

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL**

**“ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO DEL PABELLÓN DE AULAS DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD
NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS, CON Y SIN
DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO, CHACHAPOYAS – 2017”**

**Tesis para obtener el título profesional de
INGENIERO CIVIL**

Autor:

Bach. EMANUEL TAFUR REVILLA

Asesor:

Ing. JORGE CHÁVEZ GUIVIN.

CHACHAPOYAS – AMAZONAS – PERÚ

2018

DEDICATORIA

A Dios

Por su amor eterno y su misericordia que tiene con todos nosotros, por sus promesas, por su palabra y por todas las cosas que me ha permitido realizar a lo largo de toda mi vida, por su gran fidelidad, que a pesar de todo él siempre está dispuesto a suplirme de todas las necesidades que tengo.

A mi mamá

Por su amor incondicional, por su paciencia, por brindarme todo su apoyo y siempre lo mejor, por sus grandes consejos y enseñarme el valor de la humildad, por estar siempre a mi lado en los momentos difíciles y felicidad, por todo lo vivido a su lado y por muchas cosas más.

Muy especial a mi papá

Aunque ya no estás presente, mi profesor favorito, quiero dedicarte este trabajo de titulación, porque en vida me enseñaste a ser respetuoso y responsable, siempre diste lo mejor de ti para darme una vida mejor y tranquila, me enseñaste el don de ayudar a quien más lo necesita, tu carácter conmigo me hizo ser una persona de bien, hoy los resultados salen a frote, gracias a ti mi profesor favorito.

A mis hermanos

Por siempre estar apoyándonos, por respetarnos el uno con el otro, por las alegrías y tristezas que pasamos, por enseñarme grandes virtudes tan solo con ver el diario vivir de cada uno de ustedes, por ser siempre hermanos y no pelearnos.

A mi familia y amigos.

Especialmente por sus conversaciones largas, agradables, intrigantes, emocionantes y de concejo, que siempre lo llevo en la mente y el corazón.

Emanuel Tafur Revilla

AGRADECIMIENTO

Agradecer en primer lugar a Dios que me dio la vida y a mis padres por ayudarme en mi educación, por su comprensión y paciencia para cumplir mis metas propuestas. A mis hermanos que me acompañaron en el transcurso de mi diario vivir brindándome su apoyo y confianza para seguir adelante en mis sueños.

A la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, por haberme acogido en su campus y permitirme desarrollar como profesional en la carrera de ingeniería civil, gracias a sus laboratorios y biblioteca que permitieron afianzar conocimientos referentes a mi especialidad.

A los docentes de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza, que me brindaron apoyo y todo su conocimiento, para yo poder desarrollarme como alumno y profesional de la carrera de ingeniería civil.

Al ingeniero Jorge Chávez Guivin, mi asesor de tesis, por su apoyo, consejos y conocimiento brindado para realizar con firmeza mi tesis para obtener el título profesional.

A los compañeros y amigos de la escuela profesional de Ingeniería Civil, por haber pasado experiencias juntos en nuestra etapa de desarrollo profesional, apoyándonos, aconsejándonos para seguir con nuestra meta que es ser un profesional de la carrera de ingeniería civil.

EL AUTOR

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE
MENDOZA DE AMAZONAS**

Dr. Policarpio Chauca Valqui

RECTOR

Dr. Miguel Ángel Barrena Gurbillón

VICERRECTOR ACADEMICO

Dra. Flor Teresa García Huamán

VICERRECTORA DE INVESTIGACIÓN

Dr. Oscar Andrés Gamarra Torres

DECANO DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL

VISTO BUENO DEL ASESOR

Yo, Ing. Jorge Chávez Guivin, identificado con DNI N° 33432495, con domicilio en el Jr. Cuarto Centenario N° 285, ciudad de Chachapoyas, Ingeniero Civil de profesión, actualmente adscrito a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

DOY VISTO BUENO, a la tesis titulada, “**ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO DEL PABELLÓN DE AULAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS, CON Y SIN DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO, CHACHAPOYAS – 2017**”, que estuvo conducido por el tesista Emanuel Tafur Revilla, bachiller egresado de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

POR LO TANTO

Firmo la presente para mayor constancia

Chachapoyas, 20 de julio de 2018

Ing. Jorge Chávez Guivin

DNI: 33432495

JURADO DE TESIS

Ing. Lucila Arce Meza

PRESIDENTE

Arq. Guillermo Arturo Díaz Jáuregui

SECRETARIO

Ing. Manuel Eduardo Aguilar Rojas

VOCAL

DECLARACIÓN JURADA DE NO PLAGIO

Yo, Emanuel Tafur Revilla, bachiller de la escuela profesional de Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, identificado con DNI N° 47505443.

Declaro bajo juramento que:

- Soy el autor de la tesis titulada: “ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO DEL PABELLÓN DE AULAS DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS, CON Y SIN DISIPADORES DE FLUIDO VISCOSO, CHACHAPOYAS – 2017”, la misma que se presentó para obtener el título profesional de INGENIERO CIVIL.
- La tesis no ha sido plagiada ni total ni parcialmente, para la cual se ha respetado las normas internacionales de citas y referencias para las fuentes consultadas.
- La tesis no atenta contra los derechos de terceros.
- La tesis no ha sido publicada ni presentada anteriormente para obtener algún grado académico previo o título profesional.
- Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido falsificados ni duplicados, ni copiados.

De identificarse fraude, piratería, plagio, falsificación o que el trabajo de investigación haya sido publicado anteriormente, asumo las consecuencias y sanciones que de mis acciones se deriven, sometiéndonos a la normativa vigente de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

Chachapoyas, 20 de julio de 2018.

Bach. Emanuel Tafur Revilla

DNI N° 47505443

INDICE DE CONTENIDOS

INDICE DE TABLAS	IX
INDICE DE FIGURAS	XI
RESUMEN	XVI
ABSTRACT	XVII
I. INTRODUCCIÓN.....	1
II. OBJETIVOS.....	3
2.1. Objetivo General	3
2.2. Objetivos específicos.....	3
III. MARCO TEÓRICO	3
3.1. Antecedentes de la investigación	3
3.2. Bases teóricas	6
3.2.1. Sistema sismorresistente convencional	6
3.2.2. Sistema de protección sísmica.....	7
3.3. Definición de términos básicos	29
IV. MATERIAL Y MÉTODOS	29
4.1. Diseño de investigación	29
4.2. Muestra.....	30
4.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos y procedimientos ..	30
4.4. Análisis de datos.....	34
V. RESULTADOS	34
5.1. Generalidades del proyecto	34
5.1.1. Descripción del proyecto	34
5.2. Análisis sísmico del edificio sin disipadores de fluido viscoso	36

5.2.1.	Respuesta del edificio sin disipadores de fluido viscoso.....	37
5.3.	Análisis del edificio con disipadores de fluido viscoso	41
5.3.1.	Respuesta del edificio con disipadores de fluido viscoso	50
5.4.	Evaluación de resultados	60
VI.	DISCUSIÓN.....	78
VII.	CONCLUSIONES.....	80
VIII.	RECOMENDACIONES.....	81
IX.	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA	82
X.	ANEXOS.....	84

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: <i>Coefficientes de amortiguamiento en función del amortiguamiento crítico</i>	28
Tabla 2: <i>Secciones agrietadas para edificaciones que tienen más de 30 años de vida útil.</i> ...	32
Tabla 3: <i>Desplazamientos por piso sin disipadores eje X-X.</i>	38
Tabla 4: <i>Desplazamientos por piso sin disipadores eje Y-Y.</i>	38
Tabla 5: <i>Distorsiones por piso sin disipadores eje X-X.</i>	39
Tabla 6: <i>Distorsiones por piso sin disipadores eje Y-Y.</i>	39
Tabla 7: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas sin disipadores.</i>	39
Tabla 8: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas sin disipadores.</i>	40
Tabla 9: <i>Valores para determinar el coeficiente de amortiguamiento eje X-X.</i>	43
Tabla 10: <i>Valores para determinar el coeficiente de amortiguamiento eje Y-Y.</i>	44
Tabla 11: <i>Desplazamientos por piso disposición diagonal eje X-X.</i>	51
Tabla 12: <i>Desplazamientos por piso disposición diagonal eje Y-Y.</i>	51
Tabla 13: <i>Distorsiones por piso disposición diagonal eje X-X.</i>	51
Tabla 14: <i>Distorsiones por piso disposición diagonal eje Y-Y.</i>	51
Tabla 15: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas disposición diagonal.</i>	52
Tabla 16: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas disposición diagonal.</i>	53
Tabla 17: <i>Desplazamientos por piso disposición CHEVRON eje X-X.</i>	55
Tabla 18: <i>Desplazamientos por piso disposición CHEVRON eje Y-Y.</i>	55
Tabla 19: <i>Distorsiones por piso disposición CHEVRON eje X-X.</i>	55
Tabla 20: <i>Distorsiones por piso disposición CHEVRON eje Y-Y.</i>	55

Tabla 21: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas disposición CHEVRON.</i>	56
Tabla 22: <i>Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas disposición CHEVRON.</i>	57
Tabla 23: <i>Comparación de periodos sin y con disipadores de fluido viscoso.</i>	60

INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Clasificación de los sistemas de protección.	8
<i>Figura 2.</i> Distribución de energía en una estructura sin disipadores.	10
<i>Figura 3.</i> Distribución de energía en una estructura con disipadores viscosos.....	11
<i>Figura 4.</i> Diagrama Fuerza – Desplazamiento: a) disipador viscoso b) disipador viscoelástico c) disipador de fricción.	12
<i>Figura 5.</i> Modelo sólido Voigt-Kelvin.....	14
<i>Figura 6.</i> Modelo sólido Maxwell.....	15
<i>Figura 7.</i> Modelo de sólido lineal estándar.....	16
<i>Figura 8.</i> Elemento viscoelástico en ETABS.....	16
<i>Figura 9.</i> Esquema general de un disipador de Energía TAYLOR DEVICES INC.....	17
<i>Figura 10.</i> Relación velocidad vs fuerza del disipador.	21
<i>Figura 11.</i> Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía.	21
<i>Figura 12.</i> Relación Fuerza-Desplazamiento para exponentes de velocidades de 1 y 0.5..	22
<i>Figura 13.</i> Disposición CHEVRON.....	23
<i>Figura 14.</i> Disposición diagonal.	24
<i>Figura 15.</i> Disipador Taylor de fluido viscoso.	25
<i>Figura 16.</i> Funcionamiento del HiDAX-e ante una estimulación sísmica.....	26
<i>Figura 17.</i> Disipador viscoso HiDAM.	26
<i>Figura 18.</i> Disipador viscoso HiDAX-e.	26
<i>Figura 19.</i> Diseño de la investigación.....	29

<i>Figura 20.</i> Esquema tridimensional ETABS.....	35
<i>Figura 21.</i> Esquema planta típica ETABS.	35
<i>Figura 22.</i> Registro E-W sismo 2005 Moyobamba de 7.0 en la escala de Richter.....	36
<i>Figura 23.</i> Registro N-S sismo 2005 Moyobamba de 7.0 en la escala de Richter.....	36
<i>Figura 24.</i> Periodo del modo 1 de 0.919 sin disipadores.	37
<i>Figura 25.</i> Periodo del modo 2 de 0.63 sin disipadores.	38
<i>Figura 26.</i> Ubicación de los disipadores diagonales eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 1-1.	45
<i>Figura 27.</i> Ubicación de los disipadores diagonales eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 3-3.	45
<i>Figura 28.</i> Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje A-A.....	46
<i>Figura 29.</i> Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje E-E.....	46
<i>Figura 30.</i> Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje I-I.....	47
<i>Figura 31.</i> Ubicación de los disipadores CHEVRON eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 1-1.	47
<i>Figura 32.</i> Ubicación de los disipadores CHEVRON eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 3-3.	48
<i>Figura 33.</i> Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje A-A.	48
<i>Figura 34.</i> Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje E-E.	49
<i>Figura 35.</i> Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje I-I.....	49
<i>Figura 36.</i> Periodo del modo 1 de 0.919 disposición diagonal.....	50
<i>Figura 37.</i> Periodo del modo 2 de 0.63 disposición diagonal.....	50
<i>Figura 38.</i> Periodo del modo 1 de 0.92 disposición CHEVRON.	54

<i>Figura 39.</i> Periodo del modo 2 de 0.63 disposición CHEVRON.	54
<i>Figura 40.</i> Esquema de disipación de energía del arreglo diagonal.....	58
<i>Figura 41.</i> Esquema de disipación de energía del arreglo CHEVRON.	58
<i>Figura 42.</i> Esquema de curva histéresis del disipador viscoso K1 arreglo diagonal.....	59
<i>Figura 43.</i> Esquema de curva histéresis del disipador viscoso K1 arreglo CHEVRON.	59
<i>Figura 44.</i> Esquema de disminución de los desplazamientos sin y con disipadores eje X-X.	60
<i>Figura 45.</i> Porcentaje de reducción de los desplazamientos usando los disipadores eje X-X.	61
<i>Figura 46.</i> Esquema de disminución de los desplazamientos sin y con disipadores eje Y-Y.	61
<i>Figura 47.</i> Porcentaje de reducción de los desplazamientos usando los disipadores eje Y-Y.	62
<i>Figura 48.</i> Esquema de disminución de las distorsiones sin y con disipadores eje X-X. ...	62
<i>Figura 49.</i> Porcentaje de reducción de las distorsiones usando los disipadores eje X-X. ..	63
<i>Figura 50.</i> Esquema de disminución de las distorsiones sin y con disipadores eje Y-Y. ...	63
<i>Figura 51.</i> Porcentaje de reducción de las distorsiones usando los disipadores eje Y-Y. ..	64
<i>Figura 52.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.....	64
<i>Figura 53.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.....	65
<i>Figura 54.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.....	65

<i>Figura 55.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.....	66
<i>Figura 56.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.....	66
<i>Figura 57.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.....	67
<i>Figura 58.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.....	67
<i>Figura 59.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.....	68
<i>Figura 60.</i> . Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.....	68
<i>Figura 61.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.....	69
<i>Figura 62.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.....	69
<i>Figura 63.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.....	70
<i>Figura 64.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 4° piso.....	70
<i>Figura 65.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 3° piso.....	71
<i>Figura 66.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 2° piso.....	71
<i>Figura 67.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 1° piso.....	72

<i>Figura 68.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 4° piso.....	72
<i>Figura 69.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 3° piso.....	73
<i>Figura 70.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 2° piso.....	73
<i>Figura 71.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 1° piso.....	74
<i>Figura 72.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 4° piso.	74
<i>Figura 73.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 3° piso.	75
<i>Figura 74.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 2° piso.	75
<i>Figura 75.</i> Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 1° piso.	76
<i>Figura 76.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 4° piso.	76
<i>Figura 77.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 3° piso.	77
<i>Figura 78.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 2° piso.	77
<i>Figura 79.</i> Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 1° piso.	78

RESUMEN

El principal riesgo al que están expuestos las edificaciones es la ocurrencia de un sismo, a través de experiencias se observa que las estructuras de concreto armado están fallando debido a la baja capacidad del material para soportar las fuerzas que generan los sismos en la edificación, por lo que se está implementando tecnologías modernas de protección sísmica para poder mejorar la respuesta sísmica, por tal razón en la presente investigación se tiene por objetivo principal realizar el análisis sísmico comparativo del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con y sin disipadores de fluido viscoso en el software ETABS. La metodología utilizada para el análisis sísmico sin disipadores, es modelar en el software el pabellón con ayuda de los planos y finalizar con un análisis sísmico tiempo historia siguiendo pautas de la norma peruana E.030. En el análisis sísmico con disipadores primero se define una deriva objetiva, con la cual se obtiene un amortiguamiento y definiendo otros parámetros se obtiene el coeficiente de amortiguamiento de los disipadores, estos datos llevados al software utilizando dos configuraciones el arreglo diagonal y CHEVRON, se incluye al modelo y se realiza el análisis sísmico. Se concluyó que los periodos del edificio no cambian para la disposición diagonal, en cambio para la disposición CHEVRON sufre un pequeño aumento en el primer modo, los desplazamientos y las distorsiones se reducen significativamente en ambas direcciones del edificio, las fuerzas máximas y momentos máximos disminuyen en la mayoría de los elementos estructurales, aunque en algunos casos aumentan para ambas disposiciones.

Palabras clave: Análisis sísmico y disipadores de fluido viscoso.

ABSTRACT

The main risk to which buildings are exposed is the occurrence of an earthquake, through experiences it is observed that reinforced concrete structures are failing due to the low capacity of the material to withstand the forces generated by earthquakes in the building, so that it is implementing seismic information protection technologies in order to improve the seismic response, for this reason the main objective of this research is the comparison between seismic analysis of the classroom analysis of the Faculty of Civil Engineering and Environmental Study of the National University Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas with and without viscous fluid dissipaters in the ETABS software. The methodology used for the seismic analysis without dissipaters, it is modelling the software the pavilion with the help of the plans and finishing with a seismic analysis time the history following the guidelines of the Peruvian Norm E.030. In the seismic analysis with dissipaters an objective derivative is first defined, with the quality a damping and definition of other parameters is obtained, the damping coefficient of the dissipaters is obtained, this data taken to the software using two configurations the diagonal arrangement and CHEVRON, it includes the model and seismic analysis is performed. It was concluded that the periods of the building do not change for the diagonal arrangement, however for the CHEVRON layout it undergoes a small increase in the first mode, the displacements and the distortions are reduced in parts of the building, the maximum forces and the moments are decreased in most of the structural elements, although in some cases they increase for both.

Key words: Seismic analysis y viscous fluid dissipaters.

I. INTRODUCCIÓN

Sismo es la vibración de la tierra producida por la liberación rápida y espontánea de energía, principalmente por el movimiento de placas tectónicas, este fenómeno viene a ser el principal riesgo al que están expuestas las edificaciones, principalmente las construidas de concreto armado que han alertado sobre la necesidad de mejorar su comportamiento sísmico, ya que son diseñados de acuerdo a códigos obsoletos y muestran un bajo amortiguamiento estructural, baja ductilidad entre otros (Mata, Barbat, Oller & Boroschek, 2008).

Es así que comenzaron a surgir en los años sesenta conceptos de amortiguamiento, absorción de vibración y aislamiento de vibración para dar aplicabilidad a estructuras civiles que estuviesen sometidas a sismo y viento, consiguiendo así técnicas de control estructural avanzadas (Oviedo & Duque, 2009). Japón, Estados Unidos y China son países que más han aportado al desarrollo de estas técnicas, que han dado un gran conocimiento de esta tecnología por lo cual países americanos como México, Chile y Argentina, empiecen también a contribuir a este campo del conocimiento (Oviedo & Duque, 2009).

Perú está ubicado en una región sísmicamente activa llamado cinturón de fuego del pacífico, que siempre está acompañado de eventos sísmicos debido que en esta zona se encuentran los límites de placas tectónicas que están en continua subducción, es decir las placas oceánicas se introducen bajo placas que contienen a los continentes, la fricción que genera este proceso libera gran cantidad de energía, generando así grandes vibraciones a la corteza terrestre, donde muchos de estos eventos ocasionaron pérdida de vidas humanas y económicas considerables (Díaz la Rosa, 2014). El último antecedente es el terremoto de Ica, uno de los últimos sismos devastadores sucedido el año 2007, cuya medición en la escala de Richter fue de 7.9, el cual dio a notar las graves deficiencias constructivas que posee el país, el 90% de las estructuras tuvieron fallas en dicho lugar (Chávez, 2016), ya que los sistemas estructurales de las edificaciones utilizan técnicas convencionales de concreto armado que controlan la respuesta de los sismos con la combinación de resistencia, rigidez y capacidad de disipación de energía en el rango inelástico, tomando como condición su ductilidad, al fallar estos sistemas ponerlos operativos requiere de una elevada inversión económica, la parte arquitectónica se afectaría, así mismo la estructura, por su mismo trabajo inelástico, sufre daños permanentes, las cuales resultan irreparables e imposibles de permitir en estructuras cuya funcionalidad es vital luego de ocurrido un sismo, tales como hospitales,

estaciones de bomberos, centros educativos entre otros (Bozo & Galán, 2013), es por ello que en el país se viene utilizando los sistemas de control como son los disipadores de fluido viscoso, estos se utilizaron en el Aeropuerto Jorge Chávez como reforzamiento, también el Centro Empresarial Reducto ubicado en el distrito de Miraflores provincia de Lima (Corpus & Morales, 2015), también se puede apreciar que en el Reglamento Nacional de Edificaciones del Perú contempla normas de diseño y análisis sísmico de concreto armado, albañilería entre otros; pero no se encuentra normado el diseño y análisis sísmico de disipadores de energía viscoso que es de gran importancia en zonas de alta peligrosidad sísmica y el país se encuentra dentro de esta zona, por esta razón la presente tesis con el fin de ver cuál es el más eficiente para controlar las acciones sísmicas se compara dos tipos de sistemas estructurales, el sistema convencional de concreto armado formado por vigas y columnas o combinadas con placas de concreto estructural, con el sistema reforzado con disipadores de fluido viscoso.

El presente estudio se aplica al pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, se plantea una adición a la estructura de disipadores de fluido y realizar un análisis sísmico comparativo para ver la influencia que tiene estos disipadores y ver si mejora los parámetros sísmicos, por lo que se plantea la siguiente interrogante ¿Cuál será el resultado de comparar el análisis sísmico del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con y sin disipadores de fluido viscoso?.

Se espera que el comportamiento de los disipadores de fluido viscoso acopladas en esta estructura mejore el funcionamiento y protección ante sismos, donde los beneficiarios directos de la investigación serán alumnos y docentes abocados al tema de esta casa superior de estudios, sirviéndoles como fuente de consulta, y también a otras personas que pretendan iniciar un estudio como este, además beneficiara a la Sub Dirección de Estudios y Proyectos de la Dirección de Infraestructura y Gestión Ambiental de la Universidad, cuando pretendan realizar estudios de reforzamiento a los pabellones de cada Facultad, donde este servirá como fuente para ver si encuentran factibilidad al utilizar estos disipadores de energía viscoso, por estas razones la investigación tendría una repercusión a nivel local.

II. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Realizar el análisis sísmico comparativo del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con y sin disipadores de fluido viscoso.

2.2. Objetivos específicos

- Modelar el pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas en el programa ETABS para determinar los periodos, desplazamientos, distorsiones, fuerzas máximas y momentos máximos que actúan sobre la estructura.
- Incluir y definir una adecuada distribución de los disipadores de fluido viscoso en el modelo del pabellón, para determinar los periodos, desplazamientos, distorsiones, fuerzas máximas y momentos máximos que actúan sobre la estructura.
- Comparar los periodos, desplazamientos, distorsiones, así como las fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre la estructura, resultado de cada uno de los dos modelos.

III. MARCO TEÓRICO

3.1. Antecedentes de la investigación

Corpus & Morales (2015). Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando ETABS 2013, para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Privada Antenor Orrego.

Concluye: Que al implementar los disipadores de fluido viscoso a la estructura estudiada (configuración dual), se mantienen iguales los periodos y las frecuencias, no sufrieron variación alguna, con esto se comprueba que la adición de estos dispositivos no altera la rigidez de la estructura (Corpus & Morales, 2015), se lograron disminuir considerablemente las derivas de entrepiso siendo en la dirección Y-Y una deriva máxima de 3.99‰ y se observa reducciones de fuerzas axiales, cortantes y momento flectores de las columnas (Corpus & Morales, 2015).

Fuentes (2015). Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso, para optar el título de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Concluye: Que al realizar el análisis de la edificación sin protección sísmica y al usar el espectro de respuesta de la norma peruana sismorresistente E.030, alcanzando derivas de entre piso de 9.1‰ y 10.5‰ en X e Y respectivamente, superando al límite permitido por la norma que es 7.0‰, también se observa que las fuerzas cortantes en la base fueron en 97 ton en X y 94 ton en Y (sin factor de escala), que están en el orden del 4.5% del peso de la edificación. Haciendo un análisis de respuesta espectral y como el amortiguamiento efectivo depende del cociente de la deriva del edificio sin reforzar y la deriva objetiva que se pretende lograr, fue necesario incorporar en la estructura un amortiguamiento efectivo de 12.5‰ y 19.1‰ en X e Y respectivamente, probando arreglos en diagonal, doble diagonal y CHEVRON, la última configuración fue más eficiente obteniéndose menores valores de constante de amortiguamiento, las tres configuraciones disminuyeron las derivas máximas y mejoraron la regularidad torsional en todos los pisos en ambas direcciones, además las fuerzas cortantes en la base que se obtuvieron al aplicar el espectro reducido de la norma E.030, con disipadores fueron un promedio de 76 ton en dirección X, 66 ton en la dirección Y, las cuales están en el orden de 3.5% del peso del edificio, que representan una reducción de 22% en X y 31% en Y., también se obtuvieron resultados similares en los desplazamientos máximos de la azotea alcanzando en promedio 23% de reducción en X y 35 % en la dirección Y (Fuentes, 2015).

Cano & Zumaeta (2012). Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo, para optar el título de Ingeniero Civil en la Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas.

Concluye: En el balance de energía, los disipadores absorben alrededor de 84.5% para disipadores viscosos, además se verifica que con el uso de disipadores se incrementa la capacidad de disipación de energía ante la presencia de un sismo y reducen los desplazamientos entre pisos en un rango de 60 a 67% para disipadores viscosos, se ve

también que no genera ningún efecto en la rigidez de la estructura por lo cual el periodo de la misma debe mantenerse intacto (Cano & Zumaeta, 2012).

Guevara & Torres (2012). Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido-viscoso en disposición diagonal, para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Pontificia Universidad Católica del Perú.

Concluye: Los resultados del estudio indican que para un sismo raro la deriva máxima (9 %) se reduciría a 5.8 %, valor con el cual el daño será de nivel moderado, por lo que las aplicaciones de los disipadores de fluido viscoso disminuyen la incursión en el rango inelástico de la estructura, esto se traduce en menos daño (Guevara & Torres, 2012). Se observó también que el introducir disipadores de fluido viscoso origina que los esfuerzos cortantes y los momentos flectores en la estructura disminuyan a costa de un incremento en la carga axial de las columnas conectadas a los dispositivos de amortiguamiento (Guevara & Torres, 2012).

Diaz la Rosa (2014). Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos TAYLOR para una edificación esencial de 6 pisos, para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad Antenor Orrego.

Concluye: Al implementar disipadores de energía viscosos se mantiene intacto el primer modo de vibración (modo fundamental) de la edificación, esto comprueba que no se altera la rigidez de la estructura, produciendo una disminución de los desplazamientos máximos presentados en el sexto nivel en un 41.81%, así como la reducción de las derivas de entrepiso desde un 38.57% hasta un 51.10%, también se observó una reducción significativa en las fuerzas cortantes de los muros de corte en el eje Y (donde están presentes los dispositivos) desde un 32.04 % hasta un 48.58%, así mismo en las columnas esta reducción es de hasta 35.31% y por último se pudo observar una reducción de los momentos de hasta 47.93% para placas y 35.30% para columnas (Diaz la Rosa, 2014).

Chávez (2016). Diseño y efectos de interacción sísmica suelo – estructura con disipadores de energía viscosos – Taylor, en un edificio aporticado de 5 niveles en la urbanización Buenos Aires, distrito de Nuevo Chimbote – 2016, para optar el título profesional de Ingeniero Civil en la Universidad César Vallejo.

Concluida la parte de análisis sísmico obtuvieron los resultados siguientes: Que para el caso de derivas están por encima del 30% y 45 % del eje X e Y respectivamente, también se reducen las fuerzas y momentos máximos al utilizar los disipadores, para el caso de columnas del primer piso la fuerza cortante se redujo de 41.04 Tn a 38.86 Tn y los momentos de 109.5 Tn.m a 72.3 Tn.m, igual pasa para placas en el primer nivel el momento se redujo de 350.05 Tn.m a 300.64 Tn.m y la fuerza cortante de 90.4 Tn a 79.04 Tn; para el segundo nivel el momento se redujo de 281 Tn.m a 236 Tn.m y la fuerza cortante de 122.6 Tn a 118.74 Tn (Chávez, 2016).

3.2. Bases teóricas

3.2.1. Sistema sismorresistente convencional

Los sistemas de concreto armado de acuerdo a la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” del Reglamento de Edificaciones del Perú son: aporticado donde el 80% de la fuerza cortante en la base actúa sobre las columnas de los pórticos, muros estructurales en el que la resistencia sísmica está dada predominantemente por muros estructurales sobre los que actúa por lo menos el 70% de la fuerza cortante en la base y dual donde las acciones sísmicas son resistidas por una combinación de pórticos y muros estructurales, la fuerza cortante que toman los muros está entre 20% y 70% del cortante en la base del edificio, los pórticos deberán ser diseñados para resistir por lo menos 30% de la fuerza cortante en la base.

Estos sistemas están diseñados con diseño sismorresistente convencional que está basado, en la capacidad que tienen las estructuras de disipar la energía introducida por un sismo, a través de su combinación de rigidez, resistencia y ductilidad (Oviedo & Duque, 2006; Guevara & Torres, 2012; Bozo & Galán, 2013). Esta filosofía debe asegurar el comportamiento estructural, cumpliendo que la Capacidad > Demanda (“Demanda” considera fuerzas y deformaciones generadas en las estructuras a causa del sismo; y la “Capacidad” considera la

resistencia y deformación que puede desarrollar la estructura sin comprometer su integridad) (Martínez, 2012). Para satisfacer la inecuación se aumentaría la capacidad que implica aumento de la resistencia y ductilidad para conseguir un margen de seguridad (Martínez, 2012), esto significaría una alta inversión en términos económicos, y, aun así, jamás podríamos mantener la estructura en el rango elástico (Guevara & Torres, 2012). Por eso es de esperarse que la estructura tenga un comportamiento elástico ante sismos leves y uno inelástico cuando esté sujeto a sismos moderados o raros (Guevara & Torres, 2012).

Este comportamiento inelástico está caracterizado por la disipación de energía a través de deformaciones no recuperables que se agravan conforme la deriva de entrepiso se incrementa; teniendo como consecuencia daño estructural y no estructural cuantioso (Guevara & Torres, 2012), en la mayoría de los casos irreparables, siendo importante indicar, que en estructuras esenciales estos daños no deberían permitirse (Díaz la Rosa, 2014), la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, clasifica a las edificaciones esenciales tales como establecimientos de salud, aeropuertos, centrales de comunicaciones, estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía, instalaciones de generación y transformación de electricidad, instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos, universidades, entre otras deben continuar operativos después de un sismo severo donde se produce el comportamiento inelástico.

3.2.2. Sistema de protección sísmica

Los sistemas de protección sísmica se clasifican en cuatro grupos: sistemas pasivos, activos, híbridos y semi-activos como se muestra en la Figura 1:

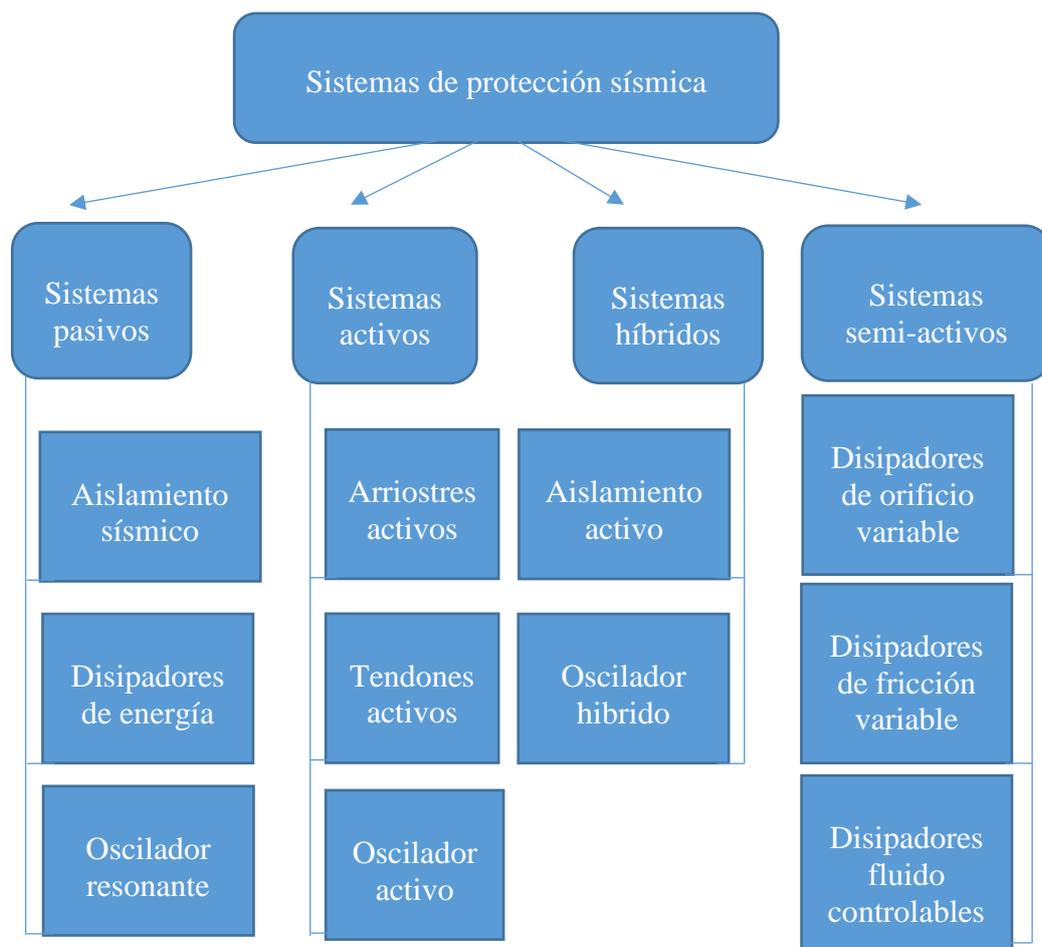


Figura 1. Clasificación de los sistemas de protección (Adaptado de Bozo & Galán, 2013, Chávez, 2016 y Diaz la Rosa, 2014).

Los sistemas pasivos: Los más comunes, poseen una alta confiabilidad porque no requieren ningún tipo de energía para funcionar y por lo tanto no corren riesgo de quedar fuera de servicio bajo una situación de emergencia (Martínez, 2012).

Los sistemas activos: Involucra dispositivos, actuadores hidráulicos o electromecánicos comandados por algoritmos de control en una unidad central que recibe y procesa toda la información, su funcionamiento requiere fuentes de energía ininterrumpida y elementos de respuesta rápida (Martínez, 2012).

Los sistemas semi-activo: No necesitan gran cantidad de energía para funcionar como los activos, ya que para realizar la función de control no emplean actuadores, sino dispositivos pasivos, con capacidad de cambiar sus propiedades a partir de un algoritmo de control para mejorar su efectividad (Martínez, 2012).

Los sistemas de control híbrido: Surgen de la combinación de los sistemas mencionados, siendo la combinación más utilizada la de un sistema pasivo junto a uno activo (Martínez, 2012).

1) Sistemas pasivos de protección sísmica

Los sistemas pasivos de protección sísmica se clasifican en aisladores, disipadores y sistemas inerciales acoplados. Los aisladores desacoplan parcialmente al edificio del suelo, disminuyendo la energía de entrada y por consiguiente su respuesta estructural. Los sistemas inerciales acoplados tales como el Tuned Mass Dampers (TMD) introducen masas adicionales, normalmente situadas en la parte alta de los edificios, cuya excitación absorbe parte de la energía cinética introducida por el sismo. Los disipadores de energía no alteran la energía de entrada, que depende básicamente del período fundamental y de la masa del edificio, manifestando su eficiencia maximizando la energía disipada y disminuyendo la respuesta estructural. Las propiedades más valiosas de los sistemas pasivos son su robustez, no dependen de fuentes de energía, son mecánicamente simples y su costo es competitivo (Villareal & Oviedo, 2009).

A. Disipadores de energía

El propósito de emplear Disipadores de Energía es tratar de que la estructura tenga un mejor comportamiento frente a un evento sísmico, asegurando que esta se comporte dentro del rango lineal y así poder limitar las deformaciones inelásticas y la formación de rótulas plásticas, impidiendo el daño estructural (Corpus & Morales, 2015).

Villareal & Oviedo (2009), comenta que al introducir los dispositivos de disipación de energía a las estructuras mejoran su desempeño estructural quedando el balance de energías como sigue:

$$E = E_k + E_s + E_h + E_d$$

Donde:

E: Energía de entrada del movimiento sísmico.

E_k : Energía cinética.

E_s : Energía de deformación elástica recuperable.

E_h : Energía irrecuperable, disipada por el sistema estructural a través de la inelasticidad u otras formas de acción.

E_d : Energía disipada por los dispositivos de amortiguamientos suplementarios.

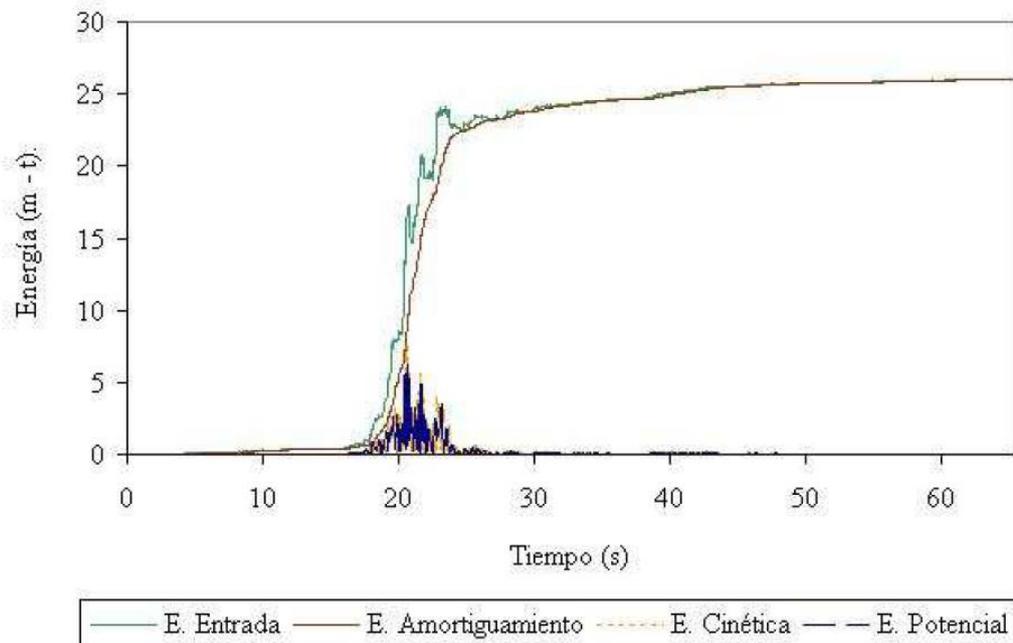


Figura 2. Distribución de energía en una estructura sin disipadores (obtenido de: Villareal & Oviedo, 2009).

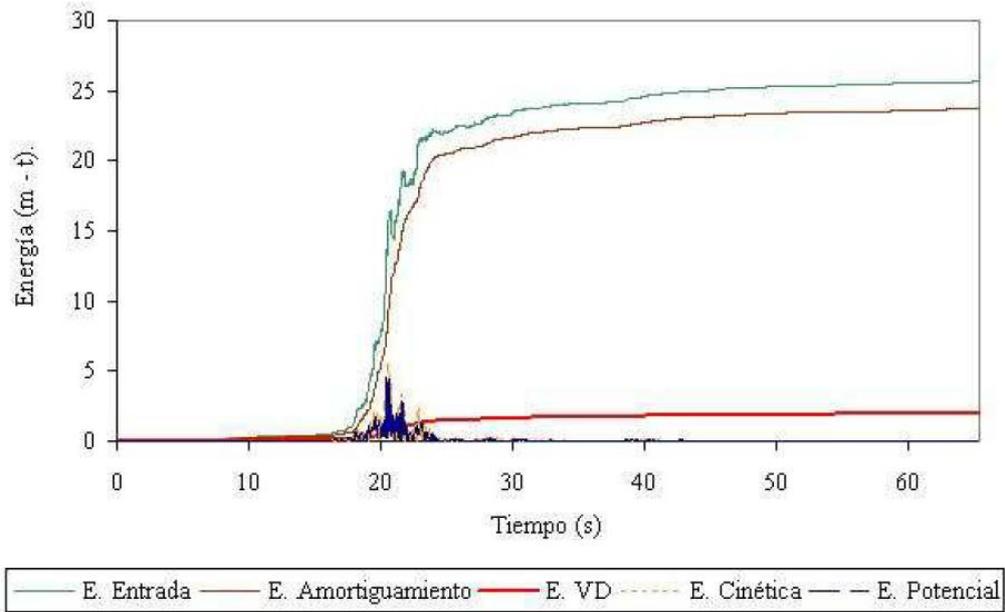


Figura 3. Distribución de energía en una estructura con disipadores viscosos (obtenido de: Villareal & Oviedo, 2009).

Los disipadores de energía se clasifican en tres grupos: dependientes del desplazamiento (disipadores de fluencia metálica y disipadores por fricción), dependientes de la velocidad (disipadores fluido-viscosos), y por último los dependientes del desplazamiento y de la velocidad (disipadores fluido visco-elásticos y disipadores sólido visco-elásticos) (Guevara & Torres, 2012).

a) Disipadores dependientes del desplazamiento:

Son aquellos dispositivos que inician la disipación de energía con el movimiento relativo de entrepiso. Esto se refleja como un incremento en la rigidez de la estructura modificando de esta manera el periodo de la misma (Guevara & Torres, 2012).

Disipadores de fluencia metálica: Estos dispositivos aprovechan la plastificación de los metales (cuando se deforman en el rango inelástico) para disipar energía. Las características particulares son su comportamiento estable, su fiabilidad a largo plazo, y en general su buena resistencia que tienen ante los factores ambientales y de temperatura. Entre los más empleados tenemos los denominados ADAS (Added Damping And Stiffness), TADAS (Triangular-

Plate Added Damping And Stiffness) y los DUR (Dissipator Using Steel Roods) (Diaz La Rosa, 2014).

Disipadores por fricción: Estos dispositivos disipan la energía sísmica de entrada a través del rozamiento entre dos superficies en contacto bajo presión y el deslizamiento entre ellas (Diaz la Rosa, 2014).

b) Disipadores dependientes de la velocidad:

Disipadores fluido viscosos: Son dispositivos que dependen de la velocidad y no del desplazamiento, razón por la cual no varían la rigidez de la estructura ni tampoco incrementan los esfuerzos en los elementos estructurales (Diaz la Rosa, 2014).

c) Disipadores dependientes del desplazamiento y la velocidad:

Disipadores visco-elásticos: Se han empleado con éxito en una serie de edificios altos para reducir la respuesta de estas estructuras ante solicitaciones sísmicas y de viento. Estos dispositivos han sido capaces de aumentar el amortiguamiento total de las estructuras de manera significativa, es decir, mejoran el rendimiento global de las mismas (Diaz la Rosa, 2014).

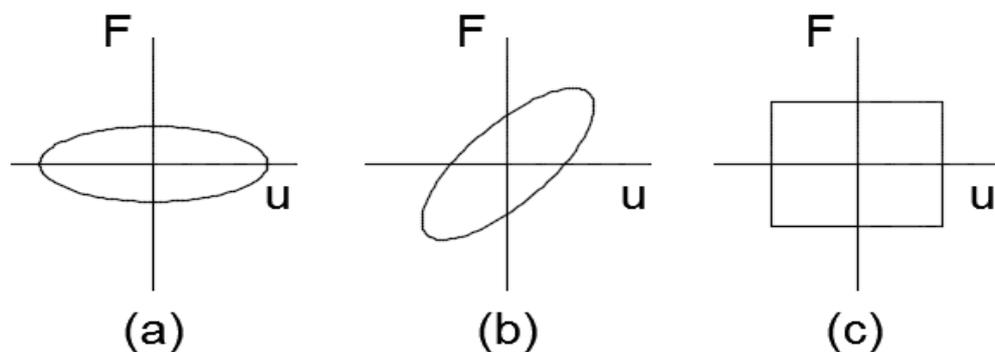


Figura 4. Diagrama Fuerza – Desplazamiento: a) disipador viscoso b) disipador viscoelástico c) disipador de fricción (obtenido de: Fuentes, 2015).

B. Disipadores de fluido viscoso

Los disipadores de fluido viscoso tienen la propiedad de reducir simultáneamente los esfuerzos y las deflexiones de la estructura. Esto es debido a que los disipadores de fluido varían su fuerza solamente con la velocidad, la cual provee una respuesta que es inherentemente fuera de fase con los esfuerzos debido a la flexibilidad de la estructura (Villareal & Oviedo, 2009).

Taylor (2004) citado por Corpus & Morales (2015) menciona que el amortiguador de fluido viscoso, que actúa como un dispositivo disipador de energía en las estructuras, consiste básicamente en un cilindro de acero inoxidable de alta resistencia, el cual contiene un fluido de alta viscosidad, resistente al fuego (no inflamable y no combustible), estable a los cambios de temperatura y a largos periodos de tiempo. En la actualidad, los únicos fluidos que poseen todas estas características son los que pertenecen a la familia de las siliconas.

El cilindro en su interior posee un pistón (también de acero de alta resistencia e inoxidable), que se compone de una vara que en su borde interior tiene una cabeza (“cabeza del pistón”) con orificios. La cabeza del pistón divide el interior del cilindro en dos cavidades llamadas “cámaras”. Cuando existe un desplazamiento del pistón a altas velocidades dentro del cilindro debido a una excitación, este provoca el paso de fluido de una cámara a otra, lo que produce una presión diferencial y esta a su vez origina la fuerza de amortiguamiento. Además, el cilindro en su interior posee una tercera cámara, de “Acumulación”, que su principal función es permitir el desplazamiento de la vara del pistón, desde adentro hacia fuera del amortiguador durante la excitación y compensar la expansión y contracción térmica del fluido. La actividad sísmica, presiona el pistón hacia el cilindro comprimiendo el fluido del interior hacia la cámara 2, luego este pasa de regreso de la cámara 1 a la cámara 2, a través de las perforaciones y se iguala la presión, que es la que provoca la fuerza de amortiguamiento. Estas perforaciones se gradúan en tamaño y cantidad, para proporcionar la respuesta deseada. Para prever un efecto de rebote, la válvula de control libera parte del fluido a la cámara 3 de acumulación. (Pardo, 2007).

Constantinou y Symans (1992) citado por Pardo (2007) comenta que la adición de amortiguadores viscosos a una estructura puede elevar el amortiguamiento de la estructura a un 30 % del amortiguamiento crítico o más. Por consiguiente, esta adición puede reducir las aceleraciones y desplazamientos laterales por un 50% respecto a la estructura sin amortiguadores.

Modelos matemáticos

Modelo sólido Voigt-Kelvin

Se obtiene colocando un resorte hookeano y un amortiguador newtoniano en paralelo Figura 5. Al aplicar un esfuerzo σ , la deformación unitaria del resorte ϵ_d y la deformación unitaria del amortiguador ϵ_s es la misma. El esfuerzo total es la suma de los esfuerzos de ambos componentes (Fuentes, 2015).

$$\epsilon_d = \epsilon_s = \epsilon \text{ ----- (1a)}$$

$$\sigma = \sigma_s + \sigma_d = E\epsilon + \eta\dot{\epsilon} \text{ ----- (1b)}$$

Donde E es el módulo de elasticidad y η es el coeficiente de viscosidad.

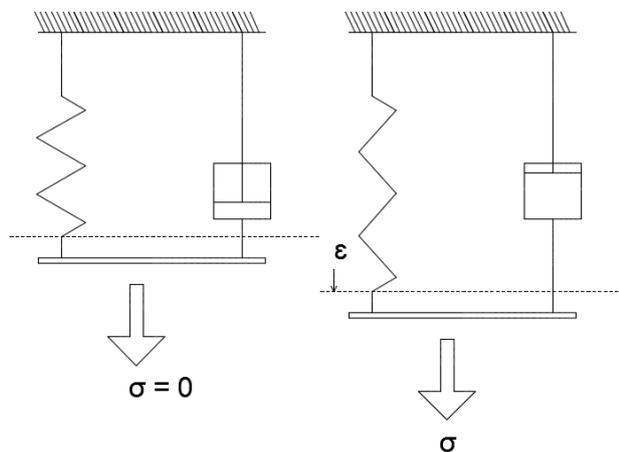


Figura 5. Modelo sólido Voigt-Kelvin (obtenido de: Fuentes, 2015).

Modelo sólido Maxwell

Resulta de una combinación en serie de un resorte y un amortiguador (Figura 6). El esfuerzo a través del amortiguador σ_d es el mismo que a través del resorte σ_s , sin embargo, ambos elementos contribuyen a la deformación unitaria total (Fuentes, 2015).

$$\sigma_s = \sigma_d = \sigma \text{ ----- (2a)}$$

$$\varepsilon = \varepsilon_d + \varepsilon_s \text{ ----- (2b)}$$

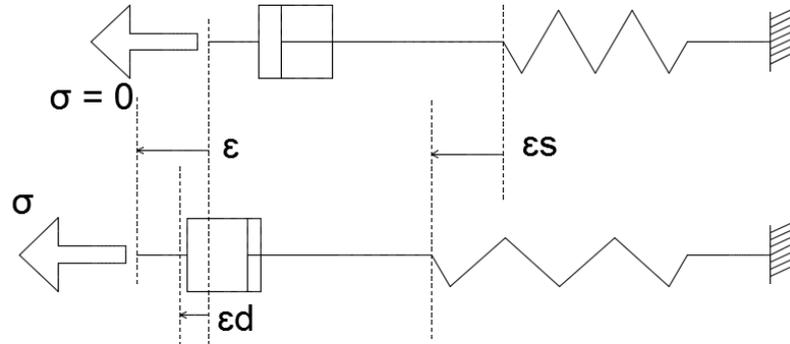


Figura 6. Modelo sólido Maxwell (obtenido de: Fuentes, 2015).

Modelo de sólido lineal estándar

Al realizar combinaciones lineales de los modelos de Voigt-Kelvin y de Maxwell, se establecieron modelos más generales para estudiar el comportamiento de materiales viscoelásticos. Colocando un resorte en paralelo con un modelo de Maxwell (Figura 7) se obtiene un modelo denominado modelo de sólido lineal estándar, el cual predice tanto los fenómenos de flujo plástico como de relajación de esfuerzos (Fuentes, 2015).

La rigidez del resorte ke brinda una respuesta elástica demorada, es decir, equilibra el sistema luego de que los esfuerzos en la unidad Maxwell se han relajado conforme el amortiguador se extiende. En este modelo la unidad Maxwell y el resorte paralelo ke tienen la misma deformación y el esfuerzo total σ es la suma de los esfuerzos en cada componente del modelo (Fuentes, 2015).

Al diferenciar la ecuación (2b) con respecto al tiempo se obtiene

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_s + \dot{\varepsilon}_d = \frac{\dot{\sigma}}{E} + \frac{\sigma}{\eta} \Rightarrow \dot{\sigma} + \frac{E}{\eta}\sigma = E\dot{\varepsilon} \text{ ----- (3a)}$$

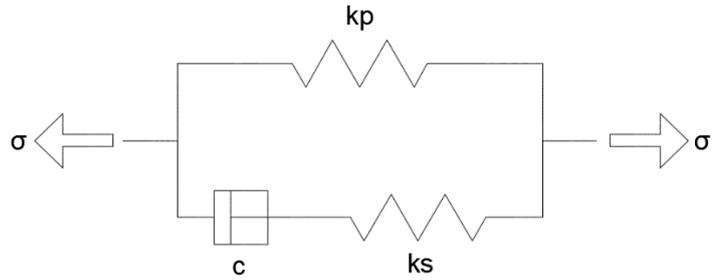


Figura 7. Modelo de sólido lineal estándar (obtenido de: Fuentes, 2015).

Modelo de elemento viscoelástico en ETABS

El programa ETABS emplea un modelo para representar un elemento viscoelástico general (Figura 8). que es similar al modelo de sólido lineal estándar. Sin embargo, a diferencia de este último, en el modelo de ETABS el elemento viscoso (representado con el modelo de Maxwell) puede ser no lineal ($\alpha \neq 1$) (Fuentes, 2015).

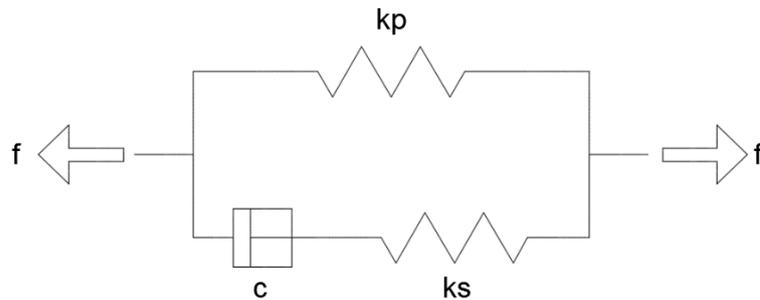


Figura 8. Elemento viscoelástico en ETABS (obtenido de: Fuentes, 2015).

La deformación total $d^{(i)}$ del elemento viscoelástico debe ser calculada de forma que se cumpla el equilibrio en cada instante de tiempo (Fuentes, 2015):

$$f^{(i)} = k_p d_t^{(i)} \text{ ----- (4a)}$$

$$f^{(i)} = k_s (d_t^{(i)} - e^{(i)} = \text{sgn}(e^{(i)}) e^{(i)N} c \text{ ----- (4b)}$$

$$d^{(i)} = f_p^{(i)} + f_s^{(i)} \text{ ----- (4c)}$$

b) Esquema del dispositivo

Según Guevara & Torres (2012), el Disipador de Energía TAYLOR DEVICES INC tiene las siguientes partes:

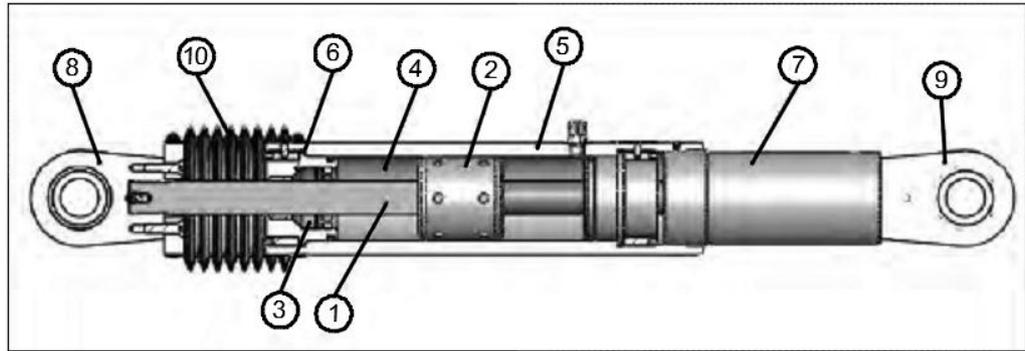


Figura 9. Esquema general de un dissipador de Energía TAYLOR DEVICES INC.

donde:

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

c) Ecuación general:

La fuerza generada en cada disipador viscoso se caracteriza por la siguiente ecuación

$$F = CV^\alpha \text{ ----- (5)}$$

donde:

F: Fuerza en el disipador.

C: Constante de Amortiguamiento.

V: Velocidad relativa en el amortiguador.

α : Coeficiente que varía entre 0.4 y 0.6 para edificaciones.

Es importante observar que no hay ninguna fuerza de resorte en esta ecuación. La fuerza del disipador varía sólo con la velocidad. Para una velocidad dada la fuerza será la misma en cualquier punto del dispositivo (Díaz la rosa, 2014).

Coficiente de amortiguamiento “C”: Es la constante de amortiguamiento del dispositivo, y está relacionado a las propiedades del fluido inmerso dentro del dispositivo. Su cálculo parte de una estimación que depende directamente del tipo de disipador utilizado (lineal o no lineal) y del amortiguamiento objetivo (Guevara & Torres, 2012)

- **Amortiguadores lineales:** el “C” se obtiene de la siguiente ecuación:

$$\beta_{visc.} = \frac{T \sum C_j \rho_j^2 \cos^2 \theta_j}{4\pi \sum i m_i \theta_i} \text{ ----- (6)}$$

donde:

$\beta_{visc.}$: Amortiguamiento crítico de los dispositivos de disipación de energía suplementario.

T: Período fundamental de la estructura.

C_j: Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.

Ø_i: Desplazamiento modal en el nivel i.

Ø_{rj}: Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal.

θ_j: Ángulo de inclinación del disipador j.

m_i: Masa de nivel i.

Esta fórmula considera un coeficiente de amortiguamiento constante para todos los dispositivos. Sin embargo, se conoce experimentalmente que la eficiencia de los amortiguadores en los pisos superiores es menor que la que se presenta en los niveles inferiores debido a la importancia de los primeros modos (Guevara & Torres, 2012).

- **Amortiguadores no lineales:** Para estimar el valor del coeficiente de amortiguamiento (C) para dispositivos no lineales se puede emplear la siguiente ecuación extraída del FEMA 274 (Corpus & Morales, 2015):

$$\beta_{visc.} = \frac{\sum_j \lambda C_j \delta_{rj}^{1+\alpha} \cos^{1+\alpha} \theta_j}{2\pi A^{1+\alpha} \omega^{1+\alpha} \sum_i m_i \delta_i} \text{----- (7)}$$

donde:

β_{visc.}: Amortiguamiento crítico de los dispositivos de disipación de energía suplementario.

C_j: Coeficiente de amortiguamiento del disipador j.

m_i: Masa del nivel i.

θ_j: Ángulo de inclinación del disipador j.

Ø_i: Desplazamiento modal en el nivel I.

Ø_{rj}: Desplazamiento modal relativo entre ambos extremos del disipador j en la dirección horizontal.

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

ω : Frecuencia angular.

λ : Parámetro lambda.

α : Exponente de la velocidad.

$$\lambda = 2^{2+\alpha} \frac{\Gamma(1+\frac{\alpha}{2})}{\Gamma(2+\alpha)} \dots\dots\dots (8)$$

donde:

Γ : Función gamma.

Coefficiente de amortiguamiento “ α ”: El exponente α define la reacción del dispositivo ante los impactos de velocidad, a su vez determina el comportamiento histerético de los disipadores empleados. Los disipadores viscosos con un valor de α igual a uno son llamados “disipadores lineales”, en ellos la fuerza del disipador es directamente proporcional a la velocidad relativa. Los disipadores con un valor de α mayor o menor a uno son los llamados “disipadores no lineales”; aquellos con valores menores a 1 son efectivos para minimizar los pulsos de alta velocidad. Mientras aquellos con el valor de α mayor 1, habitualmente no son empleados en edificaciones porque se necesitarían de grandes velocidades para incrementar significativamente la fuerza en el disipador. En la figura se puede apreciar la eficiencia del Disipador viscoso no lineal ($\alpha < 1$), ya que, para pequeñas velocidades relativas, puede desarrollar una mayor fuerza de amortiguamiento en comparación a los otros tipos de Disipadores ($\alpha = 1$ y $\alpha > 1$) (Diaz la Rosa, 2014).

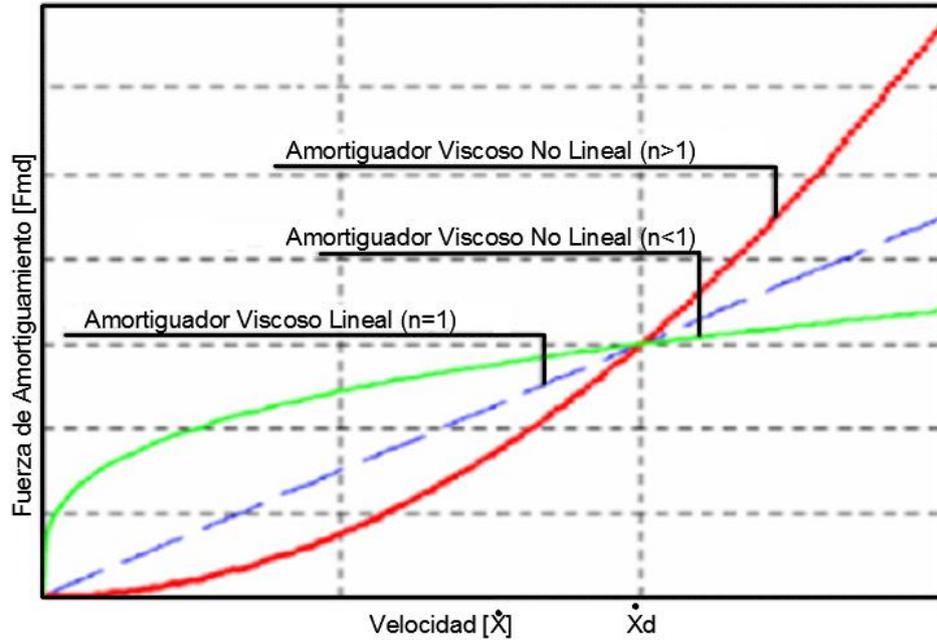


Figura 10. Relación velocidad vs fuerza del disipador (obtenido de: Diaz La Rosa, 2014).

En la mayoría de los casos, el valor del exponente de velocidad α está comprendido en el rango de 0.3 a 1.0, los valores de α que han demostrado ser los más empleados para el diseño sísmico de edificios y de puentes están en el orden de 0.4 a 0.5 (Diaz la Rosa, 2014).

Ángulo de inclinación del dispositivo: El ángulo de inclinación (θ_j) y el desplazamiento relativo del disipador de energía ϕ_{rj} se muestra en la siguiente figura (Corpus & Morales, 2015).

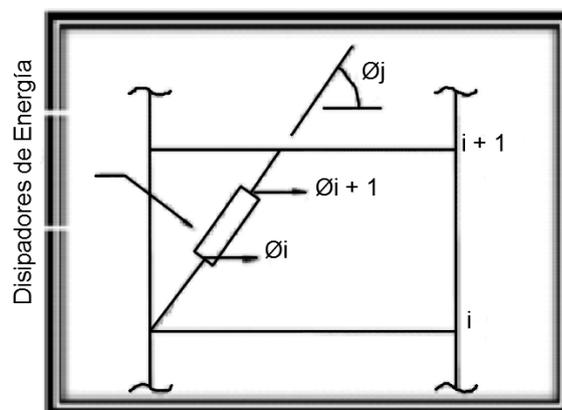


Figura 11. Ángulo de inclinación y desplazamiento relativo del disipador de energía (obtenido de: Corpus & Morales, 2015).

d) Rigidez del dispositivo “K” (rigidez del brazo metálico)

$$K = \frac{EA}{L} \text{----- (9)}$$

donde:

E: Coeficiente de elasticidad del acero.

A: área del acero

L: Longitud del brazo metálico.

Es muy común utilizar perfiles HSS o tipo PIPE por razones de estética y por su facilidad de instalación (Corpus & Morales, 2015).

e) Comportamiento fuerza desplazamiento

La curva que describe el comportamiento histéretico de un disipador de energía fluido-viscoso es generalmente de geometría elíptica, alcanzando los valores máximos de fuerza para desplazamientos nulos (Guevara & Torres, 2012)

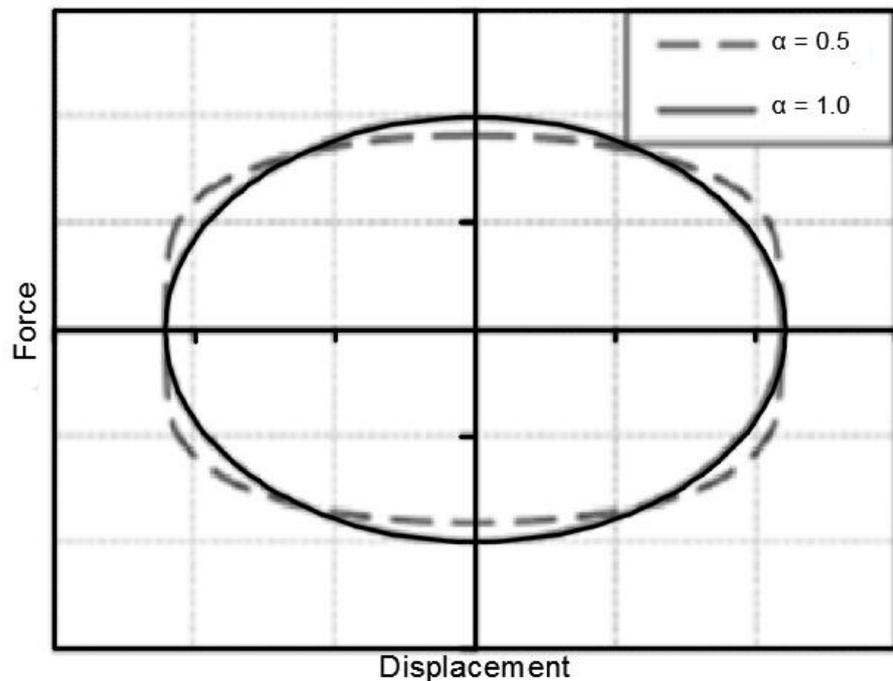


Figura 12. Relación Fuerza-Desplazamiento para exponentes de velocidades de 1 y 0.5 (obtenido de: Guevara & Torres, 2012).

f) Criterios de ubicación y disposición

La mejor ubicación de los disipadores viscosos se consigue a través de un proceso iterativo, en donde el diseñador debe probar diversos arreglos y ubicaciones, en este proceso es importante tener en cuenta la arquitectura y el uso del edificio, por esta razón los profesionales encargados del proyecto tanto en arquitectura como en diseño estructural deben trabajar conjuntamente (Díaz la Rosa, 2014).

La norma ASCE 7-10 recomienda, que la estructura no debe presentar irregularidades, se debe emplear como mínimo dos dispositivos en la dirección a reforzar, disponer los dispositivos en todos los niveles y para no generar torsión se debe buscar simetría.

Disposición CHEVRON: En esta disposición el dispositivo se dispone en posición horizontal (en forma paralela al plano del techo), lográndose una elevada eficiencia esto debido a que, en esta posición, los disipadores absorben las fuerzas horizontales directamente, pero tiene como gran desventaja que esta posición sobre esfuerza a las vigas para ellos se disponen de planchas y anclajes (Chávez, 2016).

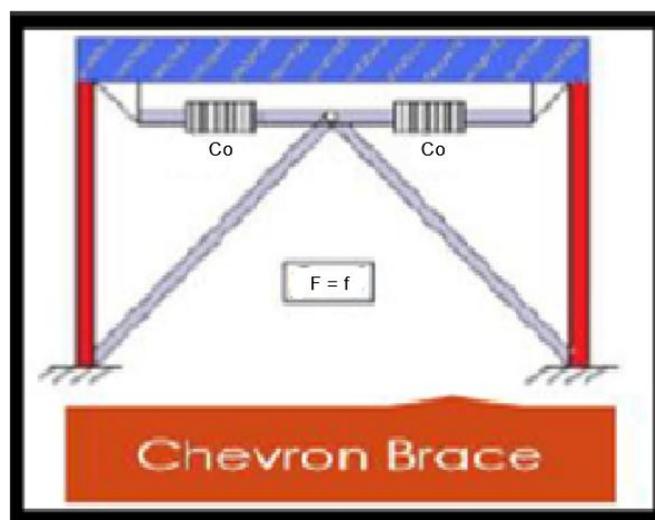


Figura 13. Disposición CHEVRON (obtenido de: Chávez, 2016).

Disposición diagonal: La disposición diagonal es menos efectiva que la CHEVRON ya que al tener un ángulo de inclinación no se logra la absorción total de la energía lateral de ingreso a la estructura, pero cabe resaltar que esta disposición es más económica ya que al ser diagonal encaja perfecto en el pórtico empleando solo los brazos metálicos, esta disposición además también se diferencia positivamente del CHEVRON por que no adiciona sobre esfuerzos a la estructura y puede ser acoplada a estructuras nuevas como ya existentes (Chávez, 2016).

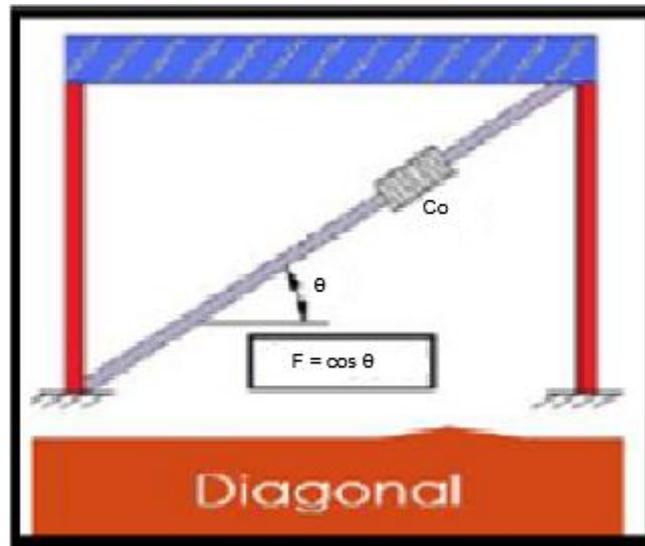


Figura 14. Disposición diagonal (obtenido de: Chávez, 2016).

g) Fabricantes

TAYLOR DEVICES INC: Empresa estadounidense, su principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a solicitaciones de carga. En el Perú, la marca Taylor es representada por la empresa CDV Representaciones (Guevara & Torres, 2012).

El precio unitario por dispositivo es de rango variable, pero puede aproximarse inicialmente a US\$ 8000.00, dependiendo de la fuerza de diseño del dispositivo y las propiedades impuestas por el proyectista. Asimismo, debe considerarse el costo de los elementos metálicos involucrados en la conexión (Chávez, 2016 y Corpus & Morales, 2015).



Figura 15. Disipador Taylor de fluido viscoso (CDV representaciones).

La principal ventaja de los dispositivos Taylor es que no requieren de ningún mantenimiento antes, durante o después de haber sido sometidos a sollicitaciones de carga. Además, cada disipador es sometido a ensayos de alta velocidad para verificar fuerzas pico de diseño antes de salir de fábrica (Corpus & Morales, 2015).

KAJIMA CORPORATION: Esta corporación japonesa fabrica dos tipos de disipadores viscosos los HiDAM y los HiDAX-e ambos son amortiguadores de aceite de alto rendimiento, estos dispositivos encierran aceite en ambos lados de un pistón (ver Fig. 16); la eficiencia del amortiguamiento es lograda por el movimiento relativo del pistón y la resistencia del fluido (aceite) que pasa por las válvulas de control de presión que conectan ambas cámaras, de esta manera se genera una gran fuerza de amortiguamiento. En las figuras 17 y 18 se muestran estos dos dispositivos (Diaz la Rosa, 2014).

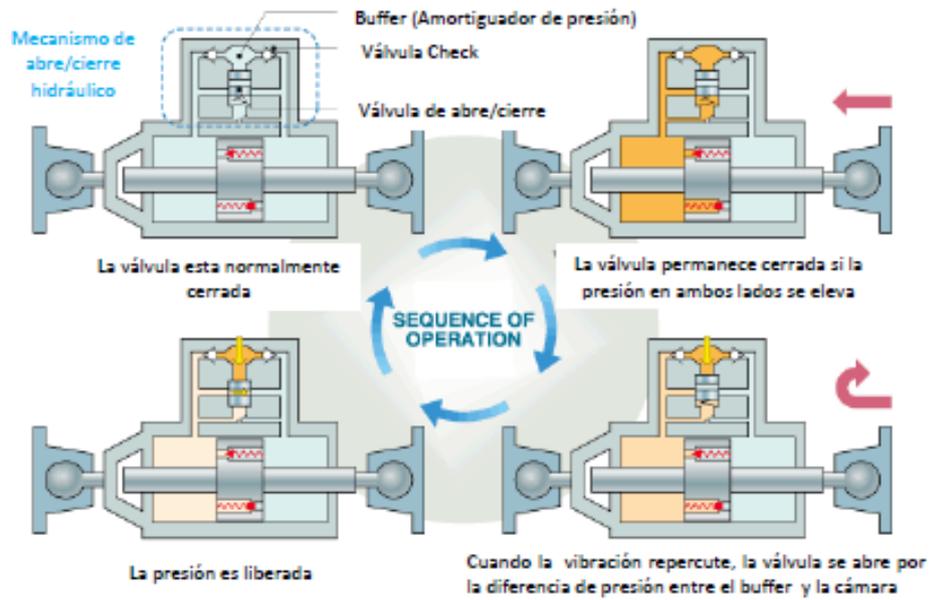


Figura 16. Funcionamiento del HiDAX-e ante una estimulación sísmica (obtenido de: Diaz la Rosa, 2014).



Figura 17. Disipador viscoso HiDAM (obtenido de: Diaz la Rosa, 2014).



Figura 18. Disipador viscoso HiDAX-e (obtenido de: Diaz la Rosa 2014).

h) Recomendaciones para el análisis

- **Norma y requerimientos del código ASCE 7-10**

La norma ASCE 7-10 en su capítulo 18, plantea 4 procedimientos para el análisis de estructuras provistas de disipadores (Díaz la Rosa, 2014)

Procedimientos no lineales

Análisis de la respuesta No-Lineal Tiempo-Historia.

Análisis No-lineal estático.

Procedimientos lineales

Análisis de la respuesta espectral.

Análisis de fuerza lateral equivalente

En nuestro país el procedimiento de análisis se ha fijado hacia el empleo del análisis de la respuesta no-lineal tiempo-historia (Díaz la Rosa, 2014).

- **Recomendaciones para el análisis tiempo historia**

Para el caso peruano, los especialistas de disipadores de fluido viscoso recomienda emplear un mínimo de 3 pares de registros sísmicos, los cuales deben ser escalados a un espectro de diseño (donde el valor de R sea igual a 1) tal como lo señala la norma peruana sismorresistente; los valores que se tomen para el cálculo de las propiedades del sistema de disipación serán aquellos que se ajusten más al espectro de diseño (considerando una variación máxima de 1.5 % entre las derivas obtenidas del análisis tiempo historia y del análisis con el espectro de diseño) (Díaz la Rosa, 2014).

- **Reducción según la respuesta, coeficiente “B”**

Según el ASCE 7-10, la respuesta de la estructura ante una solicitud sísmica puede ser reducida debido al incremento del amortiguamiento proporcionado por los disipadores. Esta reducción de la fuerza cortante basal se expresa mediante:

$$V_{min} = \frac{V}{B_{v+I}} \text{----- (10)}$$

Donde V es la fuerza cortante basal obtenida sin la aplicación de disipadores y B es el factor de reducción de respuesta en función del amortiguamiento equivalente cuyo valor mínimo es:

$$V_{min} = 0.75V \text{----- (11)}$$

- **Amortiguamiento crítico de los dispositivos de disipación de energía suplementario, factor β_{visc} .**

A cada valor de “ β_{visc} .” corresponde un factor de reducción “B”, es decir, para cada porcentaje de amortiguamiento que presenta la estructura, habrá un factor por el que reducir su respuesta. Como se indica en la tabla, extraída del ASCE 7-10 Capítulo 18, indica estas relaciones.

Tabla 1: *Coefficientes de amortiguamiento en función del amortiguamiento crítico*

Effective Damping, β (percentage of critical)	B_{V+I} , B_{1D} , B_R , B_{mD} , or B_{mM} (where period of the structure T_0)
≤ 2	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.8
40	2.1
50	2.4
60	2.7
70	3.0
80	3.3
90	3.6
≥ 100	4.0

Fuente: ASCE 7-10 Capítulo 18.

3.3. Definición de términos básicos

Análisis sísmico: El análisis sísmico de la edificación es determinar parámetros sísmicos como periodos, desplazamientos y distorsiones que cada país tiene reglamentado para que sean cumplidos y para luego encontrar las fuerzas y momentos internos debidos a la carga sísmica, en cada uno de los elementos del sistema estructural para luego proceder al diseño.

Disipadores de energía viscoso: El disipador fluido viscoso consiste en esencia de dos elementos: un cilindro de alta resistencia y de un pistón (ambos de acero inoxidable). El cilindro contiene en su interior un fluido perteneciente a la familia de las siliconas (es resistente al fuego, estable a los cambios de temperatura y a los largos periodos de tiempo). El pistón tiene en uno de sus bordes una cabeza con pequeños orificios. Esta divide el interior del cilindro en dos cámaras. Ante una excitación sísmica, se produce el deslizamiento del pistón dentro del cilindro, este movimiento ocasiona el paso del fluido de una cámara a otra, esto a su vez genera una presión diferencial, la misma que origina la fuerza de amortiguamiento. Debido al desplazamiento interno del pistón se genera la conversión de energía cinética en calor, lo que produce la expansión y contracción térmica del fluido, debido a esto el cilindro contiene una tercera cámara (Cámara de acumulación) que permite que se puedan compensar las variaciones del fluido (volumen) (Diaz la Rosa, 2014).

IV. MATERIAL Y MÉTODOS

4.1. Diseño de investigación

El trabajo será descriptivo porque se describirá el Análisis sísmico de modelos del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas con y sin disipadores de fluido viscoso y a la vez se compararán los periodos, desplazamientos, distorsiones, así como las fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre elementos estructurales, resultado de cada uno de los modelos.

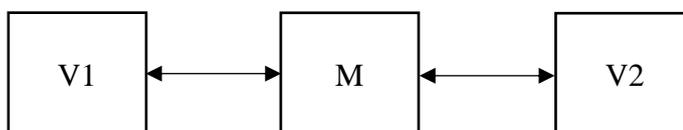


Figura 19. Diseño de la investigación (elaboración propia).

Dónde:

M: Muestra

V1: Variable (Análisis sísmico del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas sin disipadores de fluido viscoso.)

V2: Variable (Análisis sísmico del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas con disipadores de fluido viscoso.)

←→ Comparación.

4.2. Muestra: Edificio del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

4.3. Métodos, técnicas e instrumentos de recolección de datos y procedimientos

Método: Programación

Técnica de recolección de datos: Software ETABS.

Procedimiento:

- 1) Se solicitó los planos estructurales y de arquitectura del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas y el estudio de mecánica de suelos de dicho proyecto, al área de infraestructura de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza.
- 2) Trabajo de gabinete: Realizar el análisis sísmico en el software ETABS para obtener los periodos, desplazamientos, distorsiones, las fuerzas máximas y momentos máximos en los elementos estructurales de los modelos del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con y sin disipadores de fluido viscoso.

Metodología usada:

- 1) Definir los registros sísmicos para el análisis sísmico tiempo historia utilizando el método de análisis no lineal rápido (FNA) y el agrietamiento de la estructura.**

La norma técnica E.0.30 “Diseño Sismorresistente” indica que para un análisis dinámico tiempo historia se usarán como mínimo tres conjuntos de registros de aceleraciones del terreno, cada uno de los cuales incluirá dos componentes en direcciones ortogonales. Cada conjunto de registros de aceleraciones del terreno consistirá en un par de componentes de aceleración horizontal, elegidas y escaladas de eventos individuales. Las historias de aceleración serán obtenidas de eventos cuyas magnitudes, distancia a las fallas, y mecanismos de fuente sean consistentes con el máximo sismo considerado. Cuando no se cuente con el número requerido de registros apropiados, se podrán usar registros simulados para alcanzar el número total requerido. Para cada par de componentes horizontales de movimiento del suelo, se construirá un espectro de pseudo aceleraciones tomando la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados (SRSS) de los valores espectrales calculados para cada componente por separado, con 5 % de amortiguamiento. Ambas componentes se escalarán por un mismo factor, de modo que en el rango de períodos entre $0,2 T$ y $1,5 T$ (siendo T el período fundamental), el promedio de los valores espectrales SRSS obtenidos para los distintos juegos de registros no sea menor que la ordenada correspondiente del espectro de diseño, calculada con $R = 1$.

Para el caso de secciones agrietas FEMA 356, recomienda los valores de la tabla 2, para edificaciones que tienen más de 30 años y que ha soportado sismos moderados en su vida útil.

Tabla 2: Secciones agrietadas para edificaciones que tienen más de 30 años de vida útil.

Effective Stiffness Values			
Component	Flexural Rigidity	Shear Rigidity	Axial Rigidity
Beams-nonprestressed	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	-
Beams-prestressed	E_cI_g	$0.4E_cA_w$	-
Columns with compression due to design gravity loads $\geq 0.5A_gf_c$	$0.7E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Columns with compression due to design gravity loads $\leq 0.3A_gf_c$ or with	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Walls-uncracked (on inspection)	$0.8E_cI_g$		E_cA_g
Walls-cracked	$0.5E_cI_g$	$0.4E_cA_w$	E_cA_g
Flat Slabs-nonprestressed	See Section 6.5.4.2	$0.4E_cA_w$	-
Flat Slabs-prestressed	See Section 6.5.4.3	$0.4E_cA_w$	-

Fuente: FEMA 356

2) Análisis sísmico del edificio sin disipadores de fluido viscoso.

Con los registros sísmicos adecuados y modelado el edificio del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, con todos los elementos estructurales detallados en los planos y viendo si necesita considerar secciones agrietadas, se procederá hacer un análisis sísmico tiempo historia no lineal utilizando el método de análisis no lineal rápido (FNA) en el programa ETBS y luego proceder a anotar los resultados obtenidos de los periodos, desplazamientos, distorsiones, así como las fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre elementos estructurales.

3) Análisis sísmico del edificio con disipadores de fluido viscoso.

- **Elección de la deriva objetivo.**

Para estimar la deriva objetivo podrían usarse por ejemplo valores obtenidos de las curvas de fragilidad del Manual HAZUS. Las curvas de fragilidad brindan una estimación de la probabilidad de que edificaciones del mismo tipo estructural alcancen diferentes estados de daño para determinados niveles de respuesta sísmica. El Capítulo 5 del Manual HAZUS muestra tablas en las cuales el nivel de daño estructural es relacionado con valores máximos de derivas las cuales dependen del tipo estructural y del nivel de diseño sísmico considerado (Fuentes, 2015).

En este caso del edificio del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza en estudio se tomará una deriva objetivo de 7.0 % a fin de satisfacer la Norma E.030.

- **Determinación del amortiguamiento efectivo.**

Si la deriva máxima obtenida del análisis del edificio sin disipadores es mayor que la deriva objetivo, entonces se determina el cociente:

$$B = \frac{\text{DerivaMáxima}}{\text{DerivaObjetivo}} \text{-----} (12)$$

Este es el factor de reducción de respuesta para llegar a la deriva objetivo. Con este factor B podemos determinar el amortiguamiento efectivo necesario β_{eff} que desarrollará la estructura para alcanzar la deriva objetivo mediante la fórmula de Newmark:

$$B = \frac{2.31 - 0.41 \ln(5)}{2.31 - 0.41 \ln(\beta_{\text{eff}})} \text{-----} (13)$$

β_{eff} es el amortiguamiento objetivo que debe desarrollar la estructura con la adición de los disipadores de energía. La participación que tendrán los disipadores en el amortiguamiento ($\beta_{\text{visc.}}$) puede obtenerse descontando el amortiguamiento inherente de la estructura, 5% para edificios de concreto armado, del valor β_{eff} :

$$B_{\text{visc.}} = \beta_{\text{eff}} - 5\% \text{-----} (14)$$

- **Definir las propiedades del disipador de fluido viscoso (K, C, α).**

Para definir la rigidez del brazo metálico “K” se considerará un perfil de acero adecuado y mediante la ecuación (9) se procederá a determinar esta propiedad. Para el coeficiente de amortiguamiento “C” por ser más efectivo se utilizará disipadores no lineales y para encontrar su valor se utilizará la ecuación (7) de la base teórica, esto para el arreglo diagonal, para el arreglo CHEVRON se disminuirá a la mitad del “C” encontrado porque el arreglo tiene dos disipadores. El exponente de la velocidad “ α ” se estimará por criterio según algunas investigaciones citadas en el marco teórico.

- **Respuesta de la estructura con disipadores de fluido viscoso.**

Se evalúan si las derivas máximas de entrepiso obtenidas usando el sistema de amortiguamiento caracterizados por el factor “C” y “ α ” estimados en la primera iteración han alcanzado la deriva objetivo. Si no fuera el caso, se procede a iterar el valor de las constantes “C” y “ α ”, la cantidad de dispositivos e inclusive la posición o disposición de los mismos; en este orden de importancia cuantas veces sea necesario para cumplir con la deriva objetivo.

- **Ubicación y disposición de los disipadores de fluido viscoso.**

Se debe seguir las recomendaciones del marco teórico sobre ubicación y disposición de los disipadores.

- **Balance energético**

Se evalúa el balance energético de la estructura con el sistema de disipadores de fluido viscoso. Un balance energético gráfico permite apreciar la participación de los disipadores y de la estructura en la disipación de la energía total.

4.4. Análisis de datos

Para el análisis de datos se ha utilizado cuadros y gráficos con los resultados numéricos obtenidos del software ETABS, donde se ha realizado el análisis sísmico de cada uno de los modelos del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con y sin disipadores de fluido viscoso, para así poder comparar los resultados obtenidos de los periodos, desplazamientos, distorsiones, así como las fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre elementos estructurales de cada uno de estos modelos.

V. RESULTADOS

5.1. Generalidades del proyecto

5.1.1. Descripción del proyecto

El edificio estudiado en la presente investigación tiene las siguientes características:

Función	Edificio destinado para Aulas de la FICIAM de la UNTRM-A	
Ubicación	Chachapoyas - Amazonas - Perú	
Sistema Estructural	1° Nivel	4.00 m
	2° y 3° Nivel	3.20 m
	4° Nivel	Altura variable (Ver Anexo3)
Secciones de Columnas	Columna circular de diámetro 30cm	
	Columna rectangular de 30 x 60 cm	
Secciones de Vigas	1° al 3° Nivel	30 x 65 cm y 30 x 50 cm
	4° Nivel	30 x 45 cm y 30 x 55 cm
Losa Aligerada	1° al 3° Nivel	20 cm
	4° Nivel	17 cm
Tipo de Suelo	S3 (Ver Anexo 1)	

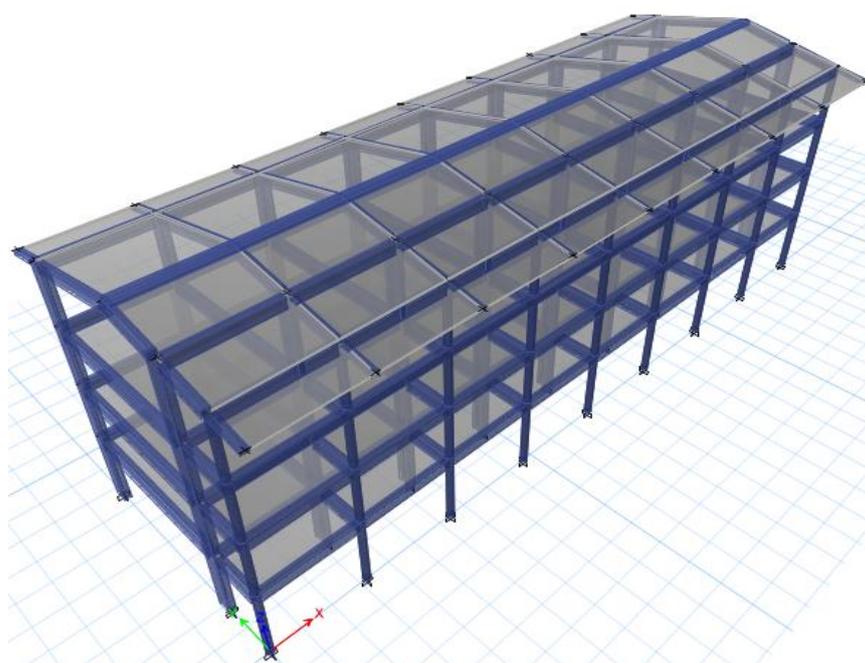


Figura 20. Esquema tridimensional ETABS.



Figura 21. Esquema planta típica ETABS.

5.2. Análisis sísmico del edificio sin disipadores de fluido viscoso

Se realizó un análisis sísmico tiempo historia no lineal utilizando el método de análisis no lineal rápido (FNA).

Para el análisis tiempo historia es necesario tener tres registros sísmicos de sismos fuertes sucedidos en el sitio del proyecto, para la presente investigación el edificio en estudio se encuentra situado en la ciudad de Chachapoyas donde los registros sísmicos son de baja intensidad por lo que se decidió obtener de un lugar cercano donde se acentúa el proyecto, utilizándose así los registros de la ciudad de Moyobamba, aquí solo se encontró un solo registro de un sísmico fuerte de 7.0 en la escala de Richter y al no encontrar otro lugar donde se pueda obtener tres registros sísmicos se trabajó sólo con este registro, el cual se presenta en las siguientes figuras para cada componente:

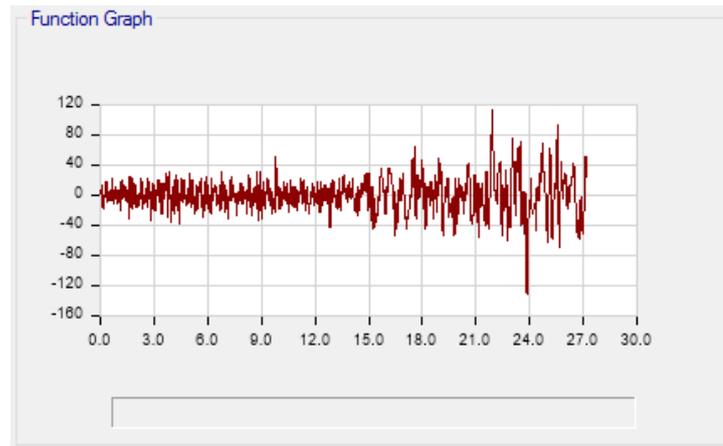


Figura 22. Registro E-W sismo 2005 Moyobamba de 7.0 en la escala de Richter.

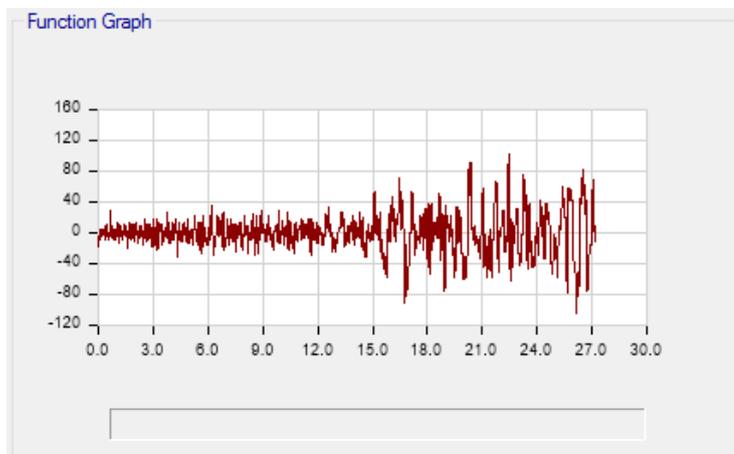


Figura 23. Registro N-S sismo 2005 Moyobamba de 7.0 en la escala de Richter.

5.2.1. Respuesta del edificio sin disipadores de fluido viscoso

El edificio del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental, de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza, tiene un periodo de vida útil menor a 30 años por lo cual no se utilizará secciones agrietadas.

Con el registro acelerográfico mencionado se desarrolló el análisis sísmico, donde se obtuvo resultados de los periodos, desplazamientos, distorsiones, así como las fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre la estructura:

Periodos:

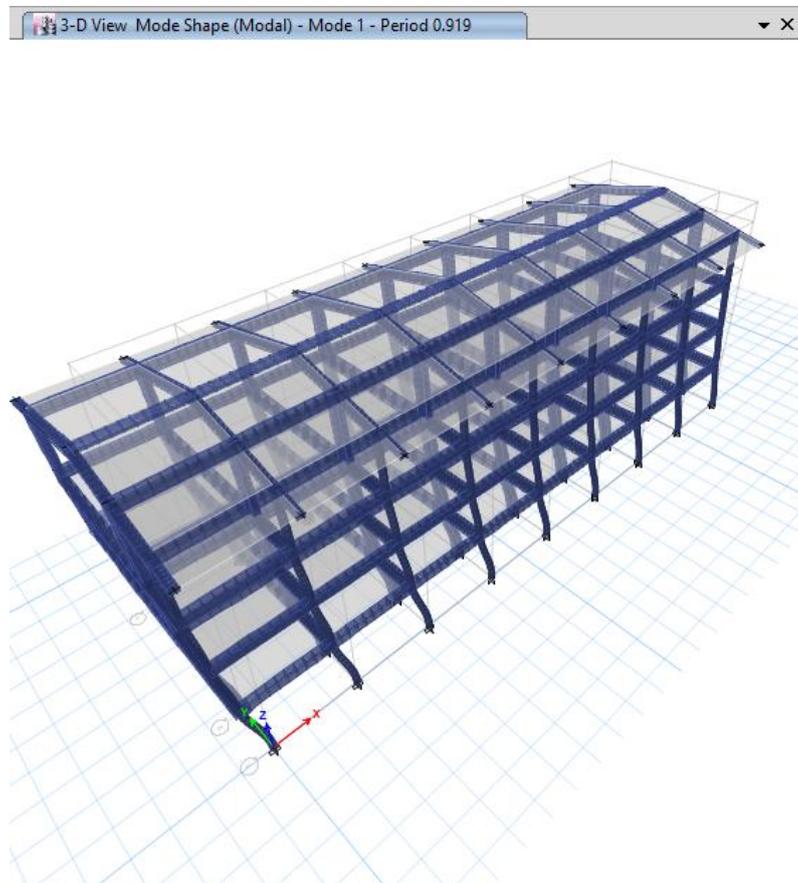


Figura 24. Periodo del modo 1 de 0.919 sin disipadores.

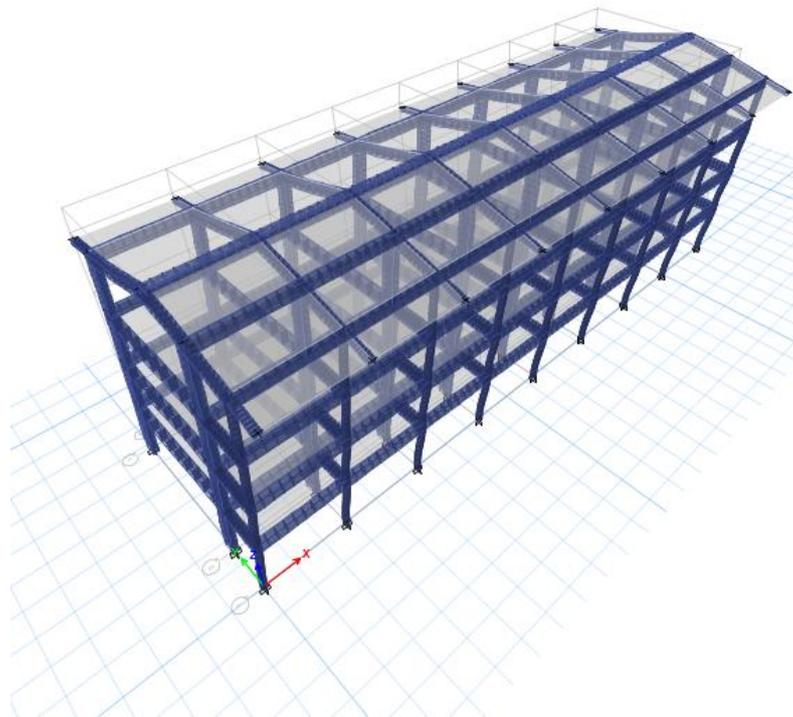


Figura 25. Periodo del modo 2 de 0.63 sin disipadores.

Desplazamientos:

Tabla 3: Desplazamientos por piso sin disipadores eje X-X.

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX X-X (cm)
4	35.04	33.77	35.04
3	31.66	30.83	31.66
2	25.35	24.96	25.35
1	16.02	15.87	16.02

Tabla 4: Desplazamientos por piso sin disipadores eje Y-Y.

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX Y-Y (cm)
4	17.78	18.25	18.25
3	14.45	14.68	14.68
2	10.56	10.68	10.68
1	5.64	5.71	5.71

Distorsiones:

Tabla 5: *Distorsiones por piso sin disipadores eje X-X.*

PISO	THA	THB	TH MAX X-X	TH X-X E.030
4	0.0107	0.0091	0.0107	0.0085
3	0.0200	0.0186	0.0200	0.0160
2	0.0292	0.0284	0.0292	0.0234
1	0.0401	0.0397	0.0401	0.0320

Tabla 6: *Distorsiones por piso sin disipadores eje Y-Y.*

PISO	THA	THB	TH MAX Y-Y	TH Y-Y E.030
4	0.0107	0.0111	0.0111	0.0089
3	0.0122	0.0125	0.0125	0.0100
2	0.0154	0.0155	0.0155	0.0124
1	0.0141	0.0143	0.0143	0.0114

Los valores máximos sobrepasan el valor máximo de 0.007 de la normativa E-0.30, establecida para estructuras aporricadas de concreto armado.

Fuerzas máximas y momentos máximos:

Tabla 7: *Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas sin disipadores.*

COLUMNA	PISO	MAX P (ton)	MAX V2 (ton)	MAX V3 (ton)	MAX M2 (ton-m)	MAX M3 (ton-m)
COL1	4	19.05	8.09	6.74	10.10	10.90
	3	70.43	16.20	11.41	16.78	22.21
	2	165.14	23.82	18.04	26.58	33.04
	1	282.57	26.95	11.35	21.03	52.85
COL2	4	20.81	11.41	6.71	10.10	16.29
	3	68.87	22.75	11.39	16.75	32.26
	2	151.57	33.85	18.04	26.58	48.51
	1	256.67	31.08	11.20	20.80	58.26
COL3	4	21.39	11.37	6.89	10.36	16.08
	3	69.88	22.23	11.55	17.00	31.41
	2	153.85	32.51	18.20	26.81	46.32
	1	255.47	30.43	11.26	20.88	57.41
COL4	4	21.16	11.32	6.86	10.32	16.03
	3	69.87	22.23	11.62	17.09	31.41
	2	154.65	32.55	18.22	26.85	46.40
	1	256.24	30.46	11.28	20.92	57.45
COL5	4	20.78	11.42	6.71	10.09	16.28
	3	69.86	22.84	11.69	17.20	32.37
	2	159.62	33.81	18.33	27.01	48.45
	1	271.79	31.07	11.33	21.01	58.25
COL6	4	18.69	8.05	7.04	10.58	10.89
	3	69.74	16.40	12.08	17.77	22.56
	2	160.80	23.46	18.60	27.41	32.52
	1	271.55	26.83	11.49	21.31	52.70

COLUMNA	PISO	MAX P (ton)	MAX V2 (ton)	MAX V3 (ton)	MAX M2 (ton-m)	MAX M3 (ton-m)
COL7	4	17.85	9.88	27.32	46.84	20.72
	3	73.96	37.65	76.37	100.00	48.56
	2	170.97	48.49	107.92	151.95	63.44
	1	308.92	81.74	110.80	245.98	171.20
COL8	4	14.97	17.32	29.15	50.27	30.07
	3	59.60	57.80	77.68	101.35	78.24
	2	128.56	81.82	110.10	155.31	113.10
	1	214.38	96.67	112.00	248.09	190.71
COL9	4	19.88	9.71	28.44	47.65	20.64
	3	87.29	38.24	79.75	102.19	48.90
	2	195.21	47.61	110.55	156.01	62.28
	1	335.74	81.59	113.75	252.40	170.69
COL10	4	26.44	15.92	25.22	42.87	26.03
	3	86.05	34.98	40.10	57.24	45.10
	2	169.68	45.47	49.41	72.90	60.74
	1	281.51	79.61	84.31	213.45	167.88
COL11	4	23.14	27.85	27.12	45.50	38.40
	3	65.38	56.06	41.19	58.34	76.20
	2	118.51	83.18	50.90	74.38	115.95
	1	181.68	97.25	84.21	212.75	190.92
COL12	4	22.58	27.48	27.07	45.94	38.22
	3	68.41	54.97	42.40	59.39	74.58
	2	119.90	79.52	52.09	74.54	109.57
	1	176.02	95.12	85.10	212.87	188.15
COL13	4	23.37	27.45	26.55	44.89	38.16
	3	67.22	54.93	41.66	58.23	74.51
	2	117.73	79.59	51.76	73.84	109.71
	1	176.02	95.12	85.10	212.87	188.15
COL14	4	23.47	27.66	27.66	46.62	38.28
	3	65.60	56.21	42.33	58.97	76.44
	2	117.73	79.59	51.76	73.84	109.71
	1	188.22	97.23	85.35	213.73	190.90
COL15	4	31.12	15.68	26.05	44.35	25.89
	3	100.67	35.30	42.39	59.42	45.14
	2	193.63	44.63	51.33	72.02	59.85
	1	313.60	79.46	85.08	213.57	167.47

Tabla 8: Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas sin disipadores.

VIGA	PISO	MAX V2 (ton)	MAX M3 (ton-m)
VIGA1	4	5.99	14.59
	3	18.19	42.07
	2	29.69	69.39
	1	40.53	97.38
VIGA2	4	5.55	10.45
	3	14.68	29.12
	2	46.32	46.32
	1	28.80	58.50
VIGA3	4	5.96	14.54
	3	18.26	42.66
	2	29.66	68.43
	1	40.68	96.79
VIGA4	4	13.66	30.83
	3	36.01	77.80
	2	57.63	125.08
	1	85.63	192.46

VIGA	PISO	MAX V2 (ton)	MAX M3 (ton-m)
VIGA5	4	12.51	24.85
	3	32.24	64.60
	2	50.53	102.53
	1	69.32	141.60
VIGA6	4	13.55	30.57
	3	36.15	78.36
	2	57.59	123.35
	1	85.78	190.87
VIGA7	3	36.74	107.53
	2	43.02	132.83
	1	48.72	161.30
VIGA8	4	11.58	36.47
VIGA9	4	10.66	31.43
VIGA10	3	41.21	111.54
	2	47.02	136.11
	1	52.74	162.92
VIGA11	4	12.97	35.06
VIGA12	4	13.60	38.65
VIGA13	3	38.27	111.79
	2	44.09	136.58
	1	49.72	157.89
VIGA14	4	11.37	33.77
VIGA15	4	11.92	37.96

5.3. Análisis del edificio con disipadores de fluido viscoso

- **Elección de la deriva objetivo.**

Se tomará una deriva objetivo de 7.0 ‰ a fin de satisfacer el desplazamiento lateral permisible de la Norma E.030.

- **Determinación del amortiguamiento efectivo:**

Utilizando la ecuación (12):

$$B_{xx} = \frac{0.0320}{0.0070} \quad ; \quad B_{yy} = \frac{0.0124}{0.0070}$$

Por lo tanto, tenemos:

$$B_{xx} = 4.58 \quad ; \quad B_{yy} = 1.78$$

Usamos la ecuación (13) de reducción de la demanda en función del amortiguamiento efectivo; considerando 5% de amortiguamiento inherente:

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

Despejando el amortiguamiento efectivo necesario para cada dirección de análisis:

$$\beta_{effXX} = 116.18\% \approx 116\%$$

$$\beta_{effYY} = 29.02\% \approx 30\%$$

Estos amortiguamientos son los que deben lograrse con la adición de los disipadores de energía. Descontando el amortiguamiento inherente se obtiene el amortiguamiento viscoso de demanda:

$$\beta_{effXX} = 100\% \text{ (como pasa más del 100\% de amortiguamiento por eso se designa este valor)}$$

$$\beta_{effYY} = 25\%$$

- **Definir las propiedades del disipador de fluido viscoso (K, C, α):**

a) Disposición diagonal:

Para el cálculo del valor del “K” se tomó por conveniente un perfil metálico Round HSS20.00X0.500, el cual tiene las siguientes características:

Dimensiones ROUND			
Shape	Design Wall Thickness, t (in)	Area, A (in ²)	
HSS20.00X0.500	0.465	28.5	

Forma	Espesor de Pared, t (m)	Área, A (m ²)	Diametro (m)
HSS20.00X0.500	0.0118	0.0184	0.1530

Con la ecuación (9) se calcula el valor de “K” obteniendo los siguientes valores:

DISPOSICIÓN DIAGONAL			
EJE X-X		EJE Y-Y	
E =	20400000 tn/m ²	E =	20400000 tn/m ²
L =	4.95 m	L =	7.59 m
K =	75758 tn/m	K =	49408 tn/m

El coeficiente “ α ” tomara valor de 0.5.

Estimación del coeficiente “C” – dispositivos no lineales.

Después de varias iteraciones se determinó por conveniente utilizar un total de 6 disipadores por nivel, despejando el coeficiente C para un amortiguamiento viscoso de: $\beta_{visc} = 100\%$ en la dirección X.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO EN DISIPADORES NO LINEALES $\alpha < 1$

DIRECCION X - X

T = 0.919 seg $\beta_{visc} = 100\%$
 $\alpha = 0.5$ $\beta_{mD} = 4$
 N° de dis. por nivel = 6

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

Tabla 9: Valores para determinar el coeficiente de amortiguamiento eje X-X.

NIVEL	FORMA MODAL ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	MASA (Ton)	COS θ	$\Sigma \phi_i^2 x_{mi}$	$\Sigma (\phi_{rj})^{1+\alpha} x_{cos}^{1+\alpha} \theta_j$
1	0.46417154	0.215	0.464	44.15336	0.8382128	9.51	0.24269
2	0.73250427	0.537	0.268	43.74748	0.8382128	23.47	0.10667
3	0.90937072	0.827	0.177	44.95677	0.8382128	37.18	0.05708
4	1	1.000	0.091	24.43227	0.8382128	24.43	0.02094
Σ	3.10604653	2.578972827				94.60	0.42738

$$A = \frac{g \times \Gamma_i \times Sa \times T1}{4 \times \beta_{mD} \times \pi^2}$$

$\Gamma_i = 1.2458751$
 $A = 0.01778195 \text{ m}$
 $A^{1-\alpha} = 0.13334897$

$$\lambda = \frac{2^{2+\alpha} \Gamma^2 (1 + \alpha/2)}{\Gamma(2 + \alpha)}$$

$\lambda = 3.496076739$
 $\omega^{2-\alpha} = 17.87707802$

$$\Sigma C = 948.2972704 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

$$C_x = 158 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)} \approx C_x = 160 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

Este coeficiente encontrado no satisface al resultado esperado por lo que se aumenta a $C_x = 200 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$ en los 3 últimos niveles, pero en el primer nivel a $C_x = 400 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$.

Después de varias iteraciones se determinó por conveniente utilizar un total de 3 disipadores por nivel, despejando el coeficiente C para un amortiguamiento viscoso de: $\beta_{visc} = 25\%$ en la dirección Y.

CALCULO DEL COEFICIENTE DE AMORTIGUAMIENTO EN DISIPADORES NO LINEALES $\alpha < 1$

DIRECCION Y - Y

T = 0.63 seg $\beta_{visc} = 25\%$
 $\alpha = 0.5$ $\beta_{mD} = 1.65$
 N° de dis. por nivel = 3

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

Tabla 10: Valores para determinar el coeficiente de amortiguamiento eje Y-Y.

NIVEL	FORMA MODAL ϕ_i	ϕ_i^2	ϕ_{rj}	MASA (Ton)	COS θ	$\Sigma \phi_i^2 x_{mi}$	$\Sigma (\phi_{rj})^{1+\alpha} x_{cos}^{1+\alpha} \theta_j$
1	0.3133509	0.098	0.313	44.15336	0.9418908	4.34	0.16034
2	0.58994896	0.348	0.277	43.74748	0.9418908	15.23	0.13298
3	0.80876075	0.654	0.219	44.95677	0.9418908	29.41	0.09356
4	1	1.000	0.191	24.43227	0.9418908	24.43	0.07645
Σ	2.71206061	2.100322509				73.40	0.46333

$$A = \frac{g \times \Gamma_i \times Sa \times T1}{4 \times \beta_{mD} \times \pi^2}$$

$$\lambda = \frac{2^{2+\alpha} \Gamma^2 (1 + \alpha/2)}{\Gamma(2 + \alpha)}$$

$\Gamma_i = 1.36834564$
 $A = 0.0324565 \text{ m}$
 $A^{1-\alpha} = 0.18015688$

$\lambda = 3.496076739$
 $\omega^{2-\alpha} = 31.49625938$

$$\Sigma C = 403.8788299 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$$

$$C_y = 135 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)} \approx \boxed{C_y = 135 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}}$$

Este coeficiente encontrado no satisface al resultado esperado por lo que se aumenta a $C_y = 200 \text{ tn-(s/m)}^{(1/0.5)}$ en todos los niveles.

• Ubicación y disposición de los disipadores de fluido viscoso:

Después de desarrollar un proceso iterativo para satisfacer la deriva objetivo se determinaron las siguientes disposiciones:

a) Disposición diagonal:

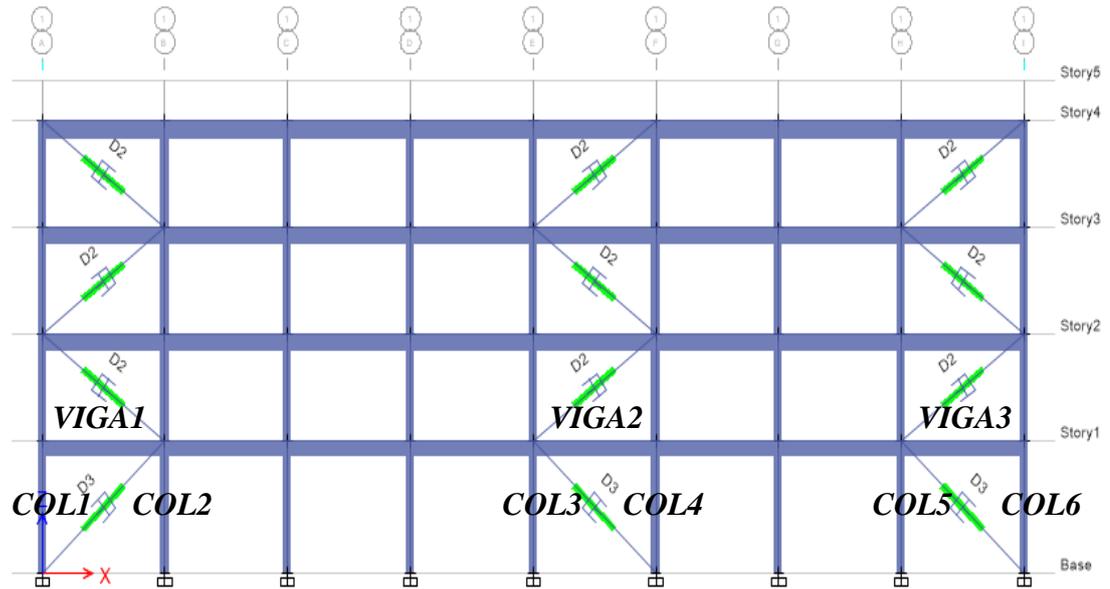


Figura 26. Ubicación de los disipadores diagonales eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 1-1.

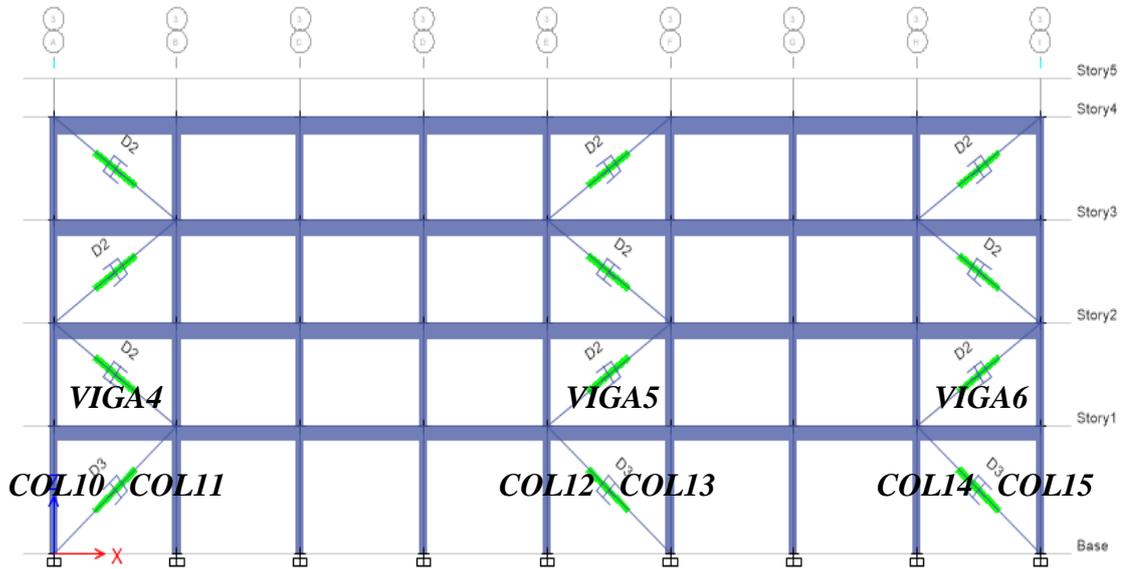


Figura 27. Ubicación de los disipadores diagonales eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 3-3.

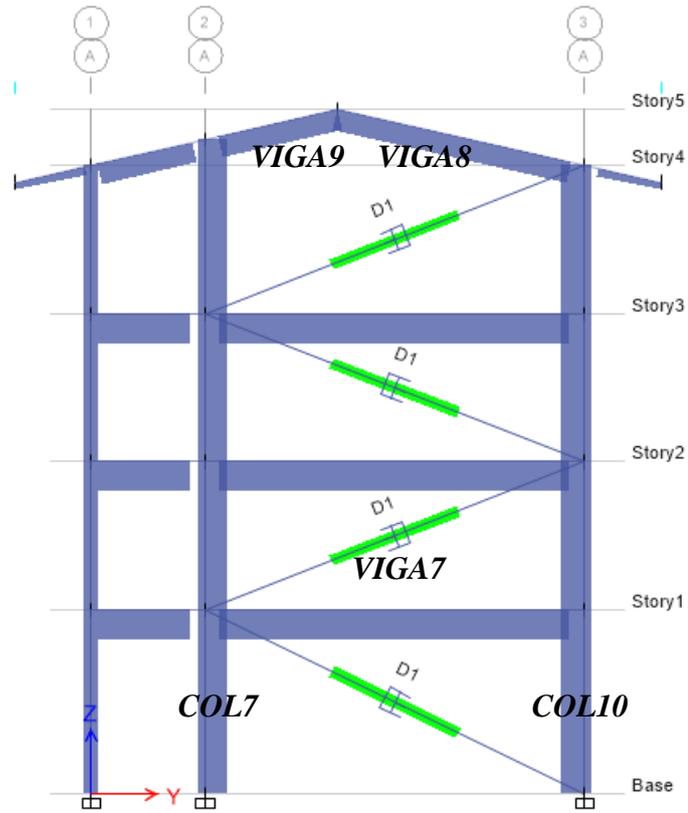


Figura 28. Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje A-A.

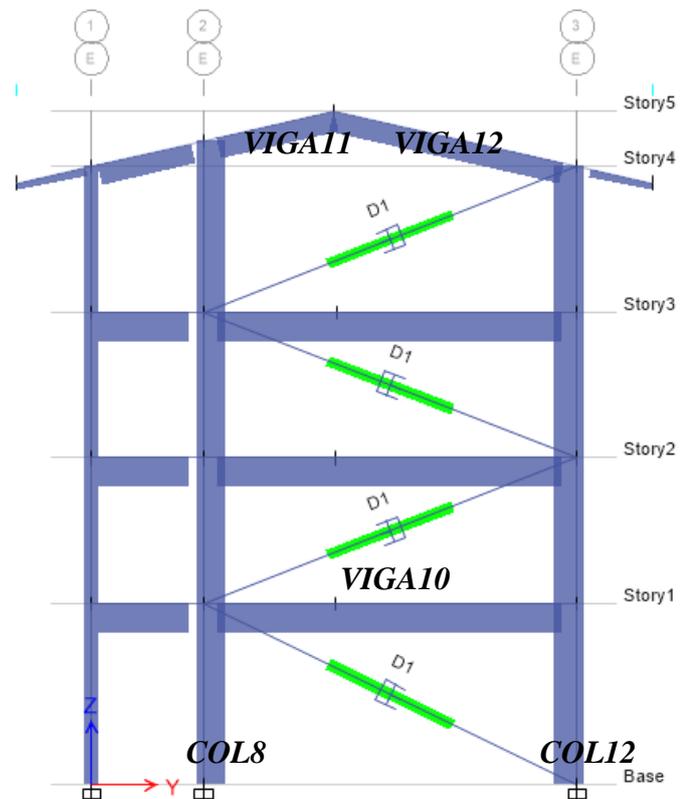


Figura 29. Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje E-E.

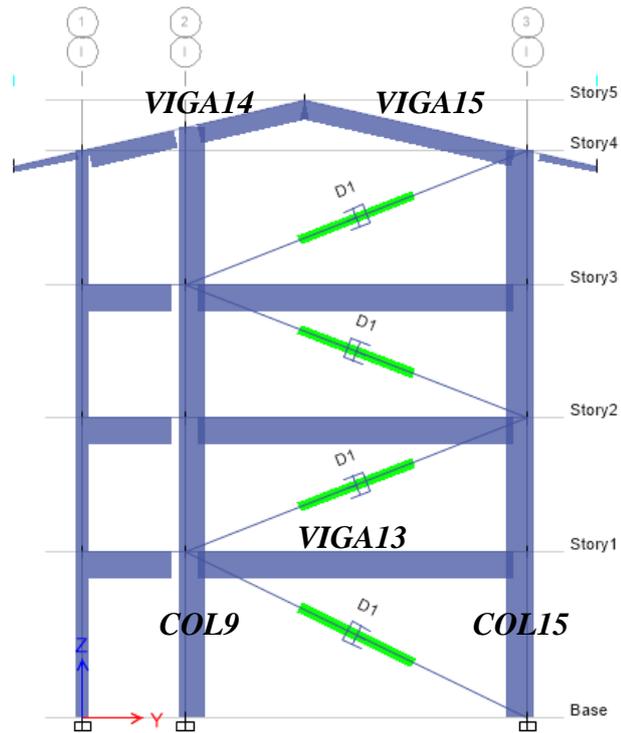


Figura 30. Ubicación de los disipadores diagonales eje Y-Y, pórtico 2-3, eje I-I.

b) Disposición CHEVRON:

Para esta disposición el valor del coeficiente de amortiguamiento se tuvo que reducir a la mitad para poder hacer un comparación correcta con la disposición diagonal ya que esta conformado de un solo disipador y la CHEVRON esta compuesto de dos.

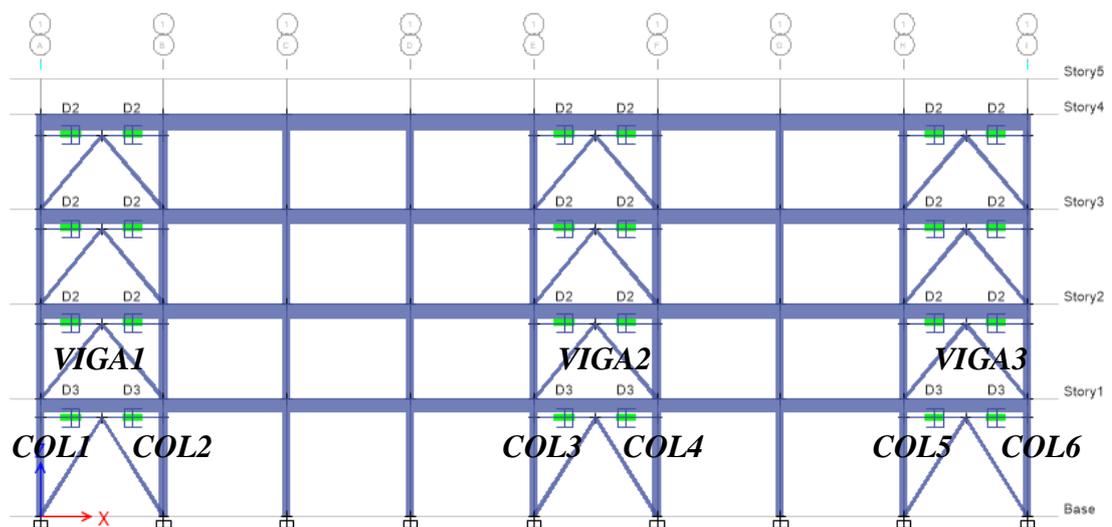


Figura 31. Ubicación de los disipadores CHEVRON eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 1-1.

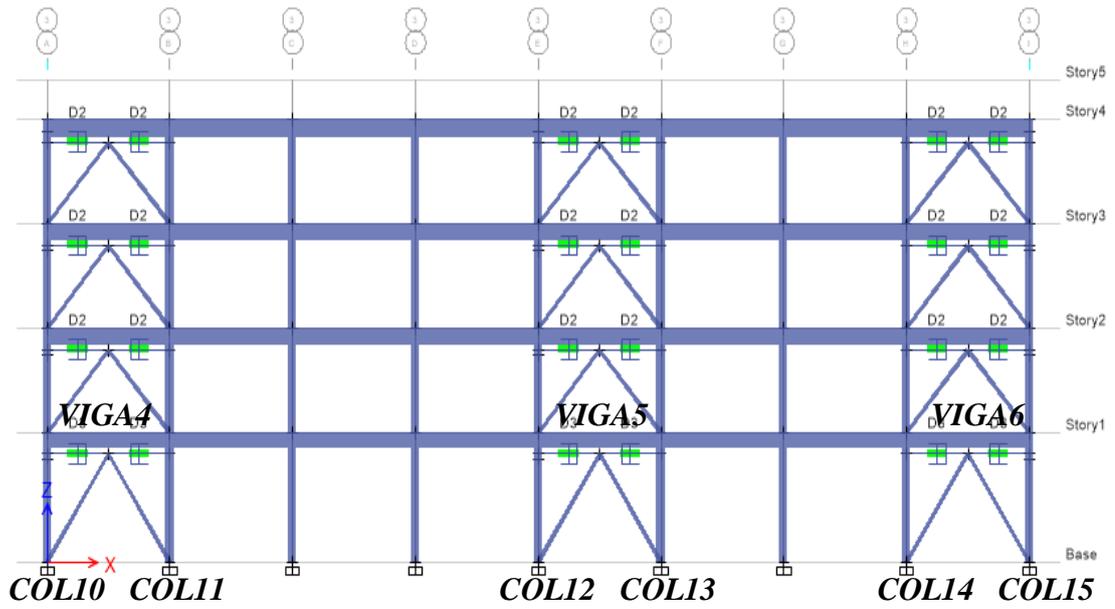


Figura 32. Ubicación de los disipadores CHEVRON eje X-X, pórtico A-B, pórtico E-F, pórtico H-I, eje 3-3.

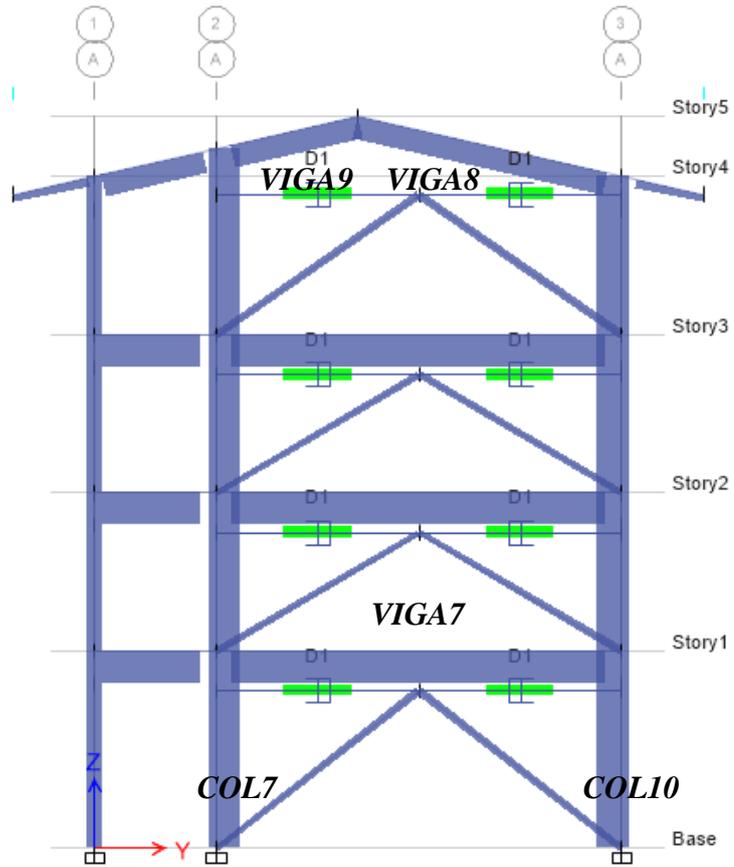


Figura 33. Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje A-A.

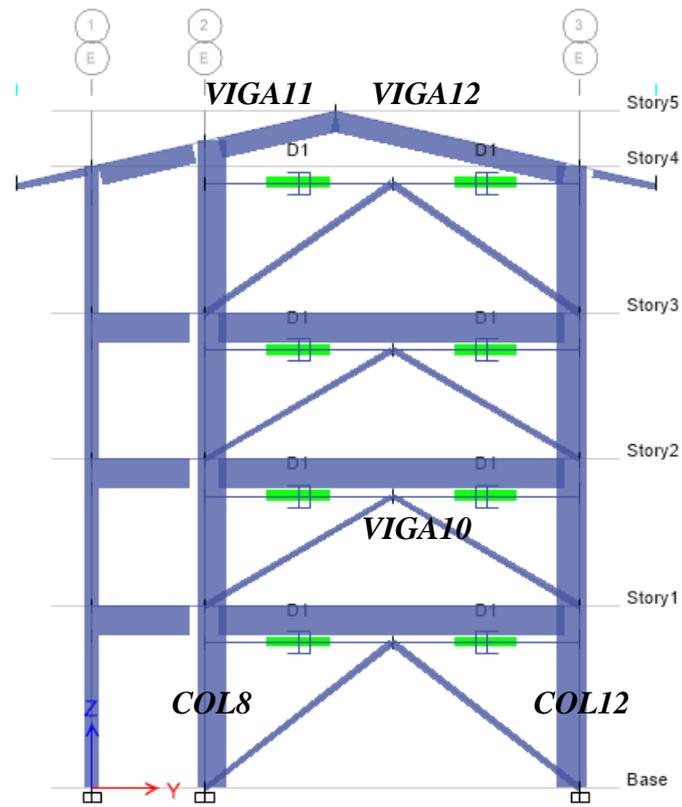


Figura 34. Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje E-E.

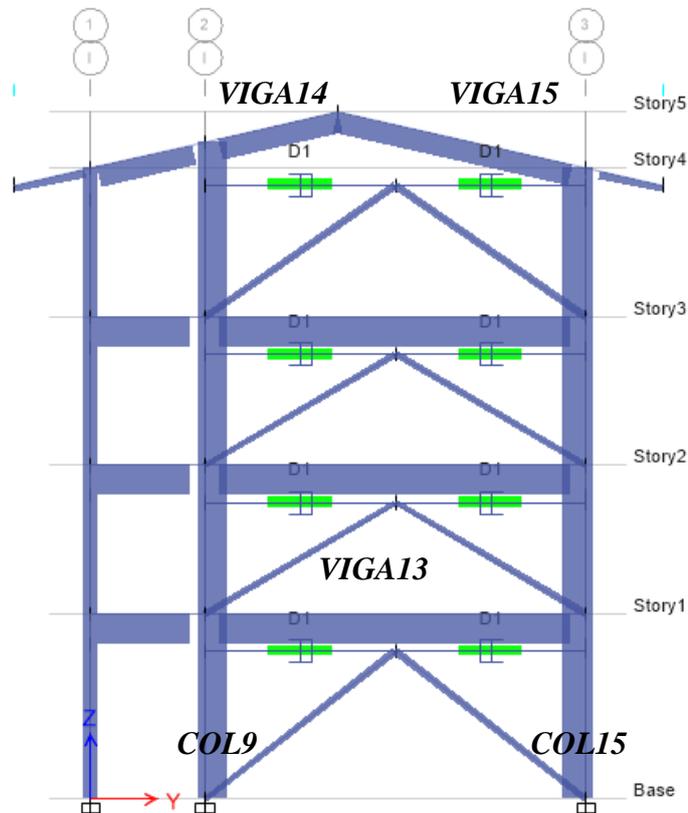


Figura 35. Ubicación de los disipadores CHEVRON eje Y-Y, pórtico 2-3, eje I-I.

Después de un proceso iterativo para determinar la ubicación de los disipadores de fluido viscoso para cumplir con la deriva objetiva, se obtuvo un total de disipadores como se presenta en el cuadro, así también el precio total por cada disposición:

DISPOSICIÓN	TOTAL DE DISIPADORES	COSTO UNITARIO	TOTAL
Arreglo Diagonal	36	US\$ 8 000.00	US\$ 288 000.00
Arreglo CHEVRON	72	US\$ 8 000.00	US\$ 576 000.00

5.3.1. Respuesta del edificio con disipadores de fluido viscoso

a) Disposición diagonal:

Periodos:

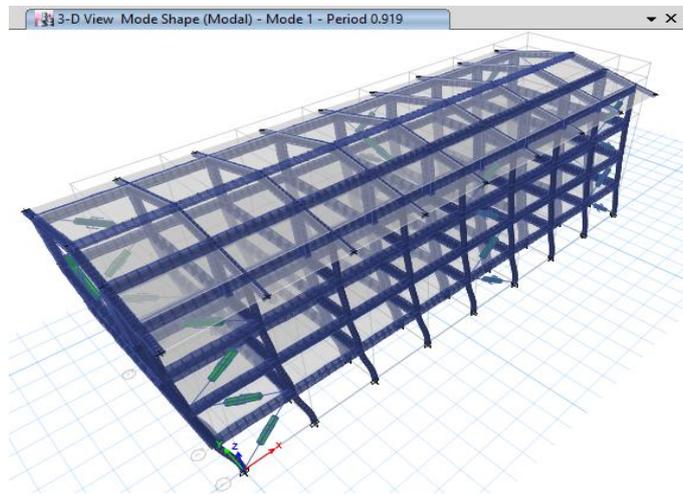


Figura 36. Periodo del modo 1 de 0.919 disposición diagonal.

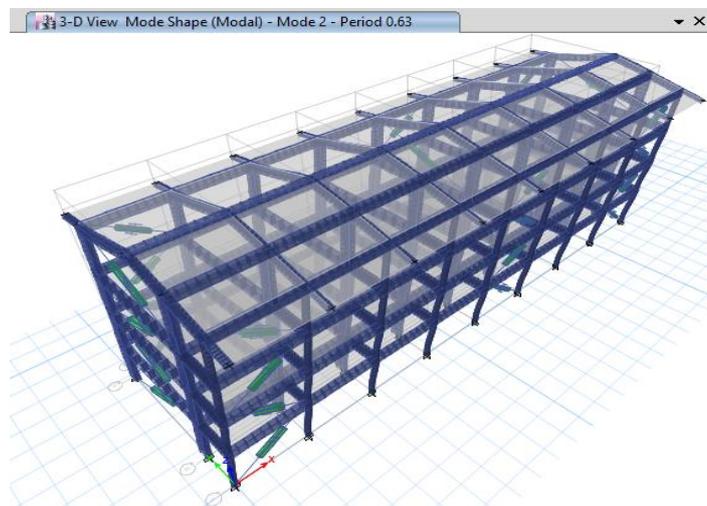


Figura 37. Periodo del modo 2 de 0.63 disposición diagonal.

Desplazamientos:

Tabla 11: *Desplazamientos por piso disposición diagonal eje X-X.*

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX X-X (cm)
4	7.29	6.96	7.29
3	6.77	6.46	6.77
2	5.46	5.07	5.46
1	3.17	2.78	3.17

Tabla 12: *Desplazamientos por piso disposición diagonal eje Y-Y.*

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX Y-Y (cm)
4	8.53	7.71	8.53
3	7.43	6.70	7.43
2	5.71	5.12	5.71
1	3.19	2.84	3.19

Distorsiones:

Tabla 13: *Distorsiones por piso disposición diagonal eje X-X.*

PISO	THA	THB	TH MAX X-X	TH X-X E.030
4	0.0016	0.0015	0.0016	0.0012
3	0.0041	0.0043	0.0043	0.0035
2	0.0071	0.0072	0.0072	0.0058
1	0.0079	0.0069	0.0079	0.0063

Tabla 14: *Distorsiones por piso disposición diagonal eje Y-Y.*

PISO	THA	THB	TH MAX Y-Y	TH Y-Y E.030
4	0.0037	0.0035	0.0037	0.0030
3	0.0056	0.0050	0.0056	0.0045
2	0.0080	0.0072	0.0080	0.0064
1	0.0080	0.0071	0.0080	0.0064

Ahora los valores máximos ya no sobrepasan el valor máximo de 0.007 de la normativa E- 0.30.

Fuerzas máximas y momentos máximos:

Tabla 15: *Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas disposición diagonal.*

COLUMNA	PISO	MAX P (ton)	MAX V2 (ton)	MAX V3 (ton)	MAX M2 (ton-m)	MAX M3 (ton-m)
COL1	4	12.85	0.84	2.65	3.98	1.22
	3	36.44	3.24	6.24	9.18	4.32
	2	98.19	5.84	10.49	15.33	8.24
	1	132.43	4.82	6.47	11.83	9.79
COL2	4	14.83	1.44	1.72	2.70	2.01
	3	36.14	4.83	5.11	7.51	6.79
	2	75.32	8.47	9.57	14.07	12.20
	1	190.64	6.06	6.31	11.63	11.41
COL3	4	22.83	1.22	2.86	4.34	1.68
	3	37.26	4.59	6.10	8.96	6.41
	2	86.10	8.09	10.57	15.54	11.62
	1	190.49	5.92	6.64	12.12	11.22
COL4	4	15.91	1.01	1.86	2.87	1.38
	3	34.72	4.43	5.06	7.48	6.20
	2	102.09	7.87	9.53	14.06	11.28
	1	155.50	5.79	6.41	11.84	11.06
COL5	4	21.58	1.31	3.09	4.72	1.83
	3	33.98	4.67	6.01	8.82	6.57
	2	82.54	8.36	10.43	15.34	12.06
	1	191.30	6.08	6.65	12.18	11.43
COL6	4	15.77	0.83	2.15	3.22	1.19
	3	32.55	2.86	5.29	7.80	3.79
	2	97.12	5.47	9.84	14.50	7.67
	1	148.51	5.00	6.60	12.12	10.02
COL7	4	13.10	1.56	11.34	21.24	3.04
	3	71.46	8.23	38.86	51.64	11.48
	2	91.61	14.75	62.12	85.57	20.19
	1	194.21	14.90	63.74	138.94	32.20
COL8	4	15.89	1.92	12.70	23.96	3.70
	3	81.91	12.14	39.17	52.16	15.86
	2	112.04	21.89	63.65	88.17	31.07
	1	216.28	18.60	65.84	142.73	37.04
COL9	4	15.48	1.38	8.67	16.19	3.19
	3	78.39	7.66	34.72	47.81	10.78
	2	101.92	14.00	59.78	81.87	18.92
	1	199.30	15.56	66.29	144.36	33.06
COL10	4	44.47	2.15	12.06	23.88	3.21
	3	65.20	6.93	21.65	34.95	10.01
	2	192.49	13.13	25.49	37.10	17.79
	1	227.14	14.59	42.76	112.30	31.69
COL11	4	18.31	2.93	9.64	17.81	4.46
	3	75.12	11.81	21.88	34.53	15.50
	2	102.57	22.10	26.94	39.05	31.52
	1	256.89	18.76	42.94	112.80	37.14
COL12	4	48.17	2.95	12.65	24.08	4.53
	3	97.18	11.67	22.65	34.88	15.20
	2	156.63	21.37	28.94	40.96	30.30
	1	300.49	18.24	43.83	113.87	36.46
COL13	4	26.15	3.07	9.14	16.40	4.76
	3	49.15	11.23	21.48	33.56	14.56
	2	140.02	20.87	28.00	40.46	29.57
	1	300.49	18.24	43.83	113.87	36.46
COL14	4	20.76	2.78	11.78	22.62	4.29
	3	69.78	12.06	22.63	34.98	15.83
	2	140.02	20.87	28.00	40.46	29.57
	1	237.15	18.63	44.87	116.46	36.97
COL15	4	44.69	1.54	12.00	24.08	2.94
	3	65.39	6.93	21.43	34.86	9.75
	2	192.75	12.77	26.17	38.43	17.18
	1	235.00	14.70	45.24	117.67	31.84

Tabla 16: *Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas disposición diagonal.*

VIGA	PISO	MAX V2 (ton)	MAX M3 (ton-m)
VIGA1	4	2.17	4.52
	3	4.08	7.13
	2	7.31	15.48
	1	8.55	18.73
VIGA2	4	4.20	8.15
	3	4.59	8.46
	2	11.74	11.74
	1	6.53	12.55
VIGA3	4	2.79	6.41
	3	3.82	6.70
	2	6.84	13.88
	1	8.35	18.96
VIGA4	4	2.84	5.59
	3	7.08	12.36
	2	14.27	29.53
	1	19.21	39.43
VIGA5	4	4.26	7.85
	3	7.21	12.51
	2	12.36	23.26
	1	15.63	30.16
VIGA6	4	2.94	5.89
	3	7.52	13.22
	2	14.93	28.86
	1	18.37	39.50
VIGA7	3	21.65	49.55
	2	26.01	67.52
	1	30.62	82.03
VIGA8	4	6.77	14.52
VIGA9	4	9.20	17.72
VIGA10	3	25.35	53.92
	2	29.72	71.99
	1	34.52	87.35
VIGA11	4	9.19	17.67
VIGA12	4	8.59	17.29
VIGA13	3	22.11	51.65
	2	26.78	70.92
	1	31.51	85.42
VIGA14	4	8.89	17.52
VIGA15	4	6.64	14.51

b) Disposición CHEVRON:

El valor de “K” son los siguientes:

DISPOSICIÓN CHEVRON			
EJE X-X		EJE Y-Y	
E =	20400000 tn/m ²	E =	20400000 tn/m ²
L =	3.41 m	L =	4.39 m
K =	109972 tn/m	K =	85422 tn/m

Periodos:

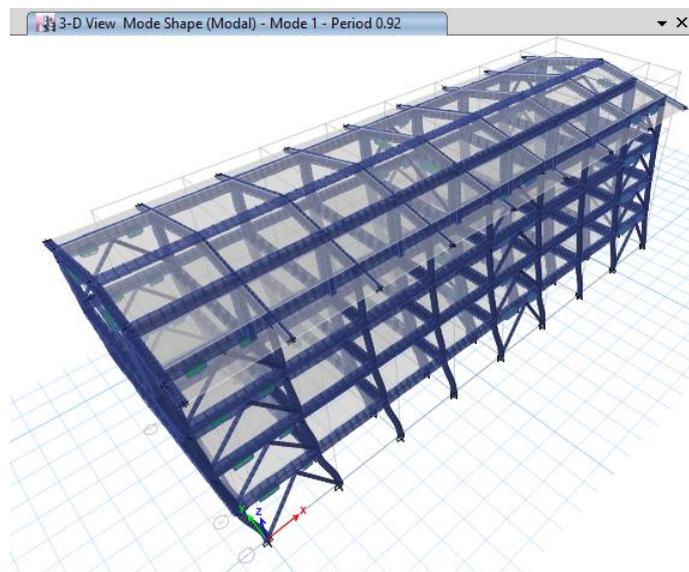


Figura 38. Periodo del modo 1 de 0.92 disposición CHEVRON.

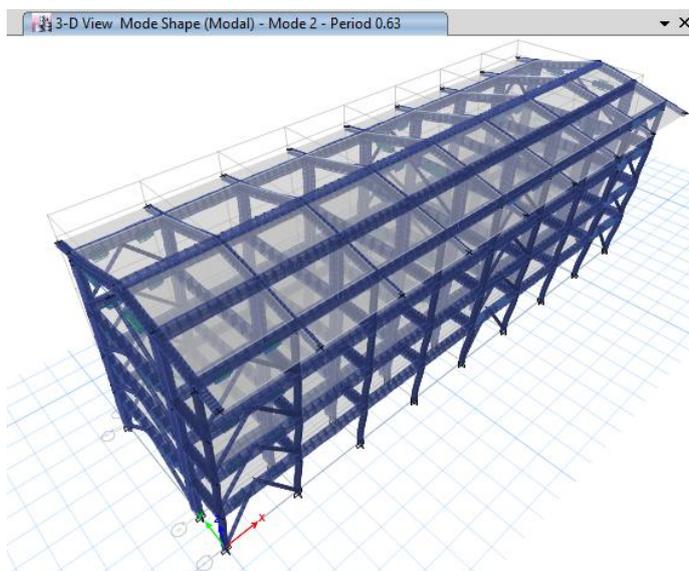


Figura 39. Periodo del modo 2 de 0.63 disposición CHEVRON.

Desplazamientos:

Tabla 17: *Desplazamientos por piso disposición CHEVRON eje X-X.*

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX X-X (cm)
4	6.29	5.51	6.29
3	5.54	4.83	5.54
2	4.38	3.75	4.38
1	2.42	1.98	2.42

Tabla 18: *Desplazamientos por piso disposición CHEVRON eje Y-Y.*

PISO	THA (cm)	THB (cm)	TH MAX Y-Y (cm)
4	9.74	8.32	9.74
3	8.39	7.16	8.39
2	6.43	5.53	6.43
1	3.61	3.14	3.61

Distorsiones:

Tabla 19: *Distorsiones por piso disposición CHEVRON eje X-X.*

PISO	THA	THB	TH MAX X-X	TH X-X E.030
4	0.0015	0.0013	0.0015	0.0012
3	0.0037	0.0034	0.0037	0.0029
2	0.0061	0.0055	0.0061	0.0049
1	0.0061	0.0050	0.0061	0.0048

Tabla 20: *Distorsiones por piso disposición CHEVRON eje Y-Y.*

PISO	THA	THB	TH MAX Y-Y	TH Y-Y E.030
4	0.0044	0.0039	0.0044	0.0035
3	0.0062	0.0051	0.0062	0.0049
2	0.0088	0.0075	0.0088	0.0071
1	0.0090	0.0078	0.0090	0.0072

Como se trata de comparar la disposición diagonal y CHEVRON solamente reduciendo el coeficiente de amortiguamiento “C” a la mitad, se ve que sobrepasan el valor máximo de 0.007 de la normativa E- 0.30, los dos primeros pisos y los dos últimos es menor al valor máximo de la norma.

Fuerzas máximas y momentos máximos:

Tabla 21: *Fuerzas máximas y momentos máximos en columnas disposición CHEVRON.*

COLUMNA	PISO	MAX P (ton)	MAX V2 (ton)	MAX V3 (ton)	MAX M2 (ton-m)	MAX M3 (ton-m)
COL1	4	9.47	13.16	2.51	3.80	3.13
	3	33.81	3.65	5.84	8.62	4.93
	2	84.98	4.17	10.90	16.10	5.55
	1	152.21	2.57	7.43	13.69	5.18
COL2	4	13.79	15.72	2.22	3.40	2.22
	3	33.19	3.94	5.89	8.68	5.63
	2	83.06	6.02	10.82	15.94	7.90
	1	153.64	2.81	7.31	13.50	5.60
COL3	4	11.82	1.38	2.38	3.60	1.92
	3	36.35	3.92	5.92	8.74	5.51
	2	87.67	5.71	10.90	16.08	7.60
	1	157.25	2.57	7.18	13.23	5.42
COL4	4	10.77	1.28	2.28	3.51	1.78
	3	35.91	3.85	5.84	8.61	5.42
	2	86.42	5.62	10.73	15.81	7.46
	1	151.08	2.61	7.05	13.02	5.34
COL5	4	10.75	1.48	2.13	3.27	2.09
	3	34.80	4.12	5.82	8.59	5.82
	2	85.31	7.11	10.68	15.73	10.19
	1	150.61	4.45	6.92	12.77	8.40
COL6	4	8.51	1.16	2.11	3.17	1.62
	3	29.98	3.07	5.86	8.65	4.11
	2	77.96	5.43	10.81	15.94	7.71
	1	142.21	3.85	6.92	12.75	7.62
COL7	4	13.03	1.23	23.77	31.98	2.72
	3	50.89	6.23	53.24	53.96	8.61
	2	94.27	11.18	82.24	85.33	15.21
	1	151.80	10.40	106.19	159.89	23.11
COL8	4	14.47	1.99	29.05	29.33	3.75
	3	58.55	10.03	51.48	55.25	13.15
	2	104.74	18.03	80.88	86.67	25.37
	1	169.60	13.50	101.09	153.48	27.16
COL9	4	11.67	1.51	23.43	24.77	3.41
	3	48.47	7.06	56.29	52.67	9.76
	2	89.26	12.66	84.35	81.97	17.24
	1	139.58	11.40	103.11	145.15	24.42
COL10	4	14.59	1.67	15.07	27.41	3.50
	3	62.01	6.06	41.54	31.60	8.59
	2	114.84	11.38	51.97	36.82	15.23
	1	178.62	11.16	82.85	129.85	24.34
COL11	4	15.25	3.56	9.59	16.53	5.20
	3	42.79	10.39	19.77	31.45	13.73
	2	75.55	18.99	27.98	40.56	27.02
	1	111.76	14.33	50.50	131.78	28.49
COL12	4	17.78	3.36	18.34	31.29	5.44
	3	62.55	9.90	40.45	32.55	12.97
	2	108.51	18.07	48.95	40.59	25.55
	1	164.89	13.91	79.57	122.51	27.94
COL13	4	15.83	4.09	10.45	16.88	5.92
	3	43.98	10.18	19.51	30.77	13.39
	2	77.72	18.36	27.08	41.47	25.95
	1	116.28	13.99	47.90	126.12	28.05
COL14	4	15.10	3.61	9.82	17.04	5.24
	3	43.27	9.89	20.09	31.77	13.06
	2	78.06	18.63	26.39	41.54	26.50
	1	119.25	14.21	49.06	123.33	28.34
COL15	4	13.77	1.97	15.55	27.87	3.83
	3	56.16	5.97	40.89	30.91	8.44
	2	108.20	11.56	48.53	39.21	15.56
	1	169.26	11.28	81.00	118.67	24.50

Tabla 22: *Fuerzas máximas y momentos máximos en vigas disposición CHEVRON.*

VIGA	PISO	MAX V2 (ton)	MAX M3 (ton-m)
VIGA1	4	2.79	6.26
	3	4.36	9.54
	2	5.80	12.85
	1	16.85	37.35
VIGA2	4	1.57	2.24
	3	3.10	5.12
	2	8.44	8.44
	1	13.90	27.54
VIGA3	4	1.50	2.05
	3	3.88	7.47
	2	6.88	14.69
	1	7.85	17.07
VIGA4	4	2.78	4.29
	3	7.93	13.17
	2	14.00	26.44
	1	16.84	33.54
VIGA5	4	3.25	5.47
	3	7.58	13.34
	2	12.47	23.48
	1	14.05	26.76
VIGA6	4	2.49	4.10
	3	7.18	13.20
	2	12.95	26.33
	1	16.03	33.80
VIGA7	3	23.48	55.98
	2	28.51	77.18
	1	34.92	97.56
VIGA8	4	6.19	14.97
VIGA9	4	7.01	16.77
VIGA10	3	27.15	59.93
	2	32.09	80.81
	1	38.17	100.09
VIGA11	4	8.98	19.23
VIGA12	4	8.28	17.57
VIGA13	3	23.18	55.05
	2	28.35	76.61
	1	33.95	94.46
VIGA14	4	6.89	16.36
VIGA15	4	6.32	15.49

- **Balance energético**
 - a) **Disposición diagonal**

Los disipadores de fluido viscoso disipan 86.7% de energía denotado de color celeste de toda la energía de ingreso:

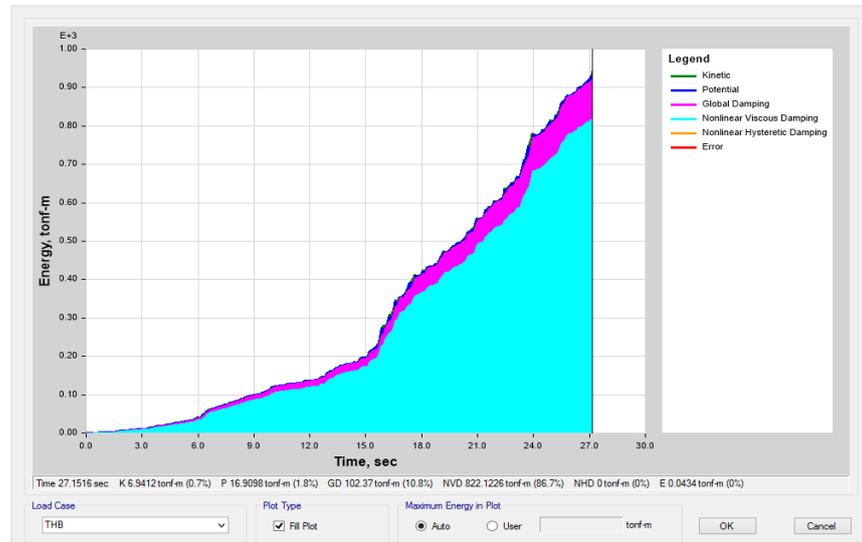


Figura 40. Esquema de disipación de energía del arreglo diagonal.

- b) **Disposición CHEVRON**

Los disipadores de fluido viscoso disipan 85% de energía denotado de color celeste de toda la energía de ingreso:

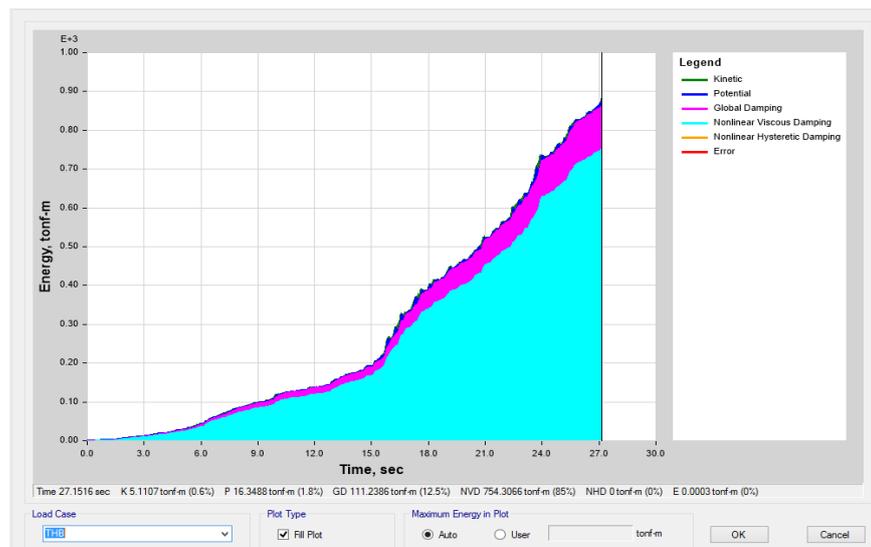


Figura 41. Esquema de disipación de energía del arreglo CHEVRON.

- **Curva de histéresis**
 - c) **Disposición diagonal**

Todos los dispositivos de fluido viscoso se visualiza una tendencia a ser elíptica pondremos como ejemplo el dissipador viscoso K1:

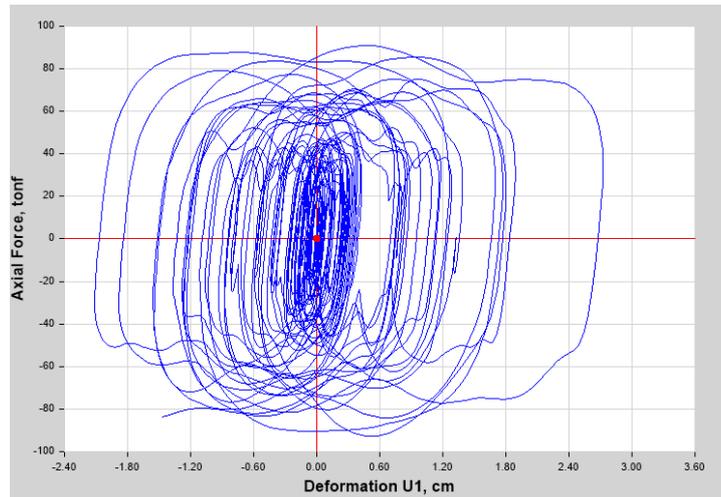


Figura 42. Esquema de curva histéresis del dissipador viscoso K1 arreglo diagonal.

- d) **Disposición CHEVRON**

Todos los dispositivos de fluido viscoso se visualiza una tendencia a ser elíptica pondremos como ejemplo el dissipador viscoso K1:

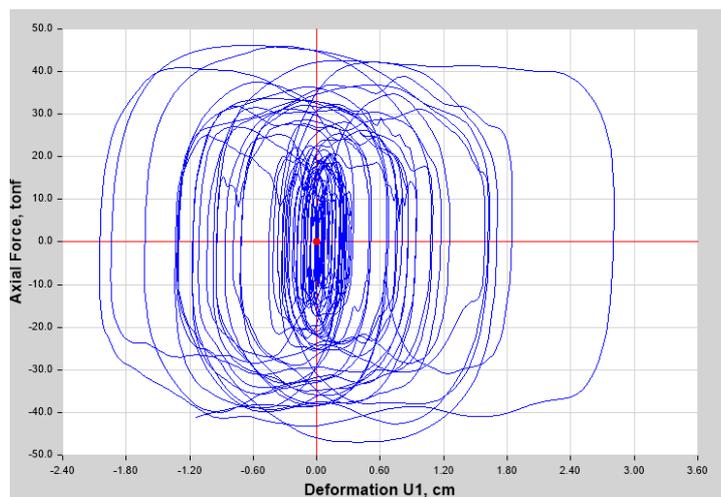


Figura 43. Esquema de curva histéresis del dissipador viscoso K1 arreglo CHEVRON.

5.4. Evaluación de resultados

a) Periodos

Tabla 23: Comparación de periodos sin y con disipadores de fluido viscoso.

MODO	SIN DISIPADORES	CON DISIPADORES	
		DIAGONAL	CHEVRON
1	0.919	0.919	0.920
2	0.630	0.630	0.630

b) Desplazamientos máximos

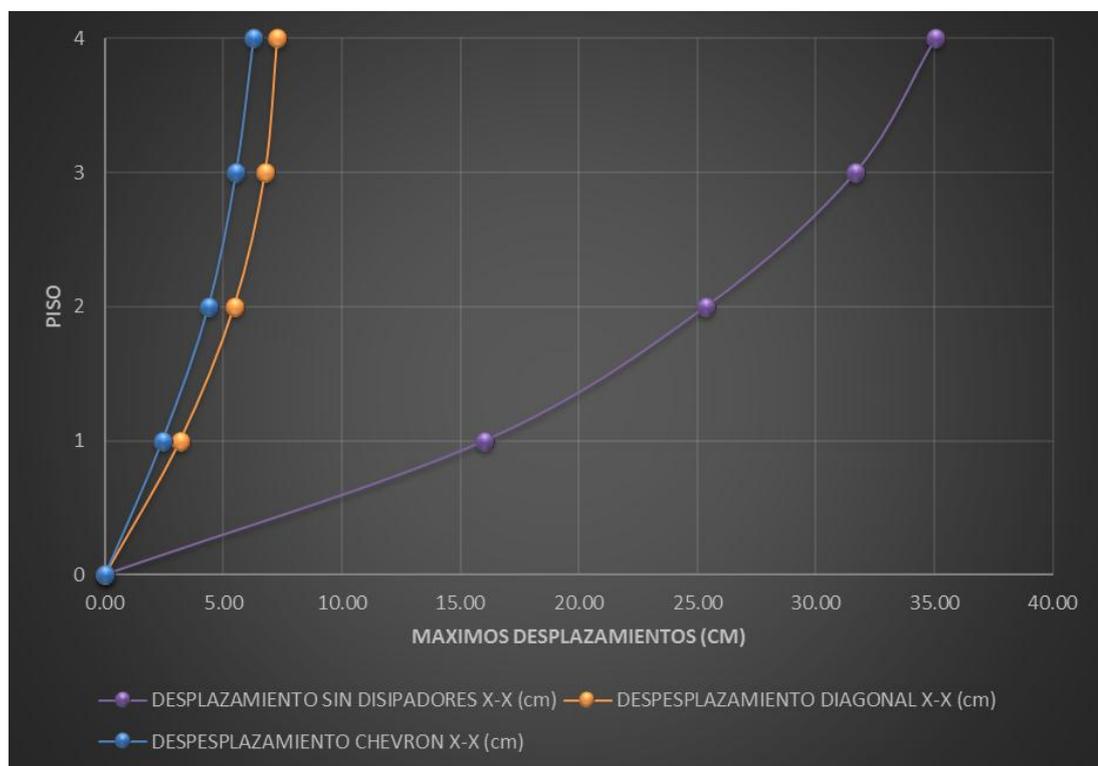


Figura 44. Esquema de disminución de los desplazamientos sin y con disipadores eje X-X.

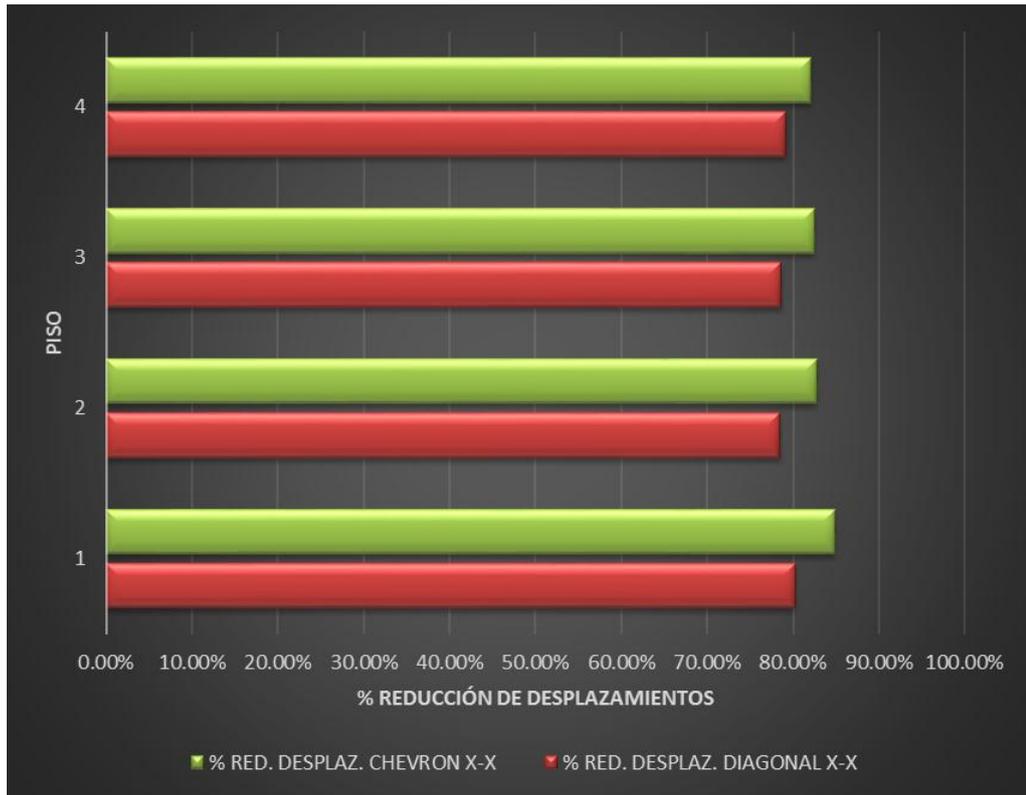


Figura 45. Porcentaje de reducción de los desplazamientos usando los disipadores eje X-X.

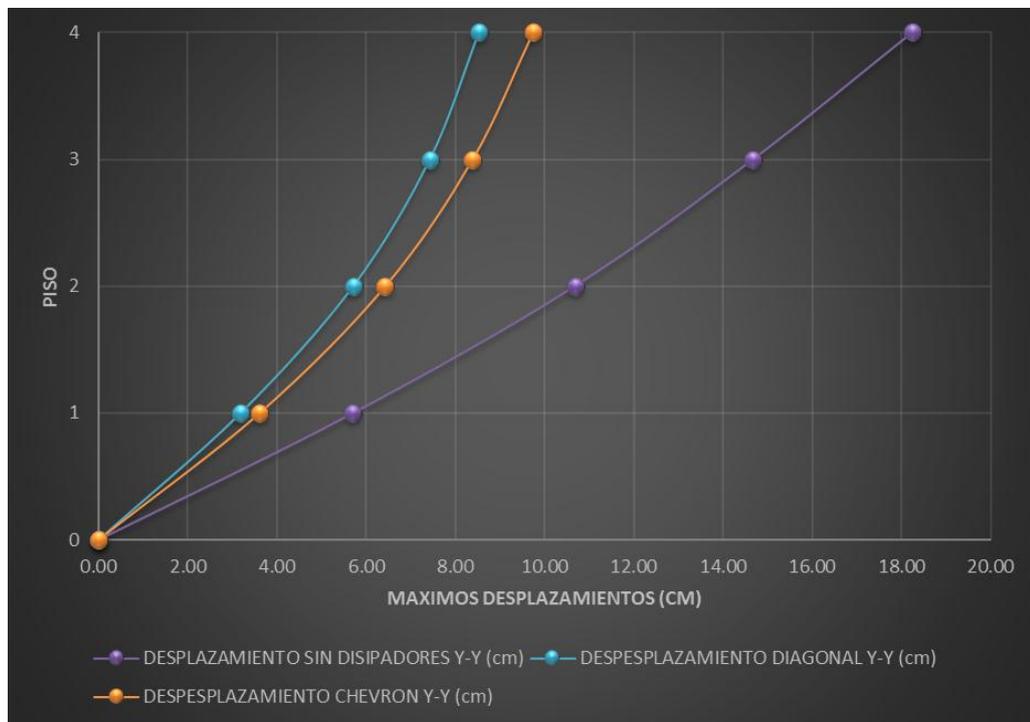


Figura 46. Esquema de disminución de los desplazamientos sin y con disipadores eje Y-Y.

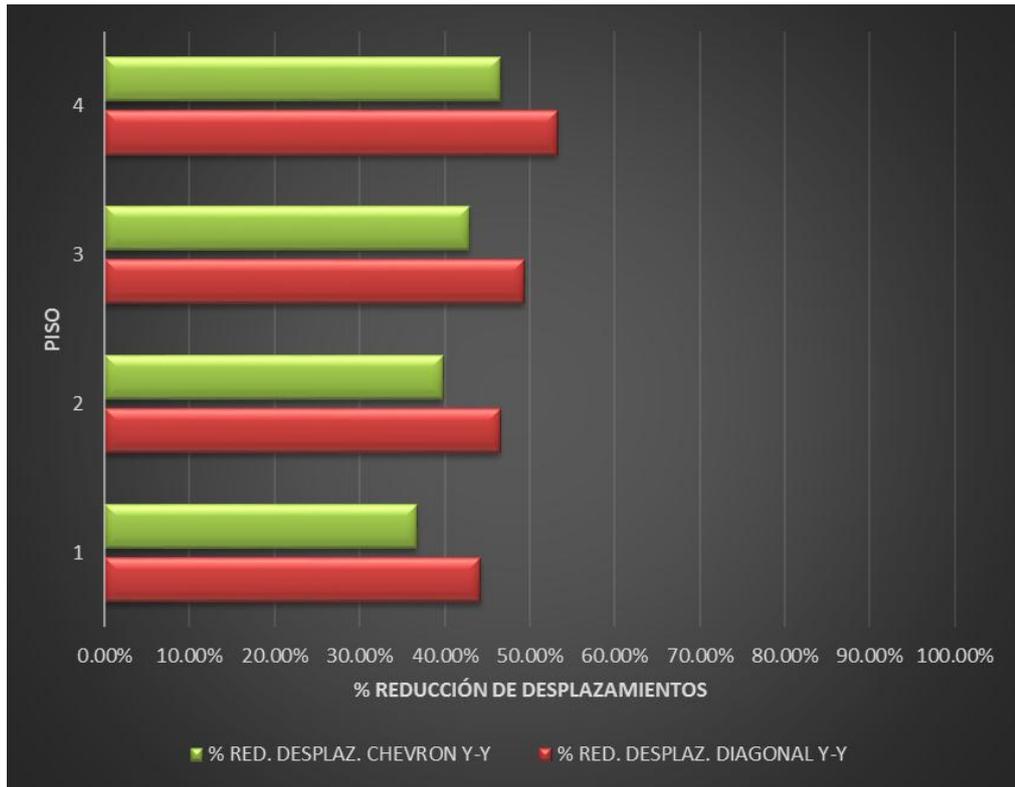


Figura 47. Porcentaje de reducción de los desplazamientos usando los disipadores eje Y-Y.

c) **Distorsiones máximas**

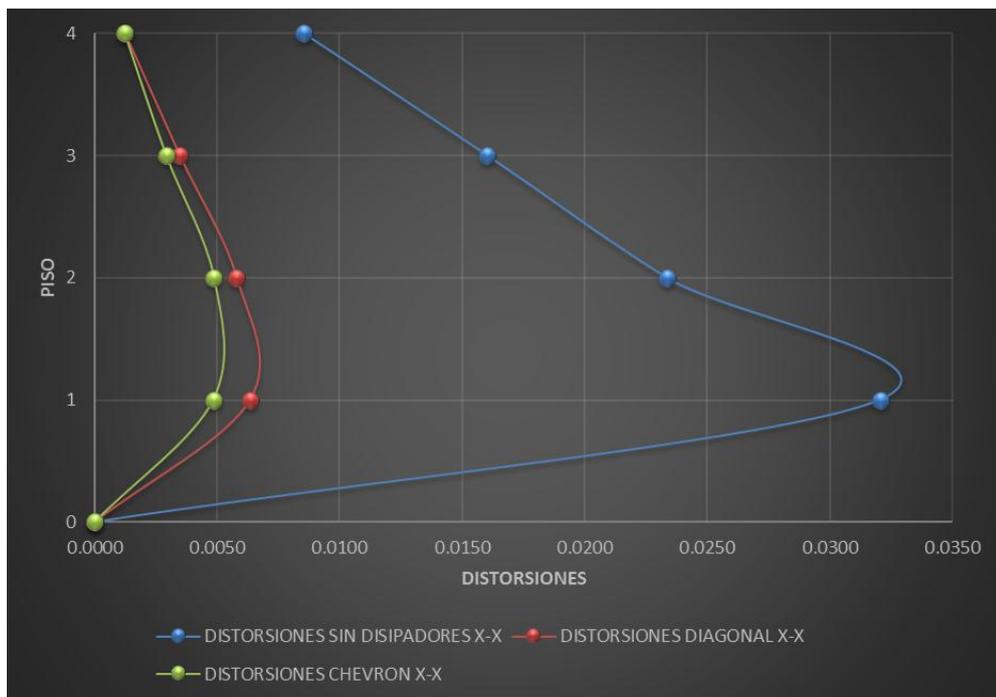


Figura 48. Esquema de disminución de las distorsiones sin y con disipadores eje X-X.

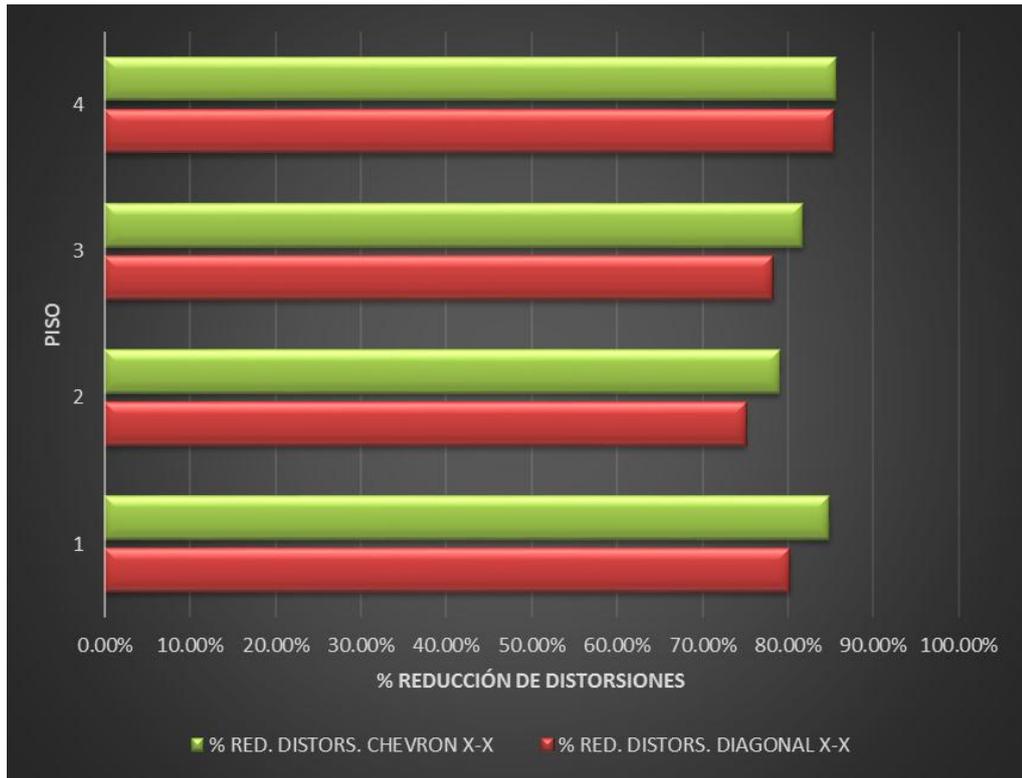


Figura 49. Porcentaje de reducción de las distorsiones usando los disipadores eje X-X.

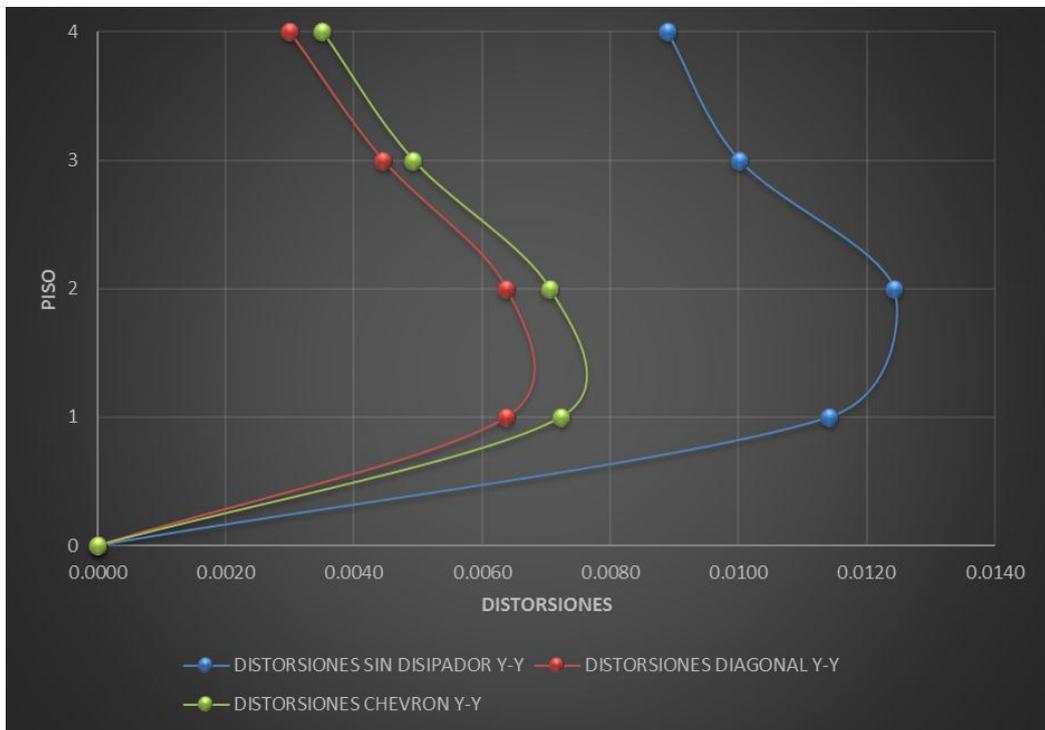


Figura 50. Esquema de disminución de las distorsiones sin y con disipadores eje Y-Y.

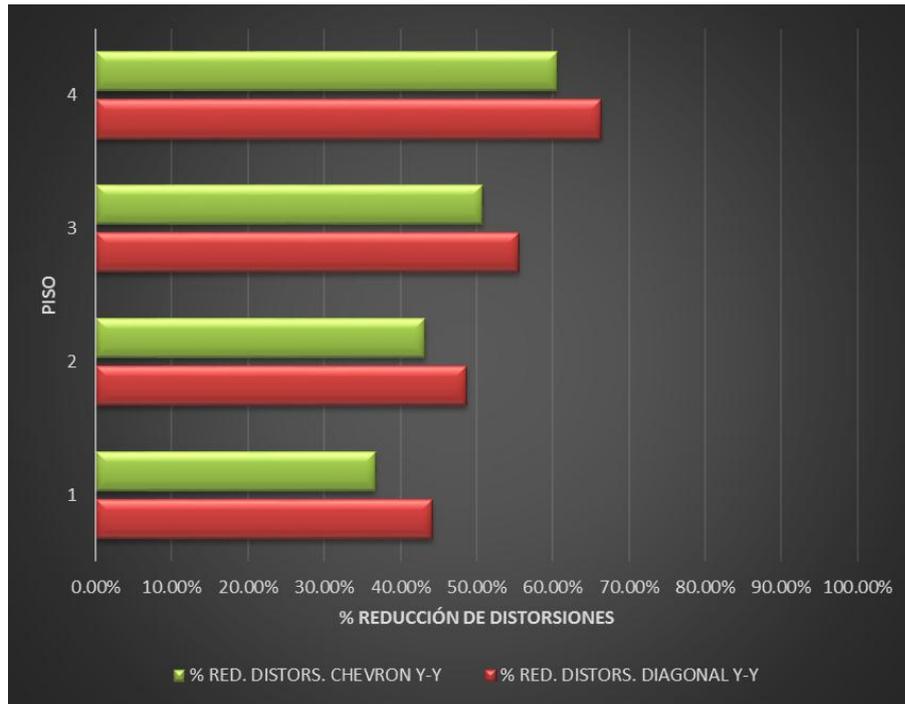


Figura 51. Porcentaje de reducción de las distorsiones usando los disipadores eje Y-Y.

d) Fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre la estructura

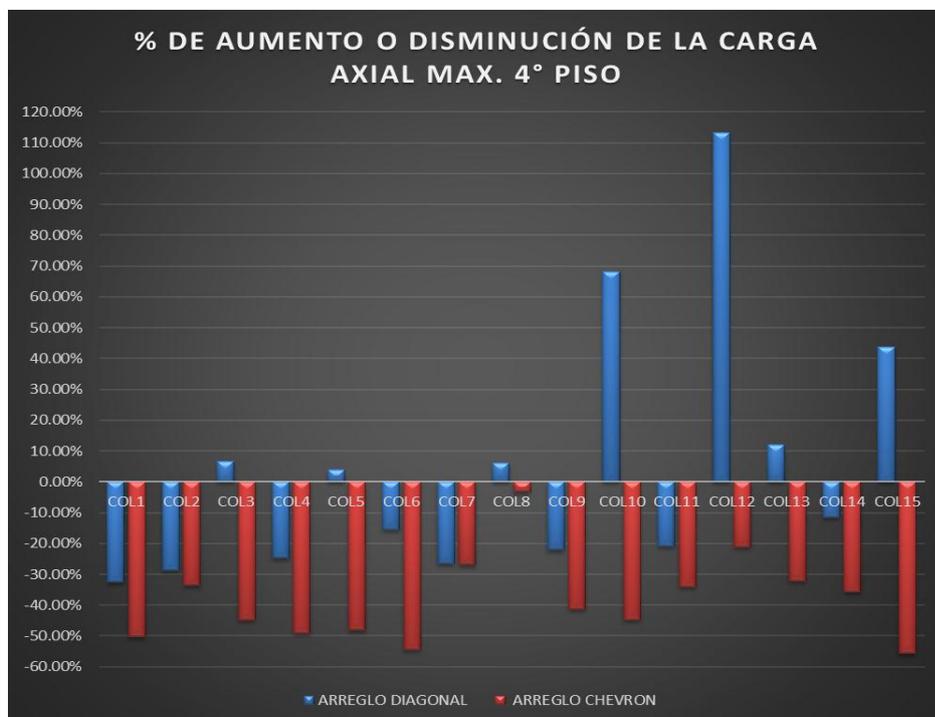


Figura 52. Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.

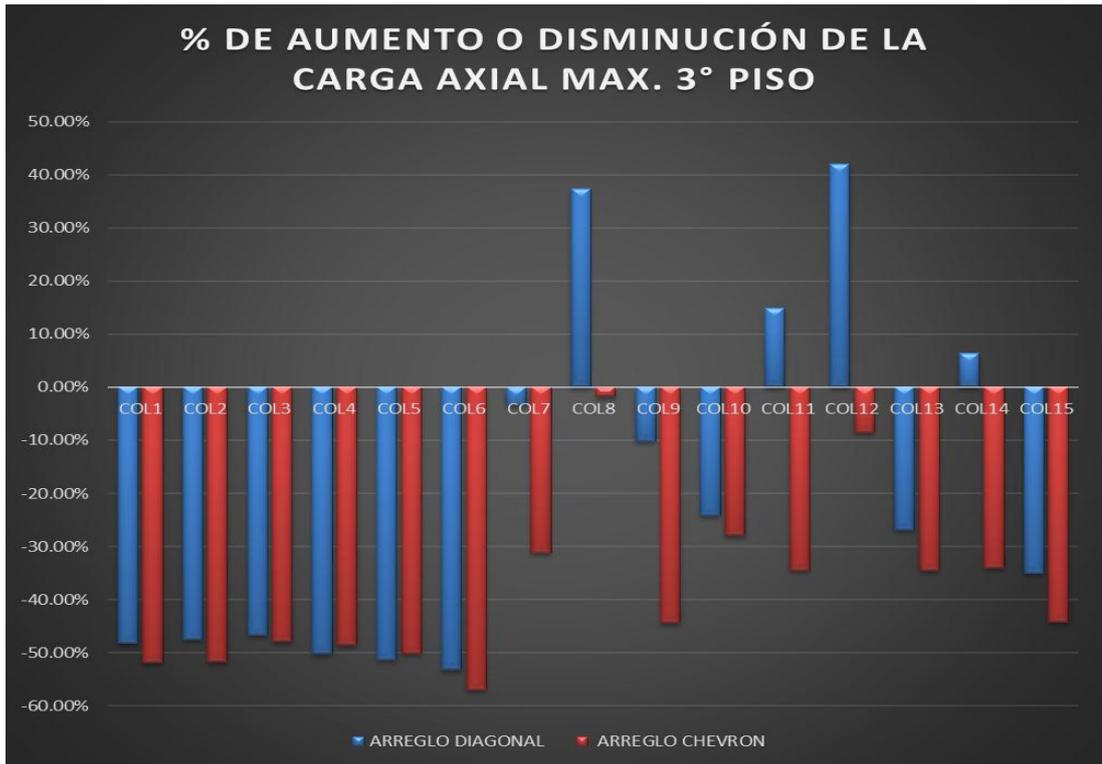


Figura 53. Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.

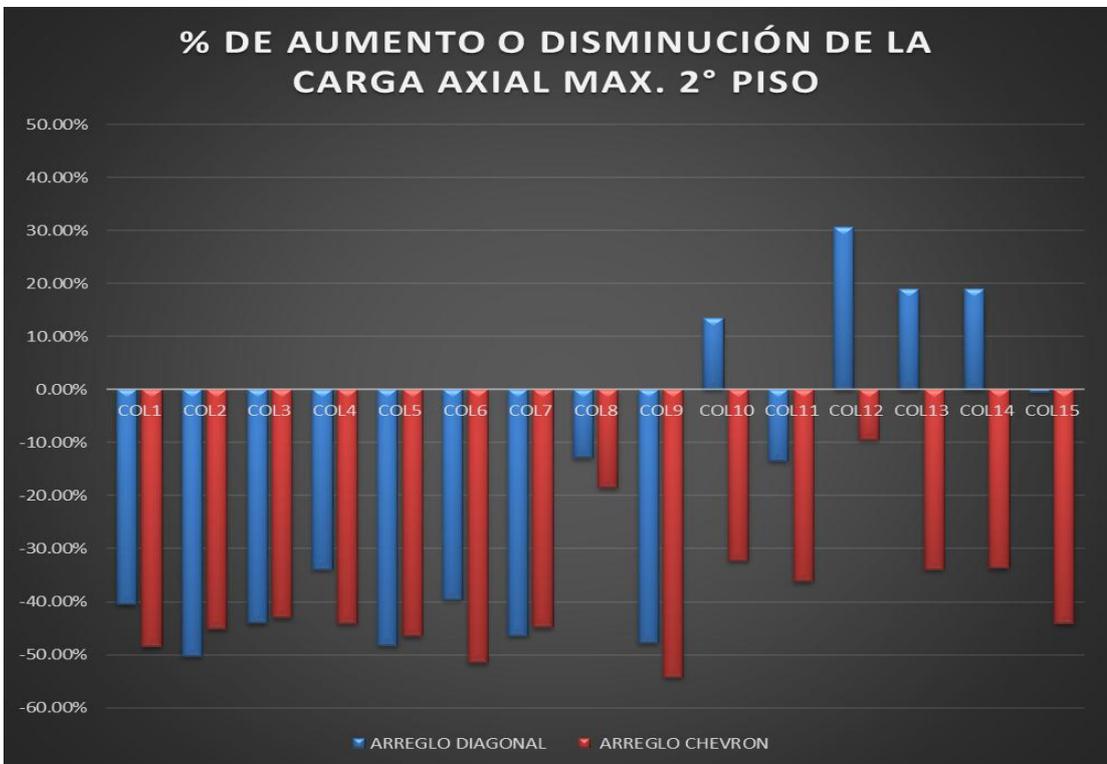


Figura 54. Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.

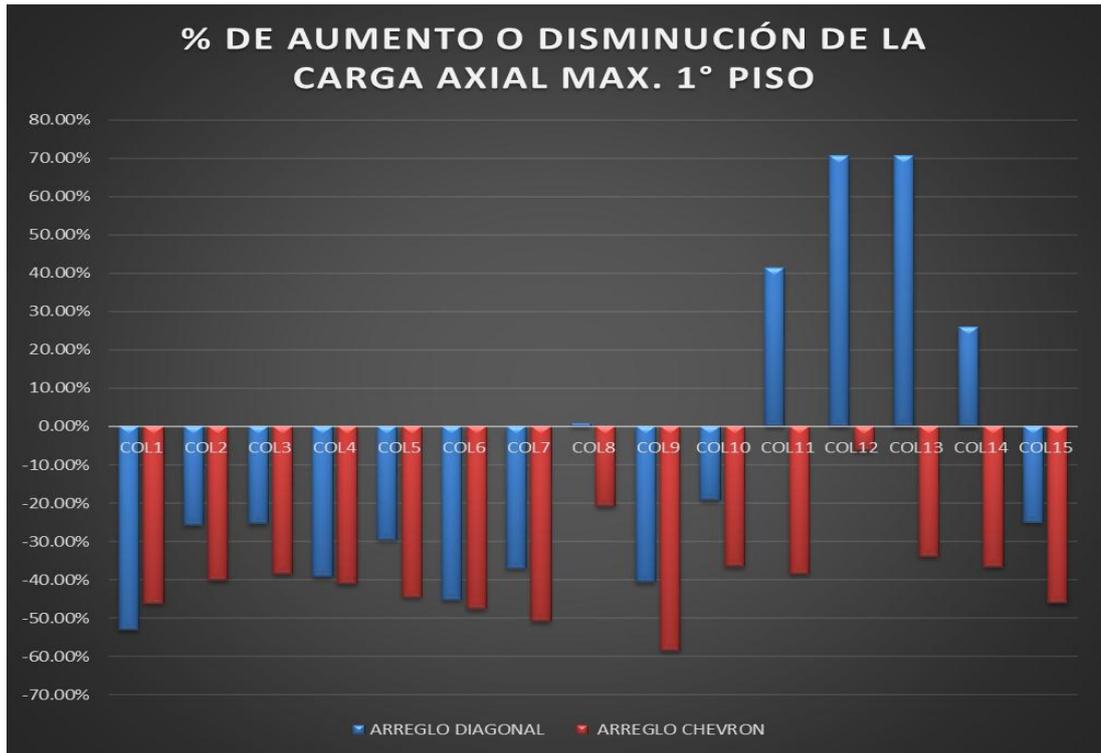


Figura 55. Porcentaje de aumento o disminución de la carga axial máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.

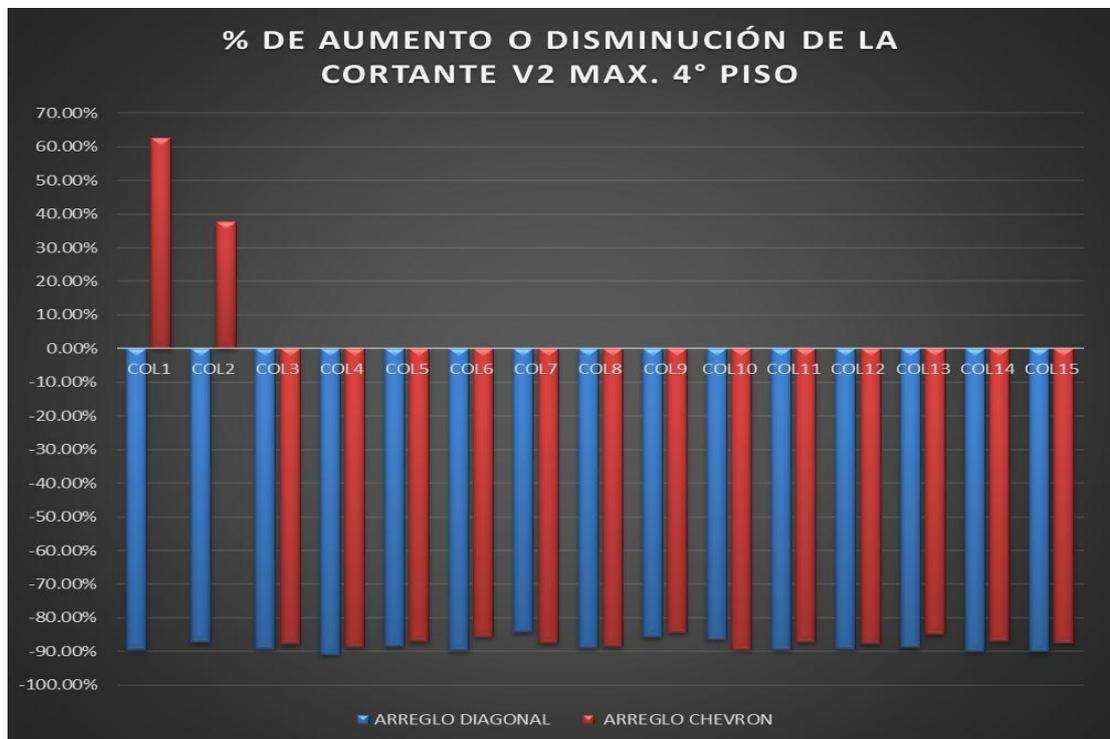


Figura 56. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.

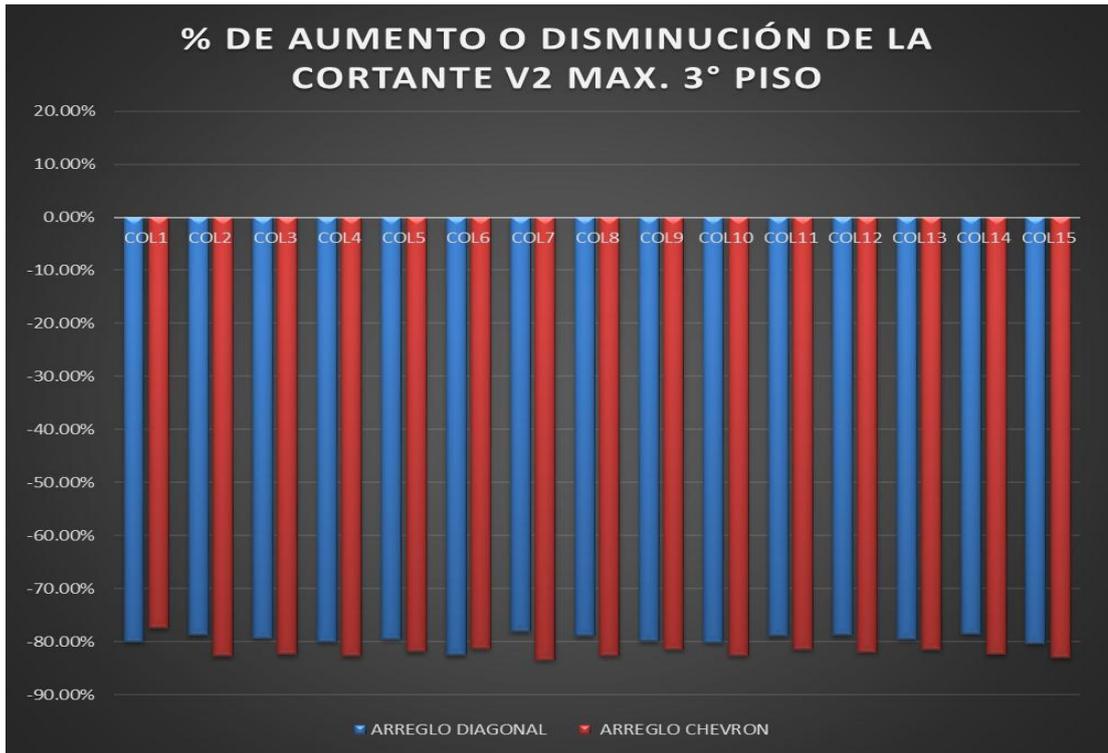


Figura 57. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.

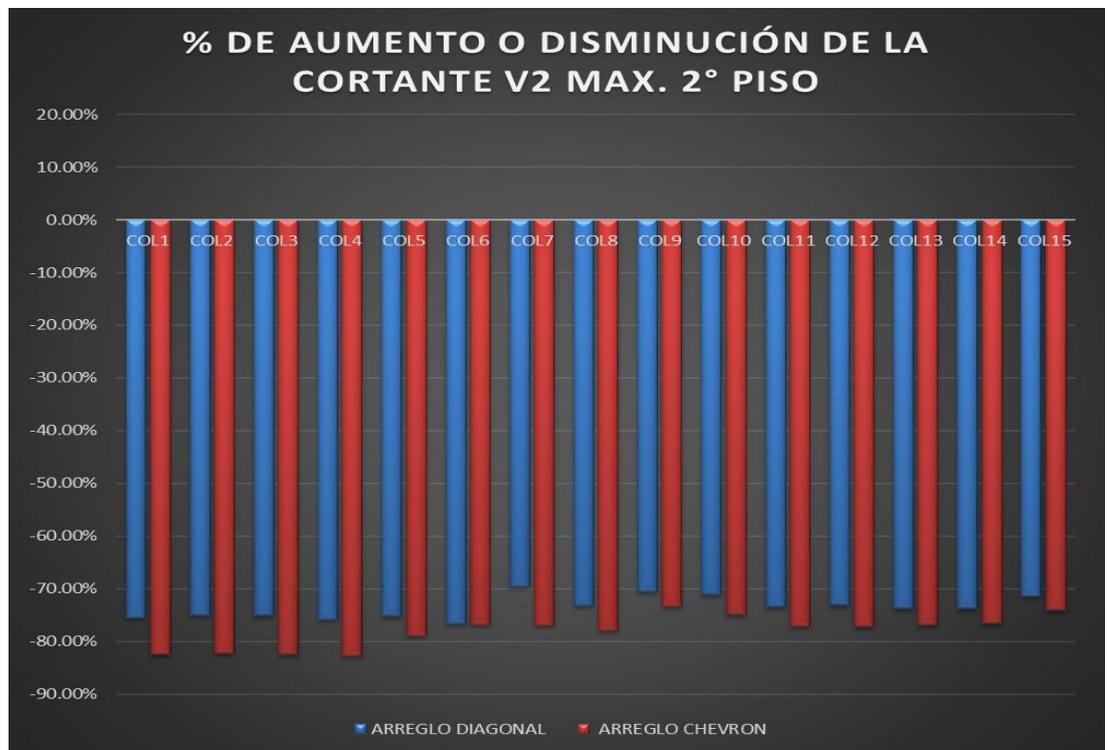


Figura 58. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.

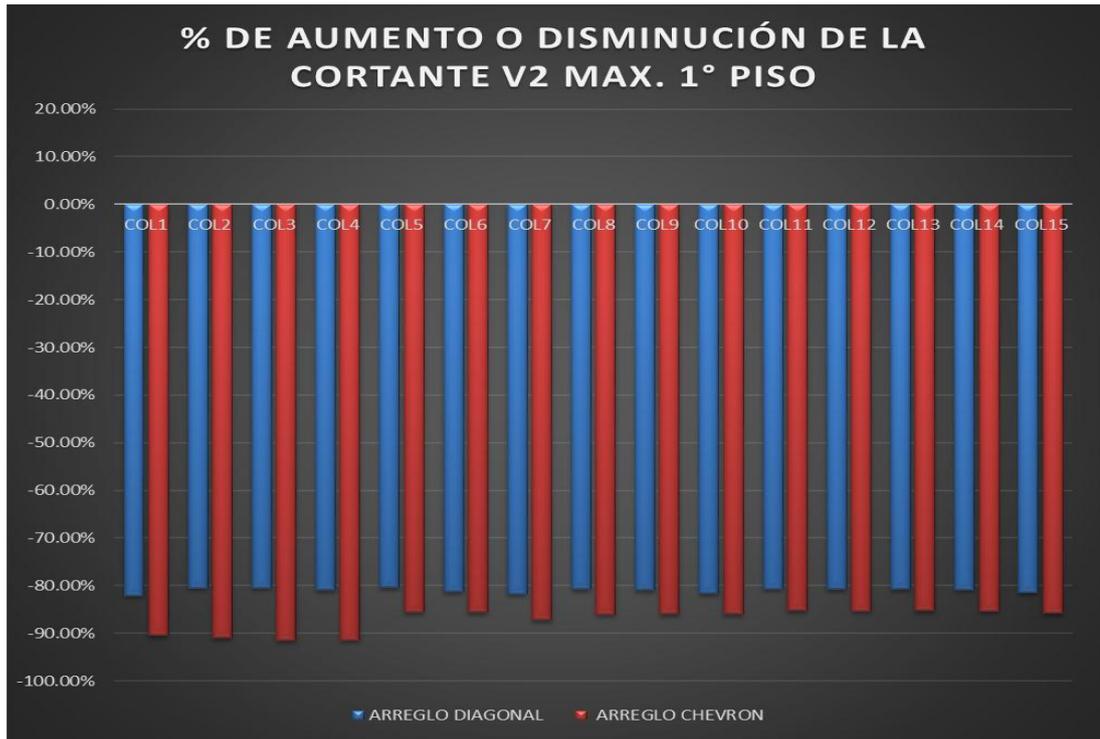


Figura 59. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V2 máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.

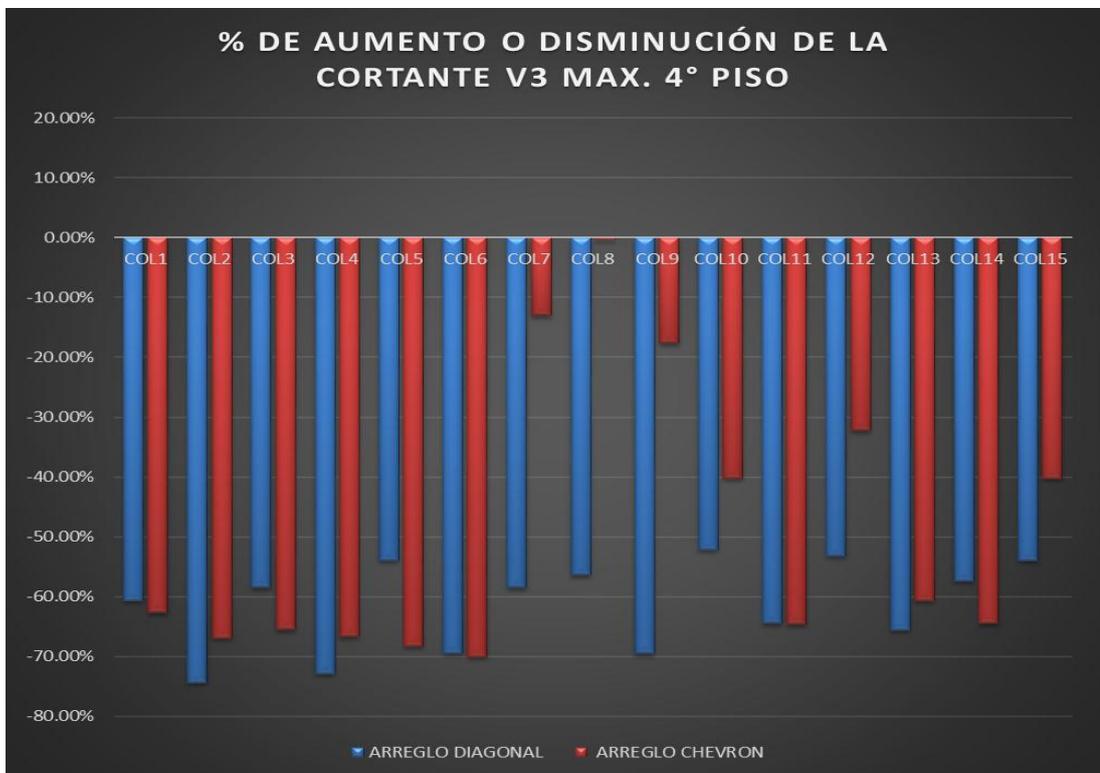


Figura 60. . Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 4° piso.



Figura 61. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 3° piso.

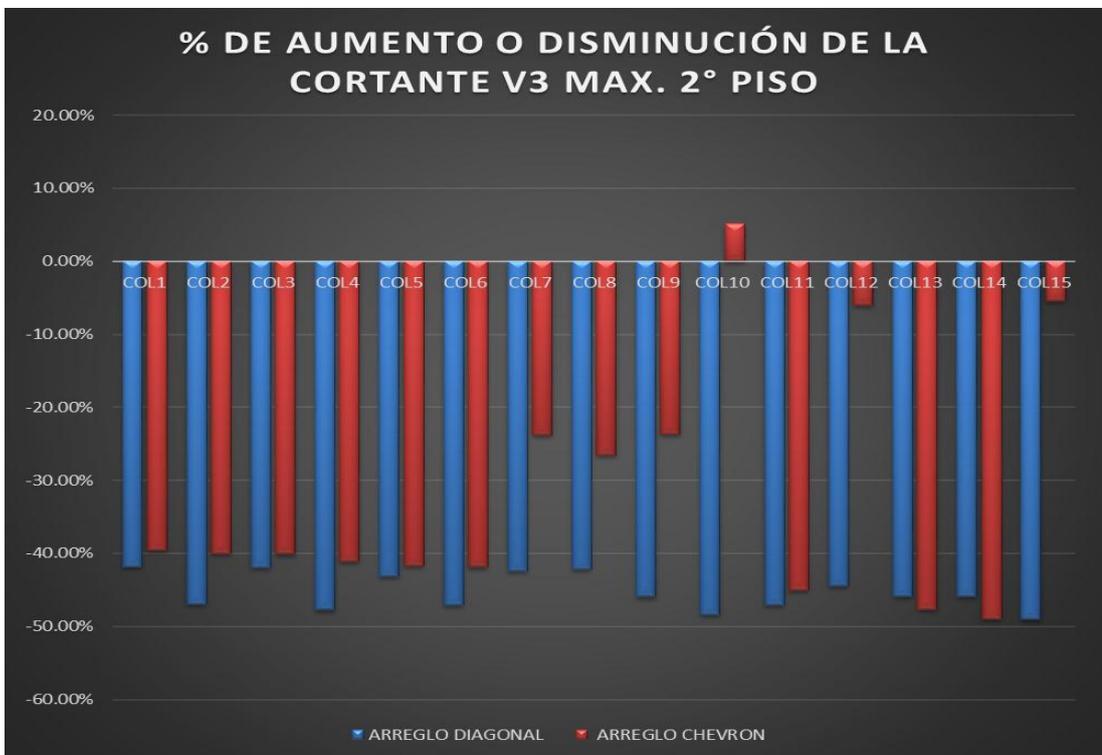


Figura 62. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 2° piso.

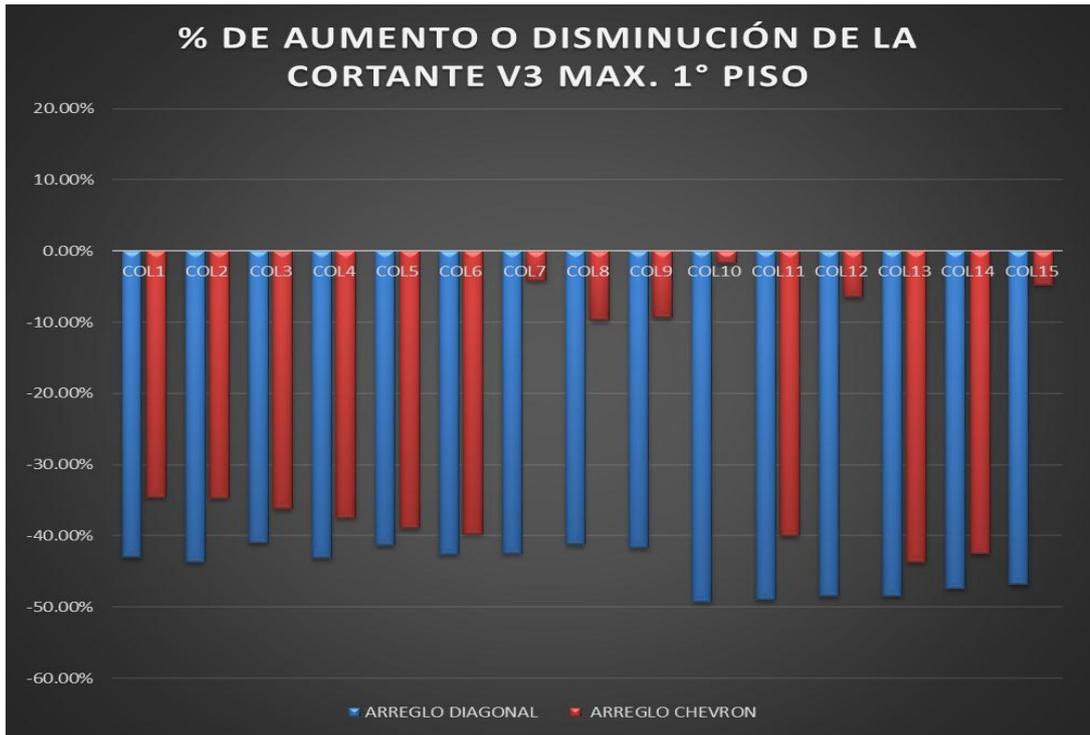


Figura 63. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante V3 máxima en columnas usando disipadores en el 1° piso.

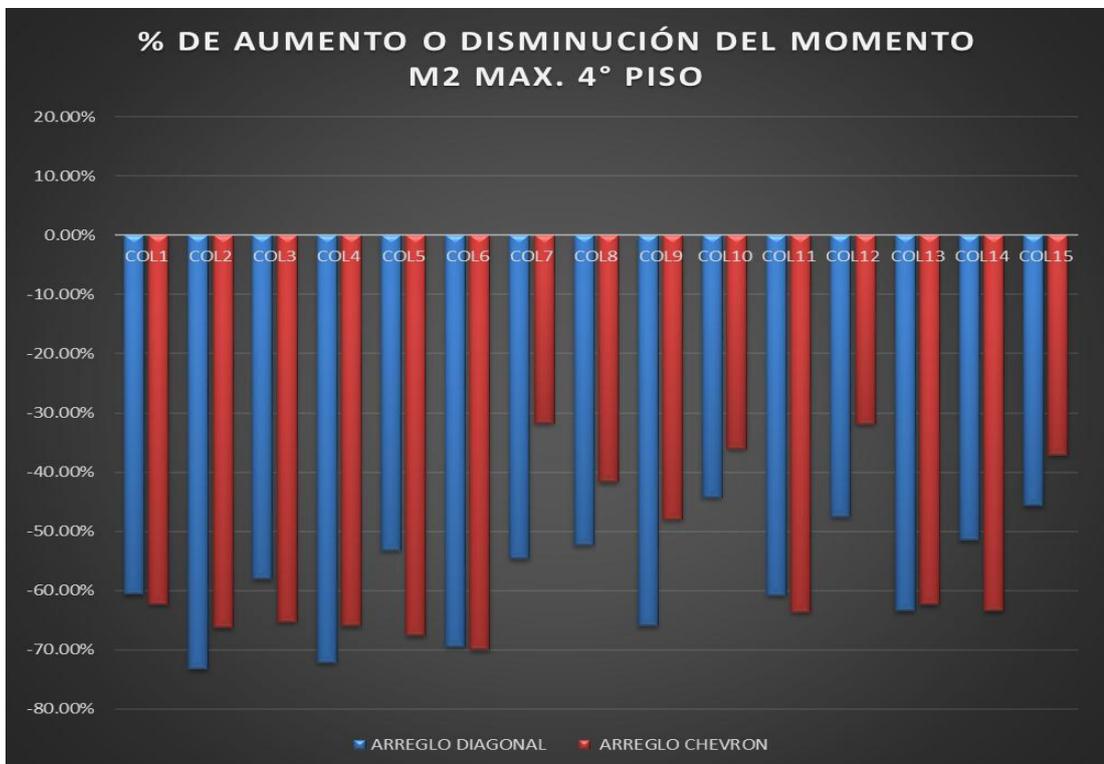


Figura 64. Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 4° piso.



Figura 65. Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 3° piso.

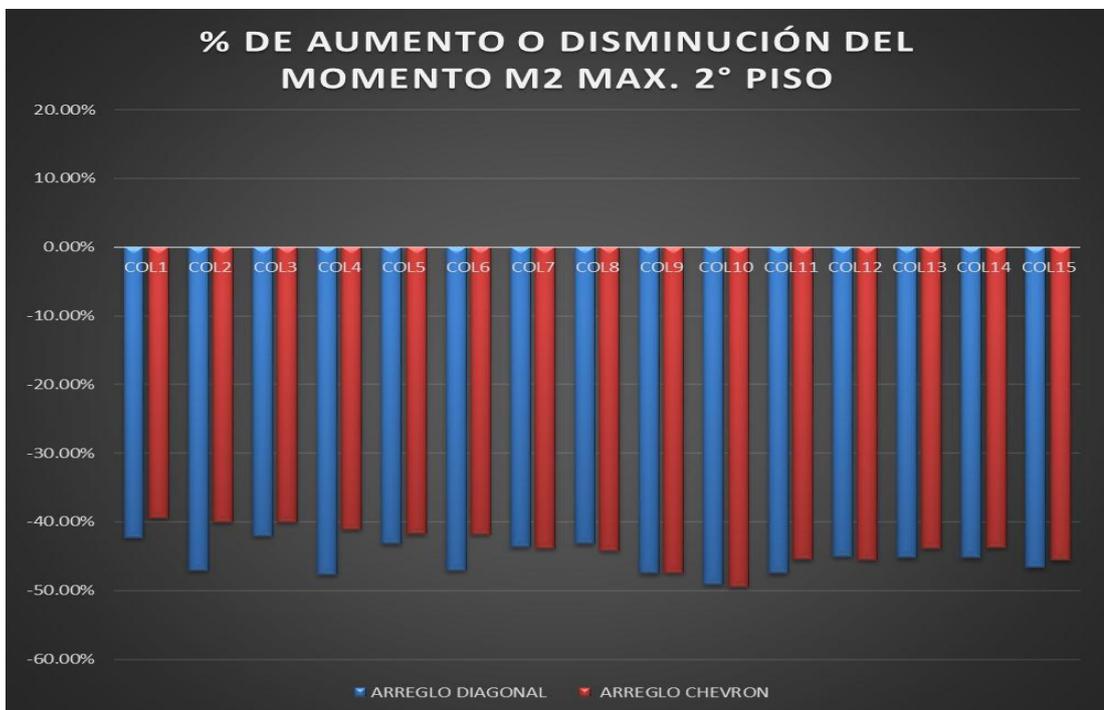


Figura 66. Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 2° piso.

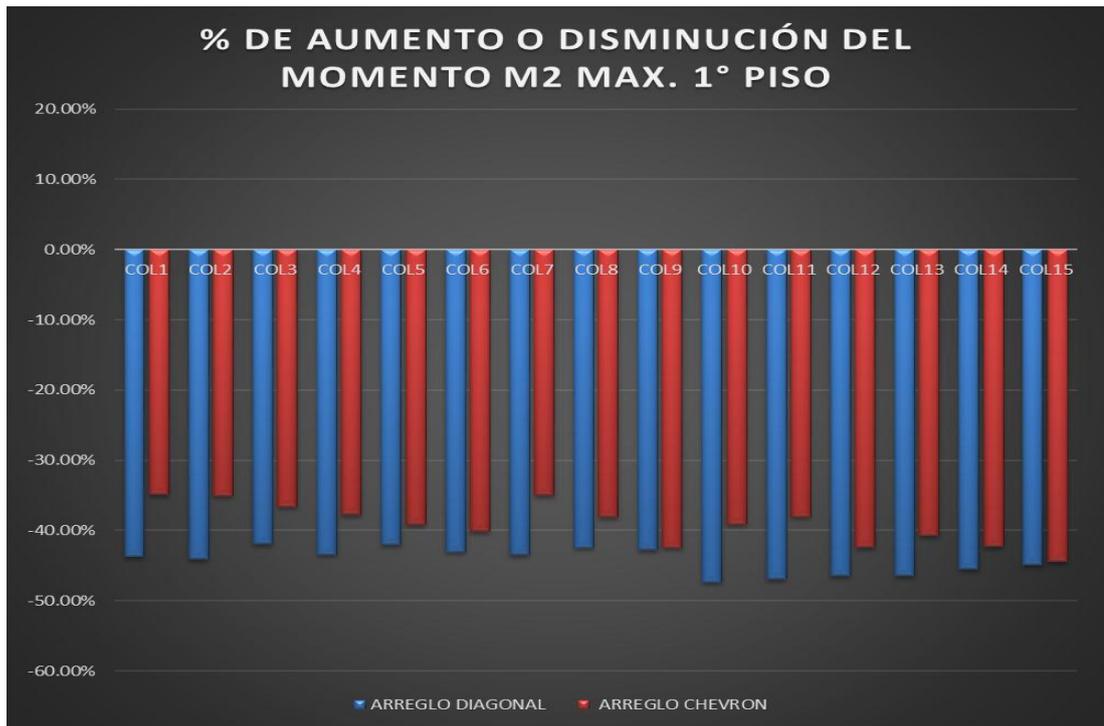


Figura 67. Porcentaje de aumento o disminución del momento M2 máximo en columnas usando disipadores en el 1° piso.

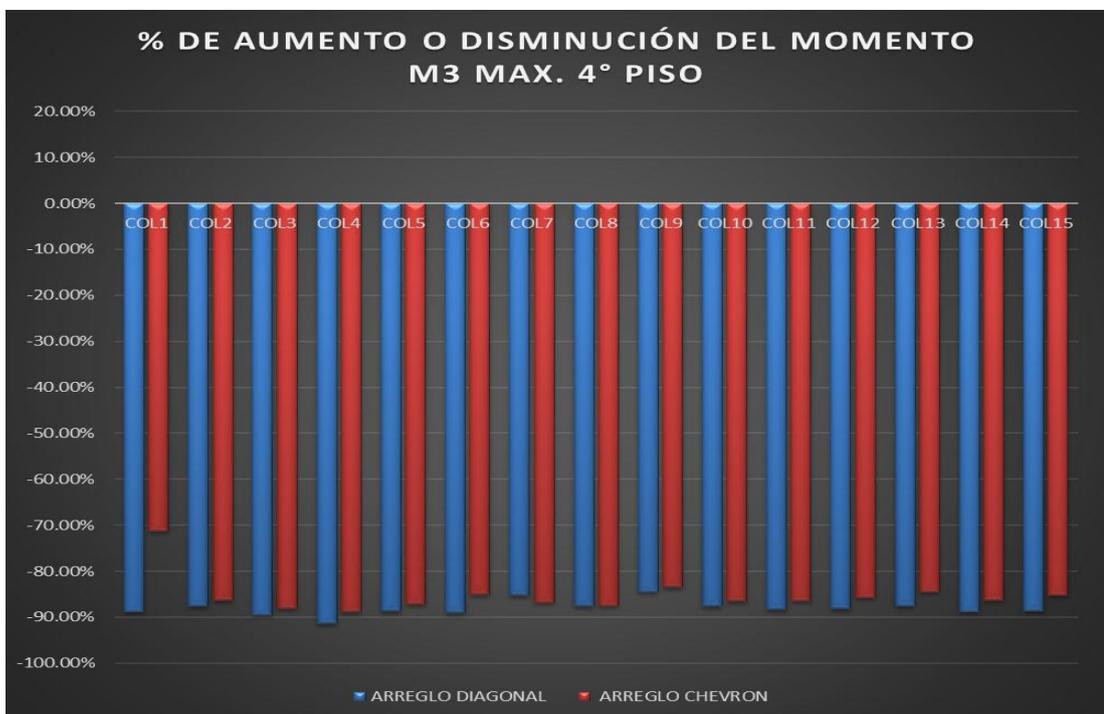


Figura 68. Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 4° piso.

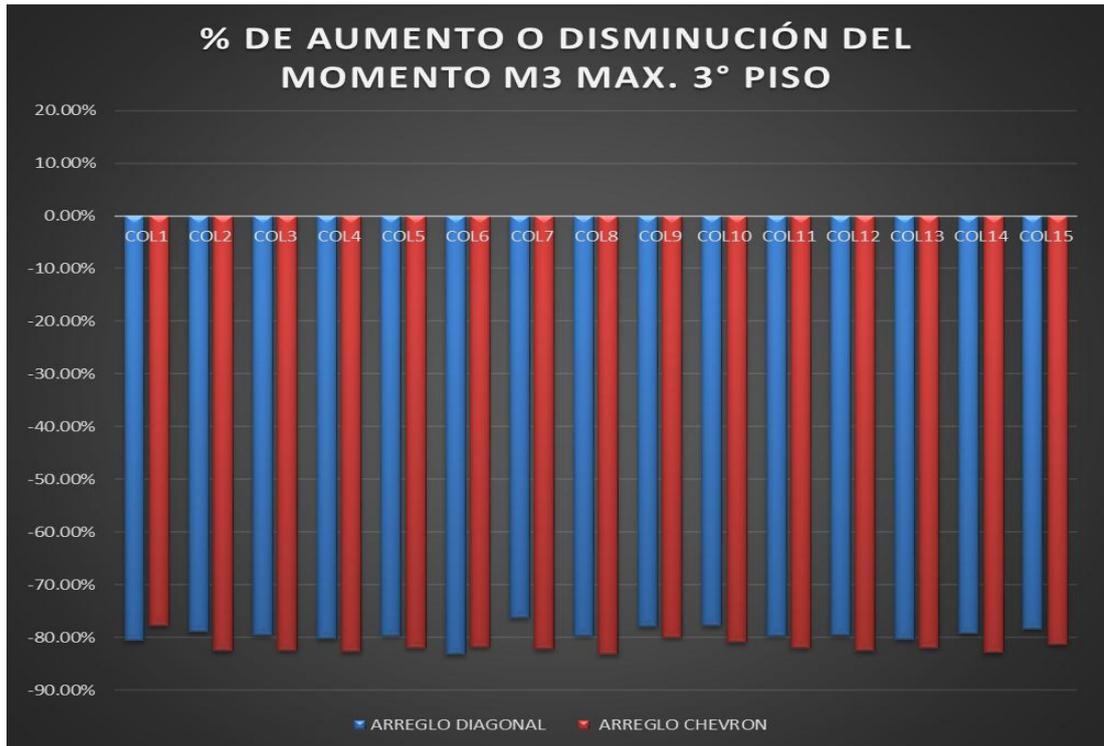


Figura 69. Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 3° piso.

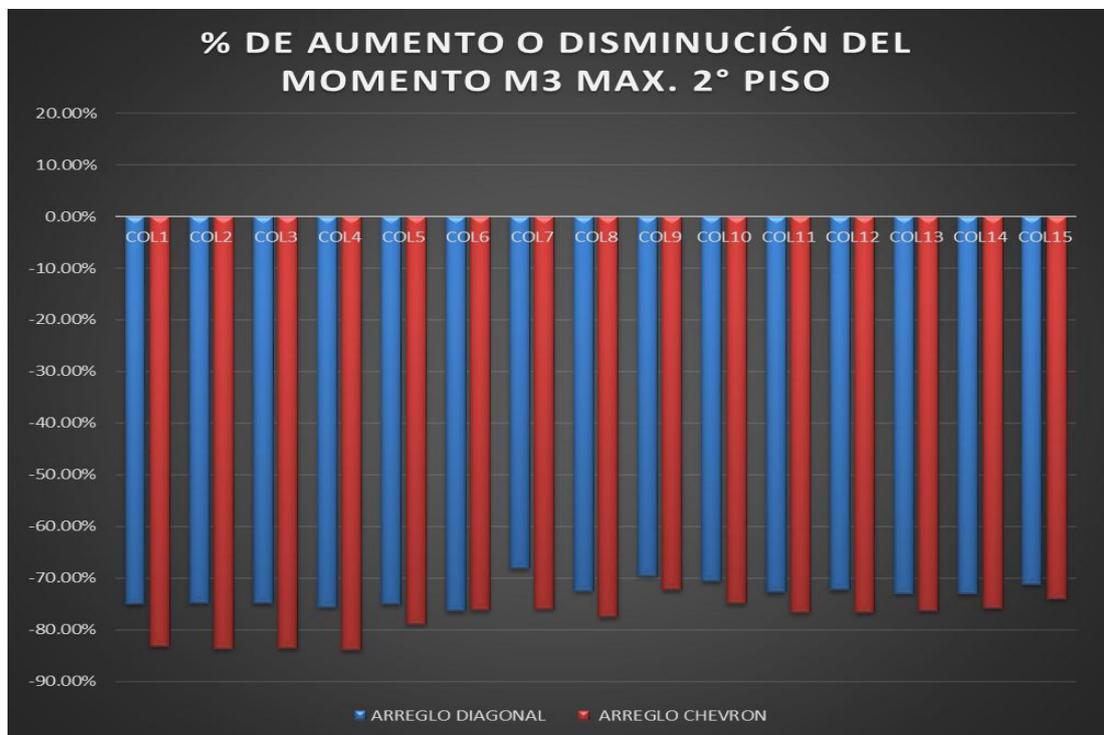


Figura 70. Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 2° piso.

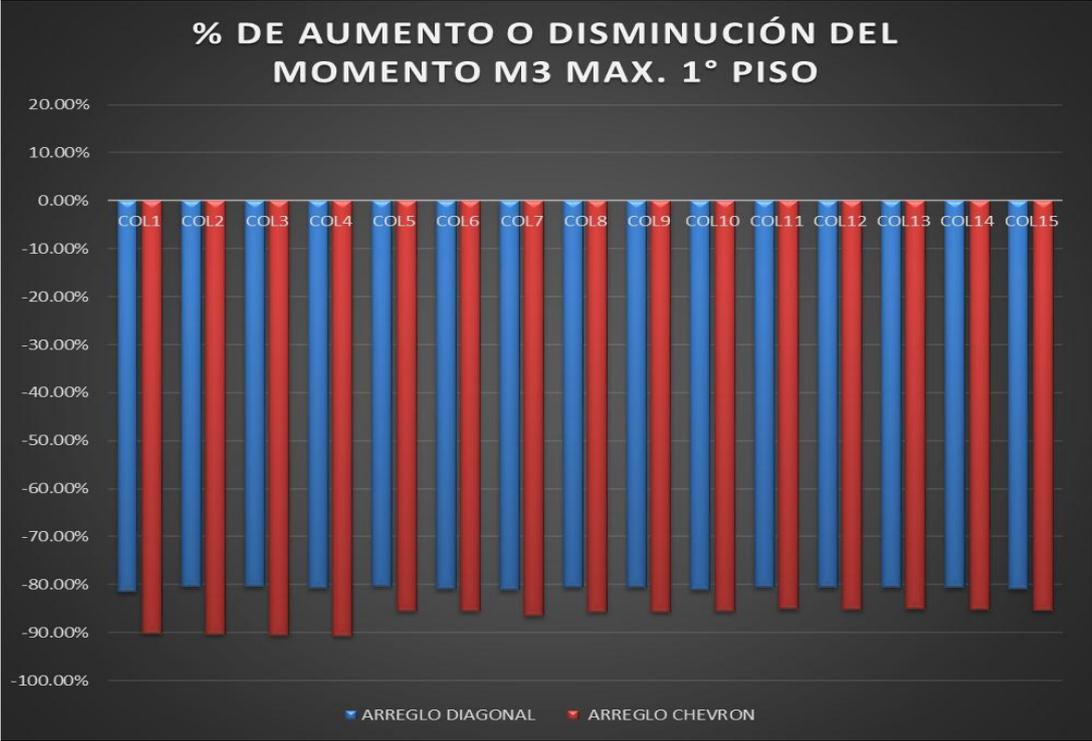


Figura 71. Porcentaje de aumento o disminución del momento M3 máximo en columnas usando disipadores en el 1° piso.

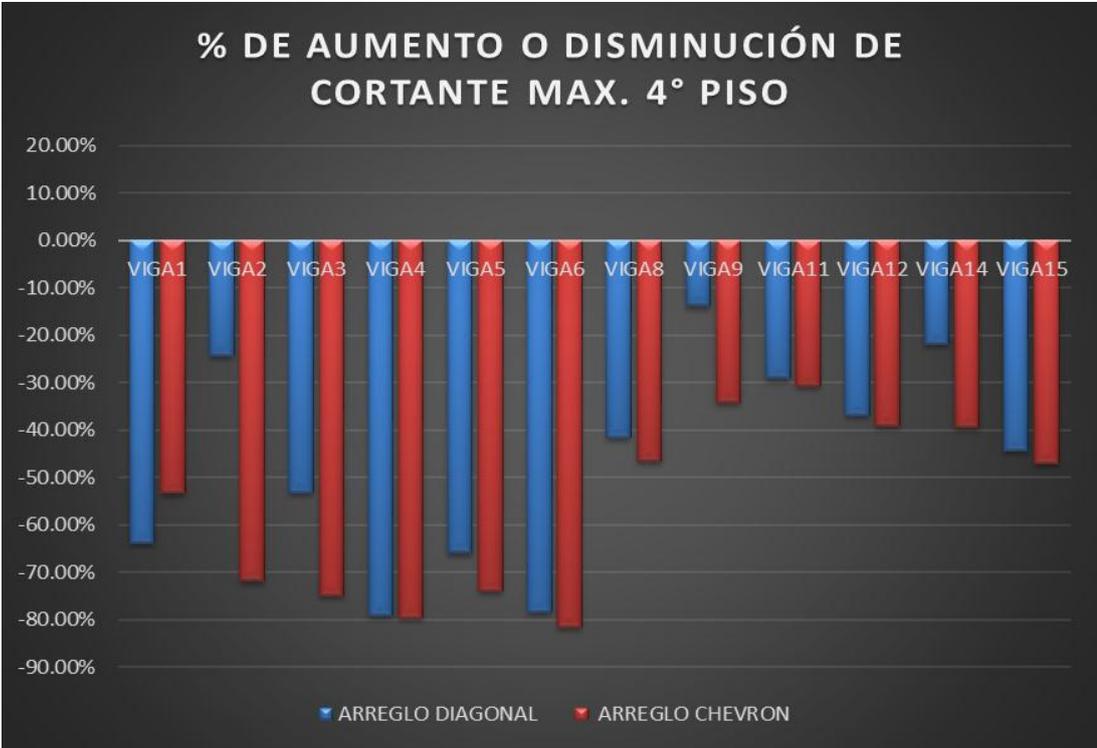


Figura 72. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 4° piso.

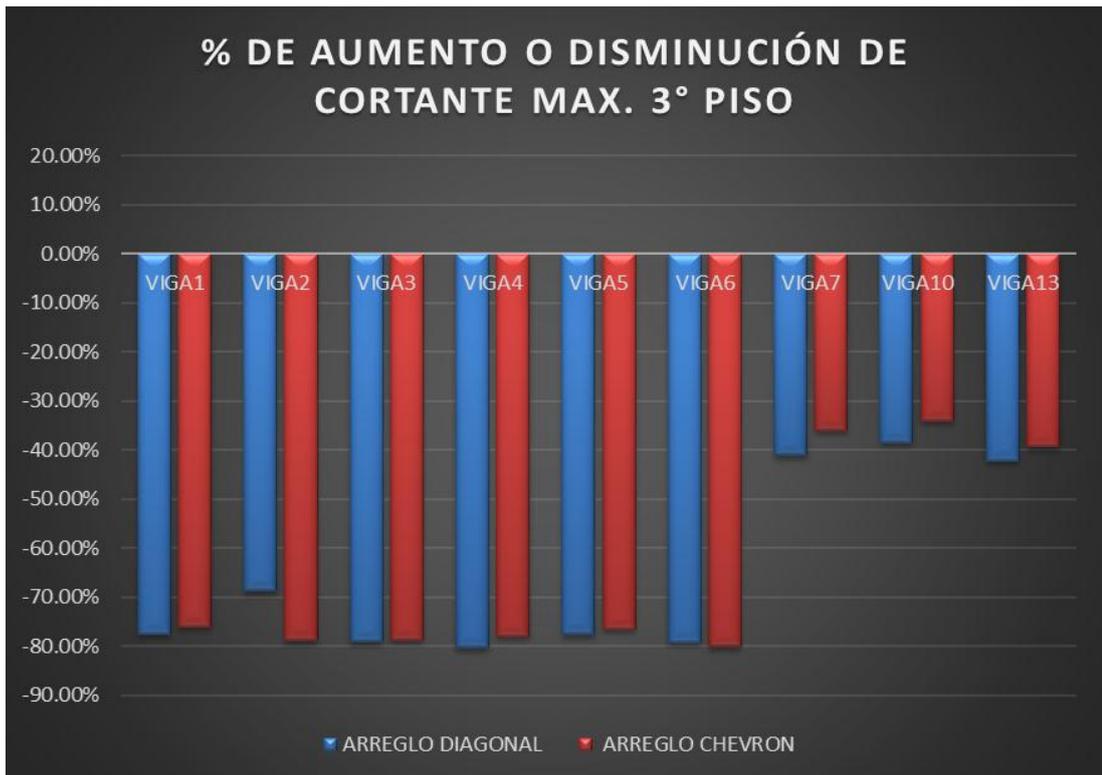


Figura 73. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 3° piso.

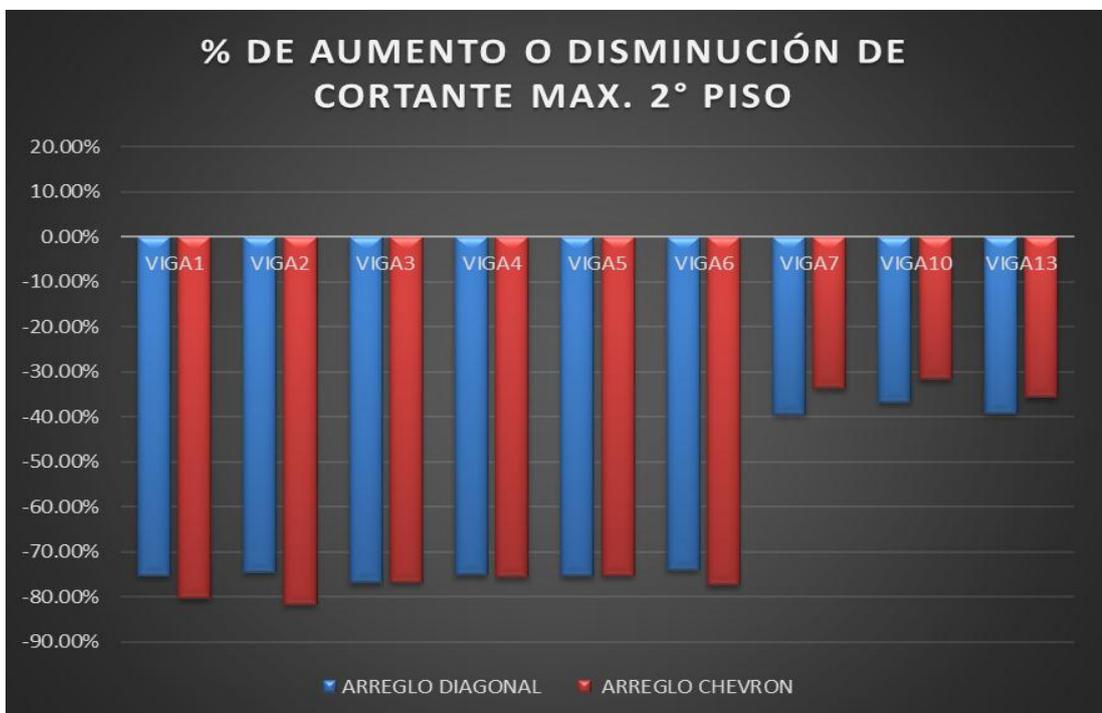


Figura 74. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 2° piso.

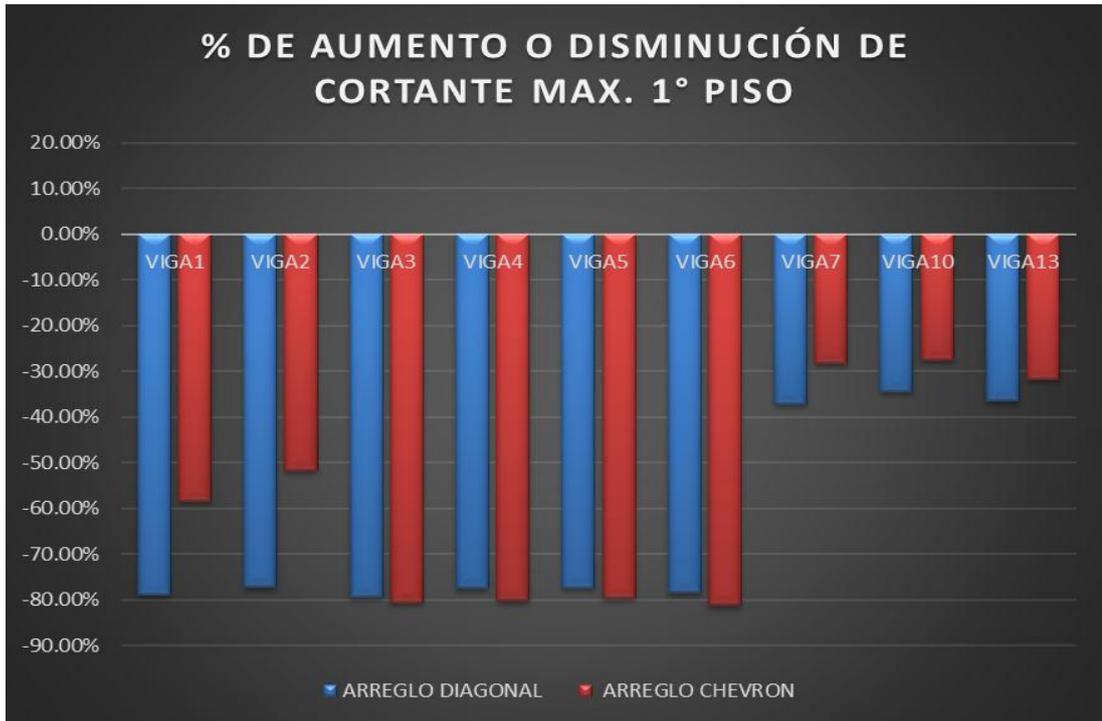


Figura 75. Porcentaje de aumento o disminución de la cortante máxima en vigas usando disipadores en el 1° piso.

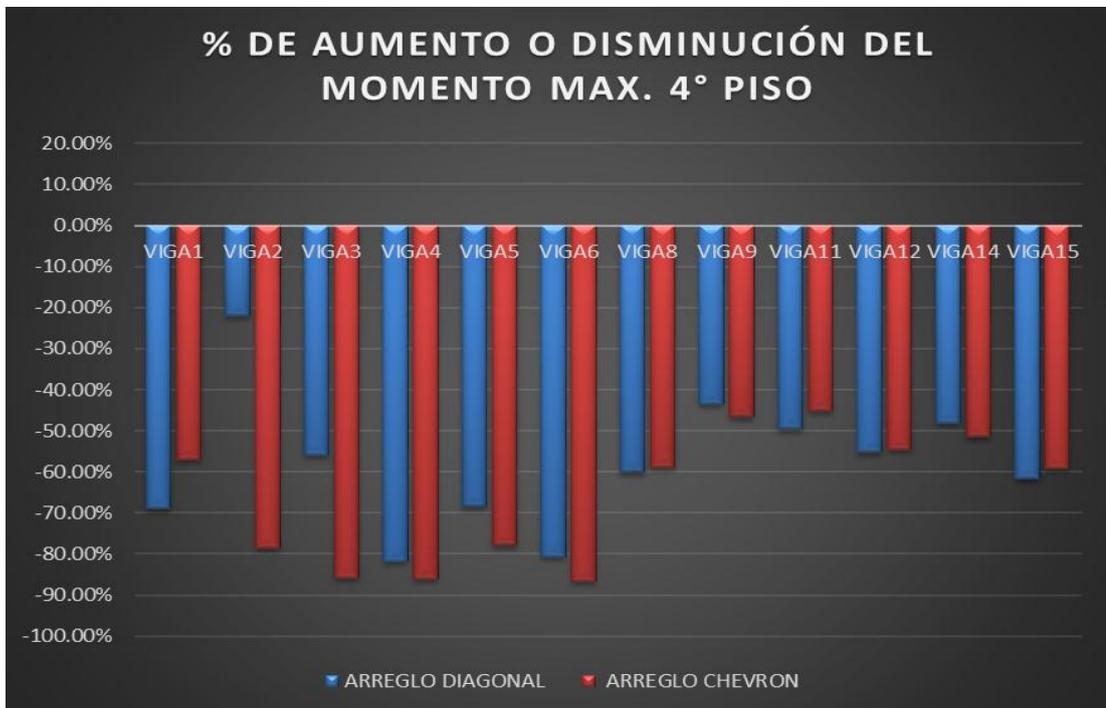


Figura 76. Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 4° piso.

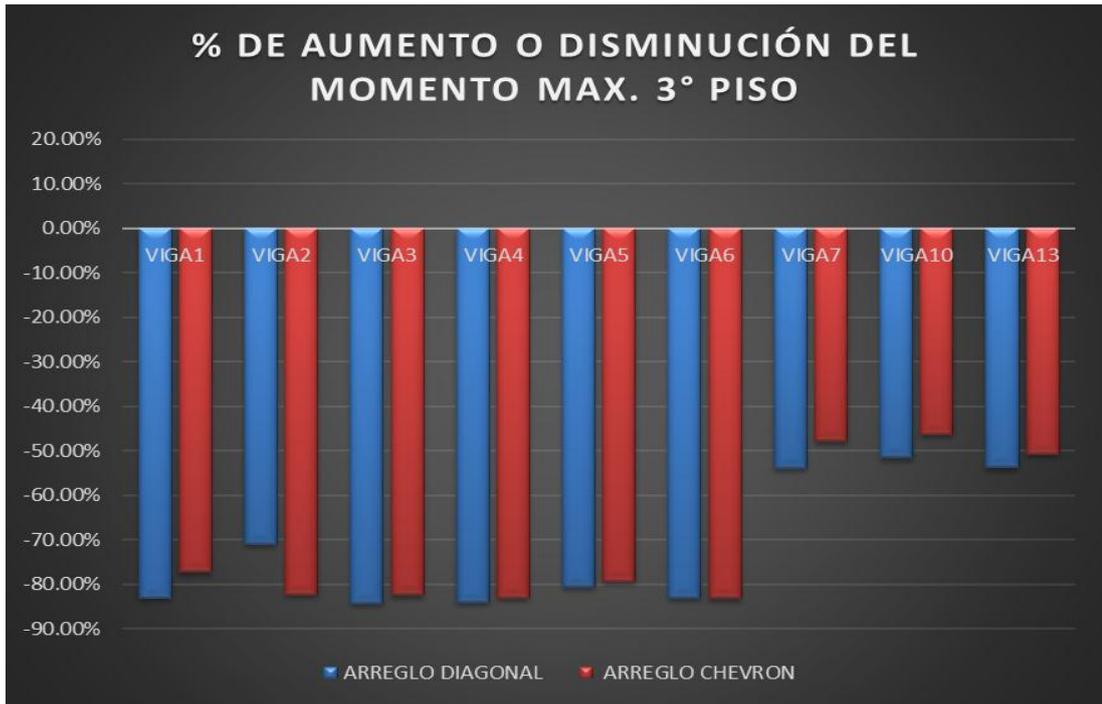


Figura 77. Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 3° piso.

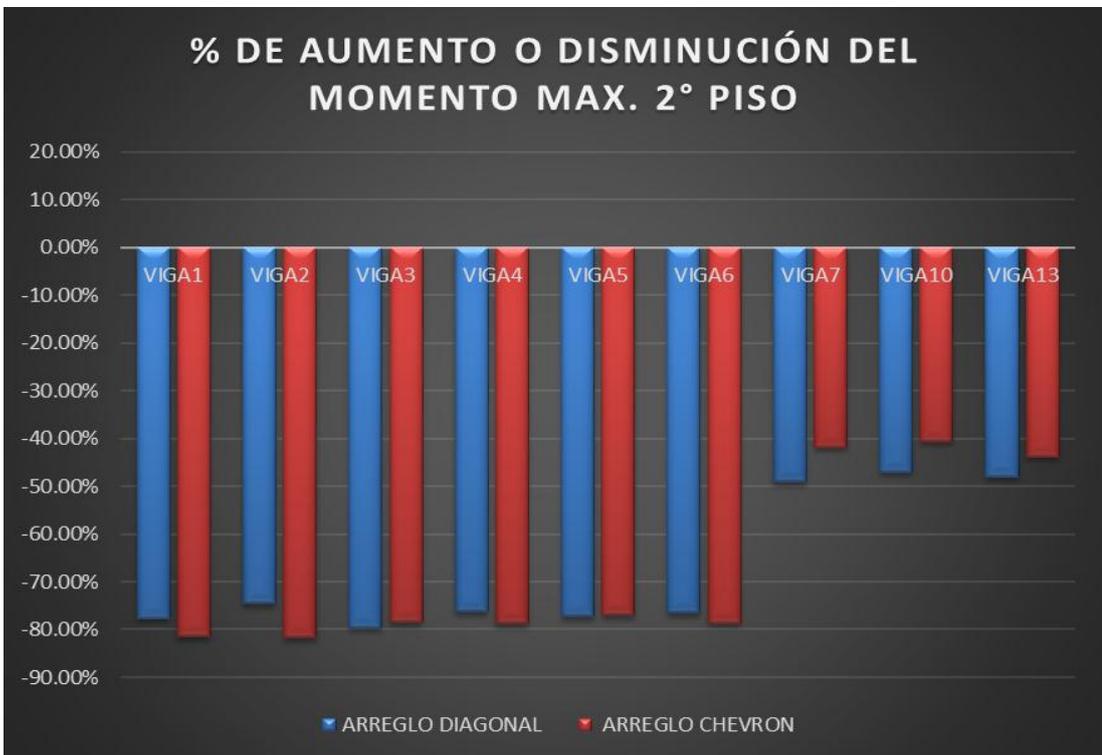


Figura 78. Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 2° piso.

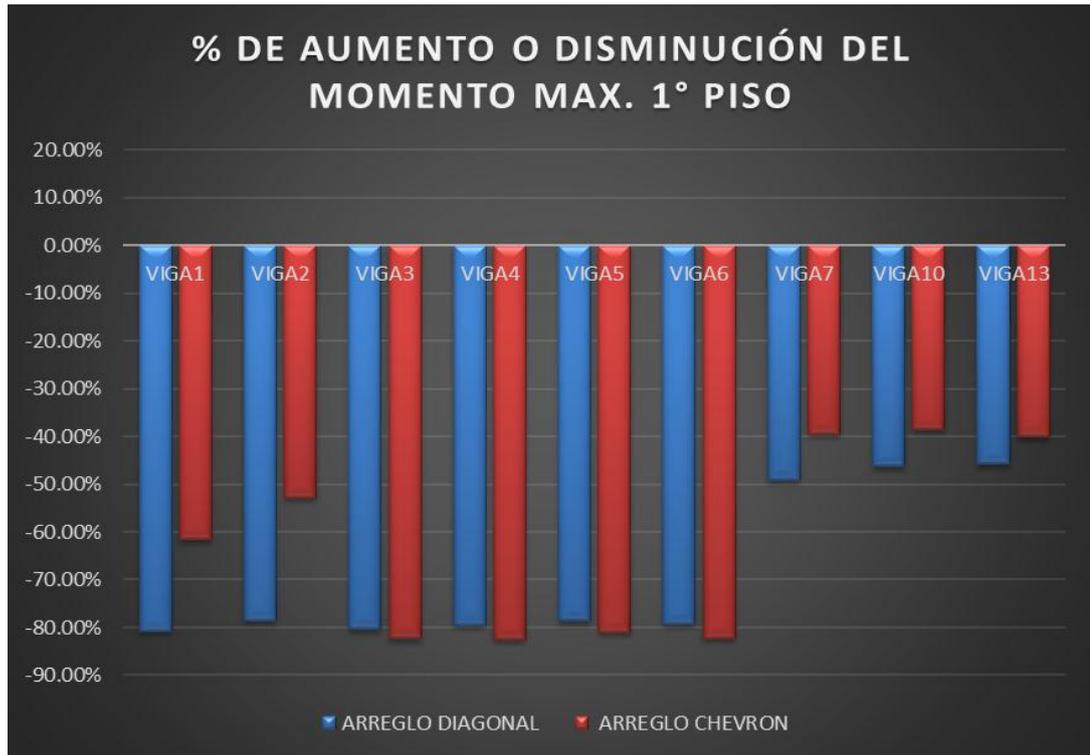


Figura 79. Porcentaje de aumento o disminución del momento máxima en vigas usando disipadores en el 1° piso.

VI. DISCUSIÓN

Periodo de la estructura

Corpus & Morales (2015) y Diaz la Rosa (2014) en sus investigaciones concluyen que, al utilizar los disipadores de fluido viscoso en la estructura, los periodos se mantienen iguales, en cambio en la presente investigación se concluye que el periodo del modo 1 aumenta 0.11%, aunque en el modo 2 permanece igual para el arreglo CHEVRON, pero también los periodos se mantienen iguales al utilizar el arreglo diagonal.

Desplazamientos máximos de la estructura

Al utilizar los disipadores de fluido viscoso, Fuentes (2015) en su investigación concluye que los desplazamientos máximos se reducen en ambas direcciones de la estructura, teniendo promedios de 23% en el eje X y 35 % en el eje Y, igual pasa en la presente investigación, pero los promedios son de 79.13% al utilizar el arreglo diagonal y 83.04% para el arreglo CHEVRON, todo esto en el eje X; y para el eje Y el arreglo diagonal nos da una reducción de 48.33% y el arreglo CHEVRON de

41.51%. Diaz la Rosa (2014) en su investigación concluye que la máxima reducción del desplazamiento se encuentra en el sexto nivel de 41.81%, en esta investigación la máxima reducción utilizando ambos arreglos y en el eje X se presenta en el primer piso, de 80.22% para el arreglo diagonal y 84.88% para el arreglo CHEVRON y para el eje Y el máximo se presenta en el cuarto piso, de 53.25% para el arreglo diagonal y de 46.63% para el arreglo CHEVRON. Cano & Zumaeta (2012) en su investigación concluyen que los desplazamientos se reducen en un rango de 60% a 67%, en esta investigación los rangos son distintos, para el eje X, la disposición diagonal están en un rango de 78% a 81% y de 82% a 85% para la disposición CHEVRON, en el eje Y la disposición diagonal está en un rango de 44% a 54% y de 36 a 47% para disposición CHEVRON.

Distorsiones máximas de la estructura

Utilizando los disipadores de fluido viscoso, Fuentes (2015) en su investigación concluye que, al probar arreglos en diagonal, doble diagonal y CHEVRON las tres configuraciones disminuyeron las derivas, de igual manera en la presente investigación la configuración diagonal y CHEVRON disminuyen las derivas. Corpus & Morales (2015) en su investigación concluye que se disminuyeron considerablemente las derivas de entrepiso, teniendo una deriva máxima de 3.99‰ en la dirección Y, en esta investigación se lograron disminuir también las derivas, contando así con una deriva máxima para disposición diagonal de 6.3‰ y de 4.8‰ la para disposición CHEVRON, esto valores en el eje X y para el eje Y, la disposición diagonal nos da una deriva máxima de 6.4‰ y de 7.2‰ para la disposición CHEVRON. Diaz la Rosa (2014) en su investigación concluye que se reducen las derivas de entrepiso en un rango de 38.57% a 51.10%, en esta investigación también se reducen, logrando así un rango en el eje X de 75% a 86% para el arreglo diagonal y de 79% a 86% para el arreglo CHEVRON; para la dirección Y el arreglo diagonal están en un rango de 44% a 67%, y de 36% a 61% para el arreglo CHEVRON.

Fuerzas máximas y momentos máximos actuantes sobre la estructura

Corpus & Morales (2015) concluye que al utilizar disipadores de fluido viscoso se reducen las fuerzas axiales, cortantes y momentos flectores en las columnas; Guevara & Torres (2012) también concluye que los esfuerzos cortantes y los momentos

flectores en la estructura disminuyen, así como Chávez (2016) concluye que se reducen las fuerzas y momentos máximos en los diferentes elementos estructurales de la estructura; en esta investigación también se concluye que las fuerzas máximas y momentos máximos en la mayoría de columnas disminuyen, pero también aumentan en algunas columnas, para ambos arreglos, en cambio para las vigas todos los esfuerzos disminuyen.

VII. CONCLUSIONES

- Se realizó el análisis sísmico comparativo del pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, con cada uno de los modelos con y sin disipadores de fluido viscoso.
- Se modeló el pabellón de aulas de la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas en el programa ETABS, se determinó que la estructura tiene periodos de 0.919 y 0.63 para los dos primeros modos; los desplazamientos máximos en la dirección X e Y se generan en el cuarto piso de 35.04 cm y 18.25 cm respectivamente; la distorsiones máximas en la dirección X es de 0.0032 en el primer piso y 0.0124 en la dirección Y en el segundo piso y las fuerzas máximas y momentos máximos para columnas y vigas se visualizan en la tabla 7 y 8 respectivamente.
- Se incluyó y definió una adecuada distribución de los disipadores de fluido viscoso en el modelo del pabellón, para lo cual se optó por 2 disposiciones: el arreglo diagonal y CHEVRON (ver figuras desde la 26 a la 35). Encontrándose que los periodos para los dos primeros modos para la disposición diagonal son de 0.919 y 0.63, y para la otra disposición de 0.92 y 0.63; los desplazamientos máximos para la disposición diagonal y CHEVRON se generan en el cuarto piso en el eje X de 7.29 cm y 6.29 cm, y para el eje Y de 8.53 cm y 9.74 cm respectivamente y las distorsiones máximas son de 0.0063 en el primer piso en el eje X y de 0.0064 en el primer y segundo piso en la dirección Y, todo esto para la disposición diagonal y en cuanto la disposición CHEVRON se encuentra distorsiones máximas de 0.0049 en el segundo piso y en el eje X y de 0.0072 en el primer piso y en el eje Y. Por último, las fuerzas máximas y momentos máximos para columnas y vigas se visualizan en las tablas 15-16 del arreglo diagonal y para el arreglo CHEVRON en las tablas 21-22.

- Se comparó los resultados de cada uno de los modelos, donde se obtuvo que los periodos no cambian para la disposición diagonal, pero sufre un aumento de 0.11% en cuanto al primer modo del arreglo CHEVRON y el segundo modo permanece igual; los desplazamientos y distorsiones se reducen significativamente para ambas disposiciones, en la dirección X el arreglo CHEVRON da mejores resultados obteniendo una máxima de 84.88% de desplazamiento en el primer piso y 53.25% de la distorsión en el cuarto piso, sin embargo en la otra dirección el arreglo diagonal da mejores resultados donde la mayor reducción en cuanto al desplazamiento y distorsión se encuentra en el cuarto piso de 53.25% y 66.3% respectivamente; los esfuerzos máximos sobre las columnas se llega a notar que la carga axial máxima aumenta en algunas columnas en todos los pisos para la disposición diagonal y para la disposición CHEVRON disminuyen, la cortante axial máxima disminuye en todas las columnas y pisos para el arreglo diagonal, sin embargo esto no sucede para el arreglo CHEVRON ya que también hay aumento, en cambio el momento máximo disminuye en todas las columnas y pisos, y por último la cortante máxima y el momento máximo para ambos arreglos disminuyen en todas las vigas y pisos.

VIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda para el reforzamiento del pabellón de aulas de la FICIAM de la UNTRM, no es viable la utilización del sistema de disipadores de fluido viscoso en la dirección larga, porque la estructura es muy flexible debido que tiene una distorsión elevada, lo que genera que estos dispositivos participen solos en el amortiguamiento de la estructura dejando de lado a los elementos estructurales, pero en la otra dirección si es factible porque no es muy flexible.
- A partir de la presente investigación se pueden plantear nuevas temas como por ejemplo: otras disposiciones de dispositivos de fluido viscoso, comparar otros tipos de dispositivos de disipación de energía con los disipadores de fluido viscoso, para encontrar ventajas y desventajas de utilizarlos, también se puede ver la influencia de los disipadores en edificios de diferentes niveles, diferentes suelos, en cuál de ellos es más eficiente, o también evaluar costos al ser utilizados, en cuál sistema estructural es más recomendable para instalarlos, y así un sin número de puntos referente a esta investigación.

IX. REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA

- American Society of Civil Engineers (ASCE) Standard ASCE/SEI 7-10 (2010). *Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures*. prepared by American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Bozo, Z. & Galán, D. (2013). *Diseño de un edificio aporticado con disipadores en arreglo chevron* (tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Mata, P., Barbat, A., Oller S., & Boroschek, R. (2008). *Constitutive and Geometric Nonlinear Models for the Seismic Analysis of RC Structures with Energy Dissipators*, 15, 489–539. doi: 10.1007/s11831-008-9024-z.
- Cano, H. & Zumaeta, E. (2012). *Diseño estructural de una edificación con disipadores de energía y análisis comparativo sísmico entre el edificio convencional y el edificio con disipadores de energía para un sismo severo* (tesis de grado). Universidad Peruana de Ciencias Aplicadas, Lima, Perú.
- Chávez, J. (2016). *Análisis, diseño y efectos de interacción sísmica suelo – estructura con disipadores de energía viscosos – Taylor, en un edificio aporticado de 5 niveles en la urbanización Buenos Aires, distrito de Nuevo Chimbote - 2016* (tesis de grado). Universidad César Vallejo, Nuevo Chimbote, Perú.
- Corpus, J. & Morales, E. (2015). *Análisis sísmico comparativo entre un sistema dual y el sistema de reforzamiento con disipadores de fluido viscoso para un edificio en el distrito de Víctor Larco Herrera aplicando ETABS 2013* (tesis de grado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- Díaz la Rosa, M. (2014). *Evaluación del proyecto estructural y optimización del diseño con disipadores de energía viscosos Taylor para una edificación esencial de 6 pisos* (tesis de grado). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo, Perú.
- FEMA 356 (2000). *Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings*, prepared by American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia.
- Fuentes, J. (2015). *Análisis sísmico de una edificación con disipadores de fluido viscoso* (tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.

- Guevara, D. & Torres, P. (2012). *Diseño de un edificio aporticado con amortiguadores de fluido - viscoso en disposición diagonal* (tesis de grado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Martínez C. (2012). *Diseño óptimo de sistemas pasivos de disipación de energía para estructuras bajo excitación sísmica* (tesis de maestría). Universidad Nacional de Cuyo, Mendoza, Argentina.
- Oviedo J., Duque, M. (2009). *Situación de las técnicas de control de respuesta sísmica en Colombia*, Revista EIA, 12, 113-124. Recuperado de <https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/3153906.pdf>
- Oviedo J., Duque, M. (2006). Situación de las técnicas de control de respuesta sísmica en edificaciones, Revista EIA, 6, 105-120.
- Reglamento Nacional de Edificaciones (2016), *Norma Técnica E.030 "Diseño Sismorresistente"*. Recuperado de <https://www.sencico.gob.pe/publicaciones.php?id=230>.
- Verdugo, J. (2007). *Control de la respuesta dinámica de estructuras mediante el uso de disipadores de energía de fluido viscoso del tipo lineal* (tesis de grado). Universidad Austral de Chile, Valdivia, Chile.
- Villareal, G. & Oviedo, R. (2009). Edificaciones con disipadores de energía. Recuperado de <https://civilgeeks.com/2011/04/04/libro-de-edificaciones-con-disipadores-de-energia-dr-genner-villarreal>.

X. ANEXOS

Anexo 1: Perfiles de suelo según la Norma Técnica E.030

576296

NORMAS LEGALES

Domingo 24 de enero de 2016 / El Peruano

de suelos, deslizamientos, tsunamis y otros, sobre el área de interés. Los estudios suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas por causa de las condiciones locales y otros fenómenos naturales, así como las limitaciones y exigencias que como consecuencia de los estudios se considere para el diseño, construcción de edificaciones y otras obras.

Para los siguientes casos podrán ser considerados los resultados de los estudios de microzonificación correspondientes:

- Áreas de expansión de ciudades.
- Reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados.

2.2.2 Estudios de Sitio

Son estudios similares a los de microzonificación, aunque no necesariamente en toda su extensión. Estos estudios están limitados al lugar del proyecto y suministran información sobre la posible modificación de las acciones sísmicas y otros fenómenos naturales por las condiciones locales. Su objetivo principal es determinar los parámetros de diseño.

Los estudios de sitio deberán realizarse, entre otros casos, en grandes complejos industriales, industria de explosivos, productos químicos inflamables y contaminantes.

No se considerarán parámetros de diseño inferiores a los indicados en esta Norma.

2.3 Condiciones Geotécnicas

2.3.1 Perfiles de Suelo

Para los efectos de esta Norma, los perfiles de suelo se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte (\bar{V}_s), o alternativamente, para suelos granulares, el promedio ponderado de los \bar{N}_{60} obtenidos mediante un ensayo de penetración estándar (SPT), o el promedio ponderado de la resistencia al corte en condición no drenada (\bar{S}_u) para suelos cohesivos. Estas propiedades deben determinarse para los 30 m superiores del perfil de suelo medidos desde el nivel del fondo de cimentación, como se indica en el numeral 2.3.2.

Para los suelos predominantemente granulares, se calcula \bar{N}_{60} considerando solamente los espesores de cada uno de los estratos granulares. Para los suelos predominantemente cohesivos, la resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u se calcula como el promedio ponderado de los valores correspondientes a cada estrato cohesivo.

Este método también es aplicable si se encuentran suelos heterogéneos (cohesivos y granulares). En tal caso, si a partir de \bar{N}_{60} para los estratos con suelos granulares y de \bar{S}_u para los estratos con suelos cohesivos se obtienen clasificaciones de sitio distintas, se toma la que corresponde al tipo de perfil más flexible.

Los tipos de perfiles de suelos son cinco:

a. Perfil Tipo S_0 : Roca Dura

A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte \bar{V}_s mayor que 1500 m/s. Las mediciones deberán corresponder al sitio del proyecto o a perfiles de la misma roca en la misma formación con igual o mayor intemperismo o fracturas. Cuando se conoce que la roca dura es continua hasta una profundidad de 30 m, las mediciones de la velocidad de las ondas de corte superficiales pueden ser usadas para estimar el valor de \bar{V}_s .

b. Perfil Tipo S_1 : Roca o Suelos Muy Rígidos

A este tipo corresponden las rocas con diferentes grados de fracturación, de macizos homogéneos y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 500 m/s y 1500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Roca fracturada, con una resistencia a la compresión no confinada qu mayor o igual que 500 kPa (5 kg/cm²).
- Arena muy densa o grava arenosa densa, con \bar{N}_{60} mayor que 50.

- Arcilla muy compacta (de espesor menor que 20 m), con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u mayor que 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

c. Perfil Tipo S_2 : Suelos Intermedios

A este tipo corresponden los suelos medianamente rígidos, con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , entre 180 m/s y 500 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena densa, gruesa a media, o grava arenosa medianamente densa, con valores del SPT \bar{N}_{60} , entre 15 y 50.
- Suelo cohesivo compacto, con una resistencia al corte en condiciones no drenada \bar{S}_u , entre 50 kPa (0,5 kg/cm²) y 100 kPa (1 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.

d. Perfil Tipo S_3 : Suelos Blandos

Corresponden a este tipo los suelos flexibles con velocidades de propagación de onda de corte \bar{V}_s , menor o igual a 180 m/s, incluyéndose los casos en los que se cimienta sobre:

- Arena media a fina, o grava arenosa, con valores del SPT \bar{N}_{60} menor que 15.
- Suelo cohesivo blando, con una resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u , entre 25 kPa (0,25 kg/cm²) y 50 kPa (0,5 kg/cm²) y con un incremento gradual de las propiedades mecánicas con la profundidad.
- Cualquier perfil que no correspondan al tipo S_4 y que tenga más de 3 m de suelo con las siguientes características: índice de plasticidad P_i mayor que 20, contenido de humedad ω mayor que 40%, resistencia al corte en condición no drenada \bar{S}_u menor que 25 kPa.

e. Perfil Tipo S_4 : Condiciones Excepcionales

A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables, en los cuales se requiere efectuar un estudio específico para el sitio. Sólo será necesario considerar un perfil tipo S_4 cuando el Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) así lo determine.

La Tabla N° 2 resume valores típicos para los distintos tipos de perfiles de suelo:

Perfil	\bar{V}_s	\bar{N}_{60}	\bar{S}_u
S_0	> 1500 m/s	-	-
S_1	500 m/s a 1500 m/s	> 50	> 100 kPa
S_2	180 m/s a 500 m/s	15 a 50	50 kPa a 100 kPa
S_3	< 180 m/s	< 15	25 kPa a 50 kPa
S_4	Clasificación basada en el EMS		

2.3.2 Definición de los Perfiles de Suelo

Las expresiones de este numeral se aplicarán a los 30 m superiores del perfil de suelo, medidos desde el nivel del fondo de cimentación. El subíndice i se refiere a uno cualquiera de los n estratos con distintas características, m se refiere al número de estratos con suelos granulares y k al número de estratos con suelos cohesivos.

a. Velocidad Promedio de las Ondas de Corte, \bar{V}_s

La velocidad promedio de propagación de las ondas de corte se determinará con la siguiente fórmula:

$$\bar{V}_s = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{V_{si}} \right)}$$

donde d_i es el espesor de cada uno de los n estratos y V_s es la correspondiente velocidad de ondas de corte (m/s).

b. Promedio Ponderado del Ensayo Estándar de Penetración, \bar{N}_{60}

El valor \bar{N}_{60} se calculará considerando solamente los estratos con suelos granulares en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{N}_{60} = \frac{\sum_{i=1}^n d_i}{\sum_{i=1}^n \left(\frac{d_i}{N_{60i}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los m estratos con suelo granular y \bar{N}_{60} es el correspondiente valor corregido del SPT.

c. Promedio Ponderado de la Resistencia al Corte en Condición no Drenada, \bar{S}_u

El valor \bar{S}_u se calculará considerando solamente los estratos con suelos cohesivos en los 30 m superiores del perfil:

$$\bar{S}_u = \frac{\sum_{i=1}^k d_i}{\sum_{i=1}^k \left(\frac{d_i}{S_{ui}} \right)}$$

Donde d_i es el espesor de cada uno de los k estratos con suelo cohesivo y \bar{S}_u es la correspondiente resistencia al corte en condición no drenada (kPa).

Consideraciones Adicionales:

En los casos en los que no sea obligatorio realizar un Estudio de Mecánica de Suelos (EMS) o cuando no se disponga de las propiedades del suelo hasta la profundidad de 30 m, se permite que el profesional responsable estime valores adecuados sobre la base de las condiciones geotécnicas conocidas.

En el caso de estructuras con cimentaciones profundas a base de pilotes, el perfil de suelo será el que corresponda a los estratos en los 30 m por debajo del extremo superior de los pilotes.

2.4 Parámetros de Sitio (S , T_p y T_L)

Deberá considerarse el tipo de perfil que mejor describa las condiciones locales, utilizándose los correspondientes valores del factor de amplificación del suelo S y de los períodos T_p y T_L dados en las Tablas N° 3 y N° 4.

ZONA \ SUELO	FACTOR DE SUELO "S"			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
Z ₄	0,80	1,00	1,05	1,10
Z ₃	0,80	1,00	1,15	1,20
Z ₂	0,80	1,00	1,20	1,40
Z ₁	0,80	1,00	1,60	2,00

	Perfil de suelo			
	S ₀	S ₁	S ₂	S ₃
T _p (s)	0,3	0,4	0,6	1,0
T _L (s)	3,0	2,5	2,0	1,6

2.5 Factor de Amplificación Sísmica (C)

De acuerdo a las características de sitio, se define el factor de amplificación sísmica (C) por las siguientes expresiones:

$T < T_p \quad C = 2,5$

$T_p < T < T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p}{T} \right)$

$T > T_L \quad C = 2,5 \cdot \left(\frac{T_p \cdot T_L}{T^2} \right)$

T es el período de acuerdo al numeral 4.5.4, concordado con el numeral 4.6.1.

Este coeficiente se interpreta como el factor de amplificación de la aceleración estructural respecto de la aceleración en el suelo.

CAPÍTULO 3 CATEGORÍA, SISTEMA ESTRUCTURAL Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES

3.1 Categoría de las Edificaciones y Factor de Uso (U)

Cada estructura debe ser clasificada de acuerdo con las categorías indicadas en la Tabla N° 5. El factor de uso o importancia (U), definido en la Tabla N° 5 se usará según la clasificación que se haga. Para edificios con aislamiento sísmico en la base se podrá considerar U = 1.

CATEGORÍA	DESCRIPCIÓN	FACTOR U
A	A1: Establecimientos de salud del Sector Salud (públicos y privados) del segundo y tercer nivel, según lo normado por el Ministerio de Salud.	Ver nota 1
	A2: Edificaciones esenciales cuya función no debería interrumpirse inmediatamente después de que ocurra un sismo severo tales como: - Establecimientos de salud no comprendidos en la categoría A1. - Puertos, aeropuertos, locales municipales, centrales de comunicaciones. Estaciones de bomberos, cuarteles de las fuerzas armadas y policía. - Instalaciones de generación y transformación de electricidad, reservorios y plantas de tratamiento de agua. Todas aquellas edificaciones que puedan servir de refugio después de un desastre, tales como instituciones educativas, institutos superiores tecnológicos y universidades. Se incluyen edificaciones cuyo colapso puede representar un riesgo adicional, tales como grandes hornos, fábricas y depósitos de materiales inflamables o tóxicos. Edificios que almacenen archivos e información esencial del Estado.	1,5

Anexo 2: Estudio de mecánica de suelos de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.

CARMEN R. SANTAMARIA INOÑAN.
CIP N° 86748
JR. GRAU N° 323 – JAYANCA
CELULAR N° 978500448 – RPM : # 0262369

0197

**ESTUDIO DE MECANICA DE SUELOS
PARA EL PROYECTO:**

**CONSTRUCCION DEL MODULO DE
INGENIERIA CIVIL Y CIENCIAS EXACTAS DE
LA UNTRM-A 04 PISOS**

SOLICITADO : UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO
RODRIGUEZ DE MENDOZA - CHACHAPOYAS

UBICACIÓN : DIST: CHACHAPOYAS PROV. : CHACHAPOYAS
REGION AMAZONAS

RESPONSABLE : ING. CARMEN R. SANTAMARIA INOÑAN

FECHA : JAYANCA, OCTUBRE – 2011

JORGE CHAVEZ GUIVIN
INGENIERO CIVIL
CIP. 85390


Carmen Regina Santamaria Inoñan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748



240

CARMEN R. SANTAMARIA INOÑAN.
CIP N° 86748
JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0139

INFORME TECNICO

01.- INTRODUCCION

Se ha realizado la exploración y el muestreo, para determinar las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo subyacente al Proyecto "Construcción del Modulo de Ingeniería Civil y Ciencias Exactas de la UNTRM - A de 04 pisos", ubicado en el Distrito de Chachapoyas, Provincia de Chachapoyas Región Amazonas. El estudio a sido solicitado por la Universidad Nacional Toribio Rodriguez de Mendoza - Amazonas. El objetivo es realizar el estudio de Mecánica de Suelos, para determinar la factibilidad de la construcción del mencionado proyecto. Para ello se han realizado los trabajos de campo y laboratorio, luego se han analizado e interpretado los resultados de los ensayos de laboratorio, y se han determinado los parámetros necesarios para determinar la capacidad portante del suelo, así como los asentamientos que se presentaran cuando se construya la edificación. También se han hecho los ensayos necesarios, para determinar los riesgos que presentaran a la estructura, la presencia de agentes agresivos y de expansión.

02.- GENERALIDADES

La elaboración del presente estudio corresponde el cálculo de la Capacidad Portante en la zona donde se proyectara la Construcción del Modulo de Ingeniería Civil y Ciencias Exactas de la UNTRM-A de 04 pisos. Para la realización del presente informe se ha contado con los resultados obtenidos de los Ensayos de Mecánica de Suelos.

2.1 Objetivos

El objetivo principal es obtener la Capacidad Admisible del terreno a nivel de cimentación en la zona de estudio donde se ubicara la Construcción del Modulo de Ingeniería Civil y Ciencias Exactas de la UNTRM-A de 04 pisos.; para ello se cuenta con el resultado de Ensayos de Laboratorio, y que se adjunta en Anexo.

Se realizara la clasificación de las muestras ensayadas, según Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (SUCS).

Se determinara el Asentamiento Inicial

Se adjuntara la interpretación de los resultados.

JORGE CHAVEZ GUININ
INGENIERO CIVIL
CIP. 65360


Carmen Regina Santamaria Inoñan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748



CARMEN R. SANTAMARIA INONAN.
CIP N° 86748
JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0138

2.2 Fundamentos del desarrollo

Se tendrá en cuenta la Norma E-050, Suelos y Cimentaciones, así mismo la información correspondiente a la determinación de la Capacidad Portante, según bibliografía adjuntada en Anexo.

03.- TRABAJOS DE CAMPO

La exploración del subsuelo en la zona de estudio, se ha efectuado mediante tres calicatas a cielo abierto, una hasta la profundidad de - 3.50 m. realizado con retro escarbadora.

Se tomaron muestras alteradas DEL TIPO Mab, e inalteradas Mib, siguiendo las normas ASTM D420 - 69, las mismas que fueron debidamente protegidas para su envío al Laboratorio de Mecánica de Suelos.

04.- TRABAJOS DE LABORATORIO

De las muestras Alteradas del tipo Mab, se han determinado las propiedades físicas, las cuales fueron analizadas y ensayadas bajo las siguientes Especificaciones:

- | | |
|--|-------------|
| • Contenido de Humedad | ASTM D 2216 |
| • Limites de Atterberg | ASTM D 4318 |
| • Clasificación Unificada de Suelos (SUCS) | ASTM D 2487 |
| • Análisis Granulométrico | ASTM D 422 |

De las muestras inalteradas Mit, se han obtenido las propiedades mecánicas con el ensayo de:

- | | |
|-----------------|----------------|
| • Corte Directo | ASTM D 3080 |
| • Consolidación | ASTM D 2435-70 |

05.- INVESTIGACIONES DE GABINETE

5.1.- IDENTIFICACION Y CLASIFICACIÓN DE SUELOS

La identificación y clasificación se realizó de acuerdo a lo especificado en la Norma ASTM-2487-69, según la Teoría de Clasificación Unificada de Suelos "SUCS". Se han obtenido los límites de Atterberg (límites líquido y plástico), usando la Copa de Casagrande y el rolado.

Esta identificación nos ha determinado el tipo de ensayos a realizar en el Laboratorio, para cada tipo de suelo hallado, teniendo en cuenta la finalidad buscada, de determinar las propiedades físicas y mecánicas

JORGE CHAVEZ QUIVIN
INGENIERO CIVIL
CIP. 65360



Carmen Regina Santamaría Inoñan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748

238

CARMEN R. SANTAMARIA INOÑAN.
CIP N° 86748
JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0137

del suelo subyacente, para la construcción correspondiente. En los suelos arcillosos, el porcentaje que pasa la malla N° 200 supera el 50%.

5.2.- ESTRATIGRAFÍA

se determino el Perfil Estratigráfico, con la Identificación y Clasificación de los suelos. Se muestra en el anexo los Perfiles Estratigráficos de las 03 calicatas C-1, predominando los suelos de características Arenas arcillosas (SC), y C-2 y C-3 Arcillosas inorgánicas de alta plasticidad, identificadas como (CH).

1. Calicata C-1

Esta calicata presenta un relleno de 0.20 m. de material de préstamo.

ESTRATO SC (Nivel 0.20 m a 3.50m)

Arenas arcillosas, mezcla arena-arcilla con IP= 13.0 %, Humedad natural de 12.88 %, Limite Liquido = 35.4 %, Limite Plástico = 22.40 %

2. Calicata C-2

Esta calicata presenta un relleno de 0.20 m. de material de préstamo.

ESTRATO CH (Nivel 0.20 m a 3.50m)

Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas con IP= 49.0 %, Humedad natural de 12.24 %, Limite Liquido = 79.40 %, Limite Plástico = 30.40 %

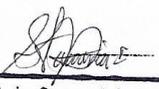
3. Calicata C-3

Esta calicata presenta un relleno de 0.20 m. de material de préstamo.

ESTRATO CH (Nivel 0.20 m a 3.50 m)

Arcillas inorgánicas de alta plasticidad, arcillas grasas IP= 46.7 %, Humedad natural de 25.77 %, Limite Liquido = 76.40 %, Limite Plástico = 29.70 %

JORGE CHAVEZ GUININ
INGENIERO CIVIL
CIP 15440



Carmen Regina Santamaria Inoñan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748

237

07.- EXPANSIBILIDAD

El limite Liquido Máximo ocurre en la calicata C- 2 , y es de 79.40 %, le sigue la calicata C-3, con 76.40 %. Sus correspondientes Índices plásticos es de 49.0 % y 46.7 %. Lo que lo clasifica al suelo con Potencial de Expansión muy alta, con un porcentaje de expansión mayor al 30%. (según los investigadores Holtz y Gibbs)

08.- CORTE DIRECTO Y CAPACIDAD PORTANTE

El ensayo de Corte Directo se realizo de acuerdo a las especificaciones ASTM D3080-72, con cargas verticales que producen esfuerzos de 0.50, 1.00 y 1.50 kg/cm², para tal fin se utilizaron las muestras extraídas de las calicatas c-1, c-2 y c-3 a la profundidad de 3.50 m. Referida al nivel del terreno natural. Después de determinar y analizar las propiedades mecánicas del suelo subyacente, podemos afirmar que la falla que se producirá, cuando se sobrepase la capacidad de carga limite será por punzonamiento, con lo que la capacidad de carga admisible se calcula usando la teoría de Terzaghi como se muestra a continuación:

- **Factor de Seguridad.-** De acuerdo a la Norma Técnica Peruana de Edificación E - 050 Suelos y Cimentaciones, se tomara como Factor de Seguridad de **K = 3, para Falla por Corte Local.**
- **Formula a usar.-** Se utilizara la formula de Terzaghi para Falla Local.

$$q_d = 1.3 C' * N'_c + \gamma * D_f * N'_q + 0.4 * \gamma * B * N'_\gamma$$



Del ensayo de Corte Directo del estudio de suelos de la C -1, C-2 y C-3 respectivamente obtenemos los valores del ángulo de fricción y de la cohesión

$$c = 0.44, 0.46 \text{ Y } 0.48 \text{ Kg/cm}^2$$

$$\Phi = 14.95^\circ, 10.31^\circ \text{ Y } 11.80^\circ$$

Usando las teorías del Dr. Karl Terzaghi, para calcular, la capacidad portante, para el caso de una cimentación cuadrada y para una falla por corte local.

$$q_d = \text{capacidad de Carga Limite Tn / m}^2 \text{ o Kg / m}^2$$
$$C' = 2/3 * C$$

JORGE CHAVEZ CUIVIN
INGENIERO CIVIL
CIP 63880


Carmen Regina Santamaria Inonan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748

236

CALCULO PARA ENCONTRAR EL VALOR DE LA CARGA LIMITE

0184

ZAPATA CUADRADA : FALLA POR CORTE LOCAL O PUNZONAMIENTO

$$q_d = 1.3 C' N'_c + \gamma Z N'_q + 0.4 \gamma B N'_\gamma$$

DONDE : F_s FACTOR DE SEGURIDAD
 q_d : CARGA LIMITE
 q_{adm} : CARGA ADMISIBLE
 C : COHESION

$$C' = \frac{2}{3} C$$

N'_c, N'_q, N'_γ : FACTORES DE CARGA

(Gráfico de TERZAGHI : factores de Capacidad de Carga)

CALICATA "C1"

$c = 0.44 \text{ kg/cm}^2$ $C' = 2,933 \text{ kg/m}^2$
 $\phi = 14.95^\circ$ $\gamma = 1.48 \text{ kg/m}^3$

$N'_c = 7.5$ $N'_q = 2$ $N'_\gamma = 0$
 $Z = 3.5$ $B = 1$

Reemplazando :

$q_d = 2.86 \text{ kg/cm}^2$ CARGA LIMITE
 $F_s = 3$
 $q_{adm} = 0.95 \text{ kg/cm}^2$ CARGA ADMISIBLE
 $q_{neto} = 0.76 \text{ kg/cm}^2$ ESFUERZO NETO DE DISEÑO

CALICATA "C2"

$c = 0.46 \text{ kg/cm}^2$ $C' = 3,067 \text{ kg/m}^2$
 $\phi = 10.31^\circ$ $\gamma = 1.72 \text{ kg/m}^3$

$N'_c = 6.5$ $N'_q = 1$ $N'_\gamma = 0$
 $Z = 3.5$ $B = 1$

Reemplazando :

$q_d = 2.59 \text{ kg/cm}^2$ CARGA LIMITE
 $F_s = 3$
 $q_{adm} = 0.86 \text{ kg/cm}^2$ CARGA ADMISIBLE
 $q_{neto} = 0.62 \text{ kg/cm}^2$ ESFUERZO NETO DE DISEÑO

CALICATA "C3"

$c = 0.48 \text{ kg/cm}^2$ $C' = 3,200 \text{ kg/m}^2$
 $\phi = 11.80^\circ$ $\gamma = 1.71 \text{ kg/m}^3$

$N'_c = 6.5$ $N'_q = 1.5$ $N'_\gamma = 0$
 $Z = 3.5$ $B = 1$

Reemplazando :

$q_d = 2.70 \text{ kg/cm}^2$ CARGA LIMITE
 $F_s = 3$
 $q_{adm} = 0.90 \text{ kg/cm}^2$ CARGA ADMISIBLE
 $q_{neto} = 0.65 \text{ kg/cm}^2$ ESFUERZO NETO DE DISEÑO

JORGE CHAVEZ GUVIN
 INGENIERO CIVIL
 CIP. 65560



Carmen Regina Santamaria Inoizans
Carmen Regina Santamaria Inoizans
 INGENIERA CIVIL
 CIP. 86748

234

CARMEN R. SANTAMARIA INONAN.
 CIP N° 86748
 JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
 CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0135

C = cohesión del suelo en Tn / m2 o Kg / m2
 Df = Profundidad de cimentación
 γ = Peso unitario del suelo Tn / m3 o Kg / m3
 B = Ancho de la cimentación en metros
 N'c, N'q, N'y = Factores de capacidad que se pueden obtener de la fig.4.2

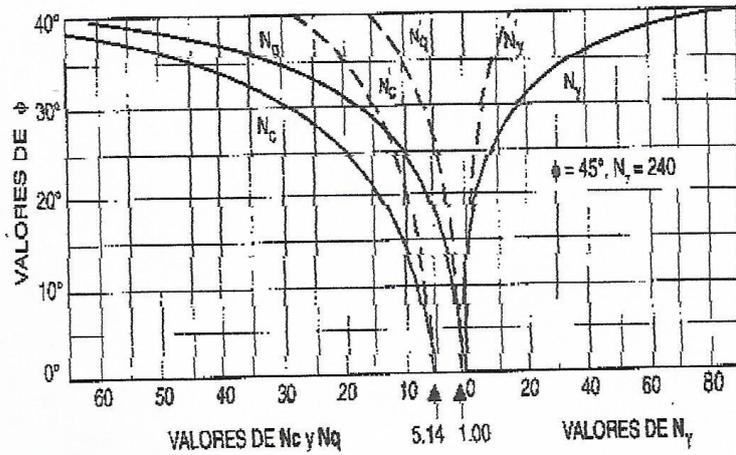


Figura 1.0 Factores de Capacidad de Carga para la Aplicación de la Teoría de Terzaghi

Luego los valores obtenidos para ambas calicatas son:



Carmen R. Santamaria Inonan
Carmen Regina Santamaria Inonan
 INGENIERA CIVIL
 CIP. 86748

INGENIERIA CIVIL
 CIP. 86748

235

CARMEN R. SANTAMARIA INONAN.
 CIP N° 86748
 JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
 CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0183

La profundidad mínima de Cimentación será de $D_f = 3.5 \text{ m}$, la Capacidad Admisible de Carga a esa profundidad es de **0.95, 0.86 y 0.90 Kg/cm²**, y una capacidad de carga neta de **0.76, 0.62 y 0.65 kg/cm²**.

- **Cuadro resumen de características físicas:** según ensayo de Suelos

Ensayo	C - 1	C - 2	C - 3	Unid.
	M-1 (0.20-3.50)	M-1 (0.20-3.50)	M-3 (0.20-3.50)	
C.H	12.88	12.24	25.77	%
L.L	35.4	79.4	76.4	%
L.P	22.4	30.4	29.7	%
I.P	13.0	49.0	46.7	%



- **Cuadro Capacidad Admisible del Terreno**

C-1

D_f (m)	3.50	5.00
q_{adm} (kg/cm ²)	0.95	0.95
q_{neto} (kg/cm ²)	0.76	0.76

C-2

D_f (m)	3.50	5.00
q_{adm} (kg/cm ²)	0.86	0.86
q_{neto} (kg/cm ²)	0.62	0.62

C-3

JORGE CHAVEZ QUIVIN
 INGENIERO CIVIL
 CIP 65300

Carmen Regina Santamaria Inoan
 INGENIERA CIVIL
 CIP. 86748
 233

CARMEN R. SANTAMARIA INONAN.
 CIP N° 86748
 JR. GRAU N° 323 - JAYANCA
 CELULAR N° 978500448 - RPM : # 0262369

0182

D_f (m)	3.50	5.00
q adm(kg/cm ²)	0.90	0.90
q neto(kg/cm ²)	0.65	0.65

09.- CONSOLIDACION UNIDIMENSIONAL Y ASENTAMIENTOS

Las especificaciones usadas para este ensayo son : AASHTO T208-70 y ASTM 2166-66 las muestras utilizadas en este ensayo fueron extraídas de las calicatas C-1 , C-2 y C-3, a la profundidad de 3.50 m.

Para la muestra de la calicata C-1, C-2 y C-3, se ha obtenido una relación de vacíos inicial de 0.959, 0.673 y 0.911, un coeficiente de compresibilidad de 0.0098, 0.0103 y 0.0180, y un coeficiente de variación volumétrica de 0.0050, 0.0062 y 0.0094. Se ha adoptado el criterio de limitar el asentamiento de la Cimentación a 1" (2.54 cm.), Terzaghi y Peck. Para determinar el Asentamiento de la Cimentación sobre el estrato arcillosos predominante, se ha utilizado el método elástico para el cálculo del asentamiento inicial.

Expresión base:

$$S_q = (q \cdot B(1 - \mu^2) / E_s) \cdot I_f$$

Donde:

S_q = Asentamiento probable (cm.)
 q = Presión de trabajo (tn/m²) = 12.0
 B = Ancho de la cimentación (m) = 1.0 y 3.0 m.
 μ = Relación de Poisson = 0.25
 E_s = Modulo de elasticidad (tn/m²) = 3,500
 I_f = Factor de forma (cm/m) = 82



Reemplazando en la formula se ha determinado los Asentamientos máximos que se producirán cuando se construya la edificación. Para anchos de zapata B que varía entre 1.00 y 3.00 m., se espera asentamientos de 0.2635 cm. y 0.8259 cm; Lo cual está dentro del límite que es de 1 pulgada (2.54 cm).

JORGE CHAVEZ QUIN
 INGENIERO CIVIL
 CIP: 85380

Carmen Regina Santamaria Inonán
 Carmen Regina Santamaria Inonán
 INGENIERA CIVIL
 CIP. 86748

232

10.- SISMICIDAD

Dado el tipo de suelo arcilloso SC y CH, predominante en la zona de estudio, según la clasificación realizada en base a los resultados de laboratorio, se puede considerar los siguientes parámetros para el suelo:

Según la Norma Técnica de Edificación E - 030 "Diseño Sismorresistente" (Normas Peruanas de Estructuras ACI 1998)
Por la ubicación en el Departamento de Amazonas

$Z = 0.30$ (Zona 2)

$T_p (s) = 0.9$, periodo que define la plataforma del espectro para tipo de suelo.

$S = 1.40$, factor de amplificación del suelo.

Parámetros del Suelo Subyacente			
Tipo	Descripción	T_p (seg)	S
S3	Suelos Flexibles, o con Estratos de gran espesor	0.90	1.4

11.- NIVEL FREÁTICO

No se detecto la presencia de Nivel Freático en la zona de estudio.

12.- CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- El suelo subyacente de la zona de estudio, corresponde a la edificación del proyecto, es apto para la construcción si se cumplen las recomendaciones de este informe.
- Se recomienda una profundidad de cimentación $D_f = -3.5$ m., referida al nivel de terreno natural.
- Adoptar una capacidad de carga Admisible $q_{adm} = 0.86$ kg/cm² y una capacidad de carga neta $q_{neta} = 0.62$ kg/cm².
- El **grado de Expansibilidad** del suelo, en la zona mayoritaria del proyecto es **Muy Alto** con un porcentaje de Expansión mayor al



JORGE CHAVEZ GUILIN
INGENIERO CIVIL
CIP: 89380

Carmen Regina Santamaria Inoñan
INGENIERA CIVIL
CIP. 86748

B1

30.0%, por lo que el suelo de la superficie, debe ser eliminado y cambiado por material granular, compactado de la siguiente manera: 30 cm. De material natural por 30 cm. De material granular, los primeros 20 cm. De abajo con arena fina y limpia (A-3, clasificación AASHTO), como subbase. Adicionalmente encima colocar 10 cm. Con material granular tipo A-2-4 (clasificación AASHTO), para disminuir los efectos de los suelos cohesivos. Los pisos y los sobrecimientos deben ser un concreto armado con $f'c=175 \text{ kg/cm}^2$, y $f_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.

- Para el diseño estructural el suelo se clasifica como S3, el periodo que define la plataforma del espectro $T_p=0.9 \text{ s}$, y el factor suelo $S=1.4$.
- Se recomienda usar Cimentaciones superficiales rígidas, del tipo zapatas corridas o continuas, en la dirección longitudinal del Proyecto. Cada zapata corrida deberá tener un nervio formado por una viga Principal, que nace desde el fondo de la zapata, de tal manera que el conjunto Viga - Zapata forme una T invertida. Estas Zapatas deben estar unidas por Vigas de Conexión, en la Dirección secundaria.
La cimentación será de concreto armado $F'c=315 \text{ kg/cm}^2$, $F_y=4200 \text{ kg/cm}^2$.
- Se recomienda usar cemento Tipo MS y aditivos. la resistencia mínima del concreto a usar debe ser de $f'c=315 \text{ kg/cm}^2$, en los elementos estructurales que van a estar en contacto con el suelo y la humedad.
- Limitar el numero de pisos a cuatro niveles con materiales clásicos de construcción: concreto, losas aligeradas de concreto, tabiquería de ladrillo solidó, sin embargo se puede aumentar a seis niveles si se utiliza material de peso ligero: Fibrablock, Etsapol y Drywall, etc.
- Se espera un asentamiento de 0.8259 cm, para un ancho de cimiento de $B=3.00 \text{ metros}$. El valor admisible según skempton y Mc Donald es de 5 cm.
- La compresibilidad del suelo es ALTA, según la clasificación de M.J. Tomlinson.
- Diseñar y construir de acuerdo a las especificaciones del ACI-2005, de las Normas Peruanas de Estructuras y Reglamentos y del Reglamento Nacional de Edificaciones.

13.- BIBLIOGRAFIA

- Reglamento Nacional de Edificación
- Mecánica de Suelos y Cimentaciones, Crespo Villalaz
- Propiedades Geofísicas de los suelos, Bowles
- Normas Peruanas de Estructuras, ACI 1998



JORGE CHAVEZ GUTIERREZ
Ingeniero Civil
CIP 86360


Carmen Regina Santamaria Inonani
INGENIERA CIVIL
CIP 86748

230

Anexo 3: Planos de arquitectura y estructuras del pabellón de aulas la Facultad de Ingeniería Civil y Ambiental de la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas.