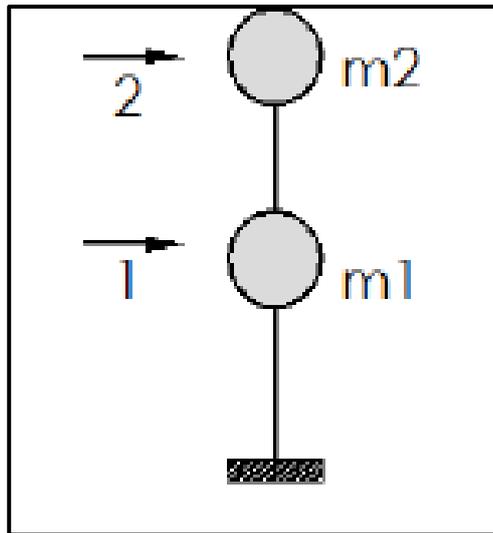


Figura 15: Modelo simplificado del pórtico con un GDL por piso.
Fuente: Aguiar, Rodríguez y Mora, 2016.

$$M = \begin{vmatrix} m_i & 0 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & m_{i+1} & 0 & \dots & 0 \\ 0 & & m_{i+2} & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & m_n \end{vmatrix} \quad Ec. 6$$

Dónde: (m_i) es la masa en el piso i y (n) hace referencia al número total de pisos.

Con las matrices de rigidez y de masa en coordenadas de piso, se calcula las frecuencias, periodos y modos de vibración, mediante la solución de un problema de valores y vectores propios. Orientado al uso de ordenador, se utilizará el método del algoritmo de $M^{1/2}$. El procedimiento se muestra a continuación.

1. Se encuentra la matriz $M^{1/2}$. Normalmente la matriz de masas es diagonal de tal manera que se encuentra sacando la raíz cuadrada de los elementos de la diagonal.
2. Se determina $M^{-1/2}$. Para el caso de matrices diagonales no es más que la inversa de los elementos de la diagonal.
3. Se determina K_o .

$$K_o = M^{-1/2} K M^{-1/2} \quad Ec.07$$

4. Se aplica cualquier Método de cálculo de valores y vectores propios en K_o .
5. Finalmente se hallan los vectores propios.

$$\phi = M^{-1/2} \phi_o \quad Ec.08$$

Paso 7: Análisis espectral.

Se realizará el cálculo de la aceleración espectral de acuerdo a la norma peruana E030-2018. Identificamos los parámetros sísmicos de la estructura con ayuda de la norma técnica peruana E030. Se asume que los pórticos planos de concreto armado conforman a edificaciones de vivienda de configuración regular sobre un suelo de calidad intermedia. La intensidad del sismo será propia de la ciudad de Huancayo de acuerdo a la zonificación en la figura 16. La aceleración espectral (S_a) estará asociado a los periodos calculados en el paso 6.

$$S_a = \frac{Z U C S}{R} g \quad Ec.09$$

Dónde: (Z) es el factor de zonificación sísmica, (U) es el factor de Importancia que depende del uso del edificio, (C) es el factor de amplificación que depende del sistema estructural, (S) es el factor que depende del tipo de suelo, (g) es la aceleración de la gravedad, (R) es el factor de reducción sísmica que depende del material y de la configuración estructural, en este caso $R = 1$ para provocar la respuesta inelástica del pórtico. El factor de amplificación sísmica (C) se calcula en función de los periodos como se muestra a continuación.

$$\begin{aligned}
 T < T_p & \quad C = 2,5 \\
 T_p < T < T_L & \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p}{T} \right) \\
 T > T_L & \quad C = 2,5 \left(\frac{T_p T_L}{T^2} \right) \quad Ec. 10
 \end{aligned}$$

Dónde: (T) es el primer periodo de vibración de la estructura calculado en el paso 6, (T_p y T_L) son periodos de vibración que dependen del tipo de suelo.

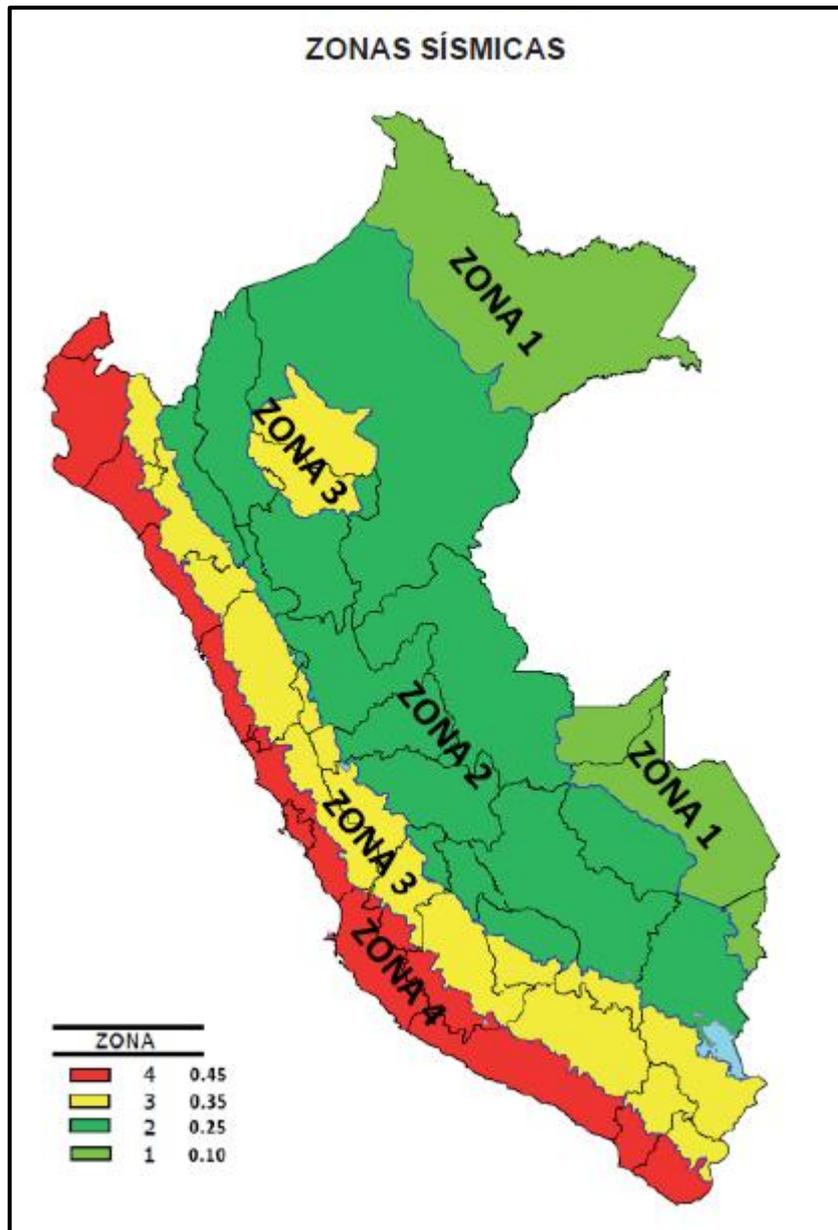


Figura 16: Zonificación sísmica del Perú.
Fuente: (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016)

Se calcularán los factores de participación modal (FP_i), que permiten pasar la respuesta en desplazamientos de un sistema de un grado de libertad a un sistema de múltiples grados de libertad. Este factor indica que tanto aporta el modo en la respuesta dinámica de la estructura. Se calcula como valor absoluto (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016, p. 88).

$$FP_i = \left| \frac{\phi_i^t M J}{\phi_i^t M \phi_i} \right| \quad Ec. 11$$

Donde: (ϕ_i) es el modo de vibración i , (ϕ_i^t) es la transpuesta del modo de vibración i , (M) es la matriz de masa, (J) es el vector de incidencia que relaciona los grados de libertad con el movimiento del suelo.

En función de FP_i la ecuación diferencial que gobierna el movimiento de la estructura corresponde a un sistema de un grado de libertad.

$$\ddot{x}_i + 2 \xi W_{ni} \dot{x}_i + W_{ni}^2 x_i = -FP_i \ddot{u}_g$$

Se calculan los desplazamientos máximos para el modo de vibración i (q_i) con el cual se controla la inclinación lateral de la estructura.

$$q_i = FP_i \left(\frac{T_i}{2\pi} \right)^2 S_{ai} \phi_i \quad Ec. 12$$

Se calculan las fuerzas máximas F_i y cortantes V_i que actúan en cada losa.

$$F_i = KL q_i \quad Ec. 13$$

Dónde: (KL) es la matriz de rigidez calculada en el paso 5, luego.

$$V_i = S F_i \quad Ec. 14$$

$$S = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Donde: (S) es una matriz unitaria en triangulo superior.

ETAPA II: pre diseño de los disipadores TADAS.

Esta etapa se desarrollará en 2 pasos.

Paso 1: pre diseño de los disipadores.

se calculará la rigidez de entrepisos de los pórticos planos de concreto armado con las ecuaciones de Wilbur y Norris (1948). Para el primer piso considerando que los apoyos se encuentran empotrados en la cimentación, se tiene la siguiente formula.

$$K_1 = \frac{48 E}{h_1 \left(\frac{4 h_1}{\sum_{i=1}^{ncol} \frac{I_{ci}}{h_{ci}}} + \frac{h_1 + h_2}{\sum_{j=1}^{nvigas} \frac{I_{tj}}{l_{tj}} + \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{ncol} \frac{I_{ci}}{h_{ci}}} \right)} \quad Ec. 15$$

Donde: (h_1 y h_2) son las alturas del primer y segundo piso, ($ncol$ y $nvigas$) es el número total de columnas y vigas del primer piso, (I_{ci}) es el momento de inercia de la columna i del primer piso, (h_{ci}) es la altura de la columna i del primer piso, (I_{tj}) es el momento de inercia de viga j del primer piso, (l_{tj}) es la longitud de la viga j del primer piso, (E) es el módulo de elasticidad del material.

Para el segundo piso, considerando que las columnas son empotradas en la cimentación.

$$K_2 = \frac{48 E}{h_2 \left(\frac{4 h_2}{\sum_{i=1}^{ncol} \frac{I_{ci}}{h_{ci}}} + \frac{h_{n-1} + h_n}{\sum_{j=1}^{nvigas} \frac{I_{tjn-1}}{l_{tj}} + \frac{1}{12} \sum_{i=1}^{ncol} \frac{I_{ci-1}}{h_{ci-1}}} + \frac{h_n + h_{n+1}}{\sum_{j=1}^{nvigas} \frac{I_{tjn}}{l_{tj}}} \right)} \quad Ec. 16$$

Para el caso de un piso intermedio la ecuación es la siguiente.

$$K_n = \frac{48 E}{h_n \left(\frac{4 h_n}{\sum_{i=1}^{ncol} \frac{I_{ci}}{h_{ci}}} + \frac{h_{n-1} + h_n}{\sum_{j=1}^{nvigas} \frac{I_{tjn-1}}{l_{tj}}} + \frac{h_n + h_{n+1}}{\sum_{j=1}^{nvigas} \frac{I_{tjn}}{l_{tj}}} \right)} \quad Ec. 17$$

Donde: (K_n) es la rigidez del piso n , (E) es el módulo de elasticidad del material, (h_{n-1} , h_n y h_{n+1}) son las alturas de los pisos $n-1$, n y $n+1$, (I_{ci}) es el momento de inercia de la columna i del piso n , (h_{ci}) es la altura de la columna i del piso n , (I_{tjn} y I_{tjn-1}) son los momentos de inercia de las vigas j de los pisos n y $n-1$, (l_{tj}) es la luz de la viga j en el piso n . Para el último piso en lugar de h_{n-1} se debe colocar $2h_{n-1}$ y el valor de h_{n+1} es igual a cero.

Se calculará la cortante requerida que absorberán los disipadores más el contraviento Chevrón. Para ello calculamos la capacidad de cortante de cada piso con la ecuación 18, especificado por la norma peruana E060.

$$V_c = 0.53 \sqrt{f'_c} b h \quad Ec. 18$$

Donde: (V_c) es la cortante resistente de la sección de una columna de concreto armado, (f'_c) es la resistencia a compresión del concreto armado, (b) es la dimensión del lado transversal a la dirección del análisis, (h) es la dimensión del lado perpendicular a la dirección del análisis.

A continuación, se determina el número de disipadores TADAS y sus dimensiones de acuerdo a la investigación realizada por Tena y Nangulasmú (2013). Nos imponemos los parámetros sísmicos del disipador θ , α , y β utilizando la tabla 18.

Tabla 18: Valores adecuados α y β .

PISOS	H/L	θ	α	β
5	0.530	40.00°	0.250	0.500
	0.630	45.00°	0.250	0.500
10	1.050	40.00°	0.250	0.750
	1.250	45.00°	0.250	0.500
15	1.580	40.00°	0.250	0.750
	1.880	45.00°	0.250	0.500
20	2.100	40.00°	0.500	0.500
	2.500	45.00°	0.500	0.750
25	2.630	40.00°	0.500	0.500
	3.130	45.00°	0.500	0.750

Fuente: (Tena y Nangulasmú 2013).

Dónde: (H/L) es la relación Altura longitud del pórtico plano, (θ) es el ángulo de inclinación de las diagonales, (α) es la relación de rigidez del pórtico entre contraviento + disipador, (β) es la relación de rigidez de contraviento entre disipador.

También nos imponemos los parámetros α^* y μ . Donde: (α^*) es la relación de rigidez post fluencia entre rigidez elástica. Valores frecuentes de este parámetro son: 0; 0.030 y 0.050, (μ) es la ductilidad del disipador y se encuentra normalmente alrededor de 10.

Teniendo a la mano los parámetros sísmicos del disipador ejecutamos el siguiente procedimiento:

Se calcula la rigidez total del piso K_{TOTAL} .

$$K_{TOTAL} = \frac{K_{MARCO}}{\alpha} \quad Ec. 19$$

Donde:

K_{MARCO} = rigidez del piso sin contraviento – disipador.

1) Se determina la rigidez del contraviento y disipadores K_{C-D} .

$$K_{C-D} = K_{TOTAL} - K_{MARCO} \quad Ec. 20$$

2) Se calcula la rigidez equivalente de contraviento y disipador K_{eq} .

$$K_{eq} = \frac{K_{C-D}}{N_d} \quad Ec. 21$$

Donde:

N_d = cantidad de brazos Chevrón.

3) Se calcula la rigidez de la diagonal del contraviento K_{DIAG} .

$$K_{DIAG} = \frac{K_{eq} [\beta + 2\mu \cos^2 \theta + \alpha^* \beta (\mu - 1)]}{\beta [1 + \alpha^* (\mu - 1)]} \quad Ec. 22$$

4) Se encuentra la rigidez elástica del disipador K_{DDE} .

$$K_{DDE} = \beta K_{DIAG} \quad Ec. 23$$

5) Se halla la rigidez post fluencia del disipador K_2 .

$$K_2 = \alpha^* K_{DDE} \quad Ec. 24$$

6) Se determina la rigidez efectiva K_{EDDE} .

$$K_{EDDE} = \frac{K_{DDE} + K_2 (\mu - 1)}{\mu} \quad Ec. 25$$

7) Se halla el desplazamiento de fluencia Δ_y .

$$\Delta_y = \frac{V_u}{\mu K_{EDDE}} \quad Ec. 26$$

Una vez que se conoce K_{DDE} , Δ_y , V_u y K_2 ; se calcula las dimensiones y la cantidad de placas del disipador TADAS con las ecuaciones de la tabla 19.

Paso 2: Trazado de curva histeretica.

Para el trazo de la curva Histeretica de los disipadores se aplicará las ecuaciones de la tabla 19. Dónde: (n) es el número de placas del disipador, (h) es la altura, (b) es el ancho que normalmente es igual a h/2, (t) es el espesor, (fy) es la resistencia del material que normalmente es acero y (E) es el módulo de elasticidad.

Tabla 19: *Parámetros del diagrama bilineal para disipadores TADAS.*

Parámetro	TADAS
Fuerza de fluencia.	$F_y = \frac{n * f_y * b * (t)^2}{6 * h}$
Desplazamiento de fluencia	$\Delta_y = \frac{f_y * (h)^2}{E * t}$
Rigidez elástica	$K_{DDE} = \frac{n * E * b * (t)^3}{6 * (h)^3}$
Fuerza última	$F_u = n \frac{f_y * b * (t)^2}{4 * h}$

Fuente: (Aguiar, Rodriguez y Mora 2016).

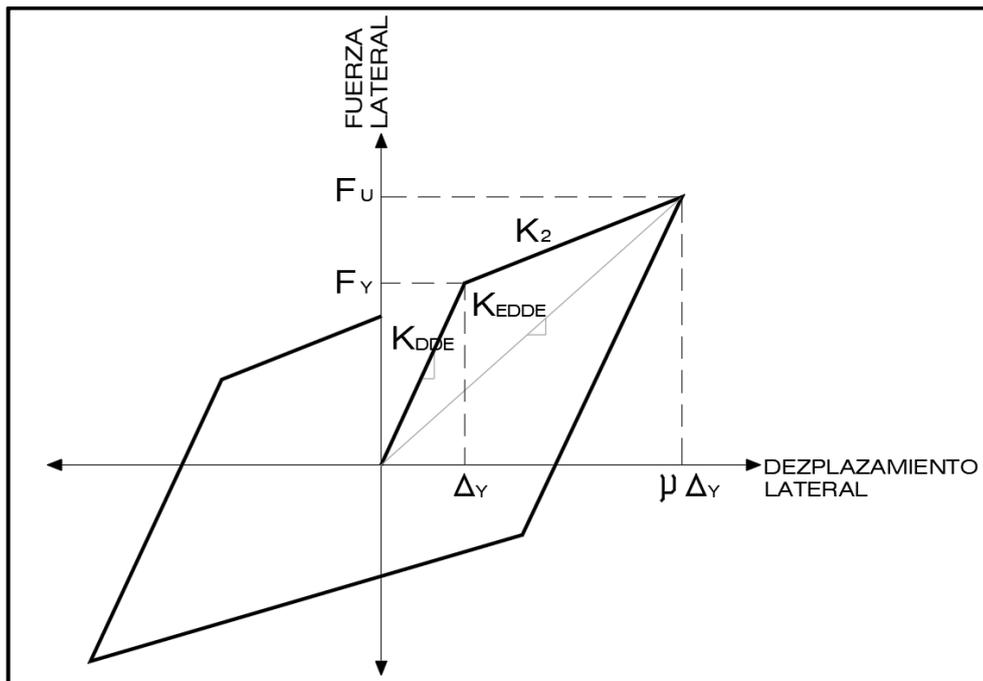


Figura 17: Curva Histeretica modelo bilineal de un disipador.
Fuente: (Aguiar, Rodriguez y Mora 2016, p. 23)

ETAPA III: Respuesta sísmica con disipadores TADAS.

Esta etapa se desarrollará en 9 pasos.

Paso 1: Modelación numérica.

Se volverá a realizar la modelación numérica, pero esta vez con el acoplamiento de los sistemas contraviento – disipador. Esta vez se cuentan los nudos que se encuentran encima del disipador, las vigas se dividen en dos y aumentan los grados de libertad, como se muestra en el ejemplo de la figura 10. Se enumeran primero los grados de libertad principales que están asociadas al desplazamiento lateral que va desarrollar cada piso y las vigas se modelan axialmente rígidas como en la etapa 1. Además, se define la calidad de los materiales.

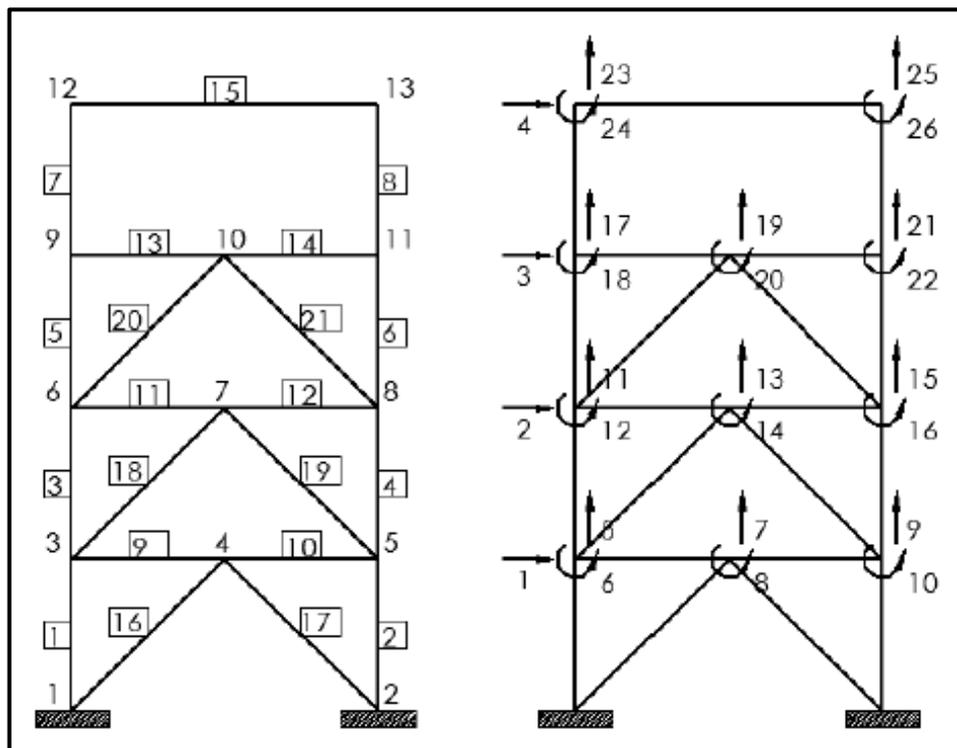


Figura 18: Ejemplo para la numeración de nudos, elementos y GDL del pórtico con TADAS.

Fuente: (Aguilar, Rodriguez y Mora 2016).

Paso 2: Cálculo de la matriz de rigidez local de los disipadores.

Existen dos formas para ensamblar la matriz de rigidez de la diagonal equivalente contraviento - disipador. La primera consiste en suponer que el elemento es del tipo viga – columna y se calcula con la ecuación 27.

$$k = \begin{bmatrix} Keq & 0 & 0 & Keq & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ Keq & 0 & 0 & Keq & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Ec. 27$$

Dónde: (Keq) es la rigidez axial de la diagonal equivalente calculada en la etapa 2. La segunda forma es considerar que el elemento es del tipo diagonal equivalente como se muestra en la figura 19 y se calcula directamente en coordenadas globales con la ecuación 24 (Aguilar 2012, p. 117).

Paso 3: Cálculo de la matriz de rigidez global de los disipadores.

Si el cálculo de la matriz de rigidez local del sistema diagonal disipador se realizó como un elemento viga – columna, el paso a coordenadas globales se consigue con la ecuación 2 ya descrita en la etapa 1. Por el contrario, si se realiza como un elemento diagonal equivalente la matriz se construye con la ecuación 28 directamente en coordenadas globales como se indica en la figura 16.

$$k = k_{eq} \begin{bmatrix} \text{Cosa}^2 & \text{Sena Cosa} & -\text{Cosa}^2 & -\text{Sena Cosa} \\ \text{Sena Cosa} & \text{Sena}^2 & -\text{Sena Cosa} & -\text{Sena}^2 \\ -\text{Cosa}^2 & -\text{Sena Cosa} & \text{Cosa}^2 & \text{Sena Cosa} \\ -\text{Sena Cosa} & -\text{Sena}^2 & \text{Sena Cosa} & \text{Sena}^2 \end{bmatrix} \quad Ec. 28$$

Dónde: (k) es la matriz de rigidez del elemento equivalente diagonal – disipador en coordenadas globales, (k_{eq}) es la rigidez axial equivalente calculada en la etapa 2, (α) es la inclinación del elemento respecto a la horizontal.

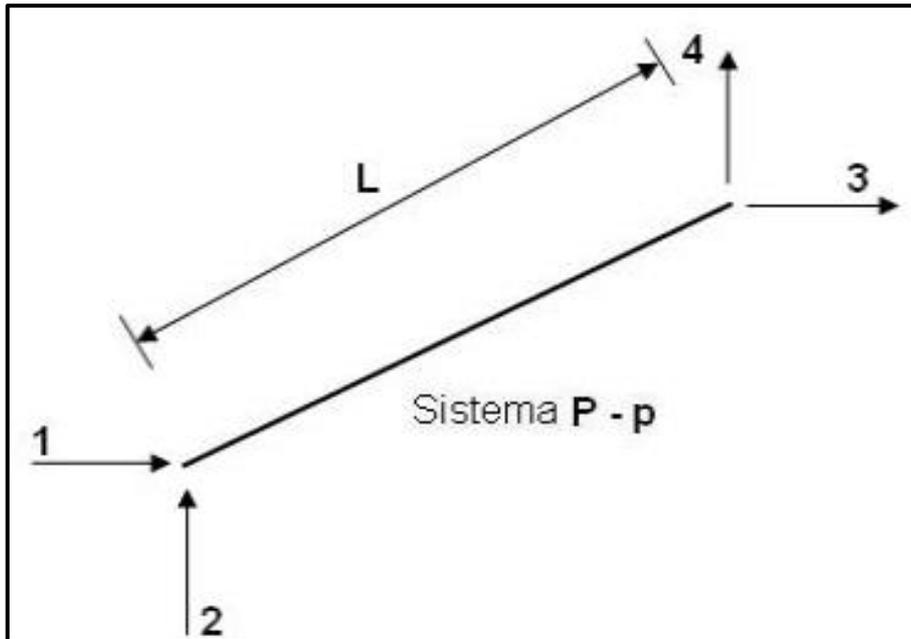


Figura 19: Sistema de coordenadas globales para diagonal equivalente contraviento – disipador.

Fuente: (Aguiar, Rodriguez y Mora 2016).

Paso 4: Calculo de la matriz de rigidez global de la estructura.

De igual manera como se indicó en la etapa 2, la matriz de rigidez global de la estructura se calculará con la ecuación 4 con los vectores de colocación (VC_{HOR}) para los elementos viga – columna. Esta vez tendremos que agregar los vectores de colocación (VC_{TADAS}) para los elementos diagonal equivalente. Note en los ejemplos que se muestra a continuación, que la primera corresponde a la diagonal que se modelo como elemento viga – columna, donde las columnas 3 y 6 de la matriz tienen valores igual a cero al no existir realmente los grados de libertad locales 3 y 6. La segunda corresponde a la diagonal que se modelo como diagonal equivalente, considerando los 4 grados de libertad reales, 2 en cada extremo, como se muestra en la figura 19.

$$VC_{TADAS} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 6 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 12 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 12 & 0 \\ 1 & 4 & 0 & 2 & 18 & 0 \\ 1 & 8 & 0 & 2 & 18 & 0 \\ 1 & 10 & 0 & 2 & 24 & 0 \\ 1 & 14 & 0 & 2 & 24 & 0 \\ 2 & 16 & 0 & 3 & 30 & 0 \\ 2 & 20 & 0 & 3 & 30 & 0 \\ 2 & 22 & 0 & 3 & 36 & 0 \\ 2 & 26 & 0 & 3 & 36 & 0 \end{bmatrix}$$

Figura 20: Vectores de colocación para 12 diagonales equivalentes de 4 grados de libertad.

Fuente: Elaboración propia.

$$VC_{TADAS} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 & 7 \\ 0 & 0 & 1 & 7 \\ 1 & 5 & 2 & 13 \\ 1 & 9 & 2 & 13 \\ 2 & 11 & 3 & 19 \\ 2 & 15 & 3 & 19 \end{bmatrix} \begin{matrix} E \\ L \\ E \\ M \\ E \\ N \\ T \\ O \\ S \end{matrix}$$

Figura 21: Vectores de colocación para 6 diagonales equivalentes de 4 grados de libertad.

Fuente: (Aguiar, Rodriguez y Mora 2016).

Paso 5: Cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura.

Se calculará la matriz de rigidez lateral de la estructura (K_L) con la ecuación 5 mostrado en el paso 5 de la etapa 1. Considerando coordenadas principales como el de la figura 22. Este método no es el más eficiente en hallar la matriz de rigidez condensada, pero es muy fácil de programar. Se debe diferenciar dos tipos de coordenadas que se han denominado principales (a) y secundarias (b). (Aguiar 2012, p. 132).

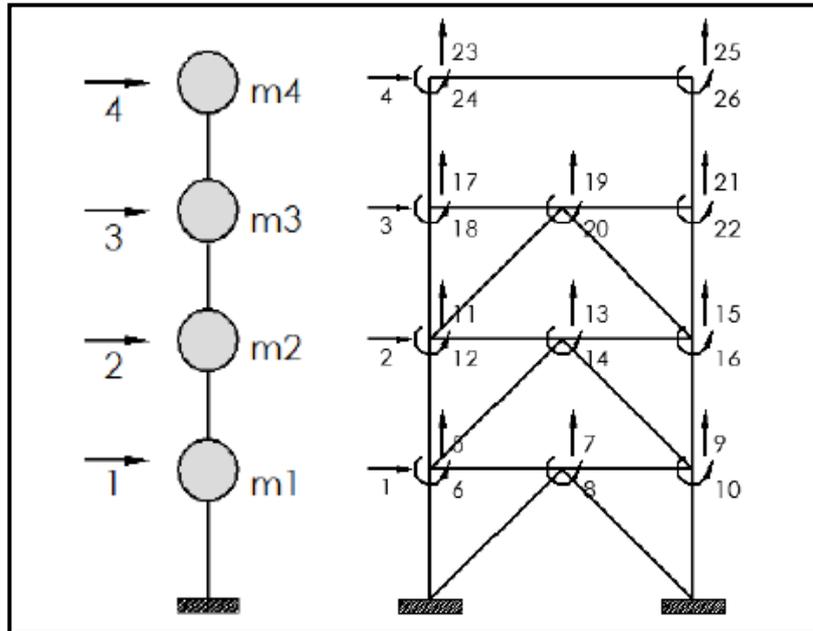


Figura 22: Coordenadas principales y secundarias de un pórtico de 4 pisos.
Fuente: (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016).

Paso 6: Análisis modal.

Orientado al uso de ordenador. Se utilizará el método del algoritmo de $M^{1/2}$ para el análisis de modos de vibración, el procedimiento se muestra en la etapa 1. Con la matriz de rigidez que se calcula en el paso 5 y la matriz de masa que se calcula en el paso 6 de la etapa 1, en coordenadas de piso, despreciando el peso del sistema contraviento - disipador, se calcula las frecuencias, periodos y modos de vibración, mediante la solución de un problema de valores y vectores propios (Aguiar 2012, p. 165).

Paso 7: Cálculo de la matriz de amortiguamiento.

En cada nivel de la estructura se calcula el amortiguamiento equivalente del disipador con la ecuación 30, que se deduce a partir del modelo numérico bilineal que representa el comportamiento de un disipador tipo TADAS. A continuación, se construye la matriz de amortiguamiento considerando un modelo a nivel de piso como se muestra en el ejemplo de la figura 23, representado por la ecuación 31 (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016, p. 63).

$$\xi_{eq} = \frac{2 \Delta_y (K_{DDE} - K_2)(\mu \Delta_y - \Delta_y)}{\pi K_{EDDE} (\mu \Delta_y)^2} \quad Ec. 29$$

$$C_d = \frac{2 \Delta_y (K_{DDE} - K_2)(\mu \Delta_y - \Delta_y) T}{\pi^2 (\mu \Delta_y)^2} \quad Ec. 30$$

$$C = \begin{bmatrix} C_{d1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & C_{d2} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & C_{d3} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad Ec. 31$$

Nótese que el valor de la última fila y columna es cero debido a que en el ejemplo no existe amortiguamiento en el último piso.

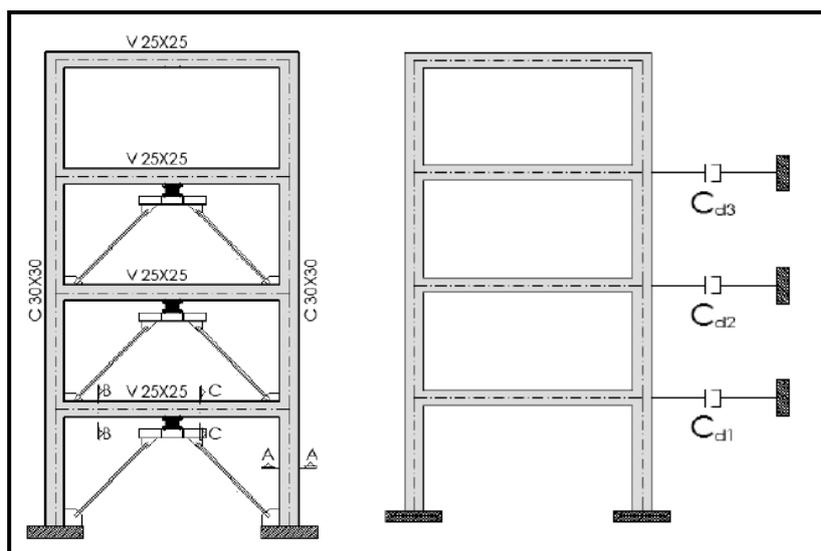


Figura 23: Modelo para el cálculo de la matriz de amortiguamiento. Fuente: (Aguiar, Rodríguez y Mora 2016).

Paso 8: Escalamiento del sismo de diseño.

Para el cálculo del sismo de diseño se considera la norma ASCE 7-10 requerimiento de diseño para estructuras con sistemas de disipación. Además, la norma peruana

de diseño sismo resistente E030. Según lo mencionado se toma en cuenta las siguientes recomendaciones:

- 1) Los registros sísmicos que se utilizan deben reflejar la realidad del proyecto, deben haber sido tomados en suelos con características parecidas al terreno donde se pondrá la cimentación.
- 2) La norma peruana indica que los registros deben ser escalados a un espectro de pseudo aceleraciones o de diseño, y para ser calculado fijamos el factor de reducción sísmica en $R = 1$.

No se consideran los 3 registros sísmicos en sus dos componentes horizontales, debido a que el propósito del estudio es realizar el análisis en el plano. El procedimiento para la determinación del sismo de diseño es la siguiente:

- 1) Se calculan las derivas de entrepiso del pórtico plano sin disipadores de energía con el análisis dinámico tiempo – historia.
- 2) Se calcula el factor de escalamiento al sismo de diseño con la relación de la deriva máxima calculada por el método superposición modal – espectral y la deriva máxima calculada por el método tiempo – historia.

$$Factor = \frac{Deriva\ modal\ espectral}{Deriva\ tiempo\ historia} \quad Ec. 32$$

- 3) Se multiplica las aceleraciones espectrales del registro sísmico escogido por el factor de escalamiento calculado, para obtener así el sismo de diseño (registro escalado).

Paso 9: Cálculo de la respuesta en el tiempo.

Se calcularán los desplazamientos del pórtico plano reforzados con los sistemas contraviento disipador para verificar los efectos esperados. Se utilizará el método espacio de estado que consiste en un algoritmo que puede ser considerado como la generalización de la integral de Duhamel para varios grados de libertad. El procedimiento espacio de estado tiene enormes ventajas de exactitud y tiempo de ejecución respecto a métodos clásicos. El procedimiento de Espacio de Estado para sistemas de n grados de libertad requiere de un registro sísmico (acelerograma). Previamente el usuario habrá calculado las matrices de masa,

amortiguamiento, rigidez, así como el coeficiente Q_0 (Aguiar 2012, p. 300). El algoritmo de espacio de estado para el cálculo de la respuesta en el tiempo es:

$$X_{(k+1)} = A X_{(k)} + P1 r_{(k+1)} P2 [r_{(k+1)} - r_{(k)}] \quad Ec. 33$$

$$A = e^{\Delta t F}$$

$$P1 = F^{-1} (A - I)$$

$$P2 = F^{-1} \left(\frac{1}{\Delta t} P1 - A \right)$$

$$F = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -M^{-1} KL & -M^{-1} C \end{bmatrix}$$

$$r_{(k)} = [NULO MCARGA]$$

$$r_{(k+1)} = [NULO MCARGA2]$$

$$MCARGA = M^{-1} Q_0 a_{(k)}$$

$$MCARGA2 = M^{-1} Q_0 a_{(k+1)}$$

$$Q_0 = -M J$$

Donde: ($X_{(k+1)}$ y $X_{(k)}$) es la respuesta en el tiempo para los instantes $k+1$ y k , ($r_{(k)}$ y $r_{(k+1)}$) es la variación de la excitación en los instante k y $k+1$, (Δt) es el incremento en el tiempo, (F) matriz de orden de $2n \times 2n$ (n = números de grados de libertad), (M) es la matriz de masa, (J) es un vector unitario en la diagonal, (I) es una matriz identidad de $2n \times 2n$, (KL) es la matriz de rigidez, (C) es la matriz de amortiguamiento, (Q_0) vector que multiplica la aceleración del suelo, ($NULO$) es un vector de n ceros, ($a_{(k)}$ y $a_{(k+1)}$) es la aceleración del suelo en los tiempos k y $k+1$.

3.6. Método de análisis de datos

Para la evaluación e interpretación de los datos que obtendremos según el procedimiento diseñado, estas serán realizadas bajo las normas del NTP E060, ACI 2008, ASCE 41 y NTP E030. Además, se utilizarán herramientas informáticas para el procesamiento de la investigación como el programa Matlab y Microsoft Excel. Así también, con el apoyo del ingeniero asesor para verificación de los datos obtenidos en base a los procedimientos de cálculo ya mencionados.

3.7. Aspecto ético

El investigador afirma y se compromete con la veracidad de sus resultados, a trabajar con dedicación, entrega y tenacidad para el correcto desarrollo de la investigación, preservar la exactitud en cada una de las etapas de cálculo. Para el desarrollo de la presente investigación se usó referentemente el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), Normas Técnicas Peruanas (NTP) y American Society of Civil Engineers (ASCE), es imprescindible contar con los recursos necesarios para la investigación y por ende los resultados obtenidos no fueron objetos de manipulación

IV. RESULTADOS

4.1. Desarrollo del procedimiento

El procedimiento para la obtención de los resultados esta subdividido en 3 etapas. En una primera etapa se determina la respuesta sísmica de los pórticos de concreto armado sin disipadores de energía considerando un espectro de diseño con un factor básico de reducción sísmica $R = 1$ para simular un sismo severo. En una segunda etapa se realiza el pre diseño de los disipadores de energía de material de fluencia tipo TADAS. En la tercera etapa volvemos a calcular la respuesta sísmica de los pórticos, pero esta vez con los disipadores de energía acoplados con sus respectivos contravientos a la estructura y el método tiempo – historia.

4.1.1. ETAPA 1: Respuesta sísmica sin disipadores de energía.

Paso 1: Modelación numérica

Se modelaron 3 pórticos planos de 3, 6 y 9 pisos respectivamente como se muestra en las figuras 24, 25, 26 con ayuda del programa “confi1”. Las alturas de los pórticos son de 9.5, 18.5 y 27.5 m respectivamente. La altura del primer piso es de 3.5 m de altura y de 3m para los pisos restantes. La longitud de los pórticos es igual a 12 m, la cual consta de 3 vanos de 4 m de longitud cada uno. Se realizó la numeración de los elementos, nudos y grados de libertad como se muestra en las tablas 20 y 22.

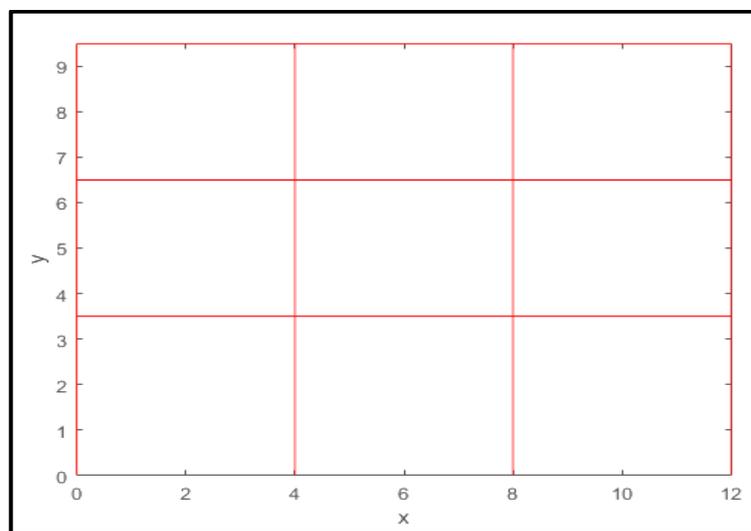


Figura 24: Modelo pòrtico 1.
Fuente: Elaboración propia.

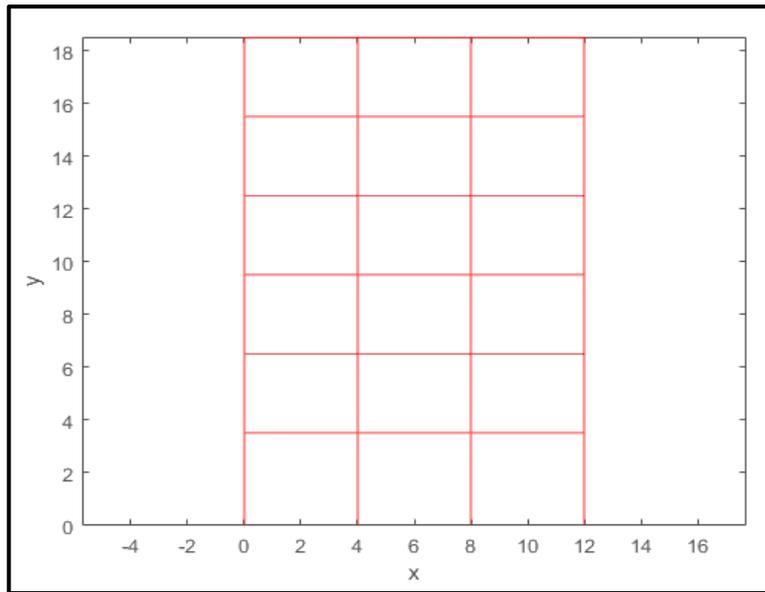


Figura 25: Modelo pórtico 2.
Fuente: Elaboración propia.

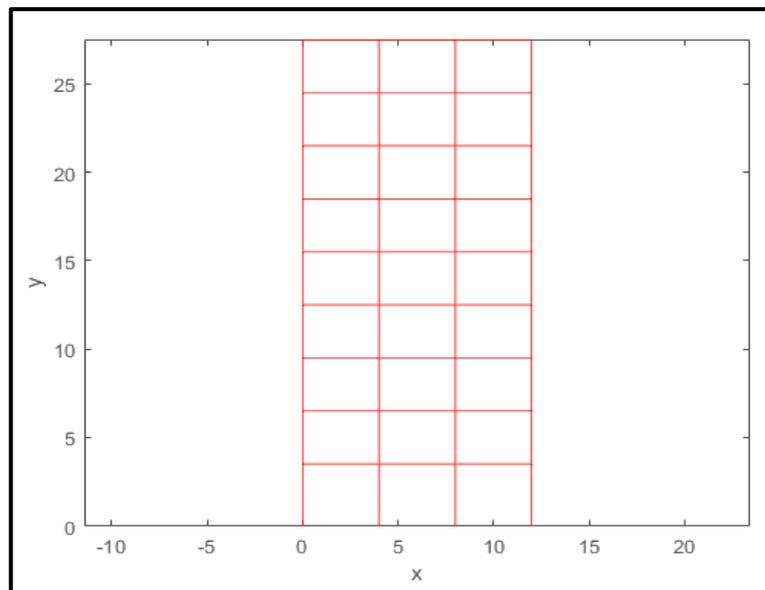


Figura 26: Modelo pórtico 3.
Fuente: Elaboración propia.

Se describen los nudos, las coordenadas y la posición de cada elemento del pórtico 1 en la tabla 20. Dónde: (x_i, y_i) son las coordenadas del nudo inicial i ; (x_j, y_j) son las coordenadas del nudo final j , (L) es la longitud del elemento y (t) su inclinación. Se organizó estos parámetros de igual modo para los pórticos 2 y 3 como se observa en el anexo A1.

Tabla 20: *Coordenadas de los nudos y posición de cada elemento del pórtico 1.*

Elemento	Nudo Inicial	Nudo Final	X_i (m)	Y_i (m)	X_j (m)	Y_j (m)	L (m)	t (°)
1	1	5	0	0	0	3.5	3.5	90
2	2	6	4	0	4	3.5	3.5	90
3	3	7	8	0	8	3.5	3.5	90
4	4	8	12	0	12	3.5	3.5	90
5	5	9	0	3.5	0	6.5	3	90
6	6	10	4	3.5	4	6.5	3	90
7	7	11	8	3.5	8	6.5	3	90
8	8	12	12	3.5	12	6.5	3	90
9	9	13	0	6.5	0	9.5	3	90
10	10	14	4	6.5	4	9.5	3	90
11	11	15	8	6.5	8	9.5	3	90
12	12	16	12	6.5	12	9.5	3	90
13	5	6	0	3.5	4	3.5	4	0
14	6	7	4	3.5	8	3.5	4	0
15	7	8	8	3.5	12	3.5	4	0
16	9	10	0	6.5	4	6.5	4	0
17	10	11	4	6.5	8	6.5	4	0
18	11	12	8	6.5	12	6.5	4	0
19	13	14	0	9.5	4	9.5	4	0
20	14	15	4	9.5	8	9.5	4	0
21	15	16	8	9.5	12	9.5	4	0

Fuente: Elaboración propia.

Las columnas y vigas se modelaron como elementos de sección constante con una resistencia a la compresión del concreto de 210 kg/cm² y un módulo de elasticidad de 2173700 T/m² como se muestra en la tabla 21. Dónde: E es el módulo de elasticidad del material, G es el módulo de corte, b es la base de la sección, h es el peralte de la sección, A es el área de la sección, I es el momento de inercia, β es el factor de forma, GA es la rigidez al corte, L es la longitud del elemento, EI_0 es la rigidez a flexión, ϕ es el efecto de corte y EA es la rigidez axial. Se organizó estos parámetros de igual modo para los pórticos 2 y 3 como se observa en el anexo A2.

Tabla 21: *Propiedades mecánicas de columnas y vigas.*

# Elemento	E	G	b	h	A	I	β	GA	EI_0	ϕ	EA
	T/m ²	T/m ²	m	m	m ²	m ⁴	Adim.	T	T.m ²	Adim.	T
Columnas	2173710	869484	0.35	0.35	0.1225	0.00125	1.2	106512	2718	0.0300	266279
Vigas	2173710	869484	0.25	0.5	0.125	0.00260	1.2	108686	5661	0.0469	271714

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 22 se muestra los grados de libertad globales para el ensamblaje de la matriz global de la estructura. La fila representa el número de elemento y las columnas su grado de libertad local. El número cero representan las coordenadas restringidas en los apoyos y en el caso de vigas su rigidez axial infinita. Se organizó estos parámetros de igual modo para los pórticos 2 y 3 como se observa en el anexo A3.

Tabla 22: Grados de libertad global.

GL local		1	2	3	4	5	6
Columnas	1	0	0	0	1	4	5
	2	0	0	0	1	6	7
	3	0	0	0	1	8	9
	4	0	0	0	1	10	11
	5	1	4	5	2	12	13
	6	1	6	7	2	14	15
	7	1	8	9	2	16	17
	8	1	10	11	2	18	19
	9	2	12	13	3	20	21
	10	2	14	15	3	22	23
	11	2	16	17	3	24	25
	12	2	18	19	3	26	27
Vigas	13	0	4	5	0	6	7
	14	0	6	7	0	8	9
	15	0	8	9	0	10	11
	16	0	12	13	0	14	15
	17	0	14	15	0	16	17
	18	0	16	17	0	18	19
	19	0	20	21	0	22	23
	20	0	22	23	0	24	25
	21	0	24	25	0	26	27

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Cálculo de la matriz de rigidez local de los elementos.

Se calculó la matriz de rigidez de los elementos del pórtico 1 en coordenadas locales con ayuda del programa "local2" que se encuentra en el anexo C2. A continuación, se muestra los resultados para los elementos 1, 5 y 13, los dos primeros corresponden a las columnas de 3.5 y 3 m de longitud respectivamente, la última corresponde a las vigas. Las unidades están dadas en toneladas y metros. El resultado de los pórticos 2 y 3 se encuentra en el anexo A4.

$$k_1 = \begin{vmatrix} 77633 & 0 & 0 & -77633 & 0 & 0 \\ 0 & 390 & 683 & 0 & -390 & 683 \\ 0 & 683 & 1599 & 0 & -683 & 790 \\ -77633 & 0 & 0 & 77633 & 0 & 0 \\ 0 & -390 & -683 & 0 & 390 & -683 \\ 0 & 683 & 790 & 0 & -683 & 1599 \end{vmatrix}$$

$$k_5 = \begin{vmatrix} 90571 & 0 & 0 & -90571 & 0 & 0 \\ 0 & 616 & 924 & 0 & -616 & 924 \\ 0 & 924 & 1858 & 0 & -924 & 915 \\ -90571 & 0 & 0 & 90571 & 0 & 0 \\ 0 & -616 & -924 & 0 & 616 & -924 \\ 0 & 924 & 915 & 0 & -924 & 1858 \end{vmatrix}$$

$$k_{13} = \begin{vmatrix} 67928 & 0 & 0 & -67928 & 0 & 0 \\ 0 & 1014 & 2028 & 0 & -1014 & 2028 \\ 0 & 2028 & 5471 & 0 & -2028 & 2640 \\ -67928 & 0 & 0 & 67928 & 0 & 0 \\ 0 & -1014 & -2028 & 0 & 1014 & -2028 \\ 0 & 2028 & 2640 & 0 & -2028 & 5471 \end{vmatrix}$$

Paso 3: Calculo de la matriz de rigidez global de los elementos.

Se calculó la matriz de rigidez global de los elementos del pórtico 1 en coordenadas globales con ayuda del programa "global3" que se muestra en el anexo C3. A continuación, se muestra los resultados para los elementos 1,5 y 13 los dos primeros corresponden a las columnas de 3.5 y 3 m de longitud respetivamente, la última corresponde a las vigas. Las unidades están dadas en toneladas y metros. El resultado de los pórticos 2 y 3 se encuentra en el anexo A5.

$$k_{e1} = \begin{vmatrix} 390 & 0 & -683 & -390 & 0 & -683 \\ 0 & 77633 & 0 & 0 & -77633 & 0 \\ -683 & 0 & 1599 & 683 & 0 & 790 \\ -390 & 0 & 683 & 390 & 0 & 683 \\ 0 & -77633 & 0 & 0 & 77633 & 0 \\ -683 & 0 & 790 & 683 & 0 & 1599 \end{vmatrix}$$

$$k_{e5} = \begin{vmatrix} 616 & 0 & -924 & -616 & 0 & -924 \\ 0 & 90571 & 0 & 0 & -90571 & 0 \\ -924 & 0 & 1858 & 924 & 0 & 915 \end{vmatrix}$$

$$ke_{13} = \begin{vmatrix} -616 & 0 & 924 & 616 & 0 & 924 \\ 0 & -90571 & 0 & 0 & 90571 & 0 \\ -924 & 0 & 915 & 924 & 0 & 1858 \\ 67928 & 0 & 0 & -67928 & 0 & 0 \\ 0 & 1014 & 2028 & 0 & -1014 & 2028 \\ 0 & 2028 & 5471 & 0 & -2028 & 2640 \\ -67928 & 0 & 0 & 67928 & 0 & 0 \\ 0 & -1014 & -2028 & 0 & 1014 & -2028 \\ 0 & 2028 & 2640 & 0 & -2028 & 5471 \end{vmatrix}$$

Paso 4. Cálculo de la matriz de rigidez global de la estructura.

Se calculó la matriz de rigidez global de la estructura con ayuda del programa “estruc4” que se encuentra en el anexo C4. A continuación, se muestra parcialmente la matriz global de la estructura (K) que realmente es una matriz de 27 filas por 27 columnas. Las unidades están dadas en toneladas y metros.

$$K = \begin{vmatrix} 4020 & -2460 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 \\ -2460 & 4930 & -2460 & \dots & -920 & 0 & -920 \\ 0 & -2460 & 2460 & \dots & 920 & 0 & 920 \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & -920 & 920 & \dots & 12800 & -2030 & 2640 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -2030 & 91590 & -2030 \\ 0 & -920 & 920 & \dots & 2640 & -2030 & 7330 \end{vmatrix}$$

Paso 5: Cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura.

Se realizó la condensación estática de la matriz de rigidez global de la estructura con ayuda del programa “conden5” que se encuentra en el anexo C5. La matriz de rigidez lateral (KL) es cuadrada de 3 filas y 3 columnas debido a los grados de libertad principales.

$$KL = \begin{vmatrix} 3772.4 & -2399.5 & 222.7 \\ -2399.5 & 4399.2 & -2179.3 \\ 222.7 & -2179.3 & 1966.2 \end{vmatrix} \text{ (T/m)}$$

Paso 6: Análisis modal.

Se redujo el sistema a un modelo dinámico masa resorte de 3 grados de libertad y se realizó el análisis modal con ayuda del programa “modal1” que se encuentra en el anexo C6. Como el pórtico se tomó de la referencia Villareal (2009) se tomó también de ahí las masas de cada piso. A continuación, se muestra la matriz de masa (M), el vector de frecuencias naturales (W), periodos (T) y la matriz con los modos de vibración (ϕ).

$$M = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} \text{ (T.s}^2\text{/m)}$$

$$W = \begin{vmatrix} 9.0338 \\ 27.3594 \\ 43.0029 \end{vmatrix} \text{ (1/s)}$$

$$T = \begin{vmatrix} 0.6955 \\ 0.2297 \\ 0.1461 \end{vmatrix} \text{ (s)}$$

$$\phi = \begin{vmatrix} 0.1987 & 0.3775 & -0.253 \\ 0.32 & 0.0809 & 0.372 \\ 0.3788 & -0.3646 & -0.2466 \end{vmatrix}$$

Paso 7: Análisis espectral.

Finalizando con la etapa 1, se realizó el análisis espectral, calculando las aceleraciones espectrales (Sa) con ayuda de la norma técnica peruana E030 y el programa “espec1” que se encuentra en el anexo C7. También se calculó los factores de participación modal (FPM), los cortantes de piso (V) y los desplazamientos laterales (Xe) con ayuda del programa “fapam2” que se encuentra en el anexo C8. Estos resultados se muestran a continuación.

$$Sa = \begin{vmatrix} 9.87 \\ 9.87 \\ 9.87 \end{vmatrix} \text{ (m/s}^2\text{)}$$

$$FPM = \begin{vmatrix} 0.30 \\ 0.85 \\ 3.19 \end{vmatrix}$$

$$V = \begin{vmatrix} 102.72 \\ 79.04 \\ 40.30 \end{vmatrix} \text{ (T)}$$

$$Xe = \begin{vmatrix} 0.045 \\ 0.076 \\ 0.093 \end{vmatrix} \text{ (m)}$$

También se calculó las distorsiones de entrepiso como se muestra en la tabla 23, donde: (h) es la altura de entrepiso, (d) es el desplazamiento absoluto, (di) es el desplazamiento relativo, (β) es la deriva de entrepiso y (β_{max}) es la deriva máxima que para estructuras de concreto armado es 0.007. Se observa que los desplazamientos laterales en el piso 1 y 2 no cumplen con el límite permitido por la norma peruana E030. Una solución económica es la implementación de disipadores de energía de material de fluencia tipo TADAS. El resultado de los pórticos 2 y 3 se muestra en los anexos C9 y B1.

Tabla 23: *Distorsiones de entrepiso.*

				$\beta_{max} =$	0.007		
PISO	h	d	di	β	Obs.	Vu	km
1	3.5	0.0455	0.0455	0.0130	No	102.73	2257.71
2	3	0.0766	0.0311	0.0104	No	79.04	2541.51
3	3	0.0932	0.0166	0.0055	Cumple	40.30	2427.96

Fuente: Elaboración propia.

4.1.2. ETAPA 2: Pre diseño de los disipadores de energía TADAS.

Paso 1: Pre diseño de los disipadores.

En esta etapa se pre diseñan los disipadores de energía TADAS de acuerdo a la metodología propuesta por Tena y Nangallasmú (2013 y 2015). Para ello se

desarrolló el programa “disipa1” que se encuentra en el anexo C10. Los parámetros iniciales de pre diseño del sistema contraviento - disipador se muestra en la tabla 24, donde: (Km) es la rigidez de piso calculado con el programa “wilbur” (Anexo C13), (Vdem) es la cortante de demanda calculada en el ítem anterior, (Vcap) es la cortante de capacidad calculada con la ecuación 18, (Vu) es la cortante que absorbe el sistema contraviento – disipador, (nc) es el número de contravientos, (t) es el espesor de las placas del disipador, (L/2) y (hc) son los catetos de la diagonal, (Ldiag) y (θ) es la longitud y el ángulo de inclinación de la diagonal.

$$V_{cap} = 0,60 \cdot 0,53 \cdot \sqrt{210} \cdot 10 \cdot 0,35 \cdot 0,35 = 22.58 T$$

Tabla 24: *Parámetros iniciales de pre diseño contraviento - disipador.*

PISO	PORTICO			CONTRAVIENTO - DISIPADOR						
	Km	Vdem	Vcap	Vu	nc	t	L/2	hc	Ldiag	θ
	T/m	T	T	T	-	m	m	m	m	°
1	2257.708	102.73	22.58	80.15	2	0.030	2	3.5	4.031	55
2	2541.514	79.04	22.58	56.46	2	0.030	2	3	3.606	51
3	2427.964	40.30	22.58	17.72	2	0.030	2	3	3.606	51

Fuente: Elaboración propia.

El programa también necesita de los parámetros iniciales impuesto para los disipadores como se muestra en la tabla 25, donde: (α) es la relación entre la rigidez de post fluencia con respecto a la rigidez elástica del disipador, (β) es relación entre la rigidez elástica del disipador respecto a la rigidez de la diagonal, (α^*) es la relación entre la rigidez de post fluencia con respecto a la rigidez elástica del disipador, (μ) es la ductilidad del disipador, (f_y) es la resistencia y (E) el módulo de elasticidad del material.

Tabla 25: *Parámetros impuestos para los disipadores.*

$\alpha =$	0.25	
$\beta =$	0.5	
$\alpha^* =$	0.05	
$\mu =$	10	
$f_y =$	25300	T/m2
E =	21000000	T/m2

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 26 se muestra las dimensiones calculadas para los disipadores y la diagonal del contraviento de soporte, donde: (h y b), son las dimensiones del disipador, (n) es el número de placas y (Adiag) es la sección de la diagonal. Se cambió el espesor (t) del disipador considerando que la demanda disminuye en los últimos pisos.

Tabla 26: Dimensiones de los disipadores y la diagonal del contraviento Chevron.

PISO	n	h	t	Adiag
	-	m	m	m2
1	14	0.20	0.030	0.0065
2	10	0.20	0.020	0.0065
3	4	0.20	0.010	0.0065

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Trazado de la curva Histeretica.

Se construyó la curva Histeretica de los disipadores como se muestra en las figuras 27, 28 y 29 con ayuda del programa “disipa2” que se muestra en el anexo C11. En la horizontal se muestra el desplazamiento lateral del disipador (d) y en la vertical su capacidad de corte (F). La línea que empieza en el cero de referencia representa el comportamiento elástico mientras que las líneas siguientes nos muestran el comportamiento inelástico del disipador. La curva Histeretica de los disipadores de los pórticos 2 y 3 se encuentra en el anexo B3.

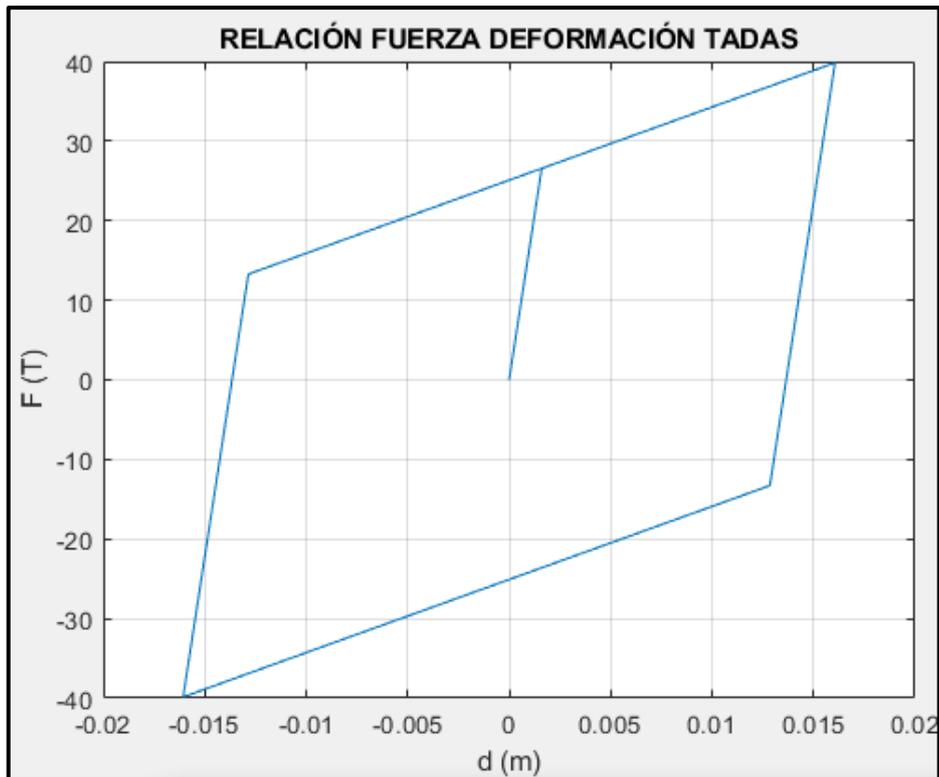


Figura 27: Curva histeretica de los disipadores del primer piso del pórtico 1. Fuente: Elaboración propia.

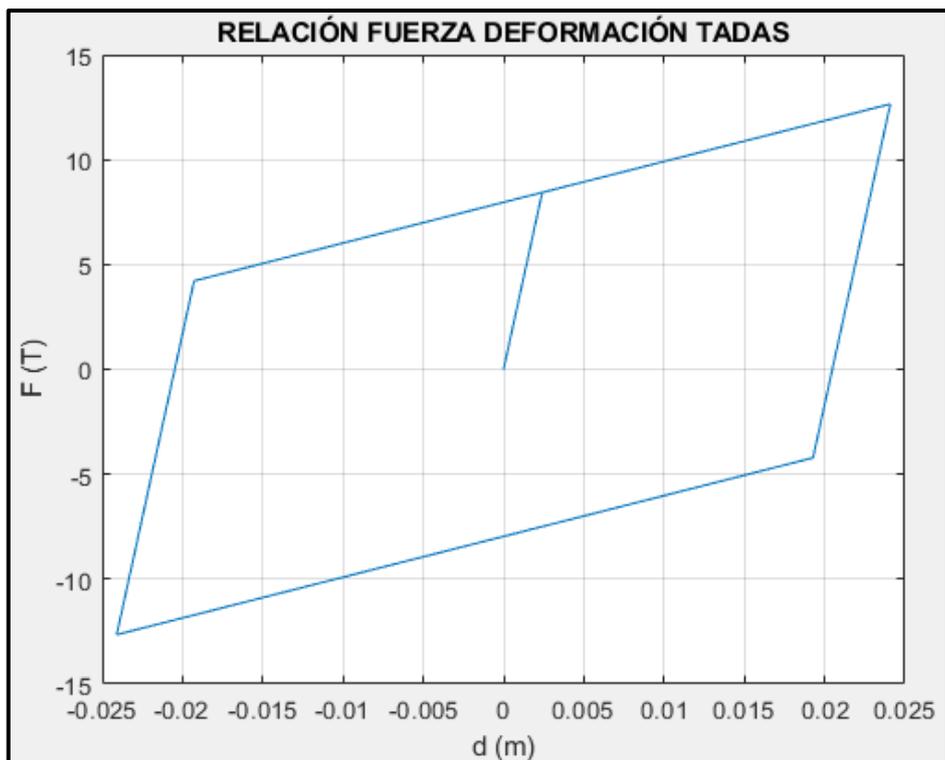


Figura 28: Curva histeretica de los disipadores del segundo piso del pórtico 1. Fuente: Elaboración propia.

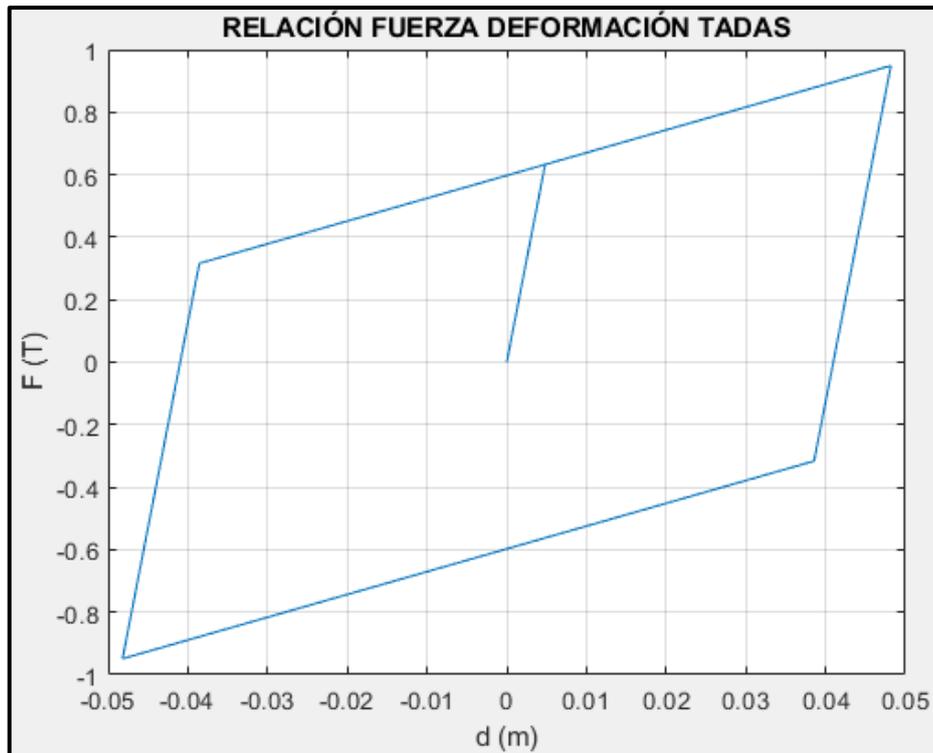


Figura 29: Curva histeretica de los disipadores del tercer piso del pórtico 1. Fuente: Elaboración propia.

4.1.3. ETAPA 3: Respuesta sísmica con disipadores de energía.

Paso 1: Modelación numérica.

Se modelaron los pórticos acoplado a ellos el sistema contraviento - disipador con ayuda del programa "confi1" que dibuja el pórtico y ordena en matrices los elementos, nudos y grados de libertad como se muestra en las figuras 30, 31 y 32. La longitud de las diagonales del primer nivel es igual a 4.03 m con una inclinación de 60 ° y de los pisos restantes es 3.60 m con una inclinación de 56°. La calidad del acero del disipador para el pórtico 1 es A36 con una resistencia a la fluencia de 2530 Kg/cm² y para los pórticos 2 y 3 es de 4200 Kg/cm².

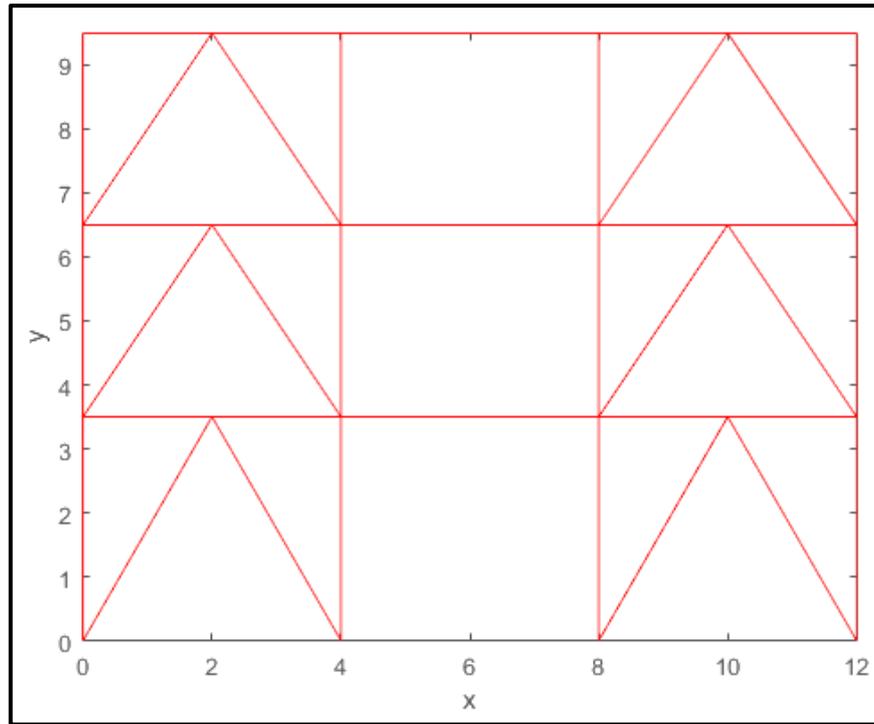


Figura 30: Modelo del pórtico 1 con disipadores de energía.
 Fuente: Elaboración propia, 2021.

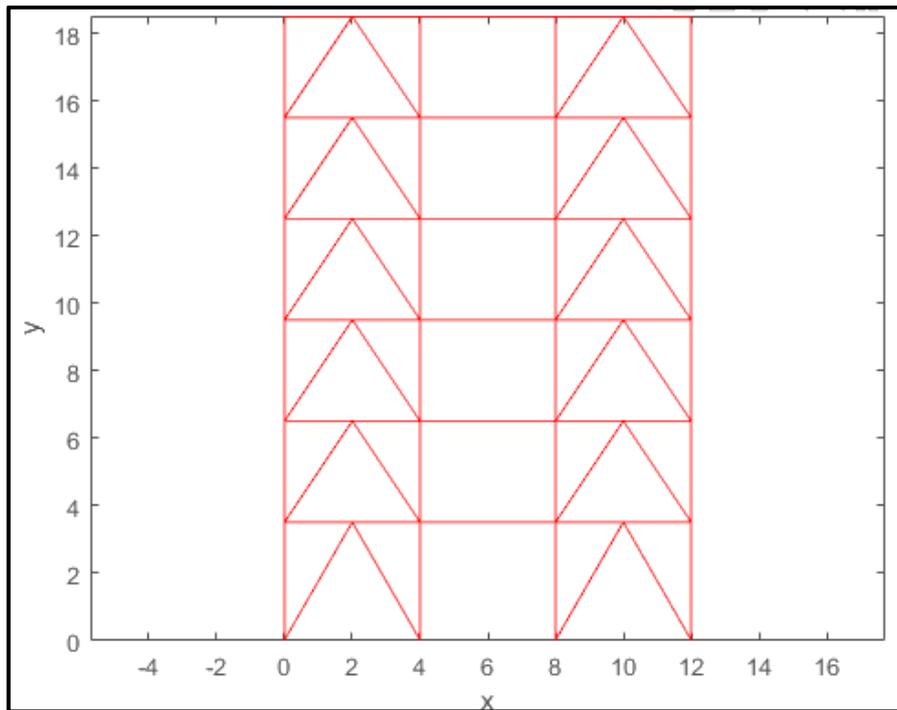


Figura 31: Modelo del pórtico 2 con disipadores de energía.
 Fuente: Elaboración propia, 2021.

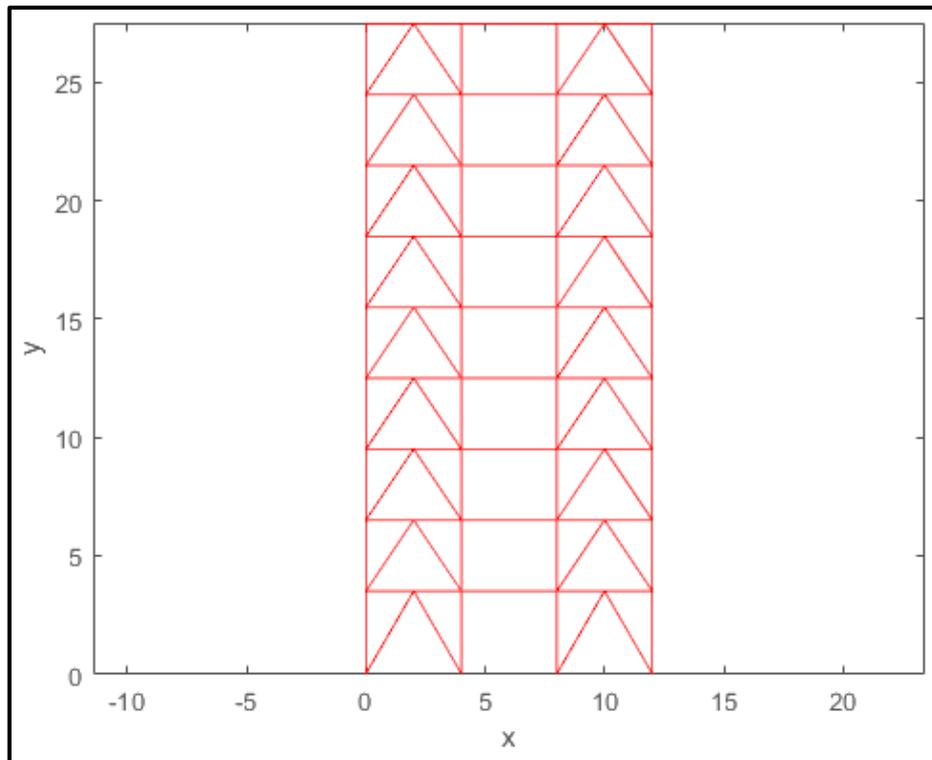


Figura 32: Modelo del pórtico 3 con disipadores de energía.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Se describen los nudos, las coordenadas y la posición de cada elemento del pórtico 1 con el sistema contraviento - disipador en la tabla 27. Dónde: (x_i, y_i) son las coordenadas del nudo i ; (x_j, y_j) son las coordenadas del nudo j , (L) es la longitud del elemento y (t) su inclinación. Se puede observar el incremento del número de vigas, debido a que el disipador corta en dos a la viga en el modelo. También ahora aparecen 12 diagonales equivalentes en las últimas filas de la tabla 27.

Tabla 27: Coordenadas de los nudos y posición de cada elemento incorporado contraviento - disipador.

Elemento	Nudo Inicial	Nudo Final	X_i (m)	Y_i (m)	X_j (m)	Y_j (m)	L (m)	t (°)
Columnas	1	5	0	0	0	3.5	3.5	90
	2	7	4	0	4	3.5	3.5	90
	3	8	8	0	8	3.5	3.5	90
	4	10	12	0	12	3.5	3.5	90
	5	11	0	3.5	0	6.5	3	90
	6	13	4	3.5	4	6.5	3	90
	7	14	8	3.5	8	6.5	3	90

	8	10	16	12	3.5	12	6.5	3	90
	9	11	17	0	6.5	0	9.5	3	90
	10	13	19	4	6.5	4	9.5	3	90
	11	14	20	8	6.5	8	9.5	3	90
	12	16	22	12	6.5	12	9.5	3	90
Vigas	13	5	6	0	3.5	2	3.5	2	0
	14	6	7	2	3.5	4	3.5	2	0
	15	7	8	4	3.5	8	3.5	4	0
	16	8	9	8	3.5	10	3.5	2	0
	17	9	10	10	3.5	12	3.5	2	0
	18	11	12	0	6.5	2	6.5	2	0
	19	12	13	2	6.5	4	6.5	2	0
	20	13	14	4	6.5	8	6.5	4	0
	21	14	15	8	6.5	10	6.5	2	0
	22	15	16	10	6.5	12	6.5	2	0
	23	17	18	0	9.5	2	9.5	2	0
	24	18	19	2	9.5	4	9.5	2	0
	25	19	20	4	9.5	8	9.5	4	0
	26	20	21	8	9.5	10	9.5	2	0
	27	21	22	10	9.5	12	9.5	2	0
Diagonales equivalente	28	1	6	0	0	2	3.5	4.0	60
	29	2	6	4	0	2	3.5	4.0	120
	30	3	9	8	0	10	3.5	4.0	60
	31	4	9	12	0	10	3.5	4.0	120
	32	5	12	0	3.5	2	6.5	3.6	56
	33	7	12	4	3.5	2	6.5	3.6	124
	34	8	15	8	3.5	10	6.5	3.6	56
	35	10	15	12	3.5	10	6.5	3.6	124
	36	11	18	0	6.5	2	9.5	3.6	56
	37	13	18	4	6.5	2	9.5	3.6	124
	38	14	21	8	6.5	10	9.5	3.6	56
	39	16	21	12	6.5	10	9.5	3.6	124

Fuente: Elaboración propia.

Se describe las características y propiedades mecánicas de los elementos en la tabla 28. Dónde se observa la rigidez axial (EA) y la longitud (L) de la diagonal equivalente. Las propiedades de vigas y columnas siguen siendo las mismas del pórtico sin disipadores.

Tabla 28: Propiedades mecánicas de columnas, vigas y diagonales equivalentes.

Elemento	E	G	b	h	A	I	β	GA	Elo	\emptyset	EA	L
	T/m2	T/m2	m	m	m2	m4	-	T	T.m2	-	T	m
Columnas	2173710	869484	0.35	0.35	0.1225	0.0013	1.2	106512	2718	0.03	266279	3.5
Vigas	2173710	869484	0.25	0.5	0.125	0.0026	1.2	108686	5661	0.19	271714	2
Diagonal equivalente	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0	13675	4.03

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 29 se muestra los grados de libertad globales para el ensamblaje de la matriz global de la estructura. La fila representa al elemento y las columnas a su grado de libertad local. El número cero identifican las coordenadas restringidas en los apoyos y en el caso de vigas representa su rigidez axial infinita.

Tabla 29: Grados de libertad global incorporado contraviento – disipador.

GL Local		1	2	3	4	5	6
Columnas	1	0	0	0	1	4	5
	2	0	0	0	1	8	9
	3	0	0	0	1	10	11
	4	0	0	0	1	14	15
	5	1	4	5	2	16	17
	6	1	8	9	2	20	21
	7	1	10	11	2	22	23
	8	1	14	15	2	26	27
	9	2	16	17	3	28	29
	10	2	20	21	3	32	33
	11	2	22	23	3	34	35
	12	2	26	27	3	38	39
Vigas	13	0	4	5	0	6	7
	14	0	6	7	0	8	9
	15	0	8	9	0	10	11
	16	0	10	11	0	12	13
	17	0	12	13	0	14	15
	18	0	16	17	0	18	19
	19	0	18	19	0	20	21
	20	0	20	21	0	22	23
	21	0	22	23	0	24	25
	22	0	24	25	0	26	27
	23	0	28	29	0	30	31
	24	0	30	31	0	32	33
	25	0	32	33	0	34	35
	26	0	34	35	0	36	37
	27	0	36	37	0	38	39
Diagonales equivalente	28	0	0	0	1	6	0
	29	0	0	0	1	6	0
	30	0	0	0	1	12	0

	31	0	0	0	1	12	0
	32	1	4	0	2	18	0
	33	1	8	0	2	18	0
	34	1	10	0	2	24	0
	35	1	14	0	2	24	0
	36	2	16	0	3	30	0
	37	2	20	0	3	30	0
	38	2	22	0	3	36	0
	39	2	26	0	3	36	0

Fuente: Elaboración propia.

Paso 2: Cálculo de la matriz de rigidez local de los disipadores.

Se calculó la matriz de rigidez de los elementos de los pórticos en coordenadas locales con ayuda del programa "local2" que se encuentra en el anexo C2. En la etapa 1 se mostró las matrices de columnas y vigas, a continuación, se muestra la matriz de rigidez de la diagonal equivalente.

$$k_{28} = \begin{vmatrix} 3392.3 & 0 & 0 & -3392 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -3392 & 0 & 0 & 3392.3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{vmatrix} \text{ (T/m)}$$

Paso 3: Cálculo de la matriz de rigidez global de los disipadores.

Se calculó la matriz de rigidez global de los disipadores en coordenadas globales con ayuda del programa "global3" que se encuentra en el anexo C3. En la etapa 1 se mostró las matrices de columnas y vigas, a continuación, mostraremos la matriz de la rigidez de la diagonal equivalente, prestar atención a la descomposición de la rigidez axial en el grado de libertad horizontal y vertical.

$$k_{e28} = \begin{vmatrix} 835 & 1461.3 & 0 & -835 & -1461.3 & 0 \\ 1461.3 & 2557.3 & 0 & -1461.3 & -2557.3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -835 & -1461.3 & 0 & 835 & 1461.3 & 0 \\ -1461.3 & -2557.3 & 0 & 1461.3 & 2557.3 & 0 \end{vmatrix} \text{ (T/m)}$$

$$\left| \begin{array}{cccccc} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{array} \right|$$

Paso 4: Cálculo de la matriz de rigidez global de la estructura.

Se calculó la matriz de rigidez global de los pórticos con diagonales equivalentes con ayuda del programa “estruc4” que se encuentra en el anexo C4. A continuación, se muestra parcialmente la matriz global de la estructura (K) que realmente es una matriz de 39 filas por 39 columnas, que es el número de grados de libertad de la estructura. Las unidades están dadas en toneladas y metros.

$$K = \begin{pmatrix} 15610 & -9310 & 0 & 1750 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -9310 & 18620 & -9310 & -1750 & \dots & 0 & 0 & 0 & -1740 \\ 0 & -9310 & 9310 & 0 & \dots & 0 & 0 & 0 & 1740 \\ 1750 & -1750 & 0 & 174620 & \dots & 0 & 0 & 0 & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 19550 & 0 & -7150 & 7150 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & 0 & -19960 & 7150 & 4320 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & \dots & -7150 & 7150 & 95910 & -7150 \\ 0 & -1740 & 1740 & 0 & \dots & 7150 & 4320 & -7150 & 13500 \end{pmatrix}$$

Paso 5: Cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura.

Se realizó la condensación estática de la matriz de rigidez global de la estructura con ayuda del programa “conden5” que se encuentra en el anexo C5. La matriz de rigidez lateral (KL) es cuadrada de 3 filas y 3 columnas debido a los grados de libertad principales.

$$KL = \begin{pmatrix} 14727 & -9127 & 792 \\ -9127 & 16902 & -8286 \\ 792 & -8286 & 7523 \end{pmatrix} \text{ (T/m)}$$

Paso 6: Análisis modal.

Se redujo el sistema pórtico con diagonales equivalentes a un modelo dinámico de masa - resorte y se realizó el análisis modal para los 3 primeros grados de libertad con ayuda del programa “modal1” que se encuentra en el anexo C6. Se desprecia

el peso del sistema contraviento disipador conservando las masas calculadas en etapa 1. A continuación, se muestra la matriz de masa (M), el vector de frecuencias naturales (W), periodos (T) y la matriz con los modos de vibración (ϕ).

$$M = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix} \text{ (T.s}^2\text{/m)}$$

$$W = \begin{vmatrix} 18.49 \\ 54.20 \\ 84.47 \end{vmatrix} \text{ (1/s)}$$

$$T = \begin{vmatrix} 0.34 \\ 0.12 \\ 0.07 \end{vmatrix} \text{ (s)}$$

$$\phi = \begin{vmatrix} 0.195 & 0.379 & -0.261 \\ 0.319 & 0.092 & 0.374 \\ 0.383 & -0.598 & -0.238 \end{vmatrix}$$

Paso 7: Calculo de la matriz de amortiguamiento.

Se construyó la matriz de amortiguamiento del sistema pórtico – contraviento - disipador con ayuda del programa “disipa2” que se muestra en el anexo C11. A continuación, se muestra la rigidez lateral de piso que aporta el sistema contraviento – disipador (kcd), el factor de amortiguamiento del disipador (ξ) y los coeficientes de amortiguamiento de la estructura (C), por seguridad se desprecia el factor de amortiguamiento del pórtico de 0.05.

$$kcd = \begin{vmatrix} 6785 \\ 1303 \\ 50 \end{vmatrix} \text{ (T/m)}$$

$$\begin{vmatrix} 0.36 \end{vmatrix}$$

$$\xi = \begin{vmatrix} 0.36 \\ 0.36 \end{vmatrix}$$

$$C = \begin{vmatrix} 71.87 & 0 & 0 \\ 0 & 33.06 & 0 \\ 0 & 0 & 5.54 \end{vmatrix} \text{ (T.s/m)}$$

Paso 8: Escalamiento del sismo de diseño.

Se determinó el factor de escalamiento al sismo de diseño para el pórtico 1 con disipadores de energía de acuerdo a la norma técnica peruana E030. El resultado se muestra en la tabla 30, donde: (h) es la altura de entrepiso, (dhis y dhi) es el desplazamiento lateral absoluto y relativo de la estructura calculada con el método tiempo – historia, (βh) es la deriva de entrepiso calculada con el método tiempo - historia, (desp y dei) es el desplazamiento lateral absoluto y relativo de la estructura calculada con el método modal – espectral, (βe) es la deriva de entrepiso calculada con el método modal – espectral y (Factor) es el factor de escalamiento que es la relación de las derivas calculadas por ambos métodos ($\beta e/ \beta h$).

Tabla 30: Factor de escalamiento.

PISO	h	dhis	dhi	βh	desp	dei	βe	FACTOR
1	3.5	0.0183	0.0183	0.0052	0.0455	0.0455	0.0130	2.49
2	3	0.0320	0.0137	0.0046	0.0766	0.0311	0.0104	2.27
3	3	0.0388	0.0068	0.0023	0.0932	0.0166	0.0055	2.44
							MAYOR	2.486

Fuente: Elaboración propia.

Se muestra en la figura 33 el acelerograma completo del sismo de Lima 17/10/66 componente Norte – Sur, perteneciente a un sismo de 8.1 Mw de magnitud. Tiene una aceleración máxima de 268.24 cm/s². Las aceleraciones de este registro fueron multiplicadas por el factor de escalamiento para encontrar el sismo de diseño con el cual se comprobó la efectividad de los disipadores de material de fluencia tipo TADAS.

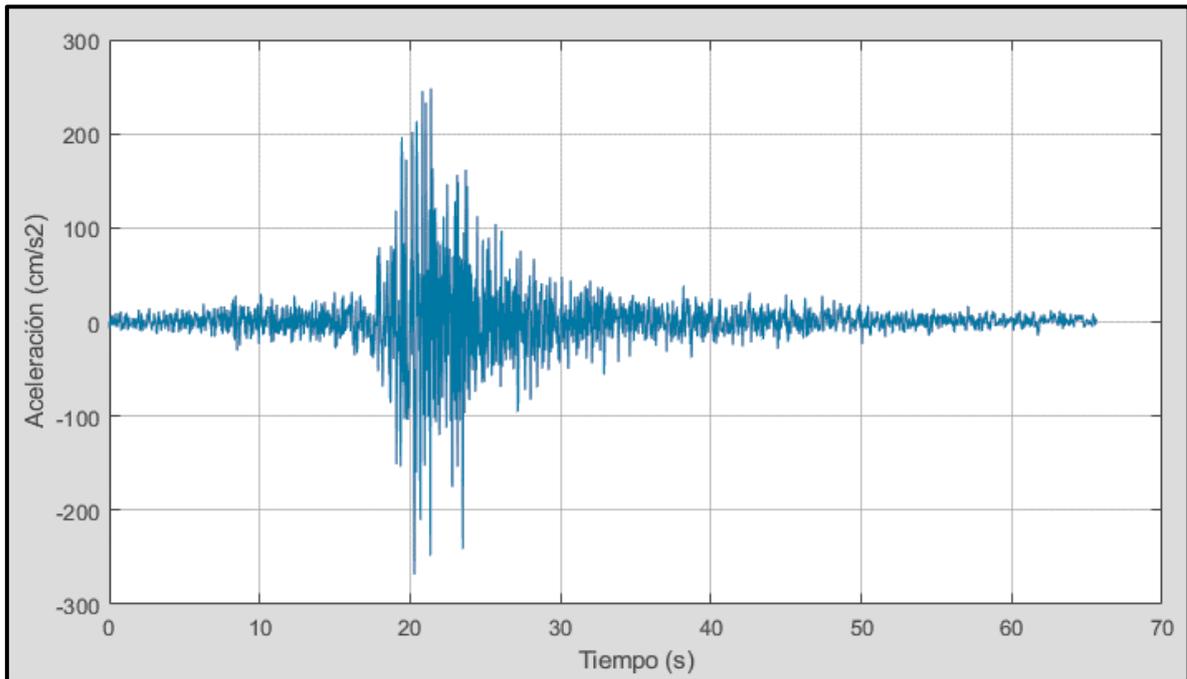


Figura 33: Acelerograma del sismo de lima
Fuente: Elaboración propia, 2021.

En la figura 34 se muestra los espectros de respuesta para el sismo de Lima 17/10/66 con distintos factores de amortiguamiento, que se calculó con ayuda del programa “espectro” que se encuentra en los anexos C14 y C15.

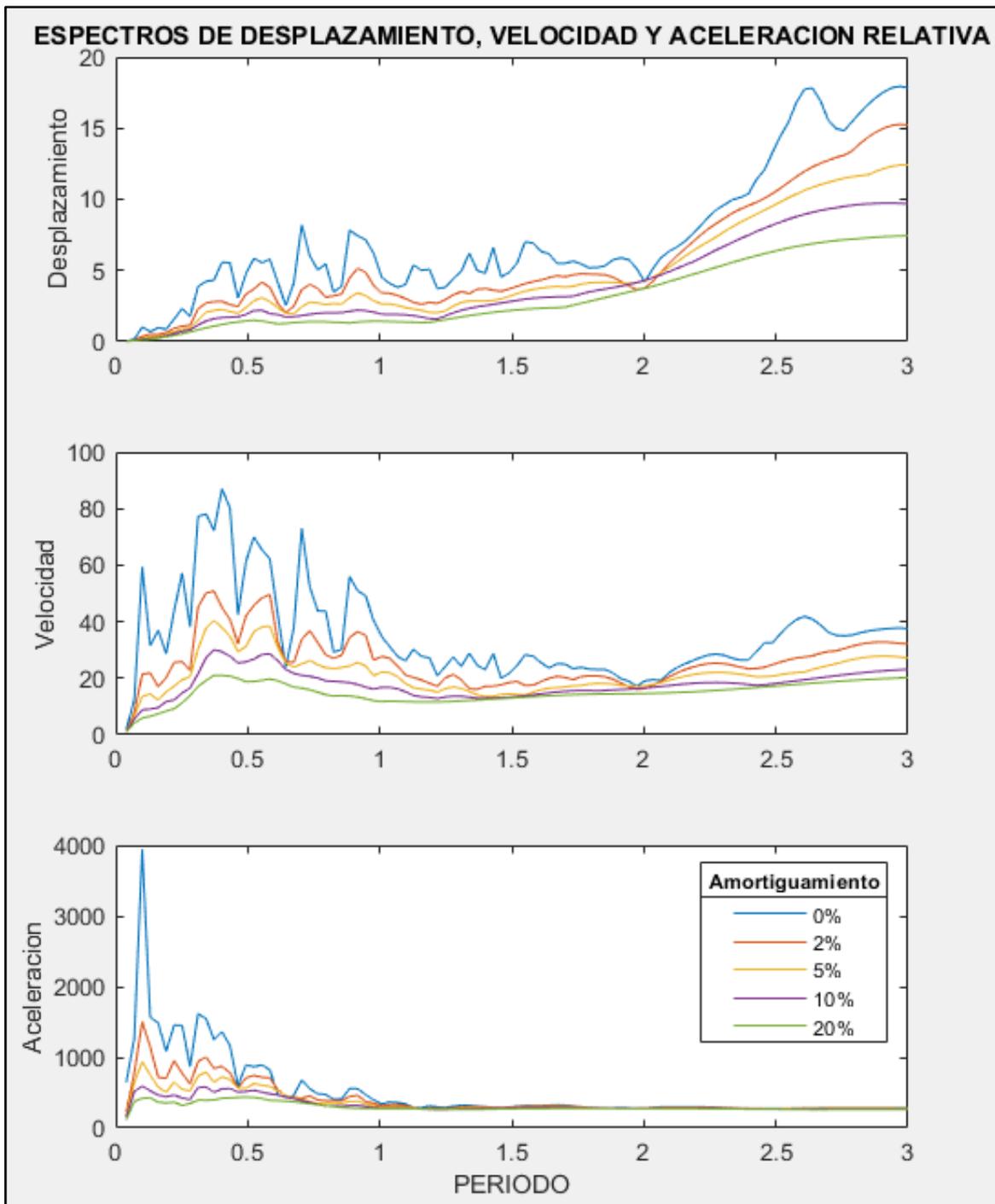


Figura 34: Espectros de respuesta para el sismo de Lima
Fuente: Elaboración propia, 2021.

Paso 9: Cálculo de la respuesta en el tiempo.

Finalizando con la etapa 3, se realizó el análisis Tiempo - historia de los pórticos con diagonales equivalente con ayuda del programa "histo1" que se encuentra en

el anexo C12, calculando los desplazamientos y distorsiones de entrepiso como se muestra en la tabla 31, donde: (h) es la altura de entrepiso, (d) es el desplazamiento absoluto, (di) es el desplazamiento relativo, (β) es la deriva de entrepiso y (β_{max}) es la deriva máxima especificado por la norma técnica peruana E030 para estructuras de concreto armado. Se observa que los desplazamientos laterales del pórtico fueron atenuados por los disipadores de energía de manera efectiva. El resultado de los pórticos 2 y 3 se muestra en el anexo B4.

Tabla 31: Distorsión de entrepiso del pórtico 1 con disipadores.

				$\beta_{max} =$	0.007
PISO	h	d	di	β	Obs.
1	3.5	0.0157	0.0157	0.0045	Cumple
2	3	0.0251	0.0094	0.0031	Cumple
3	3	0.0308	0.0057	0.0019	Cumple

Fuente: Elaboración propia.

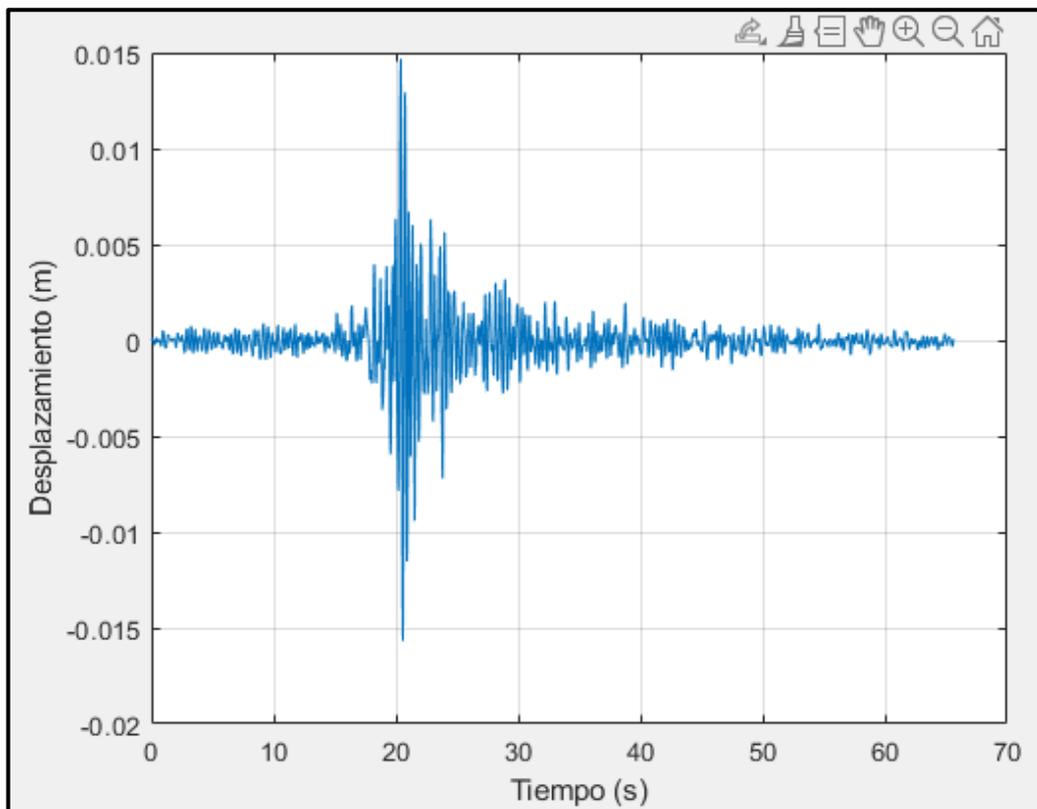


Figura 35: Respuesta en el tiempo del piso 1 del pórtico 1.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

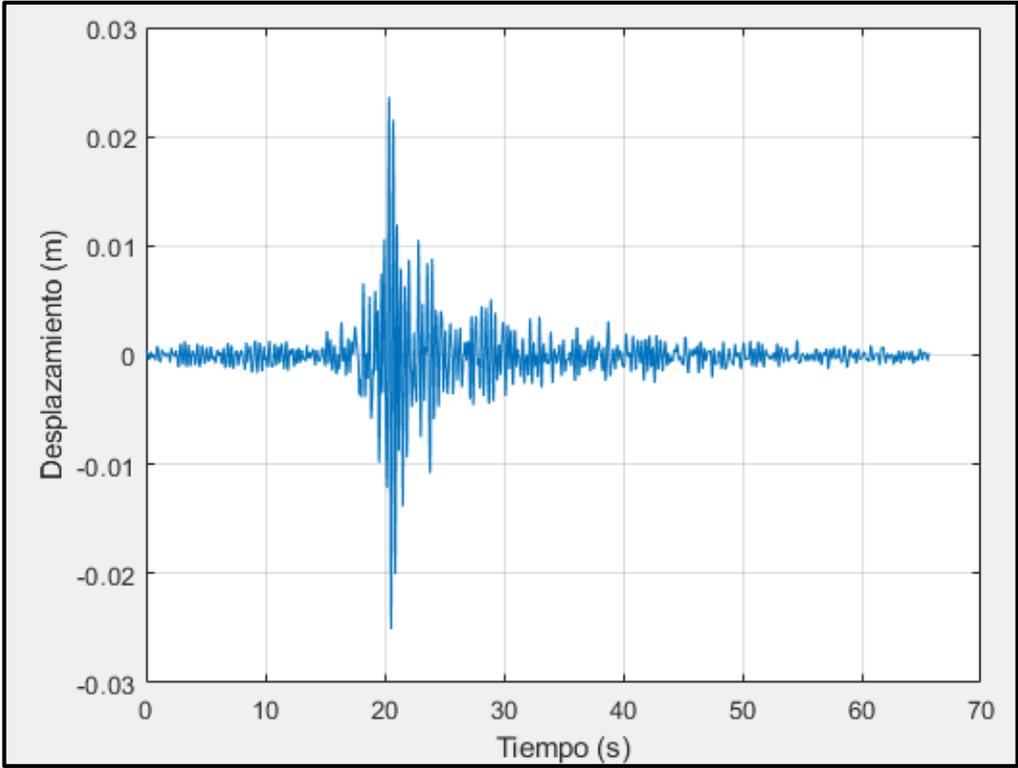


Figura 36: Respuesta en el tiempo del piso 2 del pórtico 1.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

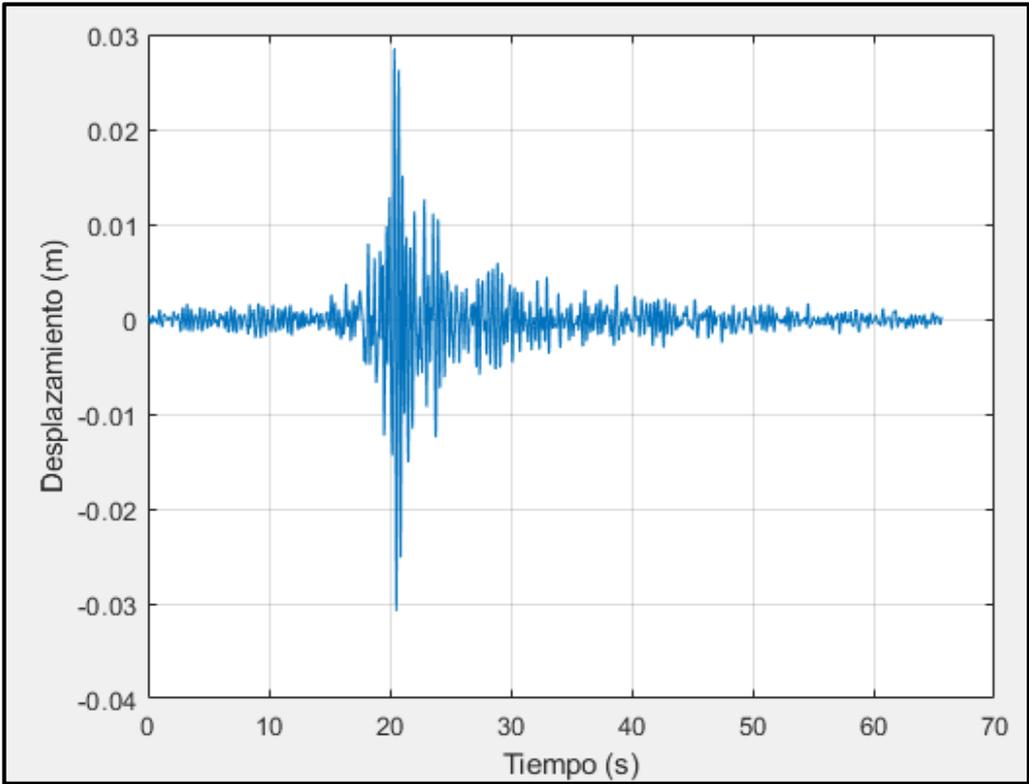


Figura 37: Respuesta en el tiempo del piso 3 del pórtico 1.
Fuente: Elaboración propia, 2021.

4.2. Resultados

4.2.1. Cálculo de la respuesta sísmica sin disipadores de energía TADAS.

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS, analizando 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que el modo fundamental de vibración aumenta de 0.55 a 0.81 y 1.06 respectivamente. De igual forma, la cortante basal aumenta de 102.73 a 153.35 y 179.64 Toneladas, el desplazamiento en el tope aumenta de 0.09 a 0.16 y 0.21 m y la deriva máxima prácticamente se mantiene en un promedio de 0.011 a la altura del segundo piso. Esto significa que la deformación lateral supera el límite permitido por norma peruana, que aumenta con la esbeltez de la estructura y que la zona de mayor esfuerzo es el segundo piso. Estos resultados se muestran en las tablas 32, 33 y 34.

Tabla 32: *Periodos de vibración sin disipadores de energía.*

MODO	PORTICO SIN DISIPADORES		
	1	2	3
1	0.55	0.81	1.06
2	0.18	0.26	0.34
3	0.11	0.14	0.19
4		0.1	0.12
5		0.07	0.09
6		0.06	0.07
7			0.05
8			0.04
9			0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 33: *Cortantes de entrepiso sin disipadores de energía.*

PISO	PORTICOS SIN DISIPADORES		
	1	2	3
1	102.73	153.35	179.64
2	79.04	140.72	170.09
3	40.30	123.34	158.38

4		102.64	144.02
5		74.19	131.34
6		37.60	114.07
7			93.50
8			67.85
9			35.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 34: *Desplazamiento absoluto inelástico y deriva de entrepiso sin disipadores de energía.*

PISO	PORTICOS SIN DISIPADORES					
	1		2		3	
	d	β	d	β	d	β
1	0.05	0.013	0.03	0.010	0.03	0.007
2	0.08	0.010	0.07	0.012	0.06	0.011
3	0.09	0.006	0.10	0.011	0.09	0.011
4			0.13	0.008	0.12	0.010
5			0.15	0.006	0.15	0.009
6			0.16	0.004	0.17	0.007
7					0.19	0.006
8					0.20	0.004
9					0.21	0.003

Fuente: Elaboración propia.

4.2.2. Pre diseño de disipadores de energía TADAS.

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el pre diseño de los disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado, analizando 2 sistemas contraviento – disipador por piso en 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que la rigidez lateral de los pórticos aumenta en un promedio de 218, 160 y 148% respectivamente. Además, el parámetro de pre diseño “Alfa” aumenta con la altura de la estructura de 0.25 o 0.50 (alfa impuesto) en el piso 1 a 0.98 en el último piso. Esto significa que la rigidez del sistema contraviento – disipador pierde efectividad en los últimos pisos de la estructura. Estos resultados se muestran en la tabla 35.

Tabla 35: Rigidez de los pórticos sin y con disipadores de energía.

PORTICO	PISO	PORTICO SIN DISIPADORES	DISIPADORES	PORTICO CON DISIPADORES	INCREMENTO RIGIDEZ	PROMEDIO	$\alpha =$ Km/KL
		km	kcd	KL			
		T/m	T/m	T/m			
1	1	2258	6785	9042	301	118	0.25
	2	2542	1303	3844	51		0.66
	3	2428	50	2478	2		0.98
2	1	4432	3943	8375	89	60	0.53
	2	3866	3048	6914	79		0.56
	3	3830	3862	7692	101		0.50
	4	4057	3031	7088	75		0.57
	5	3946	527	4474	13		0.88
	6	3357	66	3424	2		0.98
3	1	6963	6652	13615	96	48	0.51
	2	5017	5182	10199	103		0.49
	3	4714	4764	9478	101		0.50
	4	4738	3921	8658	83		0.55
	5	4938	1053	5991	21		0.82
	6	5537	791	6328	14		0.87
	7	5666	528	6195	9		0.91
	8	5385	66	5451	1		0.99
	9	4150	66	4216	2		0.98

Fuente: Elaboración propia.

4.2.3. Cálculo de la respuesta sísmica con disipadores de energía TADAS

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS, analizando 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que el primer modo de vibración aumenta de 0.34 a 0.64 y 0.92 respectivamente. De igual forma, la cortante máxima aumenta de 53.74 a 57.39 y 97.74 Toneladas, el desplazamiento en el tope aumenta de 0.03 a 0.06 y 0.12 m y la deriva máxima prácticamente se mantiene en 0.004, 0.004 y 0.007. Esto significa que la deformación lateral de los pórticos se redujo por debajo del límite impuesto por la norma peruana, de acuerdo

a la disposición de los sistemas contraviento – disipador, Estos resultados se muestran en las tablas 36, 37 y 38.

Tabla 36: *Periodos de vibración con disipadores de energía.*

MODO	PORTICO CON DISIPADORES		
	1	2	3
1	0.34	0.64	0.92
2	0.12	0.21	0.31
3	0.07	0.12	0.17
4		0.08	0.11
5		0.06	0.08
6		0.05	0.06
7			0.05
8			0.04
9			0.04

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 37: *Cortantes de entrepiso con disipadores de energía.*

PISO	PORTICO CON DISIPADORES		
	1	2	3
1	23.03	39.95	56.79
2	53.74	36.77	56.69
3	38.41	38.29	54.43
4		36.49	58.97
5		57.39	97.74
6		37.60	88.87
7			76.70
8			63.65
9			35.69

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 38: Desplazamiento absoluto inelástico y deriva de entrepiso con disipadores de energía.

PISO	PORTICO CON DISIPADORES					
	1		2		3	
	d	β	d	β	d	β
1	0.02	0.004	0.01	0.003	0.02	0.004
2	0.03	0.003	0.02	0.003	0.03	0.006
3	0.03	0.002	0.03	0.004	0.05	0.005
4			0.05	0.004	0.07	0.006
5			0.06	0.004	0.08	0.006
6			0.06	0.003	0.10	0.005
7					0.12	0.007
8					0.14	0.006
9					0.15	0.004

Fuente: Elaboración propia.

V. DISCUSIONES

5.1. Cálculo de la respuesta sísmica sin disipadores de energía TADAS.

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS, encontrando incompatibilidades con los resultados de Maza (2009). El objetivo general del autor fue determinar los efectos de la inserción de los disipadores de energía sísmica metálicos de fluencia en el comportamiento estructural de edificaciones sociales realizando un análisis espectral. Encontró que el mayor desplazamiento relativo de entrepiso, del edificio sin disipadores, se da en el último piso con 0.024 m, contradiciendo lo que muestra sus derivas, que la mayor deformación se da en el piso 3 con 0.003 de distorsión. Además, que con estos resultados los límites estarían dentro del límite establecido por la norma técnica peruana E030 y no tendría razones para realizar el reforzamiento de la estructura con disipadores de energía. Por el contrario, nuestros resultados señalan que las deformaciones laterales de los pórticos de concreto armado de edificaciones pre dimensionadas con las técnicas actuales sufren deformaciones por encima del límite como se muestra en las tablas 39 y 40. En consecuencia, el edificio amerita su reforzamiento con disipadores de energía sísmica.

Tabla 39: *Desplazamiento relativo de entrepiso sin disipadores de energía, Maza Vs Quispe.*

Pisos	Maza (2019)	Avila y Quispe (2021)
1	0.003	0.035
2	0.008	0.036
3	0.014	0.032
4	0.019	0.025
5	0.024	0.019
6		0.011

Fuente: Elaboración propia.

Tabla 40: Derivas de entrepiso sin disipadores de energía, Maza vs Quispe.

Pisos	Maza (2019)	¿Amerita disipadores?	Avila y Quispe (2021)	¿Amerita disipadores?
1	0.002	No	0.010	Si
2	0.002	No	0.012	Si
3	0.003	No	0.011	Si
4	0.002	No	0.008	Si
5	0.002	No	0.006	No
6			0.004	No

Fuente: Elaboración propia.

5.2. Pre diseño de disipadores de energía TADAS.

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el pre diseño de los disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado, encontrando asociación con los resultados de Nangallasmu y Tena (2017) en el cálculo del periodo fundamental de vibración como se muestra en la tabla 41. El objetivo general del autor fue encontrar las diferencias entre el análisis plano y en 3 dimensiones del modelado de disipadores de material de fluencia en estructuras de concreto armado de 3 y 20 pisos de altura. Impuso los parámetros de pre diseño Alfa, Beta y Teta en valores de 0.25, 0.50 y 40°, siendo estos valores los más óptimos para el desempeño del sistema contraviento disipador como propone el autor en su investigación.

Tabla 41: Parámetros iniciales de pre diseño y periodo fundamental de vibración, Nangallasmú vs Quispe.

AUTOR	PORTICO	PARAMETROS DE PREDISEÑO DISIPADOR			PERIODO
		α	β	θ	T (s)
Avila y Quispe (2021)	3 PISOS (1)	0.25	0.5	55	0.34
Nangallasmu y Tena (2017)	5 PISOS	0.25	0.5	40	0.63
Avila y Quispe (2021)	6 PISOS (2)	0.5	0.25	55	0.64
Avila y Quispe (2021)	9 PISOS (3)	0.5	0.25	55	0.92
Nangallasmu y Tena (2017)	20 PISOS	0.25	0.5	40	1.99

Fuente: Elaboración propia.

5.3. Cálculo de la respuesta sísmica con disipadores de energía TADAS

Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS, encontrando asociación con los resultados de Cano (2020) en el cálculo del desplazamiento en el tope de estructuras de distintas alturas. El objetivo general del autor fue realizar la evaluación del coeficiente de disipación de energía R, en edificaciones de concreto reforzado con disipadores de material de fluencia tipo TADAS. Encontró que los desplazamientos laterales del techo de las estructuras de 4, 8,12 y 18 pisos aumenta con la altura de 0.077 a 0.106, 0.165 y 0.242 m como se muestra en la tabla 42. Esto significa que la deformación lateral del edificio aumenta en proporción a su tamaño como se concluye en la presente investigación.

Tabla 42: *Desplazamiento en el tope, Cano vs Quispe.*

PORTICO	DESPLAZAMIENTO EN EL TOPE (m)	
	CANO (2020)	AVILA y QUISPE (2021)
3 PISOS	-	0.03
4 PISOS	0,077	-
6 PISOS	-	0.06
8 PISOS	0,106	-
9 PISOS	-	0.15
12 PISOS	0,165	-
16 PISOS	0,242	-

Fuente: Elaboración propia.

VI. CONCLUSIONES

La presente investigación “Aplicación de programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS en Perú, 2021” tuvo como objetivo principal: Evaluar los resultados de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores TADAS. Para este propósito se utilizaron 2 métodos de análisis sísmico, superposición modal – espectral para los pórticos sin disipadores y Tiempo – historia para los pórticos con disipadores de energía. Se observó, que las derivas se reducen con el acoplamiento de los disipadores de 0.011 a 0.005 en promedio por debajo del límite impuesto por la norma peruana según la disposición de los sistemas contraviento – disipador. Se confirma nuestra hipótesis general que: Los programas de computación tiene resultados confiables en el análisis sísmico de pórticos de concreto armado con disipadores de energía tipo TADAS.

1. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS, analizando 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que el modo fundamental de vibración aumenta de 0.55 a 0.81 y 1.06 respectivamente. De igual forma, la cortante basal aumenta de 102.73 a 153.35 y 179.64 Toneladas, el desplazamiento en el tope aumenta de 0.09 a 0.16 y 0.21 m y la deriva máxima prácticamente se mantiene en un promedio de 0.011 a la altura del segundo piso. Esto significa que la deformación lateral supera el límite permitido por norma peruana, que aumenta con la esbeltez de la estructura y que la zona de mayor esfuerzo es el segundo piso. Estos resultados se muestran en las tablas 32, 33 y 34. Se concluye que los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS.

2. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el pre diseño de los disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado, analizando 2 sistemas contraviento – disipador por piso en 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que la rigidez lateral de los pórticos aumenta en un promedio de 218, 160 y 148% respectivamente. Además, el parámetro de pre diseño “Alfa” aumenta con la altura de la estructura de 0.25 o 0.50 (alfa impuesto) en el piso 1 a

0.98 en el último piso. Esto significa que la rigidez del sistema contraviento – disipador pierde efectividad en los últimos pisos de la estructura. Este resultado se muestra en la tabla 35. Se concluye que los programas de computación tienen resultados confiables en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado.

3. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS, analizando 3 pórticos de concreto armado de 3, 6 y 9 pisos, obteniendo que el primer modo de vibración aumenta de 0.34 a 0.64 y 0.92 respectivamente. De igual forma, la cortante máxima aumenta de 53.74 a 57.39 y 97.74 Toneladas, el desplazamiento en el tope aumenta de 0.03 a 0.06 y 0.12 m y la deriva máxima prácticamente se mantiene en 0.004, 0.004 y 0.007. Esto significa que la deformación lateral de los pórticos se redujo por debajo del límite impuesto por la norma peruana, de acuerdo a la disposición de los sistemas contraviento – disipador. Estos resultados se muestran en las tablas 36, 37 y 38. Se concluye que los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS.

VII. RECOMENDACIONES

1. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS, obteniendo que la deformación lateral supera el límite permitido por norma peruana, que la deformación aumenta con la esbeltez de la estructura y que los esfuerzos se concentran en el segundo nivel. Para resultados más realistas, el cálculo de la respuesta sísmica se puede mejorar con algoritmos que realicen la modelación discreta de los elementos, como se hizo para el cálculo de la rigidez, a cambio del modelo dinámico simplificado. Se recomienda el estudio descriptivo: Métodos numéricos para el modelamiento de estructuras sismo resistentes.

2. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el pre diseño de los disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado, obteniendo que la rigidez del sistema contraviento – disipador pierde efectividad en los últimos pisos de la estructura. Según Tena y Nangallasmu (2013 y 2015) los parámetros óptimos de α y β varían en función de la elevación de 0.25 a 0.75 y no 0.98 como encontramos en los últimos pisos. Recomendamos para las siguientes investigaciones prestar mayor atención a estos parámetros iniciales de pre diseño de disipadores de material de fluencia.

3. Se evaluó los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS, obteniendo que la deformación lateral de los pórticos se redujo por debajo del límite impuesto por la norma peruana, de acuerdo a la disposición de los sistemas contraviento – disipador. Se recomienda realizar más estudios que revelen las bondades de los disipadores de energía de material de fluencia, como, por ejemplo, el tipo ADAS que cambia respecto al dispositivo estudiado en su forma de X y que está totalmente empotrado en sus extremos. También existen los disipadores viscosos no lineales, los viscoelásticos sólidos, los disipadores por fricción, entre otros.

REFERENCIAS

- AGUIAR, Roberto. , 2012. *Dinámica de estructuras con CEINCI-LAB*. 2da ed. Ecuador: Escuela Politécnica del Ejército. ISBN 978-9978-301-02-9.
Disponible en:
https://www.researchgate.net/publication/279914782_Dinamica_de_Estructuras_con_CEINCI-LAB.
- AGUIAR, Roberto. Análisis de disipadores TADAS utilizados en reforzamiento de hospital rodríguez zambrano de manta. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 2018. 1-28pp. Disponible en:
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/701>.
- AGUIAR, Roberto, CAGUA, Brian, ROMERO, Jorge y PILATASIG, Julia. Dos modelos numéricos de análisis sísmico de estructuras con disipadores TADAS. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 2019. 405-426pp. Disponible en:
<https://journal.espe.edu.ec/ojs/index.php/riie/article/view/1575>.
- AGUIAR, Roberto, RODRIGUEZ, Michael y MORA, David. , 2016. *Análisis sísmico de estructuras con disipadores de energía ADAS o TADAS*. España: Editor A.H. Barbat: MONOGRAFÍAS DE INGENIERÍA SÍSMICA. ISBN 9788494507755. Disponible en:
<https://www.researchgate.net/publication/303256522>.
- AMATECO, Tomás, ESCOBAR, José y DYER, Juan. Modelo histerético de materiales con deterioro de rigidez y resistencia. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural MODELO*, 2014. 14pp.
- CANO, Hugo. *Evaluación del coeficiente de disipación de energía R, en edificaciones de concreto reforzado con disipadores histeréticos metálicos triangulares tipo TADAS, ubicados en zona de amenaza sísmica alta. Tesis (Obtención del grado de Magister)*. 2020. 210 p. Disponible en:
<https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/78657>.
- ESPINOZA, Ciro. , 2010. *Metodología de la Investigación Tecnológica*. Perú: s.n. ISBN 978-612-00-0222-3.
- HERNÁNDEZ, Roberto, FERNÁNDEZ, Carlos y BAPTISTA, Maria del Pilar. , 2014. *Metodología de la investigación*. 6ta ed. Mé. México: McGraw-Hill/Interamericana Editores. ISBN 9781456223960. Disponible en:

- <https://www.uca.ac.cr/wp-content/uploads/2017/10/Investigacion.pdf>.
- HURTADO, Jorge. , 2020. *Análisis matricial de estructuras, Curso con MATLAB*. Colombia: Universidad Nacional de Colombia. Disponible en:
<http://www.bdigital.unal.edu.co/9863/1/jorgeeduardohurtadogomez.2013.pdf>.
- MAZA, Arturo. *Efectos del disipador sísmico metálico de fluencia en estructuras de edificaciones sociales en la ciudad de Huaraz. Tesis (Obtención del grado de Doctor)*. 2019. 174 p. Disponible en:
<http://repositorio.unfv.edu.pe/handle/UNFV/3288>.
- MEDINA, Anthony. *Análisis comparativo de desempeño sísmico entre el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales y los Análisis comparativo de desempeño sísmico entre el sistema de reforzamiento convencional con muros estructurales y los sistemas de disip.* 2017. 161 p. Disponible en: <https://repositorio.ucv.edu.pe>.
- NANGULLASMÚ, Horacio y TENA, Arturo. Modelado de disipadores histeréticos de energía en estructuras de concreto reforzado. diferencias entre análisis en el plano y en tres dimensiones. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*, 2017. 135-162pp.
- PURCA, Ronald. *Sistema de protección sísmica mediante el uso de disipadores metálicos de fluencia por corte (obtención del título profesional)*. 2016. 217 p. Disponible en: <http://repositorio.unsa.edu.pe/handle/UNSA/2384>.
- SEGOVIA, Juan. *Diseño de disipadores de energía metálicos para una edificación de baja altura de concreto armado. Tesis (Obtención del grado de Magister)*. 2016. 100 p. Disponible en:
<http://tesis.pucp.edu.pe/repositorio/handle/20.500.12404/7120>.
- SOONG, TT y DARGUSH, GF. , 1997. *Passive Energy Dissipation Systems in Structural Engineering*. Wiley. Chichester: s.n.
- SUPO, Jose. , 2015. *Cómo empezar una tesis*. 1° ed. Perú: Bioestadístico EIRL. ISBN 9781505894196.
- TENA, Arturo. , 2005. *Análisis de Estructuras con métodos matriciales*. México: Editorial, LIMUSA, S.A. de C.V. grupo noriega editores. ISBN 978-968-18-6980-9.
- TENA, Arturo y NANGULLASMÚ, Horacio. Diseño sísmico de marcos no dúctiles de concreto reforzado con disipadores de energía histeréticos :definición de

parámetros de diseño. *Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil*, 2013. 275-300pp. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/296528970.pdf>.

TENA, Arturo y NANGULLASMÚ, Horacio. Assessment of seismic design parameters of moment resisting RC braced frames with metallic fuses. *Engineering Structures*, 2015. 138-153pp. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141029615002138>.

TSAI, K.C., CHEN, H.M., HONG, C.P. y SU, Y.F. Design of steel triangular plate energy absorbers for seismic-resistant construction. *Earthquake spectra*, 1993. 505-528pp. Disponible en: <https://doi.org/10.1193/1.1585727>.

VILLARREAL, Genner y OVIEDO, Ricardo. , 2009. *Edificaciones con Disipadores de Energía*. Perú: s.n.

ZAGAL, Dennys. *Análisis de la influencia de disipadores de energía en la respuesta modal de estructuras aporricadas de hormigón armado (obtención del título profesional)*. 2019. 1-150 p. Disponible en: <http://repositorio.utmachala.edu.ec/handle/48000/15069>.

ARIAS, Fidas. El proyecto de investigación. 6.ª ed. Caracas: República Bolivariana de Venezuela, Editorial Episteme, 2012. 143 pp.

ISBN: 9800785299

NORMAS

American Society of Civil Engineers ASCE 41. Evaluación sísmica y modernización de edificios existentes, 2014. 555 pp.

Norma Técnica Peruana E030. Diseño sismo resistente, 2018. 80 pp.

Norma Técnica Peruana E020. Cargas, 2006. 8 pp.

Norma Técnica Peruana E060. Concreto armado, 2009. 205 pp.

ANEXO

ANEXO A. DESARROLLO

A1. Coordenadas en los nudos y posición de cada elemento.

PORTICO 1									PORTICO 2									PORTICO 3								
Elemento	Nudo	Nudo	Xi	Yi	Xj	Yj	L	t	Elemento	Nudo	Nudo	Xi	Yi	Xj	Yj	L	t	Elemento	Nudo	Nudo	Xi	Yi	Xj	Yj	L	t
	Inicial	Final	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(°)		Inicial	Final	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)		(°)	Inicial	Final	(m)	(m)	(m)	(m)	(m)
1	1	5	0	0	0	3.5	3.5	90	1	1	5	0	0	0	3.5	3.5	90	1	1	5	0	0	0	3.5	3.5	90
2	2	6	4	0	4	3.5	3.5	90	2	2	6	4	0	4	3.5	3.5	90	2	2	6	4	0	4	3.5	3.5	90
3	3	7	8	0	8	3.5	3.5	90	3	3	7	8	0	8	3.5	3.5	90	3	3	7	8	0	8	3.5	3.5	90
4	4	8	12	0	12	3.5	3.5	90	4	4	8	12	0	12	3.5	3.5	90	4	4	8	12	0	12	3.5	3.5	90
5	5	9	0	3.5	0	6.5	3	90	5	5	9	0	3.5	0	6.5	3	90	5	5	9	0	3.5	0	6.5	3	90
6	6	10	4	3.5	4	6.5	3	90	6	6	10	4	3.5	4	6.5	3	90	6	6	10	4	3.5	4	6.5	3	90
7	7	11	8	3.5	8	6.5	3	90	7	7	11	8	3.5	8	6.5	3	90	7	7	11	8	3.5	8	6.5	3	90
8	8	12	12	3.5	12	6.5	3	90	8	8	12	12	3.5	12	6.5	3	90	8	8	12	12	3.5	12	6.5	3	90
9	9	13	0	6.5	0	9.5	3	90	9	9	13	0	6.5	0	9.5	3	90	9	9	13	0	6.5	0	9.5	3	90
10	10	14	4	6.5	4	9.5	3	90	10	10	14	4	6.5	4	9.5	3	90	10	10	14	4	6.5	4	9.5	3	90
11	11	15	8	6.5	8	9.5	3	90	11	11	15	8	6.5	8	9.5	3	90	11	11	15	8	6.5	8	9.5	3	90
12	12	16	12	6.5	12	9.5	3	90	12	12	16	12	6.5	12	9.5	3	90	12	12	16	12	6.5	12	9.5	3	90
13	5	6	0	3.5	4	3.5	4	0	13	13	17	0	9.5	0	12.5	3	90	13	13	17	0	9.5	0	12.5	3	90
14	6	7	4	3.5	8	3.5	4	0	14	14	18	4	9.5	4	12.5	3	90	14	14	18	4	9.5	4	12.5	3	90
15	7	8	8	3.5	12	3.5	4	0	15	15	19	8	9.5	8	12.5	3	90	15	15	19	8	9.5	8	12.5	3	90
16	9	10	0	6.5	4	6.5	4	0	16	16	20	12	9.5	12	12.5	3	90	16	16	20	12	9.5	12	12.5	3	90
17	10	11	4	6.5	8	6.5	4	0	17	17	21	0	12.5	0	15.5	3	90	17	17	21	0	12.5	0	15.5	3	90
18	11	12	8	6.5	12	6.5	4	0	18	18	22	4	12.5	4	15.5	3	90	18	18	22	4	12.5	4	15.5	3	90
19	13	14	0	9.5	4	9.5	4	0	19	19	23	8	12.5	8	15.5	3	90	19	19	23	8	12.5	8	15.5	3	90
20	14	15	4	9.5	8	9.5	4	0	20	20	24	12	12.5	12	15.5	3	90	20	20	24	12	12.5	12	15.5	3	90
21	15	16	8	9.5	12	9.5	4	0	21	21	25	0	15.5	0	18.5	3	90	21	21	25	0	15.5	0	18.5	3	90
									22	22	26	4	15.5	4	18.5	3	90	22	22	26	4	15.5	4	18.5	3	90

23	23	27	8	15.5	8	18.5	3	90	23	23	27	8	15.5	8	18.5	3	90
24	24	28	12	15.5	12	18.5	3	90	24	24	28	12	15.5	12	18.5	3	90
25	5	6	0	3.5	4	3.5	4	0	25	25	29	0	18.5	0	21.5	3	90
26	6	7	4	3.5	8	3.5	4	0	26	26	30	4	18.5	4	21.5	3	90
27	7	8	8	3.5	12	3.5	4	0	27	27	31	8	18.5	8	21.5	3	90
28	9	10	0	6.5	4	6.5	4	0	28	28	32	12	18.5	12	21.5	3	90
29	10	11	4	6.5	8	6.5	4	0	29	29	33	0	21.5	0	24.5	3	90
30	11	12	8	6.5	12	6.5	4	0	30	30	34	4	21.5	4	24.5	3	90
31	13	14	0	9.5	4	9.5	4	0	31	31	35	8	21.5	8	24.5	3	90
32	14	15	4	9.5	8	9.5	4	0	32	32	36	12	21.5	12	24.5	3	90
33	15	16	8	9.5	12	9.5	4	0	33	33	37	0	24.5	0	27.5	3	90
34	17	18	0	12.5	4	12.5	4	0	34	34	38	4	24.5	4	27.5	3	90
35	18	19	4	12.5	8	12.5	4	0	35	35	39	8	24.5	8	27.5	3	90
36	19	20	8	12.5	12	12.5	4	0	36	36	40	12	24.5	12	27.5	3	90
37	21	22	0	15.5	4	15.5	4	0	37	5	6	0	3.5	4	3.5	4	0
38	22	23	4	15.5	8	15.5	4	0	38	6	7	4	3.5	8	3.5	4	0
39	23	24	8	15.5	12	15.5	4	0	39	7	8	8	3.5	12	3.5	4	0
40	25	26	0	18.5	4	18.5	4	0	40	9	10	0	6.5	4	6.5	4	0
41	26	27	4	18.5	8	18.5	4	0	41	10	11	4	6.5	8	6.5	4	0
42	27	28	8	18.5	12	18.5	4	0	42	11	12	8	6.5	12	6.5	4	0
									43	13	14	0	9.5	4	9.5	4	0
									44	14	15	4	9.5	8	9.5	4	0
									45	15	16	8	9.5	12	9.5	4	0
									46	17	18	0	12.5	4	12.5	4	0
									47	18	19	4	12.5	8	12.5	4	0
									48	19	20	8	12.5	12	12.5	4	0
									49	21	22	0	15.5	4	15.5	4	0
									50	22	23	4	15.5	8	15.5	4	0
									51	23	24	8	15.5	12	15.5	4	0

52	25	26	0	18.5	4	18.5	4	0
53	26	27	4	18.5	8	18.5	4	0
54	27	28	8	18.5	12	18.5	4	0
55	29	30	0	21.5	4	21.5	4	0
56	30	31	4	21.5	8	21.5	4	0
57	31	32	8	21.5	12	21.5	4	0
58	33	34	0	24.5	4	24.5	4	0
59	34	35	4	24.5	8	24.5	4	0
60	35	36	8	24.5	12	24.5	4	0
61	37	38	0	27.5	4	27.5	4	0
62	38	39	4	27.5	8	27.5	4	0
63	39	40	8	27.5	12	27.5	4	0

A2. Propiedades mecánicas de columnas y vigas.

PORTICO 1

# Elemento	E	G	b	h	A	I	β	GA	Elo	\varnothing	EA
	T/m2	T/m2	m	m	m2	m4	Adim.	T	T.m2	Adim.	T
Columnas	2173710	869484	0.35	0.35	0.1225	0.00125	1.2	106512	2718	0.03	266279
Vigas	2173710	869484	0.25	0.5	0.125	0.0026	1.2	108686	5661	0.0469	271714

PORTICO 2

# Elemento	E	G	b	h	A	I	β	GA	Elo	\varnothing	EA
	T/m2	T/m2	m	m	m2	m4	Adim.	T	T.m2	Adim.	T
Columnas	2173710	869484	0.45	0.45	0.2025	0.00342	1.2	176071	7428	0.0496	440176
Vigas	2173710	869484	0.25	0.5	0.125	0.0026	1.2	108686	5661	0.0469	271714

PORTICO 3

# Elemento	E	G	b	h	A	I	β	GA	Elo	\varnothing	EA
	T/m2	T/m2	m	m	m2	m4	Adim.	T	T.m2	Adim.	T
Columnas	2173710	869484	0.55	0.55	0.3025	0.00763	1.2	263019	16576	0.0741	657547
Vigas	2173710	869484	0.25	0.50	0.125	0.00260	1.2	108686	5661	0.0469	271714

A3. Grados de libertad global.

PORTICO 1							PORTICO 2						PORTICO 3										
GL local	1	2	3	4	5	6	GL local	1	2	3	4	5	6	GL local	1	2	3	4	5	6			
Columnas	1	0	0	0	1	4	5	Columnas	1	0	0	0	1	3	3	Columnas	1	0	0	0	1	6	6
	2	0	0	0	1	6	7		2	0	0	0	1	3	3		2	0	0	0	1	6	6
	3	0	0	0	1	8	9		3	0	0	0	1	3	3		3	0	0	0	1	6	6
	4	0	0	0	1	10	11		4	0	0	0	1	3	3		4	0	0	0	1	6	6
	5	1	4	5	2	12	13		5	1	9	3	2	3	3		5	1	6	6	2	6	6
	6	1	6	7	2	14	15		6	1	9	3	2	3	3		6	1	6	6	2	6	6
	7	1	8	9	2	16	17		7	1	9	3	2	3	3		7	1	6	6	2	6	6
	8	1	10	11	2	18	19		8	1	9	3	2	3	3		8	1	6	6	2	6	6
	9	2	12	13	3	20	21		9	2	9	3	3	3	3		9	2	6	6	3	6	6
	10	2	14	15	3	22	23		10	2	9	3	3	3	3		10	2	6	6	3	6	6
	11	2	16	17	3	24	25		11	2	9	3	3	3	3		11	2	6	6	3	6	6
	12	2	18	19	3	26	27		12	2	9	3	3	3	3		12	2	6	6	3	6	6
Vigas	13	0	4	5	0	6	7	13	3	9	3	4	3	3	13	3	6	6	4	6	6		
	14	0	6	7	0	8	9	14	3	9	3	4	3	3	14	3	6	6	4	6	6		
	15	0	8	9	0	10	11	15	3	9	3	4	3	3	15	3	6	6	4	6	6		
	16	0	12	13	0	14	15	16	3	9	3	4	3	3	16	3	6	6	4	6	6		
	17	0	14	15	0	16	17	17	4	9	3	5	3	3	17	4	6	6	5	6	6		
	18	0	16	17	0	18	19	18	4	9	3	5	3	3	18	4	6	6	5	6	6		

	19	0	20	21	0	22	23		19	4	9	3	5	3	3		19	4	6	6	5	6	6
	20	0	22	23	0	24	25		20	4	9	3	5	3	3		20	4	6	6	5	6	6
	21	0	24	25	0	26	27		21	5	9	3	6	3	3		21	5	6	6	6	6	6
									22	5	9	3	6	3	3		22	5	6	6	6	6	6
									23	5	9	3	6	3	3		23	5	6	6	6	6	6
									24	5	9	3	6	3	3		24	5	6	6	6	6	6
									25	0	9	3	0	3	3		25	6	6	6	7	6	6
									26	0	9	3	0	3	3		26	6	6	6	7	6	6
									27	0	9	3	0	3	3		27	6	6	6	7	6	6
									28	0	9	3	0	3	3		28	6	6	6	7	6	6
									29	0	9	3	0	3	3		29	7	6	6	8	6	6
									30	0	9	3	0	3	3		30	7	6	6	8	6	6
									31	0	9	3	0	3	3		31	7	6	6	8	6	6
									32	0	9	3	0	3	3		32	7	6	6	8	6	6
								Vigas	33	0	9	3	0	3	3		33	8	6	6	9	6	6
									34	0	9	3	0	3	3		34	8	6	6	9	6	6
									35	0	9	3	0	3	3		35	8	6	6	9	6	6
									36	0	9	3	0	3	3		36	8	6	6	9	6	6
									37	0	9	3	0	3	3		37	0	6	6	0	6	6
									38	0	9	3	0	3	3		38	0	6	6	0	6	6
									39	0	9	3	0	3	3		39	0	6	6	0	6	6
									40	0	9	3	0	3	3		40	0	6	6	0	6	6
									41	0	9	3	0	3	3		41	0	6	6	0	6	6

	42	0	9	3	0	3	3		42	0	6	6	0	6	6
									43	0	6	6	0	6	6
									44	0	6	6	0	6	6
									45	0	6	6	0	6	6
									46	0	6	6	0	6	6
									47	0	6	6	0	6	6
									48	0	6	6	0	6	6
									49	0	6	6	0	6	6
									50	0	6	6	0	6	6
									51	0	6	6	0	6	6
									52	0	6	6	0	6	6
									53	0	6	6	0	6	6
									54	0	6	6	0	6	6
									55	0	6	6	0	6	6
									56	0	6	6	0	6	6
									57	0	6	6	0	6	6
									58	0	6	6	0	6	6
									59	0	6	6	0	6	6
									60	0	6	6	0	6	6
									61	0	6	6	0	6	6
									62	0	6	6	0	6	6
									63	0	6	6	0	6	6

A4. Cálculo de la matriz de rigidez local de los elementos.

		PORTICO 1						PORTICO 2						PORTICO 3							
Columna de 3.5 m	k1 =	77633	0	0	-	0	0	k1 =	99370	0	0	-99370	0	0	k1 =	187870	0	0	-	0	0
		0	390	683	0	-390	683		0	1249	2186	0	1249	2186		0	4320	7560	0	-4320	7560
		0	683	1599	0	-683	790		0	2186	5150	0	2186	2500		0	7560	17960	0	-7560	8490
		-	0	0	77633	0	0		-99370	0	0	99370	0	0		-	0	0	187870	0	0
		77633	0	0	77633	0	0		0	1249	2186	0	1249	2186		187870	0	0	187870	0	0
		0	-390	-683	0	390	-683		0	-	-	0	-	-		0	-4320	-7560	0	4320	-7560
0	683	790	0	-683	1599	0	2186	2500	0	2186	5150	0	7560	8490	0	-7560	17960				
Columna de 3 m	k5 =	90571	0	0	-	0	0	k5 =	115930	0	0	-	0	0	k5 =	219180	0	0	-	0	0
		0	616	924	0	-616	924		0	1960	2930	0	1960	2930		0	6690	10040	0	-6690	10040
		0	924	1858	0	-924	915		0	2930	5950	0	2930	2860		0	1004	0	0	10040	9530
		-	0	0	90571	0	0		-	0	0	115930	0	0		-	0	20580	0	10040	9530
		90571	0	0	90571	0	0		115930	0	0	115930	0	0		219180	0	0	219180	0	0
		0	-616	-924	0	616	-924		0	-	-	0	-	-		0	-6690	10040	0	6690	10040
0	924	915	0	-924	1858	0	2930	2860	0	2930	5950	0	1004	0	0	10040	20580				
Viga de 4 m	k13 =	67928	0	0	-	0	0	k25 =	67928	0	0	-67928	0	0	k37 =	67928	0	0	-67928	0	0
		0	1014	2028	0	1014	2028		0	1014	2028	0	1014	2028		0	1014	2028	0	-1014	2028
		0	2028	5471	0	-	2640		0	2028	5471	0	-	2640		0	2028	5471	0	-2028	2640
		-	0	0	67928	0	0		-67928	0	0	67928	0	0		-67928	0	0	67928	0	0
		67928	0	0	67928	0	0		0	-	-	0	-	-		0	-	-	0	-	-
		0	1014	2028	0	1014	2028		0	1014	2028	0	1014	2028		0	1014	2028	0	1014	-2028
0	2028	2640	0	-	5471	0	2028	2640	0	-	5471	0	2028	2640	0	-2028	5471				

A5. Cálculo de la matriz de rigidez global de los elementos.

		PORTICO 1							PORTICO 2							PORTICO 3								
Columna de 3.5 m	ke1 =	390	0	-683	-390	0	-683	ke1 =	1249	0	-	-1249	0	-	2186	ke1 =	4320	0	-7560	-4320	0	-7560		
		0	77633	0	0	-	77633		0	99370	0	0	-99370	0	0		18787	0	0	18787	0			
		-683	0	1599	683	0	790		-2186	0	5150	2186	0	2500	-7560		0	17960	7560	0	8490			
		-390	0	683	390	0	683		-1249	0	2186	1249	0	2186	-4320		0	7560	4320	0	7560			
		0	-	0	0	77633	0		0	-99370	0	0	99370	0	0		-	0	0	18787	0			
		0	77633	0	0	77633	0		0	-99370	0	0	99370	0	0		18787	0	0	18787	0			
		-683	0	790	683	0	1599			-2186	0	2500	2186	0	5150			-7560	0	8490	7560	0	17960	
Columna de 3 m	ke5 =	616	0	-924	-616	0	-924	ke5 =	1960	0	-	-1960	0	-	2930	ke5 =	6690	0	-	-6690	0	-	10040	
		0	90571	0	0	-	90571		0	11593	0	0	11593	0	0		21918	0	0	21918	0			
		-924	0	1858	924	0	915		-2930	0	5950	2930	0	2860	-		0	20580	10040	0	9530			
		-616	0	924	616	0	924		-1960	0	2930	1960	0	2930	-6690		0	10040	6690	0	10040			
		0	-	0	0	90571	0		0	-	0	0	11593	0	0		-	0	0	21918	0			
		0	90571	0	0	90571	0		0	11593	0	0	11593	0	0		21918	0	0	21918	0			
		-924	0	915	924	0	1858			-2930	0	2860	2930	0	5950			-6690	0	9530	10040	0	20580	
Viga de 4 m	ke13 =	67928	0	0	-	0	0	k25 =	67928	0	0	-	0	0	k37 =	67928	0	0	-	0	0			
		0	1014	2028	0	-1014	2028		0	1014	2028	0	-1014	2028		0	1014	2028	0	-1014	2028			
		0	2028	5471	0	-2028	2640		0	2028	5471	0	-2028	2640		0	2028	5471	0	-2028	2640			
		-	0	0	67928	0	0		-	0	0	67928	0	0		-	0	0	67928	0	0			
		67928	0	0	67928	0	0		67928	0	0	67928	0	0		67928	0	0	67928	0	0			
		0	-1014	-	0	1014	-		2028	0	-1014	-	0	1014		-	2028	0	-1014	-	0	1014	-	2028
		0	2028	2640	0	-2028	5471		0	2028	2640	0	-2028	5471		0	2028	2640	0	-2028	5471			

A7. Cálculo de la matriz de rigidez lateral de la estructura.

$$\text{PORTICO 1 } KL = \begin{vmatrix} 6889.9 & -4449 & 595.7 \\ -4449 & 7719.7 & -3782.9 \\ 595.7 & -3782.9 & 3228.5 \end{vmatrix}$$

$$\text{PORTICO 2 } KL = \begin{vmatrix} 17351 & -11633 & 2788 & -432 & 63 & 9 \\ -11633 & 18874 & -11914 & 2829 & -436 & 69 \\ 2788 & -11914 & 18925 & -11915 & 2791 & -333 \\ -432 & 2829 & -11915 & 18894 & -11713 & 2282 \\ 63 & -436 & 2791 & -11713 & 17612 & -8306 \\ 9 & 69 & -333 & 2282 & -8306 & 6272 \end{vmatrix}$$

$$\text{PORTICO 3 } KL = \begin{vmatrix} 36128 & -24817 & 7512 & -1411 & 270 & -41 & 16 & -8 & -2 \\ -24817 & 37647 & -25267 & 7594 & -1425 & 277 & -44 & 6 & -3 \\ 7512 & -25267 & 37771 & -25292 & 7607 & -1413 & 266 & -57 & 6 \\ -1411 & 7594 & -25292 & 37781 & -25325 & 7581 & -1371 & 270 & -42 \\ 270 & -1425 & 7607 & -25325 & 37947 & -25145 & 7362 & -1458 & 208 \\ -41 & 277 & -1413 & 7581 & -25145 & 37422 & -25185 & 7561 & -1069 \\ 16 & -44 & 266 & -1371 & 7362 & -25185 & 37375 & -23845 & 5425 \\ -8 & 6 & -57 & 270 & -1458 & 7561 & -23845 & 30922 & -13389 \\ -2 & -3 & 6 & -42 & 208 & -1069 & 5425 & -13389 & 8866 \end{vmatrix}$$

A8. Análisis modal.

	MASA (T.s ² /m)	FRECUENCIA (1/s)	PERIODO (s)	MODOS DE VIBRACIÓN
PORTICO 1	$M = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}$	$W = \begin{vmatrix} 9.03 \\ 27.36 \\ 43.00 \end{vmatrix}$	$T = \begin{vmatrix} 0.70 \\ 0.23 \\ 0.15 \end{vmatrix}$	$\phi = \begin{vmatrix} 0.20 & 0.38 & -0.25 \\ 0.32 & 0.08 & 0.37 \\ 0.38 & -0.36 & -0.25 \end{vmatrix}$
PORTICO 2	$M = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}$	$W = \begin{vmatrix} 104.11 \\ 86.38 \\ 64.59 \\ 43.37 \\ 24.29 \\ 7.77 \end{vmatrix}$	$T = \begin{vmatrix} 0.06 \\ 0.07 \\ 0.10 \\ 0.14 \\ 0.26 \\ 0.81 \end{vmatrix}$	$\phi = \begin{vmatrix} 0.14 & -0.24 & 0.28 & -0.25 & 0.17 & 0.06 \\ -0.23 & 0.25 & -0.05 & -0.19 & 0.28 & 0.13 \\ 0.27 & -0.05 & -0.26 & 0.12 & 0.23 & 0.19 \\ -0.26 & -0.19 & 0.12 & 0.27 & 0.06 & 0.24 \\ 0.18 & 0.27 & 0.22 & 0.05 & -0.15 & 0.27 \\ -0.08 & -0.16 & -0.23 & -0.28 & -0.29 & 0.29 \end{vmatrix}$
PORTICO 3	$M = \begin{vmatrix} 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 3 \end{vmatrix}$	$W = \begin{vmatrix} 157.30 \\ 140.66 \\ 118.08 \\ 93.44 \\ 70.72 \\ 50.41 \\ 32.77 \\ 18.73 \\ 5.94 \end{vmatrix}$	$T = \begin{vmatrix} 0.04 \\ 0.04 \\ 0.05 \\ 0.07 \\ 0.09 \\ 0.12 \\ 0.19 \\ 0.34 \\ 1.06 \end{vmatrix}$	$\phi = \begin{vmatrix} 0.09 & -0.17 & 0.22 & 0.24 & -0.22 & -0.19 & 0.14 & 0.08 & 0.03 \\ -0.16 & 0.23 & -0.19 & -0.06 & -0.09 & -0.20 & 0.23 & 0.18 & 0.07 \\ 0.20 & -0.19 & -0.01 & -0.20 & 0.20 & 0.02 & 0.17 & 0.23 & 0.10 \\ -0.23 & 0.08 & 0.20 & 0.15 & 0.12 & 0.22 & 0.00 & 0.22 & 0.14 \\ 0.23 & 0.07 & -0.21 & 0.13 & -0.18 & 0.15 & -0.17 & 0.15 & 0.17 \\ -0.20 & -0.19 & 0.02 & -0.21 & -0.15 & -0.10 & -0.23 & 0.05 & 0.20 \\ 0.15 & 0.23 & 0.18 & -0.02 & 0.16 & -0.22 & -0.12 & -0.07 & 0.22 \\ -0.09 & -0.17 & -0.21 & 0.22 & 0.17 & -0.06 & 0.07 & -0.18 & 0.23 \\ 0.04 & 0.07 & 0.11 & -0.16 & -0.21 & 0.23 & 0.26 & -0.26 & 0.24 \end{vmatrix}$

A9. Análisis espectral.

	MASA (m/s ²)	PARTICIPACIÓN MODAL	CORTANTE DE ENTREPISO (T)	DESPLAZAMIENTO (m)				
PORTICO 1	Sa =	FPM =	V =	Xe =	9.87	0.30	102.72	0.05
					9.87	0.85	79.04	0.08
					9.87	3.19	40.30	0.09
PORTICO 2	Sa =	FPM =	V =	Xe =	9.87	0.16	153.35	0.03
					9.87	0.33	140.72	0.07
					9.87	0.54	123.34	0.10
					9.87	0.85	102.64	0.13
					9.87	1.50	74.19	0.15
					7.33	4.43	37.60	0.16
PORTICO 3	Sa =	FPM =	V =	Xe =	9.87	0.12	179.64	0.03
					9.87	0.23	170.09	0.06
					9.87	0.35	158.38	0.09
					9.87	0.49	144.02	0.12
					9.87	0.63	131.34	0.15
					9.87	0.84	114.07	0.17
					9.87	1.16	93.50	0.19
					5.60	5.37	67.85	0.20
						35.69	0.21	

ANEXO B. RESULTADOS

B1. Distorsiones de entrepiso sin disipadores.

PORTICO 1				$\beta_{max} =$	0.007		
PISO	h	d	di	β	Obs.	Vu	km
1	3.5	0.05	0.05	0.013	No	102.73	2257.71
2	3	0.08	0.03	0.010	No	79.04	2541.51
3	3	0.09	0.02	0.006	Cumple	40.30	2427.96

PORTICO 2				$\beta_{max} =$	0.007		
PISO	h	d	di	β	Obs.	Vu	km
1	3.5	0.03	0.03	0.010	No	153.35	4432.03
2	3	0.07	0.04	0.012	No	140.72	3865.84
3	3	0.10	0.03	0.011	No	123.34	3830.32
4	3	0.13	0.03	0.008	No	102.64	4056.89
5	3	0.15	0.02	0.006	Cumple	74.19	3946.27
6	3	0.16	0.01	0.004	Cumple	37.60	3357.37

PORTICO 3				$\beta_{max} =$	0.007		
PISO	h	d	di	β	Obs.	Vu	km
1	3.5	0.03	0.03	0.007	No	179.64	6962.60
2	3	0.06	0.03	0.011	No	170.09	5017.35
3	3	0.09	0.03	0.011	No	158.38	4713.84
4	3	0.12	0.03	0.010	No	144.02	4737.58
5	3	0.15	0.03	0.009	No	131.34	4937.77
6	3	0.17	0.02	0.007	Cumple	114.07	5537.35
7	3	0.19	0.02	0.006	Cumple	93.50	5666.36
8	3	0.20	0.01	0.004	Cumple	67.85	5384.71
9	3	0.21	0.01	0.003	Cumple	35.69	4149.80

B2. Diseño de disipadores.

PORTICO 1	DISEÑO DEL DISIPADOR Y LA DIAGONAL			
PISO	n	h	t	Adiag
	-	m	m	m2
1	14	0.20	0.03	0.0065
2	10	0.20	0.02	0.0065
3	4	0.20	0.01	0.0065

PORTICO 2	DISEÑO DEL DISIPADOR Y LA DIAGONAL			
PISO	n	h	t	Adiag
	-	m	m	m2
1	12	0.25	0.03	0.0081
2	11	0.25	0.03	0.0081
3	9	0.20	0.03	0.0081
4	7	0.20	0.03	0.0081
5	4	0.20	0.02	0.0081
6	4	0.20	0.01	0.0081

PORTICO 3	DISEÑO DEL DISIPADOR Y LA DIAGONAL			
PISO	n	h	t	Adiag
	-	m	m	m2
1	13	0.20	0.03	0.0128
2	12	0.20	0.03	0.0128
3	11	0.20	0.03	0.0128
4	9	0.20	0.03	0.0128
5	8	0.20	0.02	0.0128
6	6	0.20	0.02	0.0128
7	4	0.20	0.02	0.0128
8	4	0.20	0.01	0.0128
9	4	0.20	0.01	0.0128

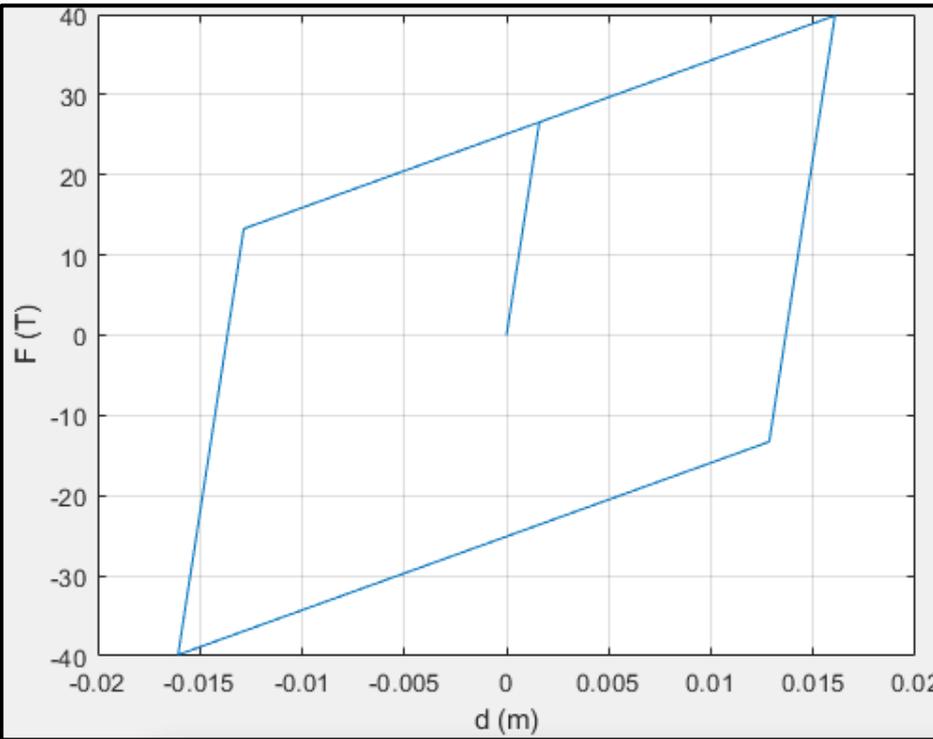
PARAMETROS Y PROPIEDADES DEL DISIPADOR	PORTICO		
	1	2	3
$\alpha =$	0.25	0.50	0.50
$\beta =$	0.50	0.25	0.25
$\alpha^* =$	0.05	0.05	0.05
$\mu =$	10	10	10
$f_y =$	25300	42000	42000
$E =$	21000000	21000000	21000000

B3. Curva histeretica.

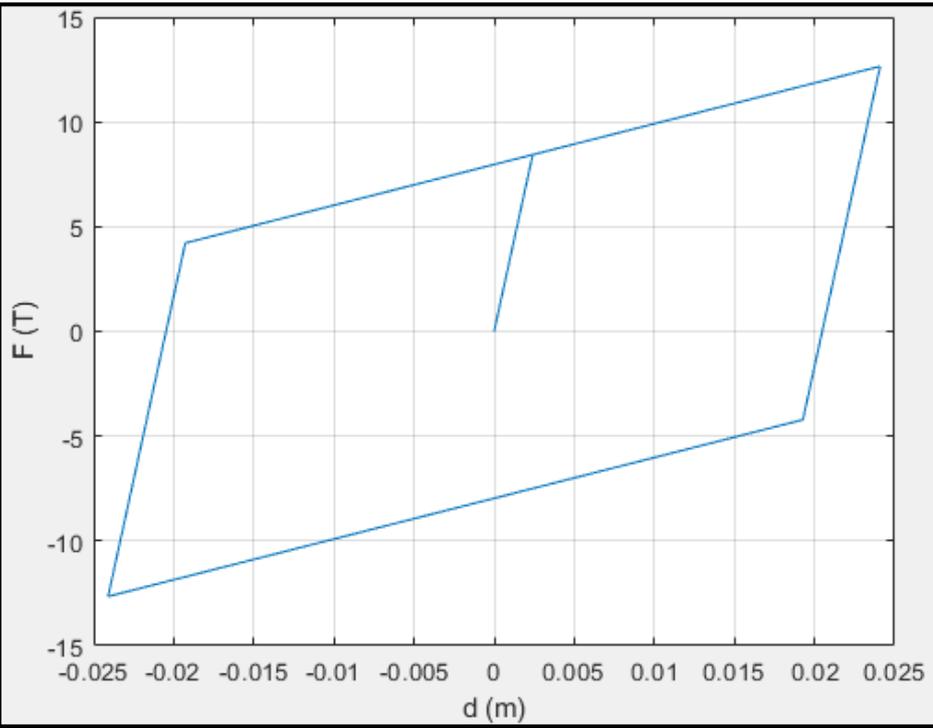
PORTICO 1

DISIPADORES

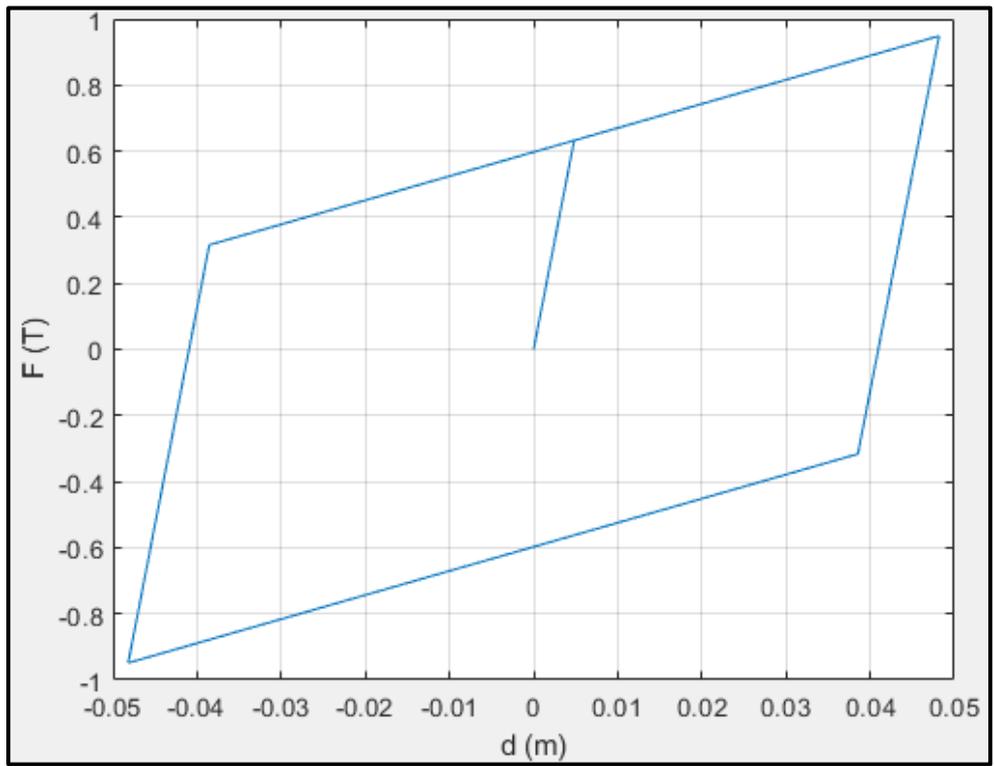
PISO 1



PISO 2



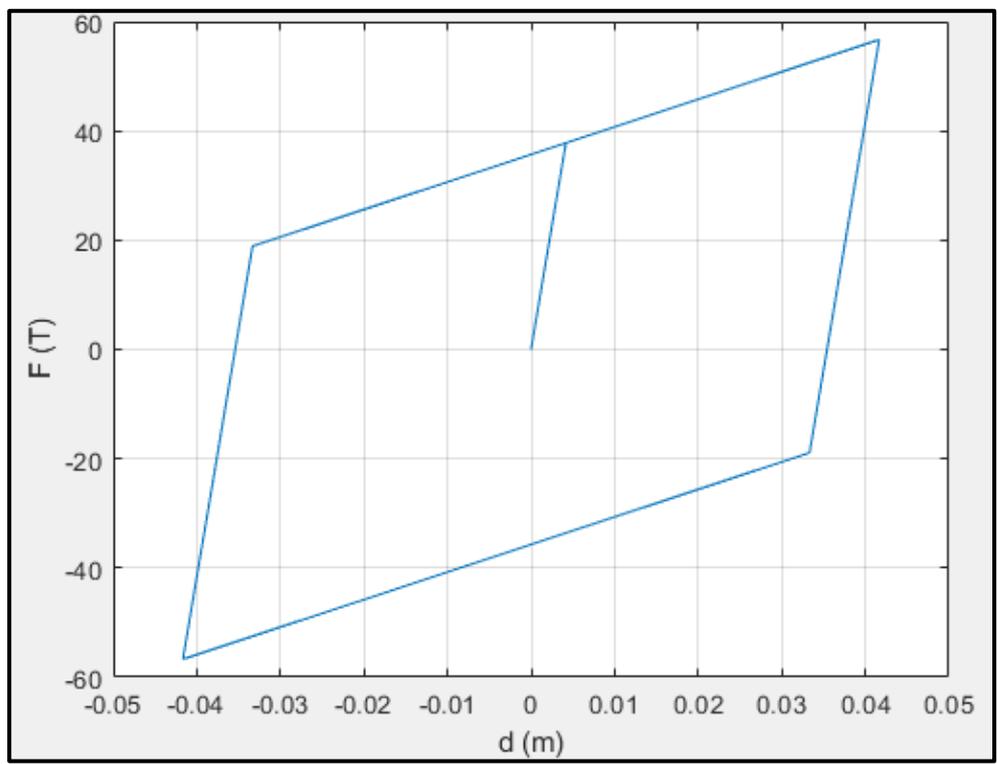
PISO 3



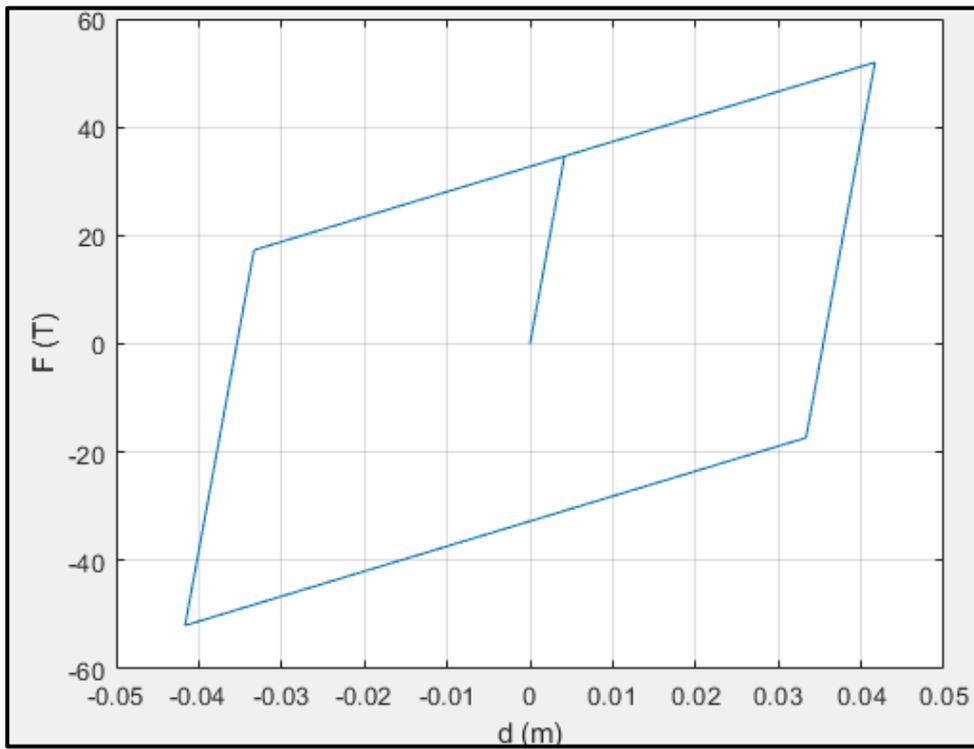
PORTICO 2

DISIPADORES

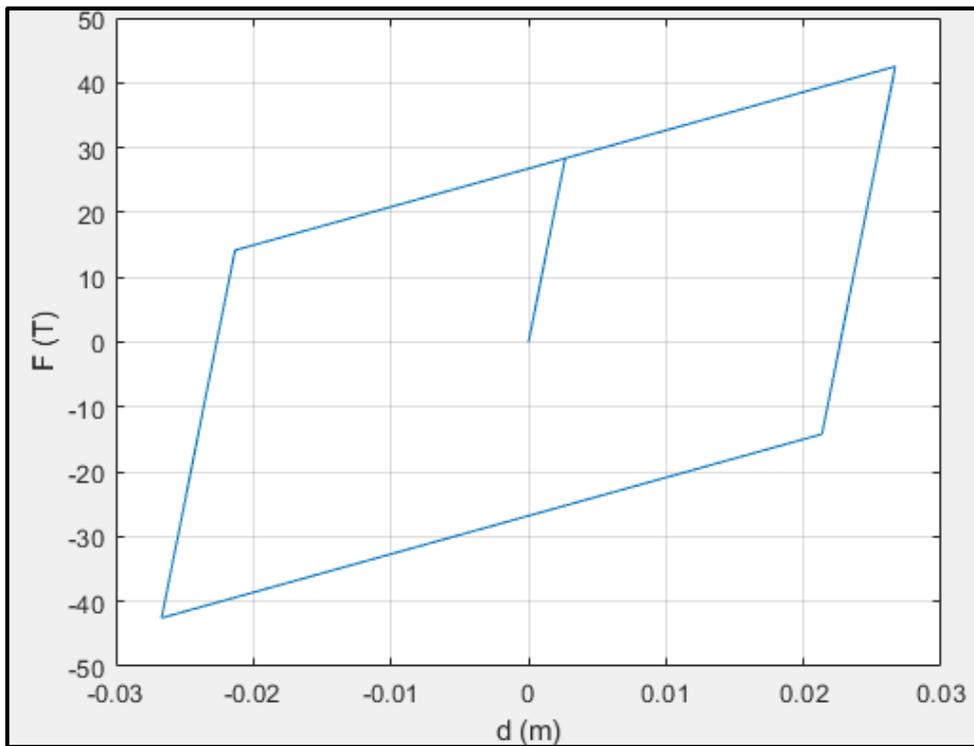
PISO 1



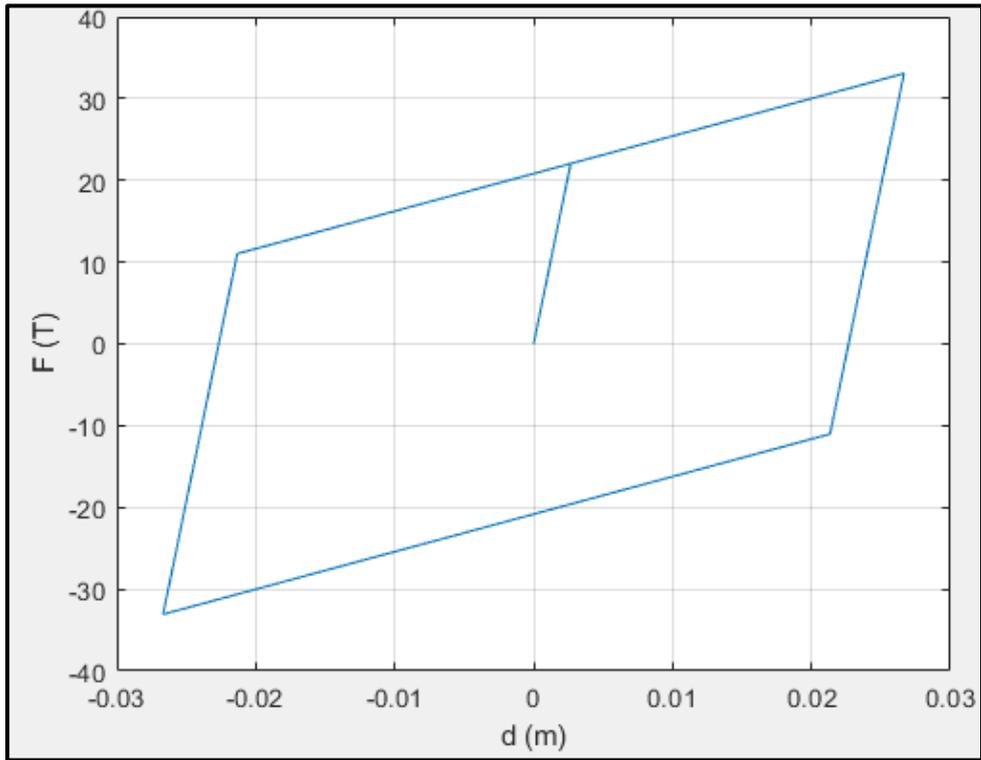
PISO 2



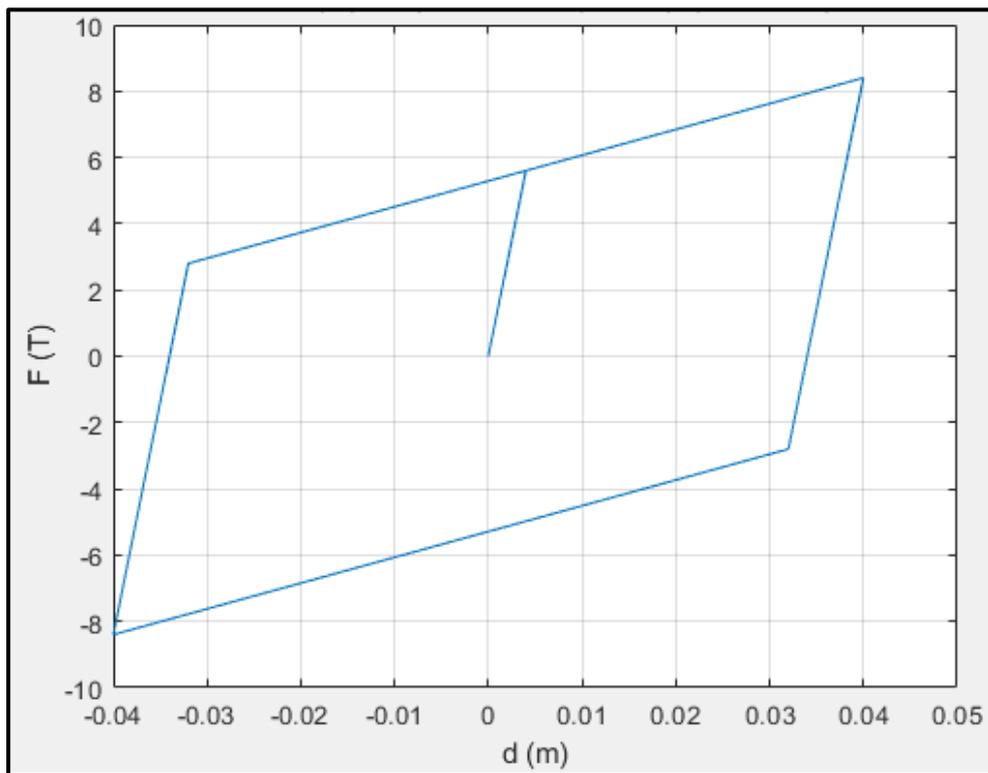
PISO 3



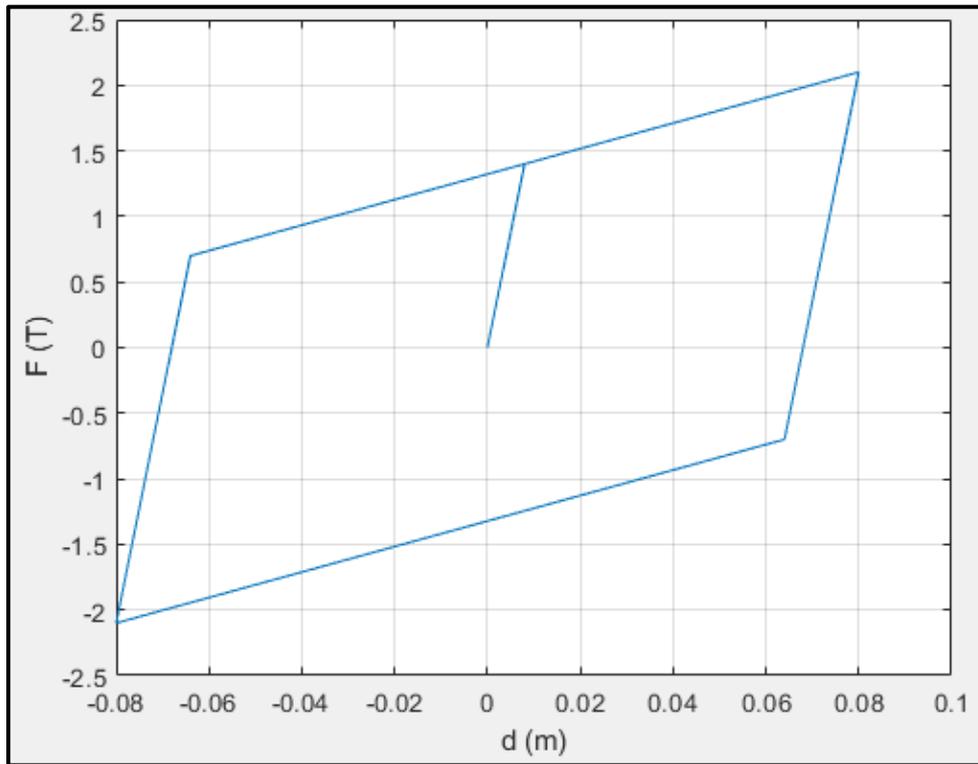
PISO 4



PISO 5



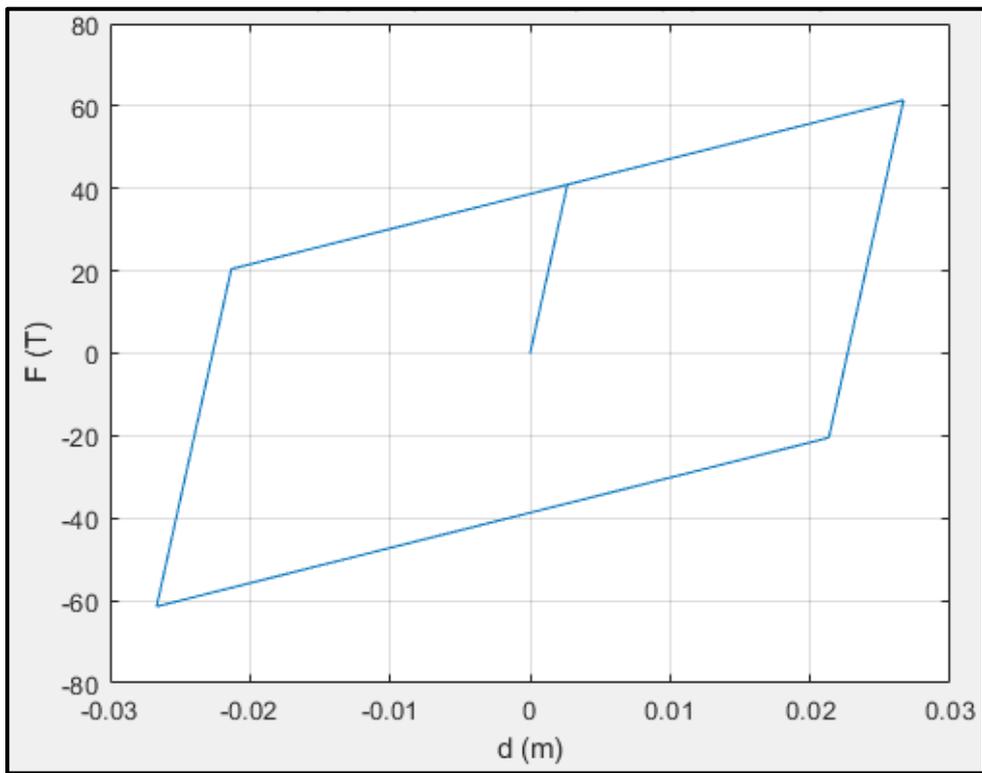
PISO 6



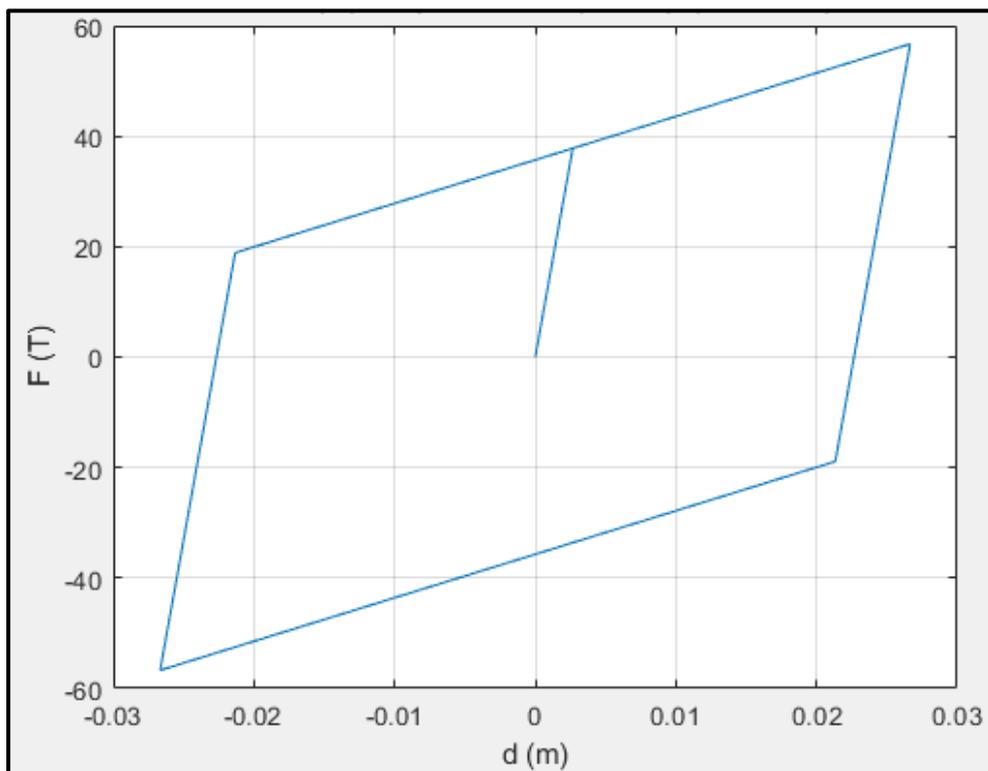
PORTICO 3

DISIPADORES

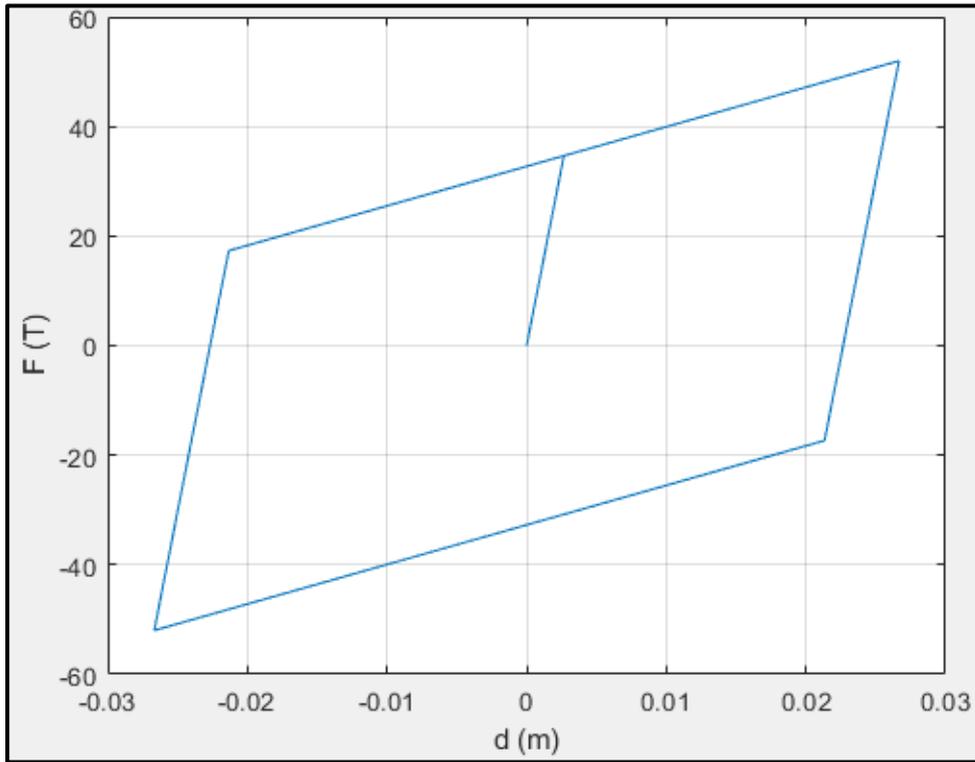
PISO 1



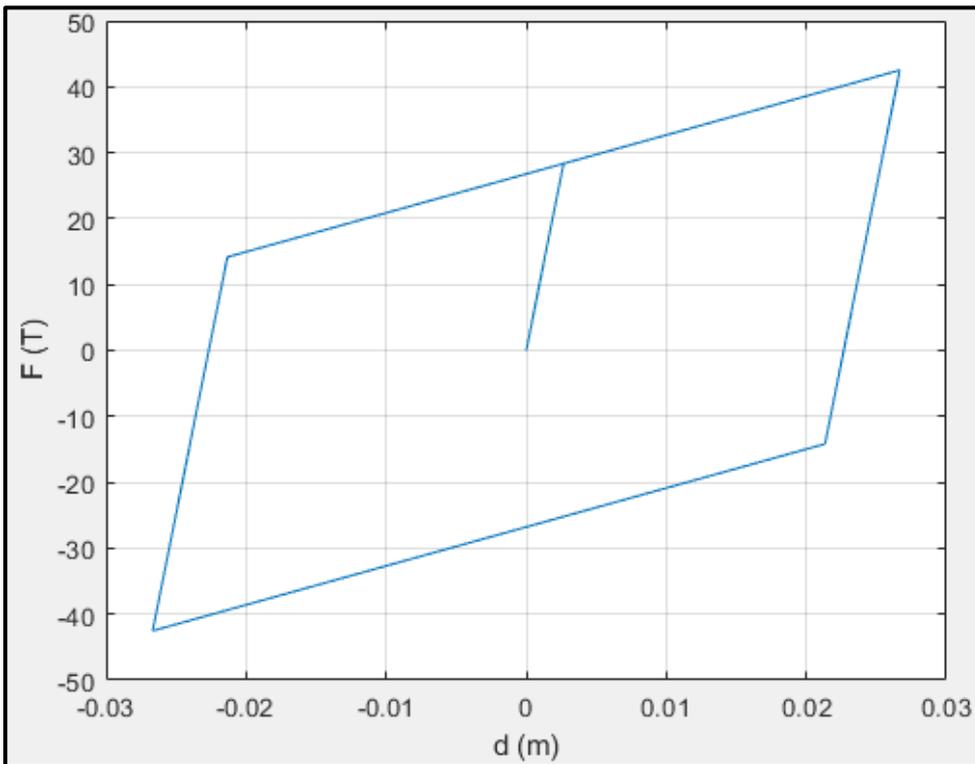
PISO 2



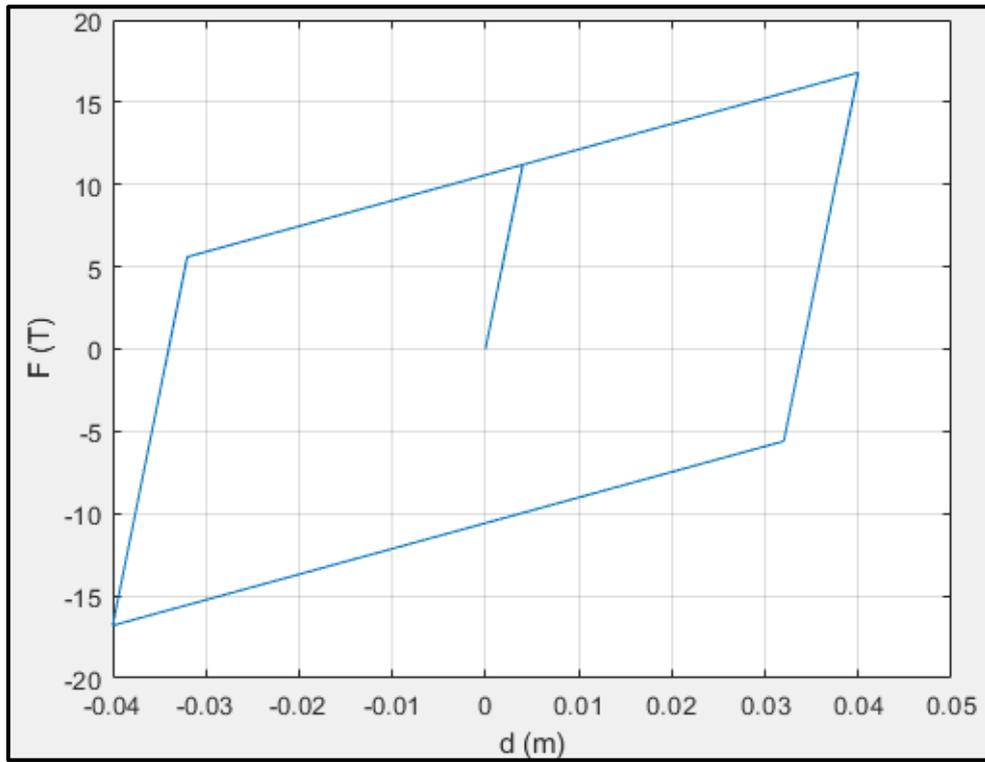
PISO 3



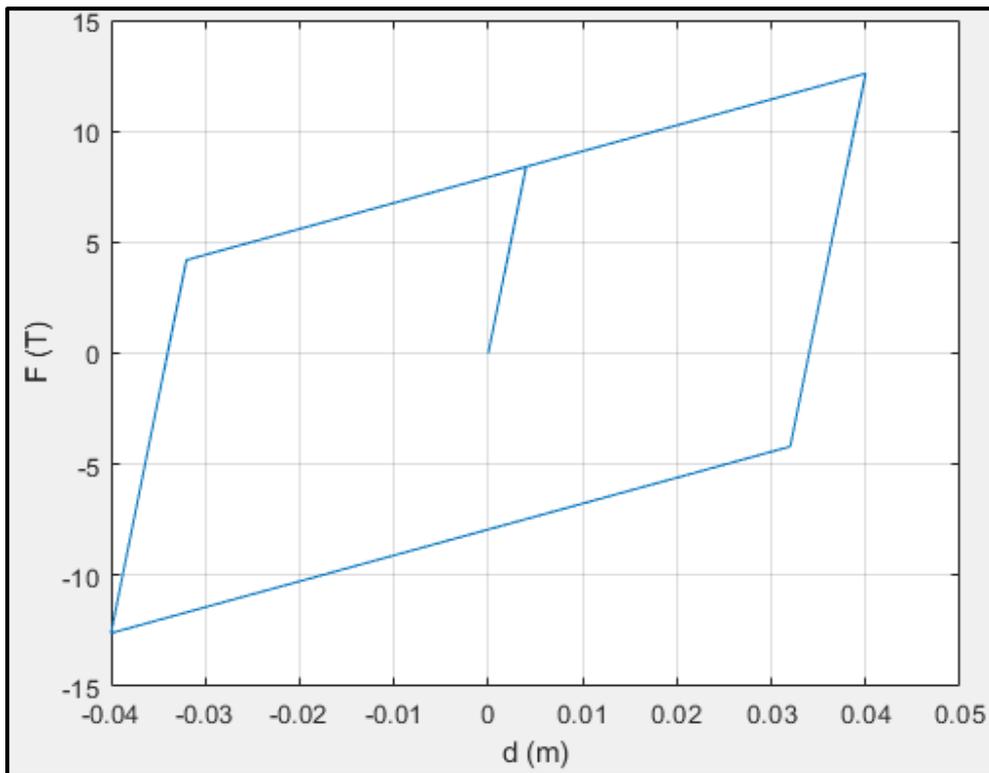
PISO 4



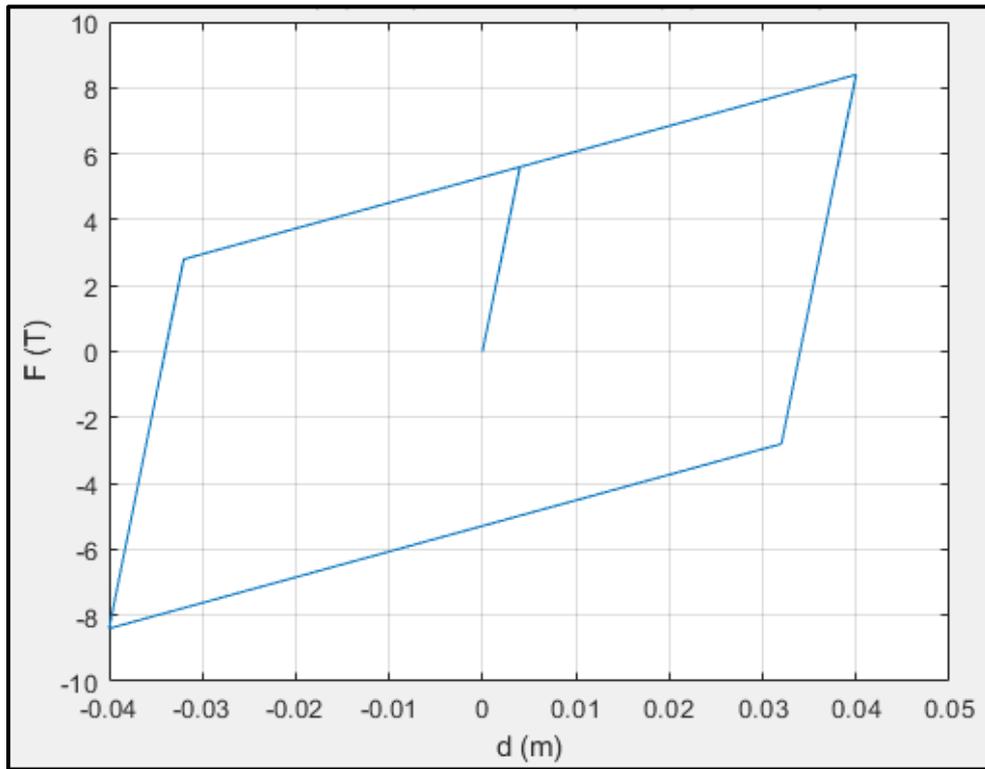
PISO 5



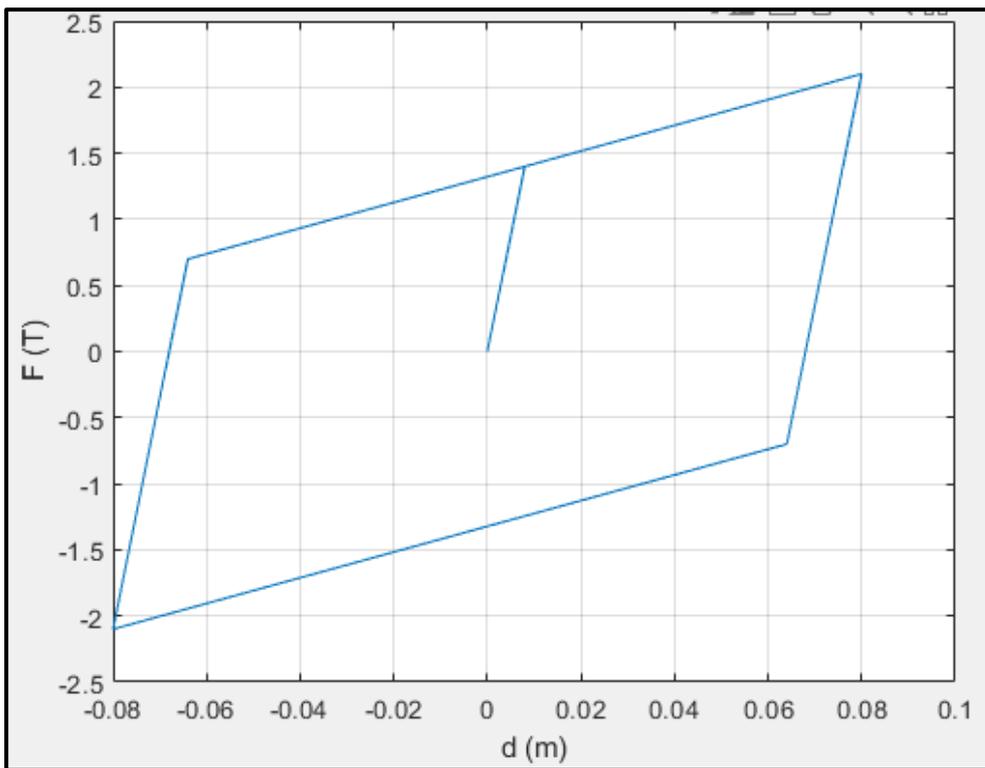
PISO 6



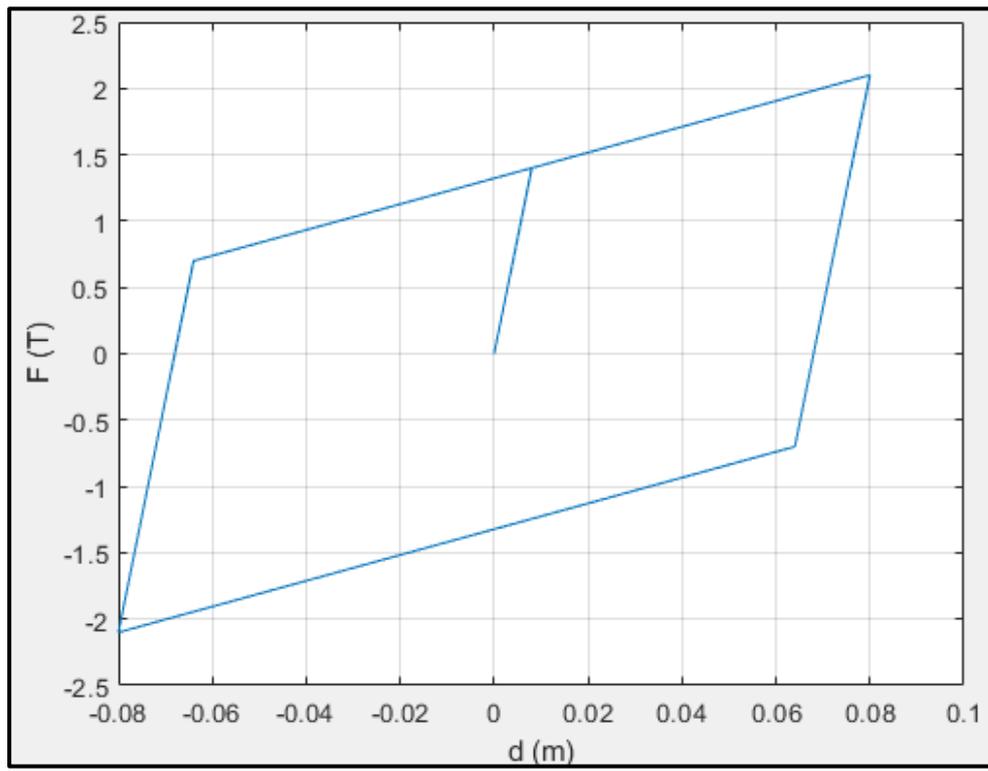
PISO 7



PISO 8



PISO 9



B4. Distorsiones de entrepiso con disipadores.

PORTICO 1				$\beta_{max} =$	0.007
PISO	h	d	di	β	Obs.
1	3.5	0.02	0.016	0.004	Cumple
2	3	0.03	0.009	0.003	Cumple
3	3	0.03	0.006	0.002	Cumple

PORTICO 2				$\beta_{max} =$	0.007
PISO	h	d	di	β	Obs.
1	3.5	0.01	0.010	0.003	Cumple
2	3	0.02	0.010	0.003	Cumple
3	3	0.03	0.013	0.004	Cumple
4	3	0.05	0.013	0.004	Cumple
5	3	0.06	0.011	0.004	Cumple
6	3	0.06	0.008	0.003	Cumple

PORTICO 3				$\beta_{max} =$	0.007
PISO	h	d	di	β	Obs.
1	3.5	0.02	0.016	0.004	Cumple
2	3	0.03	0.017	0.006	Cumple
3	3	0.05	0.016	0.005	Cumple
4	3	0.07	0.017	0.006	Cumple
5	3	0.08	0.017	0.006	Cumple
6	3	0.10	0.016	0.005	Cumple
7	3	0.12	0.020	0.007	Cumple
8	3	0.14	0.018	0.006	Cumple
9	3	0.15	0.011	0.004	Cumple

ANEXO C. PROGRAMAS

C1. "confi1"

```
function [ij,xy,L,t]=confi1()
%-----
--
% El programa "confi1" dibuja y registra en consola la configuración de
los
% porticos planos.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [ij,xy,L,t]=confi1()
%-----
--
% ENTRADA
% Archivo de datos excel.
% RESULTADOS
% ij = Matriz (nx2) con el número de nudos ij de los n elementos.
% xy = Matriz (nnx2) con las coordenadas de posición de los nn nudos.
% L = Vector con la longitud de los n elementos.
% t = Vector con la inclinación antihoraria respecto a la horizontal de
% los n elementos.
%-----
--
clear
clc
% 1. IMPORTACIÓN DE DATOS
datos=input('Ingrese el archivo de datos: ');
i=xlsread(datos,'B4:B120');
j=xlsread(datos,'C4:C120');
xi=xlsread(datos,'D4:D120');
yi=xlsread(datos,'E4:E120');
xj=xlsread(datos,'F4:F120');
yj=xlsread(datos,'G4:G120');
L=xlsread(datos,'H4:H120');
t=xlsread(datos,'I4:I120');
% 2. MATRIZ TOPOLÓGICA (ij) Y DE COORDENADAS NODALES (xy)
ij=[i,j];
n=max(max(ij)) % Número total de nodos
for i=1:n
% Busca (find) el primer (1) # específico de nodo (i) para contruir un
vector
% de colocación.
vc(i)=find(ij==i,1);
end
x=[xi;xj];
y=[yi;yj];
xy=[x(vc),y(vc)];
% 3. DIAGRAMACIÓN DE LA ESTRUCTURA
e=numel(L)
figure
for i=1:e
Q=[xy(ij(i,1),1) xy(ij(i,1),2);
xy(ij(i,2),1) xy(ij(i,2),2)];
```

```

        plot(Q(:,1),Q(:,2),'-r')
        hold on
    end
    xlabel('x')
    ylabel('y')
    axis equal
end

```

C2. "local2"

```

function [k]=local2(L)
%-----
%--
% El programa "local2" construye la matriz de rigidez de los elementos en
% coordenadas locales.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
%--
% [k]=local2(L)
%-----
%--
% ENTRADA
% Archivo de datos Excel.
% L = Longitud de los elementos
% RESULTADOS
% k = Matriz de rigidez de los elementos en coord. locales.
%-----
%--
% 1. IMPORTACIÓN DE PROPIEDADES
datos=input('Ingrese el archivo de datos: ');
EI=xlsread(datos,'J4:J120');
fi=xlsread(datos,'K4:K120');
EA=xlsread(datos,'L4:L120');
% 1. COMPONENTES DE LA MATRIZ 2D
n=numel(L)
for i=1:n
    raz(i)=EA(i)/L(i);
    raax(i)=12*EI(i)/(L(i)^3*(1+fi(i)));
    rabx(i)=6*EI(i)/(L(i)^2*(1+fi(i)));
    rbax(i)=rabx(i);
    r11x(i)=(4+fi(i))*EI(i)/(L(i)*(1+fi(i)));
    r22x(i)=r11x(i);
    r12x(i)=(2-fi(i))*EI(i)/(L(i)*(1+fi(i)));
    r21x(i)=r12x(i);
end
% 2. ENSAMBLAJE DE LA MATRIZ
k=zeros(6,6,n);
for i=1:n
    k(:,1,i)=[raz(i),0,0,-raz(i),0,0];
    k(:,2,i)=[0,raax(i),rabx(i),0,-raax(i),rbax(i)];
    k(:,3,i)=[0,rabx(i),r11x(i),0,-rabx(i),r21x(i)];
    k(:,4,i)=[-raz(i),0,0,raz(i),0,0];
    k(:,5,i)=[0,-raax(i),-rabx(i),0,raax(i),-rbax(i)];
    k(:,6,i)=[0,rbax(i),r12x(i),0,-rbax(i),r22x(i)];
end
end

```

C3. "global3"

```
function [ke]=global3(k,t)
%-----
--
% El programa "global3" construye la matriz de rigidez del elemento en
% coordendas globales apartir de la matriz en coordendas locales.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [ke]=global3(k,t)
%-----
--
% ENTRADA
% k = Matrices de rigidez de los elementos en coordendas locales.
% t = Angulos de inclinación de los elementos respecto a la horizontal.
% RESULTADOS
% ke = Matrices de rigidez de los elementos en coordenadas globales.
%-----
--
% 1. MATRIZ DE TRANSFORMACIÓN
n=numel(t)
ke=zeros(6,6,n);
for i=1:n
    c1=[cosd(t(i)),-sind(t(i)),0,0,0,0];
    c2=[sind(t(i)),cosd(t(i)),0,0,0,0];
    c3=[0,0,1,0,0,0];
    c4=[0,0,0,cosd(t(i)),-sind(t(i)),0];
    c5=[0,0,0,sind(t(i)),cosd(t(i)),0];
    c6=[0,0,0,0,0,1];
    T=[c1',c2',c3',c4',c5',c6'];
% 2. MATRIZ DE RIGIDEZ DEL ELEMENTO EN COORDENADAS GLOBALES
    ke(:, :, i)=T'*k(:, :, i)*T;
end
end
```

C4. "estruc4"

```
function [K,p,s]=estruc4(ke)
%-----
--
% El programa "estruc4" ensambla la matriz de rigidez global de la
% estructura apartir de la matriz de rigidez de los elementos en
% coordendas
% globales.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [K,p,s]=estruc4(ke)
```

```

%-----
--
% ENTRADA
% ke = Matriz de rigidez de los elementos en coordenadas globales.
% RESULTADOS
% K = Matriz de rigidez global de la estructura.
% p = Coordenadas principales.
% s = Coordenadas secundarias.
%-----
--
% 1. SE IMPORTA EL VECTOR DE COLOCACIÓN
datos=input('Ingrese el archivo de datos: ');
VC=xlsread(datos,'F3:K120')
p=xlsread(datos,'N3:N120');
s=xlsread(datos,'O3:O120');
% 2. ENSAMBLAMOS LA MATRIZ DE RIGIDEZ LATERAL
gl=max(s)
e=numel(VC(:,1))
K=zeros(gl,gl);
for i=1:e
    DK=zeros(gl,gl);
%     Se extrae el vector de colocación del elemento (i)
    vc=VC(i,:);
    a=vc;
%     Se eliminan las coordenadas iguales a (0)
    vc(vc==0)=[];
%     Se ubica los casilleros de las coordenadas distintas de (0)
    b=find(a);
%     Se extrae la matriz 2D del elemento (i).
    m=ke(:, :, i);
%     Se extraen las coordenadas que estan en (b,b) de la matriz de
    rigidez (i).
    n=m(b,b);
%     Se colocan las coordenadas de (b,b) en los casilleros (vc,vc) de
DK
    DK(vc,vc)=n(:, :);
%     Ensamblaje directo de la matriz de rigidez de la estructura
    K=K+DK;
end
end

```

C5. “conden5”

```

function [KL]=conden5(K,p,s)
%-----
--
% El programa "conden5" realiza la condensación estatica de la matriz de
% rigidez global de la estructura.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [KL]=conden5(K,p,s)
%-----
--
% ENTRADA
% K = Matriz de rigidez global de la estructura.

```

```

% p = Coordenadas principales.
% s = Coordenadas secundarias.
% RESULTADOS
% KL = Matriz de rigidez lateral de la estructura.
%-----
--
% CONDENSACIÓN ESTÁTICA DE LA MATRIZ DE RIGIDEZ
kpp=K(p,p);
kps=K(p,s);
ksp=K(s,p);
kss=K(s,s);
KL=kpp-kps*inv(kss)*ksp;
end

```

C6. "modal1"

```

function [W,T,fi,M,np]=modal1(KL)
%-----
--
% El programa "modal1" resuelve el problema de valores y vectores propios
% para conseguir las frecuencias, periodos y modos de vibración con el
% metodo M elevado a la 1/2.
%
%
% Por: Richard Quispe Gonzales
% Graciela Avila Cardenas
% UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
% 09/03/2021
%-----
--
% [W,T,fi,M,np]=modal1(KL)
%-----
--
% ENTRADA
% KL = Matriz de rigidez lateral de la estructura.
% RESULTADOS
% W = Frecuencia natural.
% T = Periodo.
% fi = Modos de vibración.
% M = Matriz de masas.
% np = Número de pisos.
%-----
--
% 1. ANÁLISIS MODAL
np=input('Numero de pisos: ');
for i=1:np
    fprintf('Indique la masa del piso %2d: ',i);
    m(i)=input(' ');
end
% 2. SE CONSTRUYE LA MATRIZ DE MASA
M=zeros(np,np);
M=diag(m); % Se coloca m en la diagonal de la matriz M
% 3. METODO ALGORITMO DE M ELEVADO A LA 1/2
a=1;
invM=a./sqrt(m); % M-1/2 = 1/raiz(M)
Minv=zeros(np,np);
Minv=diag(invM); % Se coloca M-1/2 en la diagonal de la matriz
Minv
Ko=Minv*KL*Minv;
[fiow2]=eig(Ko);
fi=Minv*fiow; % Modos de vibración

```

```

w=sqrt(w2);
W=diag(w);           % Frecuencia (Se extrae la diagonal de w)
T=2*pi./W;          % Periodo
fprintf('Periodos y modos de vibración \n')
end

```

C7. "espec1"

```

function [Sa,Cs,R]=espec1(T)
%-----
--
% El programa "espec1" calcula las aceleraciones máximas que experimenta
% un sistema equivalente de un grado de libertad, utilizando la norma
% tecnica peruana de sismoresistencia E030.
%
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [Sa,Cs,R]=espec2(T)
%-----
--
% ENTRADA
% Archivo de datos excel.
% T = Periodo.
% RESULTADOS
% Sa = Aceleración espectral.
% Cs = Coeficiente sísmico (Utilizado en programas comerciales).
% R = Factor de reducción sísmica.
%-----
--
% 1. IMPORTACIÓN DE PARAMETROS SÍSMICOS
datos=input('Ingrese el archivo con los parametros sísmicos: ');
ZUS=xlsread(datos,'D4:D6');
IIRo=xlsread(datos,'D7:D9');
Tp=xlsread(datos,'D10:D10');
Tl=xlsread(datos,'D11:D11');
% 2. ACELERACIÓN ESPECTRAL
ZUS=prod(ZUS);
R=prod(IIRo);
Cs=ZUS*9.81/R;           % Coeficiente sísmico (k=cm/s2)
np=numel(T);
for i=1:np
    if T(i)<=Tp
        C=2.5;
        CR=C/R;
        if CR>=0.125           % verificación
            else
                C=0.125*R;
            end
        else
            if (Tp<T(i)) && (T(i)<=Tl)
                C=2.5*Tp/T(i);
                CR=C/R;
                if CR>=0.125           % verificación
                    else
                        C=0.125*R;
                    end
                end
            end
        end
    end
end

```

```

        else
            C=2.5*Tp*Tl/T(i)^2;
            CR=C/R;
            if CR>=0.125           % verificación
                else
                    C=0.125*R;
                end
            end
        end
        Sa(i)=Cs*C;
    end
end
end

```

C8. "fapam2"

```

function [FPM,v,V,x,Xe,Xi]=fapam2(fi,M,np,Sa,W,R,KL)
%-----
--
% El programa "fapam2" calcula los factores de participación modal,
% los desplazamientos y las cortantes, utilizando la norma tecnica
peruana
% de sismoresistencia E030.
%
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [FPM,v,V,x,Xe,Xi]=fapam3(fi,M,np,Sa,W,R,KL)
%-----
--
% ENTRADA
% fi = Modos de vibración.
% M = Matriz de masas.
% np = Número de pisos.
% Sa = Aceleraciones espectrales.
% W = frecuencias.
% R = Factor de reducción sísmica.
% KL = Matriz de rigidez lateral de la estructura.
% RESULTADOS
% FPM = Factor de participación modal.
% V = Cortantes de entrepiso.
% Xe = Desplazamientos elásticos absolutos.
%-----
--
% 1. CÁLCULO DE FACTORES DE PARTICIPACIÓN MODAL
b=ones(np,1);
for i=1:np
    FPM(i)=abs(fi(:,i)'*M*b/(fi(:,i)'*M*fi(:,i)));
end
% 2. CÁLCULO DEL VECTOR DE DESPLAZAMIENTO
for i=1:np
    x(:,i)=FPM(i)*Sa(i)*fi(:,i)/W(i)^2;
end
% 3. CÁLCULO DEL VECTOR DE FUERZAS
for i=1:np
    f(:,i)=FPM(i)*Sa(i)*M*fi(:,i);
end
% 4. CÁLCULO DE FUERZAS CORTANTES

```

```

    for n=1:np
        for i=1:np
            for j=i:np
                vi(j,i)=f(j,n);
            end
        end
        v(:,n)=sum(vi)';
    end
% 4. COMBINACIÓN MODAL DE DESPLAZAMIENTOS
    for i=1:np
        Sv=sum(abs(x(i,:)));
        RSv2=sqrt(sum(x(i,:).^2));
        Xe(i,1)=0.25*Sv+0.75*RSv2;
    end
% 5. COMBINACIÓN MODAL DE CORTANTES
    for i=1:np
        Sv=sum(abs(v(i,:)));
        RSv2=sqrt(sum(v(i,:).^2));
        V(i,1)=0.25*Sv+0.75*RSv2;
    end
% 6. CÁLCULO DE DESPLAZAMIENTOS INELASTICOS
    Xi=0.75*R*Xe;
end

```

C9. “amor1”

```

function [C]=amor1(W,M,KL)
%-----
--
% El programa "amor1" calcula la matriz de amortiguamiento de un pórtico
% plano con el método de Rayleigh.
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [W,T,fi,M,np]=modall(KL)
%-----
--
% ENTRADA
% KL = Matriz de rigidez lateral de la estructura.
% RESULTADOS
% W = Frecuencias.
% T = Periodos.
% fi = Modos de vibración.
% M = Matriz de masas.
% np = Número de pisos.
%-----
--
% 1. CONSTANTES (a0) y (a1)
e=input('Ingrese el factor de amortiguamiento estructura(e): ');
w1=W(end)
w2=W(end-1)
w=[1/(2*w1),w1/2;1/(2*w2),w2/2];
e=[e;e];
a=inv(w)*e;
% 2. MATRIZ DE AMORTIGUAMIENTO (C)
C=a(1)*M+a(2)*KL;

```

end

C10. "disipa1"

```
function [nd,Ldiag,teta,u,fy,E]=disipa1()  
%-----  
--  
% El programa "disipa1" pre diseña los disipares energía y las diagonales  
% del contraviento utilizando el método propuesto por Tena y Nangellasmú  
% ().  
%  
%                               Por: Richard Quispe Gonzales  
%                               Graciela Avila Cardenas  
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO  
%                               09/03/2021  
%-----  
--  
% [nd,Ldiag,teta,u,fy,E]=disipa1()  
%-----  
--  
% ENTRADA  
% Archivo de datos excel.  
% RESULTADOS  
% nd = Número de contravientos por piso.  
% Ldiag = Longitud de las diagonales.  
% teta = Angulo de inclinación de las diagonales.  
% u = Ductilidad de los disipadores.  
% fy = Esfuerzo de fluencia del acero.  
% E = Modulo de elasticidad del acero.  
%-----  
--  
clc  
clear  
% 1. IMPORTACIÓN DE DATOS  
datos=input('Ingrese archivo de datos: ');  
km=xlsread(datos,'B4:B18');  
Vu=xlsread(datos,'E4:E18');  
nd=xlsread(datos,'F4:F18');  
t=xlsread(datos,'G4:G18');  
Ldiag=xlsread(datos,'J4:J18');  
teta=xlsread(datos,'K4:K18');  
alfa=xlsread(datos,'N3:N3');  
beta=xlsread(datos,'N4:N4');  
alfap=xlsread(datos,'N5:N5');  
u=xlsread(datos,'N6:N6');  
fy=xlsread(datos,'N7:N7');  
E=xlsread(datos,'N8:N8');  
% 2. PROCEDIMIENTO DE CÁLCULO  
vu=Vu./nd;  
np=numel(km);  
for i=1:np  
    kt=km(i)/alfa;           % Rigidez total de piso  
    kcd=kt-km(i);          % Rigidez de los contravientos y disipadores  
    keq=kcd/nd(i);         % Rigidez de un contraviento - disipador  
    fac=(beta+2*u*cosd(teta(i))^2+alfap*beta*(u-1))/(beta*(1+alfap*(u-  
1)));  
    kdiag=keq*fac;         % Rigidez de la diagonal del  
contraviento  
    kdde=beta*kdiag;      % Rigidez elástica del disipador  
    k2=alfap*kdde;       % Rigidez de post fluencia del disipador
```

```

        kef=(kdde+k2*(u-1))/u;      % Rigidez efectiva
        dy=vu(i)/(u*kef);          % Desplazamiento de fluencia
% 3. CÁLCULOS COMPLEMENTARIOS
        Fy=kdde*dy;                % Fuerza de fluencia
        du=u*dy;                  % Desplazamiento de rotura
% 4. DIMENSIONES Y NÚMERO DE PLACAS
        n=8*vu(i)/(fy*t(i)^2);    % Número de placas
        h=sqrt(n*E*t(i)^3/(12*kdde)); % Altura del disipador
        b=h/2;                    % Ancho del disipador
% 5. ÁREA DEL DIAGONAL
        Adia(i,1)=kdiag*Ldiag(i)/E;
% 5. ORGANIZACIÓN
        r=[n,h,b,t(i)];
        R(i,:)=r;
        Kdiag(i,:)=kdiag;
    end
    fprintf('Disipadores, Altura, Ancho y espesor: \n');
    R
    fprintf('Cortante absorvida por el disipador: \n');
    vu
    fprintf('Rigidez de la diagonal del contraviento: \n');
    Kdiag
    fprintf('Area de la sección de la diagonal: \n');
    Adia

```

C11. “disipa2”

```

function [C]=disipa2(M,nd,Ldiag,teta,u,fy,E)
%-----
--
% El programa "disipa2" construye las curvas histereticas de los
% disipadores diseñados con el programa "disipa1".
%
%                               Por: Richard Quispe Gonzales
%                               Graciela Avila Cardenas
%                               UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%                               09/03/2021
%-----
--
% [C]=disipa2(M,nd,Ldiag,teta,u,fy,E)
%-----
--
% ENTRADA
% M = Matriz de masa.
% nd = Número de contravientos por piso.
% Ldiag = Longitud de las diagonales.
% teta = Inclinación de las diagonales.
% u = Ductilidad del disipador.
% fy = Esfuerzo de fluencia del acero.
% E = Módulo de elasticidad del acero.
% RESULTADOS
% C = Matriz de amortiguamiento.
%-----
--
% 1. IMPORTACIÓN DE DATOS
    datos=input('Ingrese archivo de datos: ');
    n=xlsread(datos,'B4:B18');
    h=xlsread(datos,'C4:C18');
    t=xlsread(datos,'D4:D18');
    Adia=xlsread(datos,'E4:E18');

```

```

M=diag(M);
% 2. RELACIÓN ESFUERZO - DEFORMACIÓN
np=numel(n);
for i=1:np
    b=h(i)/2;
    kdde=n(i)*E*b*t(i)^3/(6*h(i)^3);
    dy=fy*h(i)^2/(E*t(i));
    Fy=kdde*dy;
    Fu=n(i)*fy*b*t(i)^2/(4*h(i));
    du=u*dy;
    k2=(Fu-Fy)/(du-dy);
    kef=Fu/du; % Organizamos
    Kef(i,1)=kef;
    Vu(i,1)=Fu;
% 4. PROPIEDADES DINÁMICAS
    A(i)=(2*dy*(kdde-k2)*(du-dy))/du^2;
% Factor de amortiguamiento equivalente
    w=sqrt(kef/M(i));
    eeq(i,1)=A(i)/(pi*w^2*M(i));
% Amortiguamiento equivalente del disipador
    T=2*pi/w;
    Cd(i)=A(i)*T/pi^2;
% 5. RIGIDEZ AXIAL EQUIVALENTE DE LA DIAGONAL
    kdiag(i,1)=E*Adiag(i)/Ldiag(i); % Comprobar con Kdiag (programa
disipal)
    keq(i,1)=kdiag(i)*kef/(kef+2*cosd(teta(i))^2*kdiag(i));
    EA(i,1)=keq(i)*Ldiag(i);
% 6. RIGIDEZ DE LOS CONTRAVIENTOS - DISIPADORES
    kcd(i,1)=keq(i)*nd(i);
% 7. ORGANIZACIÓN
    Kdde(i,1)=kdde;
    K2(i,1)=k2;
    Dy(i,1)=dy;
% 4. DIAGRAMACIÓN
    x=[0, dy, du, du-2*dy, -du, 2*dy-du, dy];
    y=[0, Fy, Fu, Fu-2*Fy, -Fu, 2*Fy-Fu, Fy];
    figure(i)
    plot(x,y, '-')
    title('RELACIÓN FUERZA DEFORMACIÓN TADAS')
    xlabel('d (m)')
    ylabel('F (T)')
    grid on
end
M=diag(M);
C=diag(Cd);
fprintf('Rigidez efectiva de un disipador: \n');
Kef
fprintf('Cortante absorvida del disipador escogido: \n');
Vu
fprintf('Factor de amortiguamiento del disipador escogido: \n');
eeq
fprintf('Rigidez de la diagonal: \n');
kdiag
fprintf('Rigidez de la diagonal equivalente contraviento -
disipador: \n');
keq
fprintf('Rigidez de la diagonal equivalente contraviento -
disipador: \n');
EA
fprintf('Rigidez total de contravientos + disipadores: \n');
kcd

```

C12. "histo1"

```
function [X]=histo1(M,C,KL,sismo)
%-----
--
% Procedimiento de Espacio de Estado para sistemas de n grados de
libertad
% Programa general en que se requiere la respuesta ante un acelerograma.
% Previamente el usuario habrá calculado las matrices de masa,
% amortiguamiento, rigidez, así como el coeficiente Qo. F es una matriz
de
% orden 2nx2n y los n primeros valores de q corresponden a los
% desplazamientos y los restantes a las velocidades.
%
%
%           Por: Richard Quispe Gonzales
%           Graciela Avila Cardenas
%           UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
%           09/03/2021
%-----
--
% [X]=histo1(M,C,KL,sismo)
%-----
--
% ENTRADA
% M = Matriz de masas.
% C = Matriz de amortiguamiento.
% KL = Matriz de rigidez.
% sismo = Acelerograma 3D (cm/s2) que se ingresa por consola
%         (load sismo.dat).
% RESULTADOS
% X = Desplazamientos máximo del piso seleccionado.
% Grafico respuesta en el tiempo del piso seleccionado.
%-----
--
% 0. ESCALAMIENTO DEL SÍSMO
opcion=input('¿Ingresará un factor de escalamiento? [s/n]: ','s');
opcion=opcion=='s'; % Si es verdad devuelve 1.
if opcion==1
    escala=input('Ingrese el factor de escalamiento: ');
else
    escala=1;
end
% 0. CÁLCULOS PRELIMINARES
dt=0.02; % Incremento de tiempo con el cual se obtiene la
respuesta.
n=numel(sismo(:,1)); % Sismo es una matriz con las
aceleraciones
for i=1:n % (3D) del suelo.
    p(i)=escala*sismo(i,3)/100;% Se elige una coordenada y se
construye
end % un vector en m/s2.
Qo=(-1)*diag(M); % Coeficiente (Qo) del vector de cargas
que
ngl=length(KL); % multiplica a la aceleración del suelo.
% 1. MATRIZ F
CERO=zeros(ngl,ngl);
IDENT=eye(ngl,ngl);
MIK=(-1)*inv(M)*KL;
```

```

MIC=(-1)*inv(M)*C;
F=[CERO IDENT;MIK MIC];
% 2. EXPONENCIAL DE LA MATRIZ (F) MULTIPLICADO POR (dt)
A=expm(dt*F);
% 3. MATRICES (P1) Y (P2)
IDEN=eye(2*ngl,2*ngl);
P1=inv(F)*(A-IDEN);
P2=inv(F)*((1/dt)*P1-A);
% 4. VECTOR (r) DE CARGAS SÍSMICAS
for i=1:ngl
    NULO(i)=0;
end
MIQ=inv(M)*Qo;
% 5. RESPUESTA EN EL TIEMPO
n=length(p);
for i=1:2*ngl
    Xk(i)=0;
end
Xk=Xk';
q=Xk(ngl);
for j=1:ngl
    for i=1:n-1
        t(i)=i*dt;
        MCARGA=MIQ*p(i);
        MCARGA2=MIQ*p(i+1);
        rk=[NULO';MCARGA];
        rk2=[NULO';MCARGA2];
        Xk2=A*Xk+P1*rk2+P2*(rk2-rk);
% Se almacena en (q) la respuesta en el tiempo del gl (j)
        q(i)=Xk2(j);
        Xk=Xk2;
    end
% Se traza la curva de respuesta en el tiempo del gl (j)
    figure(j)
    plot(t,q)
    title('')
    xlabel('Tiempo (s)')
    ylabel('Desplazamiento (m)')
    grid on
% Se calcula el desplazamiento máximo
    qpos=max(q);
    qneg=min(q);
    qmax=max([qpos,abs(qneg)]);
% Se almacena en (X) el desplazamiento máximo
    X(j,1)=qmax;
end
end

```

C13. “wilbur”

```

function [k]=wilbur()
%-----
--
% El programa "wilbur" calcula de manera aproximada la rigidez lateral de
% piso de la estructura.
%
% Por: Richard Quispe Gonzales
% Graciela Avila Cardenas
% UNIVERSIDAD CESAR VALLEJO
% 09/03/2021

```

```

%-----
--
% [k]=wilbur()
%-----
--
% ENTRADA
% Archivo de datos Excel.
% RESULTADOS
% k = Vector con la rigidez de cada piso.
%-----
--
clear
clc
% 1. IMPORTAMOS LA RIGIDEZ EFECTIVA DE LOS ELEMENTOS
datos=input('Ingrese el archivo de datos: ');
n=input('Ingrese el número de niveles: ');
E=input('Ingrese el módulo de elasticidad del material (T/m2): ');
% Vectores con la altura de nivel, Inercias efectivas de columnas y
viga
hc=[];Ic=[];Iv=[];
for i=1:n
    dato1=xlsread(datos,i,'C2:C2');
    dato2=xlsread(datos,i,'E4:E4');
    dato3=xlsread(datos,i,'L4:L4');
    hc(i)=dato1;
    SIc(i)=dato2;
    SIV(i)=dato3;
end
hc
SIc
SIV
% Cálculo de la rigidez de piso
switch i
case 1
    A=4*hc(i)/SIc(i);
    B=hc(i)/(SIV(i)+SIc(i)/12);
    k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B));
case 2
    for i=1:n
        switch i
        case 1
            A=4*hc(i)/SIc(i);
            B=(hc(i)+hc(i+1))/(SIV(i)+SIc(i)/12);
            k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B));
        otherwise
            A=4*hc(i)/SIc(i);
            B=(hc(i-1)+hc(i))/(SIV(i-1)+SIc(i-1)/12);
            C=hc(i)/SIV(i);
            k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B+C));
        end
    end
otherwise
    for i=1:n
        switch i
        case 1
            A=4*hc(i)/SIc(i);
            B=(hc(i)+hc(i+1))/(SIV(i)+SIc(i)/12);
            k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B));
        case 2
            A=4*hc(i)/SIc(i);
            B=(hc(i-1)+hc(i))/(SIV(i-1)+SIc(i-1)/12);

```

```

        C=(hc(i)+hc(i+1))/SIv(i);
        k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B+C));
    case (i>2)&&(i<n)
        A=4*hc(i)/SIc(i);
        B=(hc(i-1)+hc(i))/SIv(i-1);
        C=(hc(i)+hc(i+1))/SIv(i);
        k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B+C));
    otherwise
        A=4*hc(i)/SIc(i);
        B=(2*hc(i-1)+hc(i))/SIv(i-1);
        C=hc(i)/SIv(i);
        k(i)=48*E/(hc(i)*(A+B+C));
    end
end
end
end
end

```

C14. “espectro”

```

function [Sd,Sv,Sa]=espectro(p,dt,zeda)
%
% Espectros de respuesta elástica de: desplazamientos, velocidad y
% aceleración. Empleando Método de Aceleración Lineal.
%
%-----
--
% [Sd,Sv,Sa]=espectro(p,dt,zeda)
%-----
--
%
% p Vector que contiene el acelerograma.
% dt Intervalo de tiempo con el que se halla la respuesta igual al
% valor con que fueron tomados los datos del acelerograma.
% zeda Vector que contiene los valores de amortiguamiento.
% Sd Valores máximos de los desplazamientos en absoluto.
% Sv Valores máximos de las velocidades en absoluto.
% Sa Valores máximos de las aceleraciones en absoluto.
% DT Intervalo de Periodos = 0.03 s.
% Tmin Período mínimo que se considera igual a 0.01 s.
% Tmax Período máximo que se considera igual a 3.00 s.
%
hold off; Tmin=0.01; Tmax=3.0; DT=0.03; n=((Tmax-Tmin)/DT)+1;
m=length(zeda); T=linspace(Tmin,Tmax,n)'; W=2*pi./T; K=W.*W;
for i=1:m
    zi=zeda(i); C=(2*zi).*sqrt(K);
    for j=1:n
        xj=K(j); yj=C(j);
        [d,v,a]=lineales(p,1,yj,xj,dt);
        Sd(i,j)=max(abs(d)); Sv(i,j)=max(abs(v)); Sa(i,j)=max(abs(a));
    end
end
subplot(3,1,1); plot(T,Sd); ylabel('Desplazamiento'); title('ESPECTROS
DE DESPLAZAMIENTO, VELOCIDAD Y ACELERACION RELATIVA')
hold on
subplot(3,1,2); plot(T,Sv); ylabel('Velocidad');
hold on
subplot(3,1,3); plot(T,Sa); xlabel('PERIODO'); ylabel('Aceleracion');
hold off
%---fin---

```

C15. "lineales"

```
function [d,v,a]=lineales(p,m,c,k,dt)
%
% Respuesta en el tiempo de un sistema de un grado de libertad
% por el Método de la Aceleración Lineal
%
%-----
% [d,v,a]=lineales(p,m,c,k,dt)
%-----
%
% p : vector que contiene los registros del acelerograma
% m : masa del sistema
% c : amortiguamiento del sistema
% k : rigidez del sistema
% d, v, a : desplazamiento, velocidad y aceleración de la respuesta
% dt : incremento de tiempo
%
n=length(p); tmax=dt*n; t=linspace(0,tmax,n)';
ma=m+(c*dt/2)+(k*dt*dt/6);
d(1)=0; v(1)=0; a(1)=0;
for i=1:n-1
dq=-m*(p(i+1)-p(i));
dqa=dq-a(i)*(c*dt+k*dt*dt/2)-v(i)*k*dt;
inca=dqa/ma; incv=a(i)*dt+inca*dt/2;
incd=v(i)*dt+a(i)*dt*dt/2+inca*dt*dt/6;
d(i+1)=d(i)+incd; v(i+1)=v(i)+incv; a(i+1)=a(i)+inca;
d(i)=d(i+1); v(i)=v(i+1); a(i)=a(i+1);
end
%---fin---
```


ANEXO E. MATRIZ DE CONSISTENCIA

TÍTULO: Aplicación de programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS en Perú, 2021.

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN
<p>GENERAL:</p> <p>¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores de energía TADAS?</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Evaluar los resultados de los programas de computación en el análisis sísmico de pórticos con disipadores TADAS.</p>	<p>GENERAL:</p> <p>Los programas de computación tienen resultados confiables en el análisis sísmico de pórticos con disipadores TADAS.</p>	<p>VARIABLE INDEPENDIENTE (X)</p> <p>Programas de computación</p>	CONFI1	Forma de la estructura	<p>Tipo de investigación:</p> <p>Aplicada</p> <p>Enfoque de investigación:</p> <p>Cuantitativa</p> <p>Nivel de investigación:</p> <p>Aplicativo</p> <p>Diseño de investigación:</p> <p>No experimental (Descriptivo)</p> <p>Prueba estadística:</p> <p>No aplica</p> <p>Método General:</p> <p>científico</p> <p>Método Específicos:</p> <p>Analítico - Numérico</p> <p>Población:</p> <p>Pórticos de concreto armado con disipadores de energía TADAS</p>
				LOCAL2	Matriz de rigidez del elemento en coordenadas locales	
				GLOBAL3	Matriz de rigidez del elemento en coordenadas globales	
				ESTRUC4	Matriz de rigidez global de la estructura	
				CONDEN5	Matriz de rigidez lateral	
				MODAL1	Valores propios	
					Vectores propios	
				AMOR1	Matriz de amortiguamiento de pórticos	
				DISIPA1	Pre diseño de disipadores	
				DISIPA2	Histéresis del disipador	
				ESPEC1	Vector de aceleraciones	
				FAPAM2	Vector de participación modal	
Desplazamientos laterales						
HISTO1	Historia de desplazamientos					

<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS?</p> <p>2. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado?</p> <p>3. ¿Cómo son los resultados de la aplicación de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS?</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Evaluar los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS.</p> <p>2. Evaluar los resultados de los programas de computación en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado.</p> <p>3. Evaluar los resultados de los programas de computación en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS.</p>	<p>ESPECÍFICOS:</p> <p>1. Los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos sin disipadores de energía TADAS.</p> <p>2. Los programas de computación tienen resultados confiables en el pre diseño de disipadores de energía TADAS para pórticos de concreto armado.</p> <p>3. Los programas de computación tienen resultados confiables en el cálculo de la respuesta sísmica de los pórticos con disipadores de energía TADAS.</p>	<p>VARIABLE DEPENDIENTE (Y)</p> <p>Análisis sísmico</p>	<p>Cálculo de la respuesta sísmica sin disipadores de energía TADAS</p> <p>Pre diseño de disipadores de energía TADAS</p> <p>Cálculo de la respuesta sísmica con disipadores de energía TADAS</p>	<table border="1"> <tr> <td>Periodos</td> </tr> <tr> <td>Fuerza cortante</td> </tr> <tr> <td>Desplazamientos</td> </tr> <tr> <td>Derivas</td> </tr> <tr> <td>Rigidez lateral</td> </tr> <tr> <td>Parámetro de pre diseño Alfa.</td> </tr> <tr> <td>Periodos</td> </tr> <tr> <td>Fuerza cortante</td> </tr> <tr> <td>Desplazamientos</td> </tr> <tr> <td>Derivas</td> </tr> </table>	Periodos	Fuerza cortante	Desplazamientos	Derivas	Rigidez lateral	Parámetro de pre diseño Alfa.	Periodos	Fuerza cortante	Desplazamientos	Derivas	<p>Muestra:</p> <p>Pórticos de 3, 6 y 9 pisos</p> <p>Técnicas e Instrumentos:</p> <p>Técnica:</p> <p>Observación</p> <p>Instrumentos:</p> <p>Programas de computación</p>
Periodos																
Fuerza cortante																
Desplazamientos																
Derivas																
Rigidez lateral																
Parámetro de pre diseño Alfa.																
Periodos																
Fuerza cortante																
Desplazamientos																
Derivas																



UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

Declaratoria de Originalidad de los Autores

Yo (Nosotros), GRACIELA MARJORIE AVILA CARDENAS, RICHARD QUISPE GONZALES estudiante(s) de la FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA. de la escuela profesional de INGENIERÍA CIVIL de la UNIVERSIDAD CÉSAR VALLEJO SAC - LIMA ATE, declaramos bajo juramento que todos los datos e información que acompañan la Tesis titulada: " APLICACIÓN DE PROGRAMAS DE COMPUTACIÓN EN EL ANÁLISIS SÍSMICO DE PÓRTICOS CON DISIPADORES DE ENERGÍA TADAS EN PERÚ, 2021", es de nuestra autoría, por lo tanto, declaramos que la Tesis:

1. No ha sido plagiada ni total, ni parcialmente.
2. Hemos mencionado todas las fuentes empleadas, identificando correctamente toda cita textual o de paráfrasis proveniente de otras fuentes.
3. No ha sido publicada, ni presentada anteriormente para la obtención de otro grado académico o título profesional.
4. Los datos presentados en los resultados no han sido falseados, ni duplicados, ni copiados.

En tal sentido asumimos la responsabilidad que corresponda ante cualquier falsedad, ocultamiento u omisión tanto de los documentos como de la información aportada, por lo cual nos sometemos a lo dispuesto en las normas académicas vigentes de la Universidad César Vallejo.

Apellidos y Nombres del Autor	Firma
AVILA CARDENAS GRACIELA MARJORIE DNI: 77061590 ORCID 0000-0001-5717-0367	 Fecha: 06 Mayo 2021
QUISPE GONZALES RICHARD DNI: 72308893 ORCID 0000-0002-8336-9297	 Fecha: 06 Mayo 2021