



**SISTEMA DE PROTECCIÓN SISMICO MEDIANTE EL USO DE DISIPADORES DE
ENERGÍA METÁLICOS TIPO ADAS PARA EDIFICACIONES DE CONCRETO
ARMADO**

ROSA BEATRIZ NÚÑEZ OSPINO

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

INGENIERIA CIVIL

PAMPLONA-NORTE DE SANTANDER

2018

**SISTEMA DE PROTECCION SISMICO MEDIANTE EL USO DE DISIPADORES DE
ENERGÍA METALICOS TIPO ADAS PARA EDIFICACIONES DE CONCRETO
ARMADO**

ROSA BEATRIZ NÚÑEZ OSPINO

Trabajo de grado para optar el Título de Ingeniero Civil

Director

NÉSTOR ORLANDO ROJAS RIBÓN

Ingeniero Civil, Especialista en Ingeniería Estructural

UNIVERSIDAD DE PAMPLONA

FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURA

PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL

PAMPLONA – NORTE DE SANTANDER

2018

El que se esfuerza por conseguir lo que quiere, consigue lo que se debe.

Gracias a Dios por permitirme cumplir mis sueños y a mi familia por apoyarme en todo momento.

DEDICATORIA

A Dios, por ser mi guía y compañía en cada momento a lo largo de este proceso.

A mis padres, que siempre han creído en mí y me han apoyado en cualquier circunstancia.

A mis hermanos, que han sido mi apoyo incondicional y compañía en cada momento para poder realizar este logro tan grande.

A mi abuela Rosa, que aunque no esté conmigo su recuerdo siempre vivirá en mi corazón.

A mi abuela Beatriz, porque para ti siempre se lucha por conseguir lo que se quiere.

A mis tíos(as), que siempre han estado ahí brindándome una voz de aliento.

A mis amigos(as); Anlu, Daniela y Diego que con cada palabra de entusiasmo han ayudado a mi proceso de crecimiento.

AGRADECIMIENTOS

Son tantas las personas que me ayudaron que quiero expresarles mi gratitud especialmente a:

A Dios por darme la fortaleza suficiente para superar cada obstáculo que se me presentó en el camino, y ayudarme a ser mejor persona cada día.

A mi familia que nunca dudaron de mis capacidades, me apoyaron y creyeron en mí cada momento de este largo proceso; me ayudaron con sus sabios consejos, con sus sacrificios e incluso con sus regaños.

El Ingeniero Néstor Rojas por depositar su confianza y creer en mí, por compartir sus conocimientos conmigo y ser mi guía en este camino.

A mis amigos, compañeros y conocidos que aunque unos están y otros no, cada uno aportó un granito de arena para que hoy en día este sueño se haga realidad.

A todos infinitas Gracias.

RESUMEN

El presente trabajo tiene como punto de partida las investigaciones y estudios realizadas sobre el análisis, diseño e implementación de los disipadores de energía metálicos tipo ADAS en las edificaciones de concreto armado alrededor del mundo. Se realiza una breve descripción de los diferentes sistemas pasivos y activos de disipación de energía existentes; además el uso, ventajas y desventajas de utilizar estos elementos en las edificaciones donde se presenta un alto grado de sismicidad. Para llevar a cabo este estudio, en primer lugar, se analiza y diseña una edificación de cuatro niveles de uso común, provisto de un sistema estructural compuesto de pórticos de concreto armado en ambos sentidos. Posteriormente, se analiza la estructura desde dos puntos de vista, con disipadores de energía metálicos y sin disipadores de energía metálicos. Por último se determina la reducción de la demanda sísmica en los elementos estructurales, a través de los desplazamientos porque las fuerzas aplicadas nunca cambiaran, empleando el uso de análisis de la deriva a través del programa SAP2000 (versión estudiantil), además ayuda de programas como Excel y AutoCAD para el análisis de la edificación.

En la primera parte de este documento se definen las generalidades, los antecedentes, el planteamiento del problema, los objetivos y la justificación.

En la segunda parte se describe toda la información recopilada de investigaciones y análisis realizados por diferentes autores donde se hace referencia de los disipadores de energía metálicos tipo ADAS y el uso que se está dando a nivel mundial de estos elementos.

En la tercera parte se describen las características específicas de los disipadores de energía tipo ADAS y los diferentes análisis que se realizan con estos elementos, además las ventajas y desventajas de estos.

En la cuarta parte se realiza el análisis y modelamiento de la estructura utilizando SAP2000 (Versión estudiantil), para determinar el nivel de reducción de la demanda sísmica de la edificación.

En la quinta parte se presentan los resultados relevantes del presente trabajo, las debidas conclusiones y recomendaciones de acuerdo al análisis realizado con anterioridad.

ABSTRACT

The present work is based on the research and studies carried out on the analysis, design and implementation of energy dissipaters in reinforced concrete buildings around the world. A brief description of the different passive and active energy dissipation systems exists; also the use, advantages and disadvantages of using these elements in buildings where there is a high degree of seismicity. To carry out this study, first, a five-level building of common use is analyzed and designed, provided with a structural system composed of reinforced concrete porticos in both directions. Subsequently, the structure is analyzed from two points of view, with metallic energy dissipaters and without metallic energy dissipaters. Finally, the reduction of the seismic demand in the structural elements is determined, through the displacements of the mezzanine, using the drift analysis through the SAP2000 program (student version), as well as programs such as Excel and AutoCAD. the analysis of the building. In the first part of this document the generalities, the antecedents, the approach of the problem, the objectives and the justification are defined. The second part describes all the information gathered from research and analysis carried out by different authors, which makes reference to the ADAS-type metallic energy dissipaters and the global use of these elements. The third part describes the specific characteristics of the ADAS type energy dissipaters and the different analyzes performed with these elements, as well as the advantages and disadvantages of these. In the fourth part the analysis and modeling of the structure is carried out using SAP2000 (Student version), to determine the level of reduction of the seismic demand of the building. The fifth part presents the most relevant results of this work, the appropriate conclusions and recommendations according to the analysis made previously.

INDICE

RESUMEN	iv
ABSTRACT.....	i
INDICE.....	i
INDICE DE TABLAS	i
INDICE DE FIGURAS	ii
INTRODUCCIÓN.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1. ANTECEDENTES	1
1.1.1. Internacional	1
1.1.2. Nacional.....	5
1.1.3. Departamental	9
1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	11
1.2.1. Descripción del problema	11
1.2.2. El problemática.....	12
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	12
1.4. OBJETIVOS	13
1.4.1. Objetivo General	13
1.4.2. Objetivos Específicos.....	13
2. MARCO REFERENCIAL.....	15
2.1. MARCO HISTÓRICO	15
2.2. MARCO TEÓRICO.....	16
2.2.1. Dinámica estructural	16
2.2.2. Características del material – acero	17
2.2.3. Aceros al Carbono	19
2.2.4. Ductilidad	19
2.2.5. Relación de Poisson.....	20
2.2.6. Fundamentos teóricos.....	20
2.2.7. Sistemas de protección sísmica.....	22
2.3. MARCO CONTEXTUAL Y GEOGRÁFICO	35
2.3.1. Datos generales del municipio de Pamplona departamento de Norte de Santander	

2.4.	MARCO LEGAL	44
2.4.1.	Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, Título A (Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente).	44
2.4.2.	Ley 400 de 1997 (Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes)	45
3.	DISIPADORES METÁLICOS TIPO ADAS	46
3.1.	Dispositivo ADAS	46
3.2.	Características mecánicas básicas de disipadores ADAS	48
3.3.	Modelos de comportamiento histerético de disipadores ADAS.....	52
3.2.1	Modelo de Ramberg-Osgood	53
3.2.2	Modelo de Bouc-wen	54
3.2.3	Modelo Bilineal.....	55
3.3	Factores de influencia en el comportamiento de disipadores ADAS.....	57
3.3.1	Soporte de los disipadores ADAS	58
3.3.2	Rigidez elástica del elemento ADAS	59
3.3.3	Relación SR	61
3.3.4	Amortiguamiento viscoso equivalente.....	62
3.3.5.	Ventajas de los disipadores metálicos tipo ADAS	63
3.3.6.	Desventajas de los disipadores metálicos tipo ADAS.....	64
3.3.7.	Costos de los disipadores tipo ADAS.....	65
4.	METODOLOGIA DE TRABAJO.....	68
4.1.	Metodología aplicada.....	68
4.1.1.	Enfoque de la investigación	68
4.1.2.	Tipo de investigación.....	68
4.1.3.	Alcance de la investigación	69
4.1.4.	Método y análisis de la investigación.....	69
4.1.5.	Universo, población y muestra	69
4.1.6.	Técnicas de recopilación de información.....	69
4.1.7.	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	70
4.2.	Procedimiento metodológico.....	70
5.	ANALISIS ESTRUCTURAL	72
5.1.	Descripción y Estructura del Proyecto	72
5.1.1.	Condiciones Generales de la edificación.....	72
5.1.2.	Proyecto Arquitectónico	73

5.1.3. Modelación del Edificio por el Programa SAP2000 V12.....	79
5.1.4. Resultados	111
CONCLUSIONES	114
RECOMENDACIONES	115
BIBLIOGRAFIA	116
ANEXOS	119

INDICE DE TABLAS

Tabla 1: Propiedades mínimas especificadas para perfiles y placas de acero estructural	18
Tabla 2: Datos generales del edificio	73
Tabla 3: Sistema Estructural de la edificación	74
Tabla 4: Cargas Muertas	76
Tabla 5: NSR-10- Apéndice A-4- Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos	82
Tabla 6: Zona de Amenaza Sísmica del municipio de Pamplona	83
Tabla 7: Clasificación de los perfiles de Suelo	83
Tabla 8: Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro	84
Tabla 9: Valores del coeficiente F_v , para la zona de periodos intermedios del espectro.....	84
Tabla 10: Valores del coeficiente de importancia, I	85
Tabla 11: Comparación de los periodos de diseño de la edificación	112
Tabla 12: Diferencia de Giros y Desplazamientos de la edificación con y sin disipadores de energía (Pórtico 1).....	113

INDICE DE FIGURAS

Figura 1: Edificio Andalucía.....	5
Figura 2: Viaducto Marga-Marga	5
Figura 3: Puente Amolanas.....	5
Figura 4: Aisladores empleados en Viaducto La Estampilla	6
Figura 5: Puente Helicoidal	7
Figura 6: Aisladores empleados en Puente Helicoidal.....	7
Figura 7: Curvas típicas de esfuerzo - deformación para aceros estructurales	17
Figura 8: Pórtico con mecanismos de disipación de energía	20
Figura 9: Disipador por flexión.....	27
Figura 10: a) sistemas ADAS b) respuesta Histerética en los primeros ciclos de carga	27
Figura 11: Sistema TADAS	29
Figura 12: a) disipador Honeycomp. b) Respuesta Histerética	29
Figura 13: Sistema DUR.....	30
Figura 14: Disposición de paneles de cortante en una estructura metálica aperturada	31
Figura 15: Disipador por cortante con su cuerpo disipador construido a partir de un proceso de fresado.....	32
Figura 16: Disipador por cortante	32
Figura 17: Disipador por cortante con aleaciones de aluminio y soldadura TIG.....	33
Figura 18: Disipador por extrusión	34
Figura 19: a) Disipador viscoelástico. b) Respuesta Histerética	35
Figura 20: Localización del municipio de Pamplona.....	36
Figura 21: Ubicación del municipio de Pamplona.....	36
Figura 22: Curva de histéresis dispositivo ADAS	47
Figura 23: Ensayo de carga lateral cíclica de dispositivo ADAS	48
Figura 24: Deformación y esfuerzo en disipadores ADAS.....	49
Figura 25: comportamiento fuerza – deformación de dispositivo ADAS.....	49
Figura 26: Caracterización de la geometría del disipador ADAS.....	50
Figura 27: Modelo de Ramberg-Osgood	53
Figura 28: Lazos de histéresis generados por modelo Bouc–Wen. (a) $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$; (b) $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.0$; (c) $\alpha = 0.75$, $\beta = 0.25$; (d) $\alpha = 0.25$, $\beta = 0.75$; (e) $\alpha = 0.85$, $\beta = -0.15$; (f) $\alpha = 0.5$, $\beta = -0.5$; (g) $\alpha = 0.3$, $\beta = -0.7$; (h) $\alpha = 0.7$, $\beta = -0.3$. (Dobson et al.....	55
Figura 29: Variación de K_h (“a”).....	56
Figura 30: Modelo Bilineal para dispositivos ADAS	57
Figura 31: Sistema pórtico simple y disipador ADAS.....	57
Figura 32: Relación de Φ - B/D.....	60
Figura 33: Relación de fuerza - B/D, para pórtico de 10 niveles con SR=2	60
Figura 34: Desplazamientos máximos - Δy , para pórtico de 10 niveles	61
Figura 35: Relación de fuerza en la base - Δy , para pórtico de 10 niveles.	61
Figura 36: β como función de propiedades de pórtico estructural	63
Figura 37: β como función de propiedades de disipador muy rígido.....	63
Figura 38: Proyecto Arquitectónico-Vista Plata del edificio	74
Figura 39: Altura de la losa=0.40m	75

Figura 40: Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2	80
Figura 41: Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de valores de A_a y A_v del capítulo A.2	81
Figura 42: Espectro de Diseño	87
Figura 43: Carga Muerta	88
Figura 44: Carga Viva	88
Figura 45: Modo de vibración 1	89
Figura 46: Modo de Vibración 2	89
Figura 47: Modo de Vibración 3	90
Figura 48: Modo de Vibración 4	90
Figura 49: Modo de Vibración 5	91
Figura 50: Modo de Vibración 6	91
Figura 51: Modo de Vibración 7	92
Figura 52: Modo de Vibración 8	92
Figura 53: Modo de Vibración 9	93
Figura 54: Modo de Vibración 10	93
Figura 55: Modo de Vibración 11	94
Figura 56: Modo de Vibración 12	94
Figura 57: Fuerza Sísmica en el eje x	95
Figura 58: Fuerza Sísmica en el eje y	95
Figura 59: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva en el eje x	96
Figura 60: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa en el eje x	96
Figura 61: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva en el eje y	97
Figura 62: Fuerza Sísmica Resultante de diseño negativa en el eje y	97
Figura 63: Envolvente	98
Figura 64: Carga de Diseño	98
Figura 65: Carga de Servicio	99
Figura 66: Carga Muerta	100
Figura 67: Cargas Vivas	100
Figura 68: Modo de Vibración 1	101
Figura 69: Modo de Vibración 2	101
Figura 70: Modo de Vibración 3	102
Figura 71: Modo de Vibración 4	102
Figura 72: Modo de Vibración 5	103
Figura 73: Modo de Vibración 6	103
Figura 74: Modo de Vibración 7	104
Figura 75: Modo de Vibración 8	104
Figura 76: Modo de Vibración 9	105
Figura 77: Modo de Vibración 10	105
Figura 78: Modo de Vibración 11	106
Figura 79: Modo de Vibración 12	106
Figura 80: Fuerza sísmica en el eje x	107
Figura 81: Fuerza sísmica en el eje y	107
Figura 82: Fuerza sísmica resultante de diseño positiva en el eje x	108

Figura 83: Fuerza sísmica resultante de diseño negativa en el eje x.....	108
Figura 84: Fuerza sísmica resultante de diseño positiva en el eje y.....	109
Figura 85: Fuerza sísmica resultante de diseño negativa en el eje y.....	109
Figura 86: Envolvente.....	110
Figura 87: Cargas de Diseño.....	110
Figura 88: Cargas de Servicio.....	111

INTRODUCCIÓN

Hace muchos años atrás la ingeniería sísmica se ha enfocado y ha realizado innumerables esfuerzos por investigar e implementar métodos para reducir los daños en las construcciones más vulnerables, utilizando diferentes elementos que son de ayuda para ello, tal es el caso de los sistemas pasivos de disipación de energía para el diseño y reforzamiento de estructuras que han tomado gran auge debido a la ayuda de la tecnología empleando nuevos procesadores electrónicos y la dinámica estructural; hoy en día existen numerosas estructuras en el mundo que cuentan con el uso de estos sistemas los cuales han ayudado al mejoramiento estructural de las edificaciones.

Los sistemas de disipación de energía constituyen una alternativa para reducir los riesgos sísmicos sobre las edificaciones, en muchos casos la disipación de energía se ha constituido como una alternativa para los sistemas de rigidización y reforzamiento que se esperan y alcancen un nivel de desempeño apto. En general, estos dispositivos se pueden considerar como una buena opción en los casos en que se espere un buen desempeño en cuanto a la protección de la vida de las personas, en los edificios aporricados suelen ser muy efectivos para el control de la deriva y la reducción de las solicitaciones internas en los elementos; pero con aplicabilidad limitada en proyectos con un nivel de desempeño de prevención de colapso.

Es por esto que en el presente trabajo se estudia y se busca dar a conocer los diferentes disipadores de energía metálicos, especialmente los tipo ADAS en la construcción, teniendo en cuenta sus ventajas, desventajas y características.

1. GENERALIDADES

1.1. ANTECEDENTES

Los disipadores metálicos se han utilizado exitosamente en los reforzamientos estructurales de edificios. La filosofía de la mayoría de normas de diseño sismo resistente es que frente a un sismo severo la edificación no colapse y frente a sismos moderados sufran daños reparables. Pero se ha evidenciado que muchas edificaciones sufren daños irreparables frente a sismos menores y colapso total frente a sismos severos.

Los sistemas de protección sísmica resultan una buena alternativa para reducir los daños estructurales empleando diversos mecanismos, uno de estos son los disipadores de energía metálicos. Segovia (2016), como se cita en Soong y Dargush (1997) afirma: “Estos sistemas se clasifican en tres grupos: Pasivos, Semi-activos y Activos. Los sistemas Pasivos a su vez se clasifican en tres tipos: Aisladores sísmicos, Disipadores de energía y efecto de masa adicional”

Los Disipadores de Energía se clasifican generalmente en: Visco elásticos e Histeréticos. Los disipadores metálicos pertenecen al grupo de disipadores histeréticos, y se desarrollaron en Nueva Zelandia a comienzos del año 1970. Los más conocidos son: ADAS (Added Damping and Stiffness) y TADAS (Triangular Added Damping and Stiffness). (Segovia, J.C 2016)

Debido a todos los avances que han tenido los Disipadores de Energía, a continuación se hace un breve resumen del uso de estos elementos a nivel Internacional, Nacional y Departamental.

1.1.1. Internacional

A nivel Internacional los disipadores de energía metálicos tipo ADAS han jugado un papel muy importante debido a que han sido utilizados para reforzar e implementar las edificaciones y ayudar a reducir los daños en estas, además el uso de nuevas tecnologías han ayudado en el crecimiento y aplicación de estos elementos. Es por ello que a continuación se hace una breve descripción del uso de disipadores de energía metálicos a nivel mundial.

1.1.1.1. Estados Unidos

En EEUU el primer edificio con este reforzamiento fue el Wells Fargo Bank de 2 pisos de concreto armado que tenía un sistema sin ductilidad, construido en 1967 y reforzado en el 1992 con el sistema ADAS logrando una reducción del 50% en desplazamientos laterales. (Segovia (como se citó en Perry (1993)), p (7) 2016)

“Una de las aplicaciones más utilizadas de los disipadores visco elásticos es en EEUU en las Torres gemelas donde se ubicaron 100 disipadores por planta para controlar los efectos del viento”. (Segovia (como se citó en Bozzo y Bárbate (1999)), p (6) 2016)

1.1.1.2. Japón

En Japón fueron implementados en edificios de 5, 9, 15 y más de 15 pisos; por ejemplo el Oujiseishi Headquarters Building ubicado en Tokio que posee 15 niveles y tiene implementado el sistema de disipación de energía tipo ADAS. (Segovia, J.C., 2016)

Por otro lado, el 9 abril de 2012 japoneses desarrollaron el primer edificio con aislación sísmica tridimensional el cual supero el gran terremoto que afectó la región oriental de Japón el 11 de marzo de 2011. El Chisui- kan (que en español es algo así como residencia destacada hecha con sabiduría) es un edificio prototipo que tiene en sus cimientos el primer sistema de aislación sísmica

tridimensional. Esto porque no sólo amortigua las vibraciones sísmicas horizontales, como la mayoría de las instalaciones antisísmicas tradicionales, sino que además atenúa las vibraciones de tipo vertical. La tecnología es un desarrollo de los ingenieros de Kozo Keikaku Engineering, la Universidad de Tokio, la constructora Shimizu y Kayaba Sesten Machinery. (Tena, A. 2004)

1.1.1.3. México

Los primeros estudios en este tema en México datan de 1986, las primeras aplicaciones de disipadores de energía en la reparación de estructuras dañadas por sismo son de 1990 y la primera estructura nueva que se diseñó con disipadores de energía como parte del sistema estructural ante sismo data de 1995. (Richard, G., 2012)

“El edificio Iza zaga de 12 pisos que fue construido en 1970 en la ciudad de México y fue reforzado en 1990 con el sistema ADAS, se obtuvo una reducción máxima del 40% de desplazamiento relativos en un análisis no lineal. Segovia (como se citó en Sadek (1996)). El Hospital Cardiológico de la ciudad de México de 6 pisos también fue reforzado con sistema ADAS y se verificó una reducción importante en desplazamientos de pisos. (Segovia (como se citó en Craig 2002). p (6,7) 2016)

1.1.1.4. Perú

“En el Perú uno de los primeros equipamientos de disipadores metálicos en estructuras fue con el tipo SL (Shear Link) desarrollado por Bozzo y Barbat (1999) que se implementó en el casino Mubarak en el año 2004”. (Segovia 2016)

1.1.1.5. China

En la China, hasta hace 5 años, se contaba con más de 450 edificaciones con aislamiento en la base y con más de 50 edificaciones con disipadores pasivos de energía, principalmente con fines de rehabilitación o reforzamiento estructural. Dentro de los dispositivos pasivos, los disipadores viscosos son los más comunes, seguidos de los disipadores metálicos de tipo X (X-shaped) o placas triangulares. (León (como citaron Higashino y Okamoto, (2007); Tsai (1993)), p (16), (2016)).

1.1.1.6. Taiwán

Por su lado, también ha estado muy comprometido y activo en el desarrollo de nuevos dispositivos de control, especialmente disipadores metálicos de tipo histerético y estructuras inteligentes. Hasta mediados de 2003 se contaba con cerca de 20 edificaciones con diferentes dispositivos de control pasivo y 50 con aislamiento basal. El mayor número de aplicaciones corresponde a puentes, colegios, centros médicos, viviendas y oficinas. Entre los dispositivos de acero más utilizados se destacan las riostras metálicas con pandeo restringido y placas triangulares. (León (como citaron Higashino y Okamoto (2006)), (2016), p (16)).

1.1.1.7. Chile

Como forma de disminuir los efectos de los sismos en las estructuras o edificios, en Chile se está utilizando la aislación sísmica de base y la disipación de energía. Ambas metodología han demostrado a nivel mundial que son capaces de disminuir notoriamente los daños que producen los terremotos en las estructuras o edificios. (CEC, 2010)

En Chile los más usados son los de goma de alto amortiguamiento y los neoprenos. Una aplicación de esta tecnología lo constituye el Edificio Andalucía que fue el primer edificio habitacional en Chile con aislación sísmica de base. Actualmente también se utiliza esta tecnología en obras civiles como el Viaducto Marga-Marga que fue el primer puente carretero construido con aislación sísmica de base. En Chile, son de uso reciente en estructuras. El caso más conocido es el Puente Amolanas que tiene 4 amortiguadores sísmicos. (CEC, 2010)

Figura 1: Edificio Andalucía

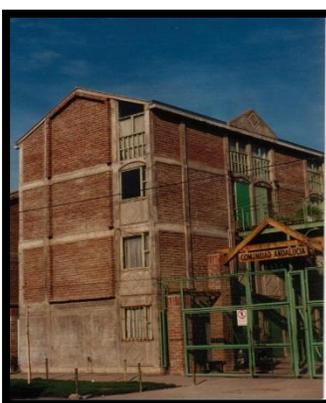


Figura 2: Viaducto Marga-Marga

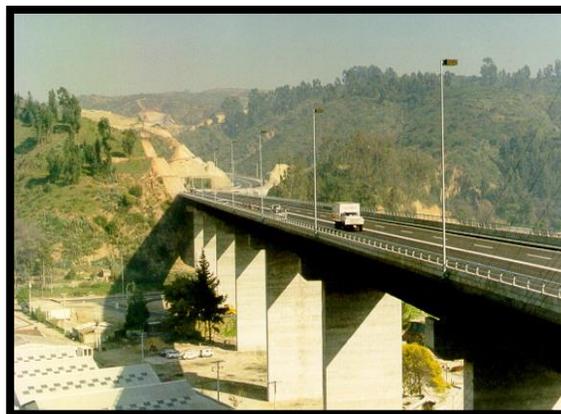


Figura 3: Puente Amolanas



Fuente: Cec (2010)

1.1.2. Nacional

En el país, el ingeniero Gregorio Rentería Antorveza, con su empresa GRISA, ha sido el diseñador de dos proyectos destacados y reconocidos a nivel nacional por la novedad de la inclusión de aisladores. (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

- **Viaducto La Estampilla, Vía Santa Rosa – Manizales, 2007**

De acuerdo a la información aportada en la página web grisacol.com, en esta estructura “se definieron aisladores de péndulo por fricción, con una capacidad de desplazamiento lateral máximo de 35 cm. a cada lado, para un desplazamiento total de 70 cm., colocando 2 aisladores en cada pila, con la capacidad de carga muerta y viva; de esta manera cada puente está apoyado sobre 6 aisladores en las pilas (con un peso de 6000 lb.) y 4 en los estribos (con un peso de 2200 lb.)”. (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

Figura 4: Aisladores empleados en Viaducto La Estampilla



Fuente: Mayorga, N. y Martínez, E. 2014

- **Puente Helicoidal, Dos Quebradas – Santa Rosa, 2010**

“Hace parte del Par Vial que tiene en total 3.5km, de los cuales 125 son de túnel y 500 de puente, fue ejecutado como solución a la inestabilidad de la ladera y a la diferencia de altura, se proyectó un trazado en la vía, incluyendo una figura geométrica de helicoide (similar a la espiral de un resorte), la cual, en la parte baja, cruza la montaña en túnel y continua la vía en un viaducto, con lo cual se ganan 35 metros de altura sin afectar las laderas vecinas”. (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

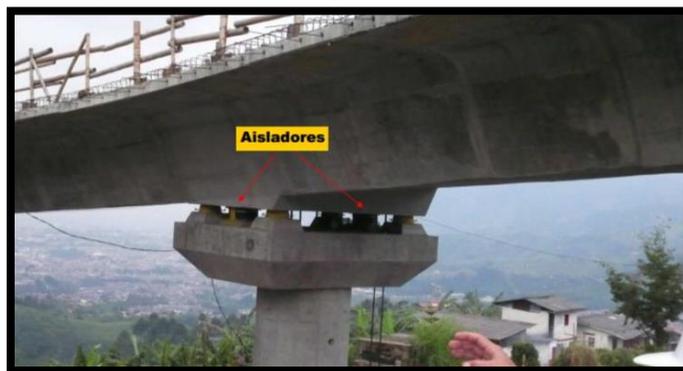
Figura 5: Puente Helicoidal



Fuente: (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

Una de las novedades de este puente, según lo afirma su diseñador en el artículo titulado Gregorio Rentería Antorveza, el ingeniero que diseñó el puente helicoidal en Risaralda, escrito por Angélica Alzare Benítez, es que “está construido con la técnica de péndulo invertido, sobre unos aisladores sísmicos, que tienen una garantía de 200 años, es decir, el mantenimiento de este puente, en cuanto a los aisladores, será de cero en todo este tiempo”. (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

Figura 6: Aisladores empleados en Puente Helicoidal



Fuente: (Mayorga, N. y Martínez, E. 2014)

De acuerdo a los estudios e investigaciones que han sido realizadas en Colombia sobre la posibilidad de implementar técnicas de control sísmico para las edificaciones, se han publicado diferentes artículos los cuales muestran algunos argumentos y puntos de vista sobre lo importante que es este tema para el desarrollo y progreso de la Ingeniería teniendo en cuenta los avances y el

uso de nuevas tecnologías. A continuación, se hace un breve resumen de varios artículos los cuales han sido realizados teniendo en cuenta los disipadores de energía en Edificaciones Colombianas.

1.1.2.1. ARTICULO 1. Disipadores Histeréticos Metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones Colombianas.

En este artículo se presenta un análisis cualitativo de las ventajas de la implementación de disipadores histeréticos metálicos con pandeo restringido, como la alternativa de protección sísmica que más se acomodaría a las características locales actuales de Colombia. También se pretende dar un paso adelante en el camino hacia el comportamiento y diseño de estructuras más seguras para el país, de la mano de una ingeniería estructural más actualizada. Este artículo forma parte de los trabajos de investigación llevados a cabo por el Grupo de Investigación en Estructuras y Construcción de la EIA, con miras a desarrollar y adaptar las nuevas técnicas de control de respuesta en el país. (Oviedo, J., y Duque, M 2009)

1.1.2.2. ARTICULO 2. Modelación Inelástica de Edificios de Concreto con Disipadores de Energía Histeréticos

Teniendo en cuenta que en el medio colombiano este tipo de sistemas de rehabilitación no es muy utilizado, en este trabajo se ilustran los conceptos más relevantes y se plantea una metodología de análisis y diseño. En particular, se enfatiza sobre disipadores de energía de fácil fabricación e instalación en nuestro país. Para tal efecto, se realizó un ensayo de laboratorio para definir las características de un dispositivo histerético metálico y se analizó su comportamiento e incidencia. Las metodologías se ilustran mediante el análisis de dos edificios instrumentados. La rehabilitación se llevó a cabo utilizando comparativamente dos estrategias: la rigidización con muros

estructurales y la disminución de la demanda con disipadores de energía. (Reyes, J., y Rubiano, N. 2004)

1.1.3. Departamental

Debido a que el departamento de Norte de Santander es uno de los que poseen un alto grado de sismicidad, se han realizado diferentes estudios y análisis en los cuales se contemplan las posibilidades de controlar los daños de los efectos sísmicos en esta zona.

1.1.3.1. Artículo 1: Cúcuta, una ciudad que convive con fallas geológica

Teniendo en cuenta la historia del Departamento y especialmente los de la Ciudad de Cúcuta en los que frecuentemente se presentan movimientos telúricos cada vez existe más riesgo de daños debido a que la ciudad supera en miles la población que habitó hace más de 140 años, sumándole a eso que ahora la ciudad tiene más edificios y se utilizan cada vez una mayor cantidad de materiales como vidrios y elementos que causan daños fácilmente. El llamado de los profesionales de la construcción siempre ha sido que las autoridades estudien más sus suelos para determinar un código de construcción que puedan usar los arquitectos y los ingenieros para desarrollar sus obras civiles. (García, J. 2015)

1.1.3.2. ARTICULO 2: Cúcuta, riesgo sísmico de los mayores del país.

De acuerdo a estudios realizados por el Servicio Geológico Colombiano el Departamento de Norte de Santander tiene un alto grado de amenaza sísmica. En esta zona la profundidad de los sismos oscila entre 100 y 150 kilómetros, “afortunadamente pues, de lo contrario, las

consecuencias serían desastrosas”, señala Flórez (...). “Es decir, no solo tenemos como referente histórico el sismo de 1875 que destruyó toda la ciudad”, explica Flórez. “Esto se ha seguido moviendo con frecuencia aunque con sismos de baja intensidad”. Según Flórez, es innegable que en Cúcuta “la cosa sísmica se mueve”, razón por la cual es fundamental que se haga especial énfasis en la gestión y mitigación de riesgos. (Sandoval, R. 2016)

1.1.3.3. ARTICULO 3: Ultimo sismo de Gran Magnitud en Norte de Santander

Un sismo de magnitud 5,7 se presentó el 11 de octubre con epicentro en el municipio La Esperanza, Norte de Santander, informó el Servicio Geológico Colombiano. La profundidad del movimiento telúrico, que se sintió en varios departamentos del centro del país, fue de 128 kilómetros. La Policía y el Ejército de Norte de Santander realizan inspección de sus bases en los municipios de Ocaña y Tibú. Hasta el momento, hay afectaciones en el Hospital Santo Domingo Savio, en el Centro Educativo San Francisco de Asís y en la escuela Cachiricito Bajo del Centro Educativo Camilo Torres, donde las edificaciones tienen grietas profundas, según informó el director de la Unidad de Gestión del Riesgo de Santander. (El Tiempo 2017)

1.1.3.4. ARTÍCULO 4: Los diez pueblos de Colombia con mayor Sismicidad

En este artículo se hace referencia a los 10 pueblos de Colombia los cuales se presenta el mayor número de sismos anuales de acuerdo a estudios realizados por el Grupo de Evaluación y Monitoreo de Actividad Sísmica; dentro de los cuales se ubican los municipios de: Los Santos (Santander) donde se registraron 5.434 movimientos telúricos en 2016, Zapatoca (Santander) el cual tuvo 866 temblores en el 2016, Dabeiba (Antioquia) que registro 400 movimientos telúricos

en 2016, Villanueva (Santander) que en 2016 alcanzó la cifra de 359 movimientos telúricos, Mutatá (Antioquia) que registro 273 movimientos telúricos en el 2016, El Carmen (Norte de Santander) el cual se registraron 236 sismos en el 2016, Santa Helena de Opón (Santander) que registro 177 sismos en 2016, Jordán (Santander) que en 2016 registro 168 movimientos telúricos, Gigante (Huila) que al cierre del 2016 registró 140 sismos y por ultimo Cucunubá (Cundinamarca) que en el 2016 registró 135 movimientos telúricos. (Ariza, F. 2017). De lo cual se puede concluir que el Municipio de Pamplona (Norte de Santander) está ubicado en una zona de alta sismicidad y que los niveles de movimientos telúricos son muy altos.

1.2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1. Descripción del problema

Los eventos sísmicos son un fenómeno natural que nos han acompañado desde siempre y que inevitablemente nos seguirán acompañando en el transcurso del tiempo. En los últimos años en el país se han venido presentando numerosos sismos los cuales son de magnitudes altas y han causado daños materiales y pérdidas humanas.

Debido a estar en zona de alta vulnerabilidad y amenazas el municipio de Pamplona–Norte de Santander, se encuentra expuesto a eventos sísmicos de diferentes magnitudes; es por ello que este informe está orientado a la implementación de sistemas de disipación de energía, más específicamente los disipadores de energía metálicos tipo ADAS para edificaciones de concreto reforzado.

Cuando un sismo actúa sobre una edificación ésta responde sufriendo daños en su estructura y para evitar estos daños la Norma Sismo Resistente NSR-10 nos plantea los límites con los cuales

deben contar las estructuras al momento de ser diseñadas y las características adicionales que deben tener.

1.2.2. El problemática

El problema que pretendemos resolver es: ¿Cómo un Estudiante en formación del programa de Ingeniería Civil de La Universidad de Pamplona, puede investigar y plantear una solución en el comportamiento de las estructuras con disipadores de energía para Edificaciones de concreto armado, con el fin de evitar cualquier daño de esta y su contenido?

1.3. JUSTIFICACIÓN

En la Ingeniería Estructural se presentan situaciones en la que los daños son comunes y no debemos dejarlos pasar por alto, sobre todo a las pérdidas humanas que han sufrido los países en los últimos años, y el nuestro no es una excepción. Nuestro país, durante la historia sísmica, debe plantearse el desafío de la incorporación de nuevas tecnologías como sistemas de protección sísmicas como lo son los Disipadores de Energía. Si bien ya se ha cuestionado en este tema, es un dilema los altos costos de estos; prueba de ello es que los estudiantes de diferentes universidades han propuesto la construcción de estructuras de gran altura con disipadores fijos y móviles, debido a que estos elementos permiten aislar la estructura física de los cimientos con el fin de que, al presentarse algún tipo de movimiento telúrico, la fuerza con la que llegue a afectar la obra civil no sea tan intensa.

Teniendo en cuenta que el Municipio de Pamplona tiene un alto grado de sismicidad, además de que el uso de edificaciones con modelo habitacional son muy comunes en la zona urbana,

generalmente de 4 y 5 pisos, y rara vez exceden ese límite debido a los riesgos existentes es que en la presente referencia del título se plantea el control de la respuesta dinámica sometida a registros sísmicos de gran intensidad, adicionando Disipadores de Energía a estructuras en concreto reforzado las cuales desempeñan un gran papel durante una catástrofe.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo General

Analizar la reducción de la acción sísmica en los elementos de una estructura aporticada de concreto armado de 4 niveles de uso habitacional, debido a la incorporación de disipadores de energía metálicos tipo ADAS.

1.4.2. Objetivos Específicos

- Modelar el comportamiento del dispositivo metálico tipo ADAS mediante el software SAP2000 versión estudiantil.
- Realizar el análisis estructural de una edificación aporticada de concreto armado de 4 niveles.
- Consultar la normatividad respecto a los procesos de análisis y diseño empleando disipadores de energía metálicos.
- Estudiar el comportamiento sísmico de la estructura incorporando los dispositivos disipadores de energía metálicos tipo ADAS.

2. MARCO REFERENCIAL

2.1. MARCO HISTÓRICO

El concepto de control estructural en estructuras civiles tiene sus raíces en el trabajo empírico de John Milne, profesor de ingeniería en Japón, quien hace más de 100 años construyó una pequeña casa en madera y la colocó sobre cojinetes para demostrar que la estructura podría ser aislada del movimiento sísmico, (Segovia, J.C. 2016). Se necesitaron los primeros cincuenta años del siglo veinte para el desarrollo de la teoría de sistemas lineales y su aplicación al campo de las vibraciones y en particular a la dinámica estructural. La motivación principal de este desarrollo era el motor de combustión interno, usado tanto en automóviles como en aviones, que producía altos niveles de fuerzas dinámicas. Durante la Segunda Guerra Mundial, conceptos tales como aislamiento, absorción, y amortiguamiento de vibraciones, fueron desarrollados y aplicados efectivamente en estructuras aeronáuticas. Después de la Segunda Guerra Mundial, la carrera armamentista y la conquista del espacio fomentaron el desarrollo de la teoría y aplicación del control estructural en problemas de seguimiento y estabilización (tracking), y problemas relacionados con estructuras flexibles espaciales. Esta tecnología rápidamente fue adaptada a la ingeniería civil en aplicaciones de protección de puentes y edificios a cargas extremas de sismos y vientos. (Segovia, J.C. 2016)

El primer estudio conceptual sobre control estructural en ingeniería civil fue realizado por Yao en 1972 (Tena, A. 2004) y, desde entonces, un gran número de investigadores ha desarrollado sistemas de control estructural para el control de la respuesta sísmica y eólica, y han verificado el comportamiento de estos sistemas. En agosto de 1994 se realizó en Los Ángeles, EEUU, el primer Congreso Mundial sobre Control Estructural, al que asistieron 337 participantes de 15 países y

fueron presentados 225 artículos técnicos sobre control estructural, conformándose ese mismo año la Asociación Internacional para Control Estructural (IASC). En los últimos años, el interés en el control estructural ha aumentado notablemente en el nivel mundial y se está realizando un gran número de investigaciones con diversos intereses y metodologías con una meta común: la protección de la infraestructura civil y las personas que la usan. (Tena, A. 2004)

En estructuras civiles, las vibraciones excesivas producidas por sismos fuertes producen daños graves en elementos estructurales y no estructurales, causando pérdida de vidas humanas. Controlar la respuesta estructural ante cargas dinámicas (cargas sísmicas y eólicas) es y ha sido una necesidad para la seguridad de los usuarios y de la edificación. (Tena, A. 2004)

2.2. MARCO TEÓRICO

2.2.1. Dinámica estructural

La dinámica estructural se encarga de estudiar el comportamiento (movimiento) de un sistema ante cargas. Existen muchos tipos de cargas dinámicas, que dependen básicamente de su tipo de acción en el tiempo. Para definir una carga dentro del contexto de un análisis dinámico o transitorio, debe especificarse la dirección y la magnitud de la carga en cualquier instante.

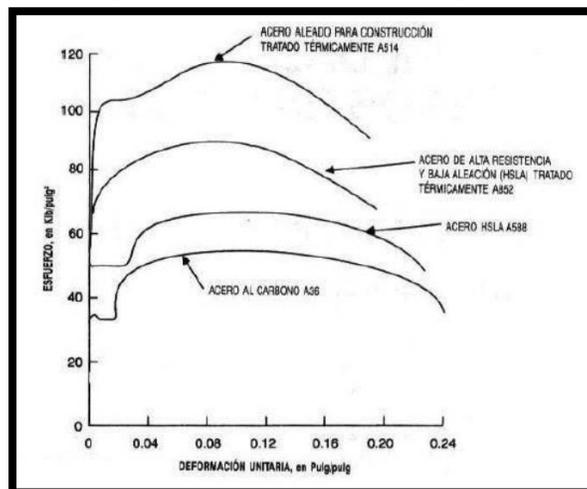
La carga puede provenir, ya sea de cargas dependientes del tiempo que están siendo aplicadas directamente a la estructura, o de movimientos dependientes del tiempo en los apoyos de la estructura, como el caso de un pórtico de acero sometido a carga sísmica. (Escalante, N.A., 2005)

El término respuesta se utiliza a menudo para describir los efectos de las cargas dinámicas sobre las estructuras. De manera más específica, una respuesta a cargas dinámicas puede representar el desplazamiento, la velocidad o la aceleración en cualquier punto de una estructura en un lapso. (Mayorga, C. 2011)

2.2.2. Características del material – acero

Los aceros destinados a usos estructurales pueden clasificarse por su composición química, sus propiedades a tensión y por los métodos de fabricación, en acero al carbono, aceros de alta resistencia y baja aleación (HSLA), aceros al carbono tratados térmicamente, y aceros aleados para construcción tratados térmicamente. En la Figura 7 se observa una curva típica de esfuerzo-deformación para un tipo de acero de cada grupo, con el fin de ilustrar los niveles crecientes de resistencia proporcionados por cada uno de ellos. La posibilidad de esta amplia gama de resistencias mínimas especificadas, así como de otras propiedades materiales, permite a los diseñadores seleccionar un material económico que presente un desempeño acorde con la función exigida para cada tipo de aplicación. (Mayorga, C. 2011)

Figura 7: Curvas típicas de esfuerzo - deformación para aceros estructurales



Fuente: Mayorga 2011

La siguiente tabla presenta los aceros más utilizados. Estos tipos de acero son soldables, pero los materiales y los procedimientos de soldadura para cada tipo deben concordar con los métodos aprobados. La información sobre soldadura para cada uno de ellos la suministra la American Welding Society (AWS). (Mayorga, C. 2011)

Tabla 1: Propiedades mínimas especificadas para perfiles y placas de acero estructural

Designación ASTM	Intervalo de espesor de placa, en pulg	Grupo ASTM para perfiles estructurales †	Esfuerzo de cedencia en klb/pulg ²	Resistencia a la tensión, en klb/Pulg ² ‡	Elongación, %	
					En 2 pulg §	En 8 pulg
Aceros al carbono						
A36	Máximo 8	1-5	36	58-80	23-21	20
	Más de 8	1-5	32	58-80	23	20
A573						
Grado 58	Máximo 1½	¶	32	58-71	24	21
Grado 65	Máximo 1½	¶	35	65-77	23	20
Grado 70	Máximo 1½	¶	42	70-90	21	18
Aceros de alta resistencia y baja aleación						
A242	Máximo ¾	1 y 2	50	70	21	18
	Más de ¾ hasta 1½ máx.	3	46	67	21	18
	Más de 1½ hasta 4 máx.	4 y 5	42	63	21	18
A588	Máximo 4	1-5	50	70	21	18
	Más de 4 hasta 5 máx.	1-5	46	67	21	18
	Más de 5 hasta 8 máx.	1-5	42	63	21	—
A572						
Grado 42	Máximo 6	1-5	42	60	24	20
Grado 50	Máximo 4	1-5	50	65	21	18
Grado 60	Máximo 1½	1 y 2	60	75	18	16
Grado 65	Máximo 1¼	1	65	80	17	15
Aceros HSLA y aceros al carbono tratados térmicamente						
A633						
Grado A	Máximo 4	¶	42	63-83	23	18
Grado C	Más de 2½ hasta 4 máx.	¶	50	70-90	23	18
Grado D	Más de 2½ hasta 4 máx.	¶	50	70-90	23	18
Grado E	Máximo 4	¶	60	80-100	23	18
	Más de 4 hasta 6 máx.	¶	55	75-95	23	18
A678						
Grado A	Máximo 1½	¶	50	70-90	22	—
Grado B	Máximo 2½	¶	60	80-100	22	—
Grado C	Máximo ¾	¶	75	95-115	19	—
	Más de ¾ hasta 1½ máx.	¶	70	90-110	19	—
	Más de 1½ hasta 2 máx.	¶	65	85-105	19	—
Grado D	Máximo 3	¶	75	90-110	18	—
A852	Máximo 4	¶	70	90-110	19	—
Aceros aleados para construcción tratados térmicamente						
A514	Máximo 2½	¶	100	110-130	18	—
	Más de 2½ hasta 6 máx.	¶	90	100-130	16	—

* Los siguientes son valores aproximados para todos los aceros:

Módulo de elasticidad: 29×10^6 klb/pulg²

Módulo de cortante: 11×10^6 klb/pulg²

Relación de Poisson: 0.30

Esfuerzo de cedencia en corte: 0.57 veces esfuerzo de cedencia en tensión.

Resistencia última en corte: ¾ a ¾ veces la resistencia a la tensión.

Coefficiente de dilatación térmica: 6.5×10^{-6} pulg por pulg por grado F para el intervalo de temperatura de -50 a +150° F

Densidad: 490 lb/pie³

† Véase ASTM A6 para conocer la clasificación de grupo de los perfiles estructurales.

‡ Donde se muestran dos valores para la resistencia a la tensión, el primero es el mínimo y el segundo el máximo.

§ Los valores de elongación mínimos son modificados para algunos espesores de acuerdo con la especificación del acero. Donde se muestran dos valores para la elongación en 2 pulg, el primero es para placas y el segundo para perfiles.

¶ No es aplicable.

2.2.3. Aceros al Carbono

El carbón es el principal elemento que aumenta la resistencia en los aceros al carbono y de baja aleación. En general, cada 0.01% de aumento en el contenido de carbono aumenta el punto de fluencia en cerca de 0.35 Kg/mm^2 .

Las características del acero al carbono son:

El máximo contenido especificado para los elementos de aleación no sobrepasa las siguientes cantidades: manganeso 1.65%, silicio 0.60%, cobre 0,60%.

El mínimo especificado para el cobre no sobrepasa el 0.40%. No se especifica un contenido mínimo para otros elementos añadidos con el fin de obtener un efecto deseado de aleación.

El acero A36 es el principal acero al carbono para puentes, edificios y muchos otros usos estructurales. Asimismo, éste proporciona un punto de fluencia mínimo de 36 Klb/pulg^2 o $248000.496 \text{ KN/m}^2$ en todos los perfiles y placas estructurales de hasta 8 pulgadas (0.3032m) de espesor. (Mayorga, C. 2011)

2.2.4. Ductilidad

Ésta es una propiedad importante de los aceros estructurales. Permite la redistribución de esfuerzos en miembros continuos y en puntos de altos esfuerzos locales, como son los agujeros u otras discontinuidades. Sin embargo, no hay criterio de aceptación general sobre la ductilidad mínima requerida para diversas estructuras. (Mayorga, C. 2011)

2.2.5. Relación de Poisson

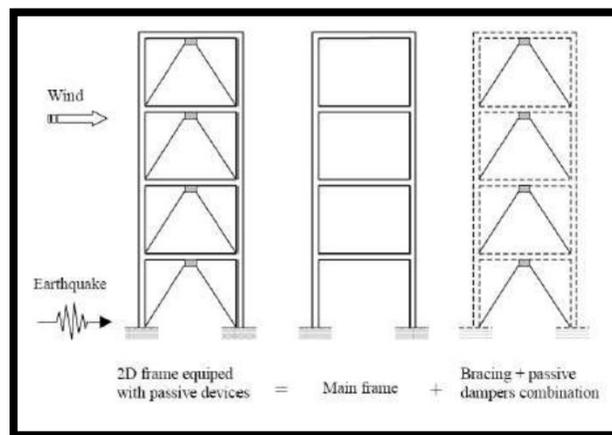
El cociente entre la deformación transversal y la longitud bajo carga se conoce como la relación de Poisson. Esta relación es aproximadamente la misma para todos los aceros estructurales, es decir, 0.30 en el rango elástico y 0.50 en el rango plástico. (Mayorga, C. 2011)

2.2.6. Fundamentos teóricos

2.2.6.1. Disipadores de Energía

El propósito básico de la incorporación de dispositivos de disipación pasiva de energía en una estructura es el de absorber o consumir una porción importante de la energía sísmica, reduciendo así las demandas de disipación de energía por ductilidad en los miembros estructurales principales y minimizar así su posible daño estructural y degradación de resistencia. Por lo general las normas recomiendan determinados sistemas estructurales para distintas intensidades sísmicas y pretenden evitar los colapsos de las edificaciones, más no garantizan limitar el daño por sismo para mantener su operabilidad, ni para permitir su reparación económica. Es decir, se enfocan fundamentalmente en proteger la vida de sus ocupantes. (Mayorga, C. 2011)

Figura 8: Pórtico con mecanismos de disipación de energía



Fuente: Mayorga, 2011

2.2.6.2. Acero estructural

El comportamiento histerético de elementos de acero laminados en caliente es mucho más simple que el de concreto reforzado, dado que se trata de elementos hechos de un solo material. Las bondades del comportamiento del acero como material se trasladan a los elementos construidos con él. No obstante, todos los problemas asociados con estabilidad local de las alas y el alma, estabilidad general del elemento, alabeo, fractura frágil, etc.; se agravan dado que el elemento va a trabajar en el rango inelástico. Los problemas de comportamiento histerético del acero estructural se relacionan principalmente con la necesidad de proveer secciones estables en el rango inelástico, lo que se denomina secciones compactas; y la forma como se realicen las conexiones entre elementos, especialmente cuando se requiere que éstas sean resistentes a momentos. (Mayorga, C. 2011)

2.2.6.3. Concepto de capacidad de disipación de energía

Es la capacidad que tiene un sistema estructural, un elemento estructural, o una sección de un elemento estructural, de trabajar dentro del rango inelástico de respuesta sin perder su resistencia. Se cuantifica por medio de la energía de deformación que el sistema, elemento o sección es capaz de disipar en ciclos histeréticos consecutivos. Cuando hace referencia al sistema de resistencia sísmica de la edificación como un todo, se define por medio del coeficiente de capacidad de disipación de energía R . El grado de capacidad de disipación de energía se clasifica como especial (DES), moderado (DMO), y mínimo (DMI). (Mayorga, C. 2011)

- **Coficiente de capacidad de disipación de energía, R :** Coficiente que se prescribe para cada sistema estructural de resistencia sísmica, cuyo valor depende del tipo de sistema estructural que se utiliza en el sistema, Es una medida de la capacidad de disipación de

energía general del sistema de resistencia sísmica cuando los movimientos sísmicos hacen que responda inelásticamente. (Mayorga, C. 2011)

2.2.7. Sistemas de protección sísmica

La energía que recibe una estructura durante un terremoto puede ser soportada de tres maneras diferentes:

- **Por resistencia:** Consiste en dimensionar los elementos estructurales de tal modo que tengan suficiente resistencia como para soportar las cargas sísmicas mientras se da tiempo a que la edificación pueda ser desocupada. Éste método requiere unas sobredimensiones bastante importantes de los elementos estructurales y tiene algunos riesgos de rotura frágil. (Acuña, P, s.f. parr.2)
- **Por ductilidad:** Consiste en dimensionar los elementos de tal manera que parte de la energía del sismo sea disipada por deformaciones plásticas de los propios elementos estructurales. Esto implica que la estructura recibirá daños en caso de sismo, pero sin llegar a colapsar. Reduce el riesgo de rotura frágil y la dimensión necesaria de los elementos estructurales es bastante menor. (Acuña, P, s.f. parr.3)
- **Por disipación:** Consiste en introducir en la estructura elementos cuyo fin es disipar la energía recibida durante un terremoto, y que no tienen una función resistente durante el resto de la vida normal del edificio. Existen principalmente tres tipos de sistemas de disipación: (Acuña, P, s.f. parr.3)

- **Aislamiento sísmico:** Se conoce así a la técnica de desacoplar el edificio del suelo. La energía proveniente del terremoto no penetra en el edificio ya que éste está aislado del suelo. (Acuña, P, s.f. parr.4)
- **Elementos de disipación pasiva:** Son técnicas que permiten dar un amortiguamiento suplementario mediante elementos que absorben la energía del terremoto, evitando que ésta dañe al edificio. Estos elementos llamados amortiguadores pueden ser de muy distinta forma: de aceite, de metal, visco-elásticos, viscosos. En algunos casos los amortiguadores tienen que ser sustituidos tras un impacto sísmico. (Acuña, P, s.f. parr.5)
- **Elementos de disipación activa:** Son elementos que absorben la energía por desplazamiento de elementos preparados para ello. Sería el caso del amortiguador de masa del Taipéi 101 que realiza un desplazamiento para absorber la energía del viento sobre la estructura o el sismo. (Acuña, P, s.f. parr.6)

Un mismo edificio puede mezclar varias técnicas para soportar un sismo. La capacidad final de un edificio bien planteado de soportar energía sísmica es la suma de las energías que puede soportar cada uno de los apartados anteriores. (Acuña, P, s.f. parr.7)

2.2.8. Aisladores sísmicos

Estos dispositivos aíslan al edificio de toda la energía que el suelo introduce por causa de un evento telúrico. El aislador sísmico desacopla la estructura del suelo y hace que la aceleración sísmica no pase y si lo hace, que esto ocurra en una proporción mínima. Entonces la estructura se comporta como un bloque rígido que se mueve sobre los aisladores en desplazamientos

relativamente pequeños. Por lo tanto, ya no hay desplazamiento entre piso a piso que es lo que destruye la edificación. En los edificios de construcción convencional, que están fijos a tierra, se amplifica la aceleración sísmica en las partes altas, en cambio una edificación que está sobre aisladores se mueve como un bloque, se estabiliza y la amplificación sísmica es menor. (De Nicolo, A., 2005)

2.2.9. Disipadores de energía

Un disipador tiene como función principal absorber la energía sísmica que ha ingresado al edificio. Gran cantidad de la energía se disipa en parte por la fisuración de los elementos o también cuando se tienen alguno que se ha colocado para absorber o eliminar esas fuerzas; es así que las edificaciones de concreto armado atenúan una gran cantidad de energía por la fisuración, sin embargo hay una forma de disipar sin provocar daños.

El disipador es para edificios flexibles que se van a mover bastante, comúnmente por encima de los 10 pisos, controlando su desplazamiento entre un nivel inferior y otro superior mediante unas diagonales y dentro de unos amortiguadores que van a absorber la energía sísmica. Se usan diagonales metálicas por lo general, y en los extremos de éstas se suele insertar y colocar un disipador que va a funcionar igual que un amortiguador de un carro: absorberá la energía y provocará que el edificio se mueva menos, causando pocos daños en la parte interior.

Los disipadores son unos dispositivos que se colocan en la estructura y que tienen por misión oponerse al movimiento del sismo y generar fuerzas contrarias a la fuerza del mismo. Con esto se logra el aumento del amortiguamiento pues se reducen las fuerzas sísmicas y los desplazamientos.

Es como si una estructura diseñada para una aceleración de 0.4g fuera realmente diseñada para 0.3g, con lo que estamos aumentando el amortiguamiento del 5% que es lo normal en edificios a uno de 15% o 20%. (Acuña, P, s.f.)

Los disipadores tienen la particularidad de que no hacen resistencia hacia el movimiento de la construcción sino que tratan de absorber la energía a través del movimiento que el edificio tiende a tener, pero los esfuerzos máximos que se producen son cuando el edificio está quieto. Sin embargo, en la máxima deformación de la torre, estos elementos trabajan en su mínimo esfuerzo. Por eso durante sismos severos esto es muy conveniente porque un edificio siente la reacción de un disipador más fuerte cuando no está deformado, y cuando esto ocurre, tienden a lograr un equilibrio bastante compensando u atenuado. (Acuña, P, s.f.)

2.2.10. Tipos de disipadores

Hay una amplia gama de disipadores de energía que pueden ser aplicados en la prevención de sismos. Hay dos vertientes: uno de líquidos viscosos y otra de elementos a fricción o fluencia (metálicos). Estos últimos rigidizan más al edificio y llaman más fuerza sísmica; el efecto no es tan beneficioso como ocurre con los de líquido viscoso que no aumentan la rigidez del edificio. El disipador metálico tiene sus aplicaciones pero es un elemento que requiere ser cambiado después de un evento sísmico. Son productos de acero que tienen menos capacidad o resistencia y son los primeros que una vez que pasa el rango elástico entran en fluencia; por ello hay que reemplazarlos luego de ocurrido el evento. Los comúnmente llamados disipadores viscosos representan una enorme ventaja comparativa respecto a los metálicos. (Acuña, P, s.f.)

2.2.10.1. Disipadores Histeréticos

2.2.10.1.1. Disipadores por plastificación de metales

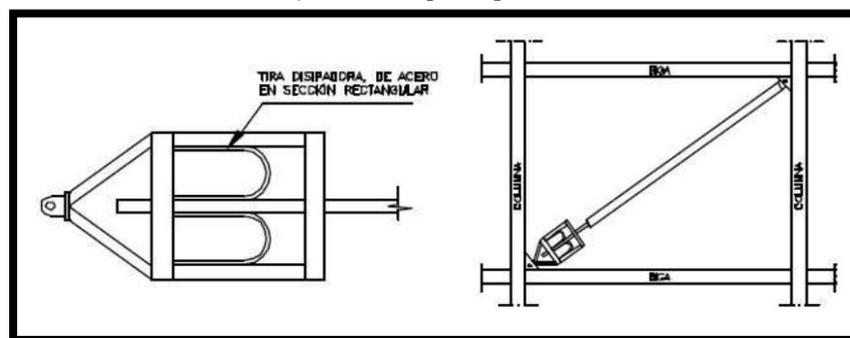
La plastificación de metales en disipadores se puede producir a partir de esfuerzos estructurales o bien a partir del proceso de extrusión. Cualquier esfuerzo, sea de torsión, flexión, cortante o axial puede conducir a procesos de plastificación en metales. El acero ha sido sin duda el metal más empleado en disipadores. Entre sus virtudes están las posibilidades constructivas que ofrece (fácil mecanizado y soldabilidad), su bajo costo y su elevada ductilidad. Resultados experimentales indican que el acero ensayado bajo condiciones casi estáticas puede llegar a manifestar valores del límite de fluencia y de tensión máxima de rotura inferiores en un 17% y 3% respectivamente a los obtenidos con velocidades de deformación del 10%*s* (Wakabayashi 1986).

Estos disipadores se han basado en la plastificación por esfuerzo cortante, dando como resultado dispositivos de elevada rigidez, esfuerzos de plastificación de valores reducidos y gran uniformidad en la distribución de deformación plástica. (Mayorga, C. 2011)

2.2.10.2. Disipadores por Flexión

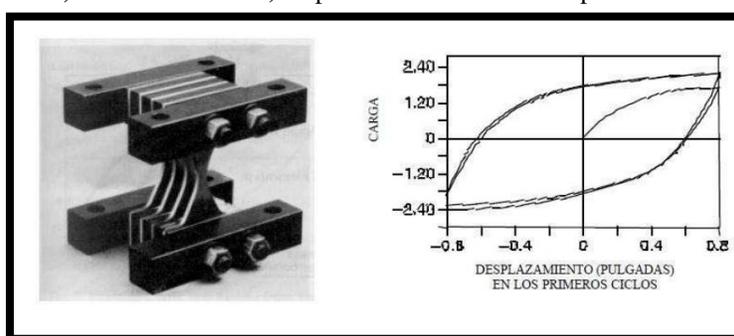
Se han desarrollado numerosos dispositivos que plastifican debido a esfuerzos flectores. Skinner et al. (1975b) estudiaron el comportamiento de dos placas en forma de U que disipan energía por flector puro al enrollarse por efecto del desplazamiento relativo entre sus extremos (Fig. 9). Su comportamiento histerético se demostró es muy estable. (Mayorga, C. 2011)

Figura 9: Disipador por flexión



Fuente: Mayorga, 2011

Figura 10: a) sistemas ADAS b) respuesta Histerética en los primeros ciclos de carga



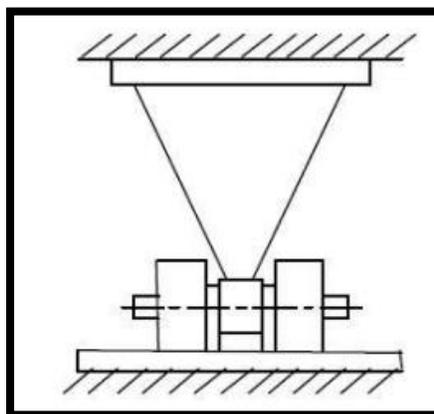
Fuente: Mayorga, 2011

Uno de los disipadores más conocidos y estudiados (Alonso 1989, Hittaker et al. 1989, Scholl 1990, Su y Hanson 1990, Bergman y Hanson 1990) es el conocido con el nombre de ADAS (Added Damping And Stiffness). Es un dispositivo formado por un conjunto de chapas en paralelo, de espesor constante y sección variable en X, tal que, frontalmente, es similar a dos trapecios unidos por la base menor (Figura 13a). El número de chapas en paralelo resulta variable, permitiendo ajustar el disipador a las necesidades de la estructura a la cual se incorpora. Cada placa del dispositivo se encuentra impedida de giro en ambos extremos, de forma que un desplazamiento relativo entre éstos en dirección perpendicular al plano de la placa produce una distribución de momentos flectores lineales, simétricos y con doble curvatura. El ancho del disipador se proporcionaliza linealmente con la distribución de momentos flectores, lo cual deriva en una generalización de la plastificación en un corto intervalo de desplazamiento. La plastificación se

produce de forma uniforme y estable, optimizando el proceso de disipación de energía. (Mayorga, C. 2011)

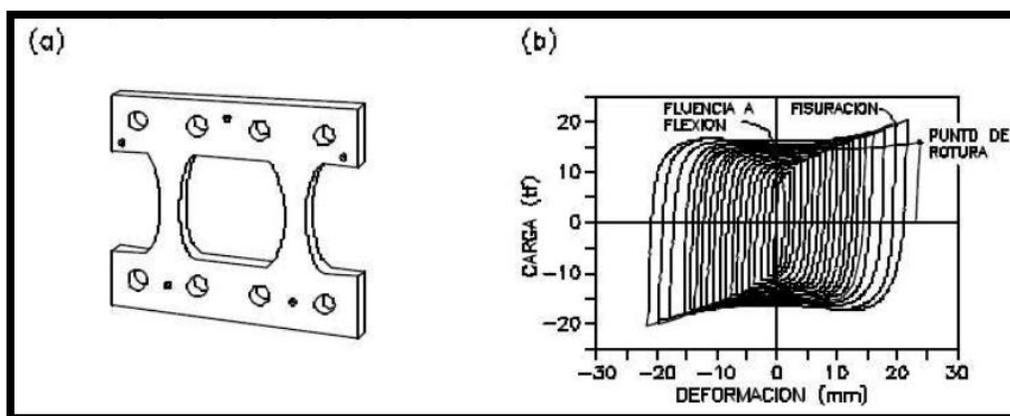
El dispositivo indicado en la Figura 11 es conocido como sistema TADAS, al igual que el ADAS, está formado por un conjunto de placas trapezoidales de acero paralelas y de espesor constante. El hecho de que las placas se encuentren con un extremo empotrado y el otro articulado, condiciona la forma trapezoidal, que posibilita también una distribución global de la plastificación. La base mayor de la placa se conecta al nivel de viga a una estructura aporticada, mientras que la otra se articula con una unión de bulón a dos contravientos dirigidos a la base de los pilares del pórtico. Con un desplazamiento relativo entre extremos de la placa perpendicular a su plano, se consigue la plastificación por flexión por curvatura simple. Al incorporar este sistema en un pórtico de acero a escala natural se ha observado que las reducciones en la respuesta son similares a las obtenidas con el ADAS (Tsai et al. 1993). (Mayorga, C. 2011)

Kobori et al. (1992) investigan el comportamiento de un disipador construido en una placa de acero mecanizada con la geometría indicada en la Figura 12a. Debido a los espacios vacíos que deja entre disipadores se le conoce genéricamente como disipador de tipo panal, y se comercializa con el nombre de "Honeycomb".

Figura 11: Sistema TADAS

Fuente: Mayorga, 2011

Su geometría tiene como objeto una plastificación lo más uniforme posible en la zona disipativa. Su comportamiento histerético (Figura 12b) se ha revelado muy estable y de forma casi rectangular, con una respuesta más próxima a la rígidoelástica que en el caso del ADAS, la cual es más flexible. (Mayorga, C. 2011)

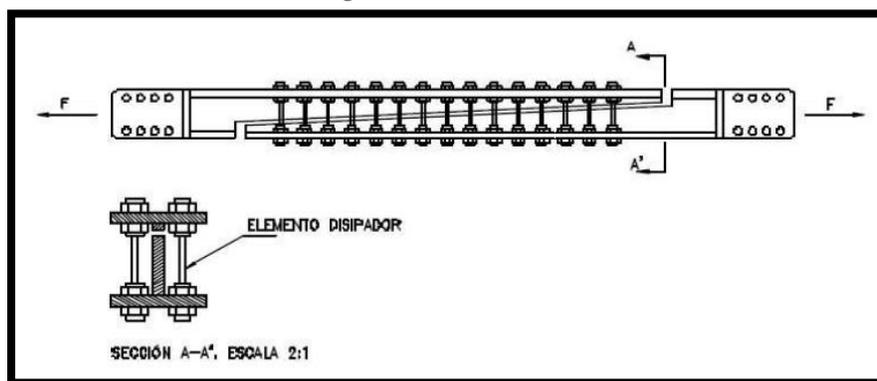
Figura 12: a) disipador Honeycomp. b) Respuesta Histerética

Fuente: Mayorga, 2011

Benavent et al. (1997a, 1998) desarrolla dos disipadores, uno establecido a partir de la flexión de pernos (Figura 13) y el otro basado en la plastificación por cortante, que permiten ser colocados como diagonales de arriostramiento, logrando así unos elementos prácticamente independientes

de las acciones verticales y que resultan muy fáciles de instalar. Los disipadores están avalados por una amplia campaña de ensayos, a partir de la cual se establecen modelos de predicción del comportamiento y de su capacidad última disipativa bajo la acción sísmica. (Mayorga, C. 2011)

Figura 13: Sistema DUR



Fuente: Mayorga, 2011

2.2.10.3. Disipadores a Cortante

El sistema estructural de los brazos excéntricos (Popov 1980) es el precursor de los disipadores a cortante. La mayoría de los disipadores adoptan una geometría similar: sección en doble T con alma rigidizada. Popov observó que este sistema era de una gran ductilidad (la UBC97 considera a las estructuras que lo incorporan de máxima ductilidad), y que permitía ciclos histeréticos estables y de gran capacidad disipativa siempre que la rigidización fuera correcta. Kasai y Popov (1986) establecían criterios simples para determinar la aparición de abolladura en el alma, los cuales han sido posteriormente validados para dispositivos disipadores (Rai et al. 1998, Tsai et al. 1998). (Mayorga, C. 2011)

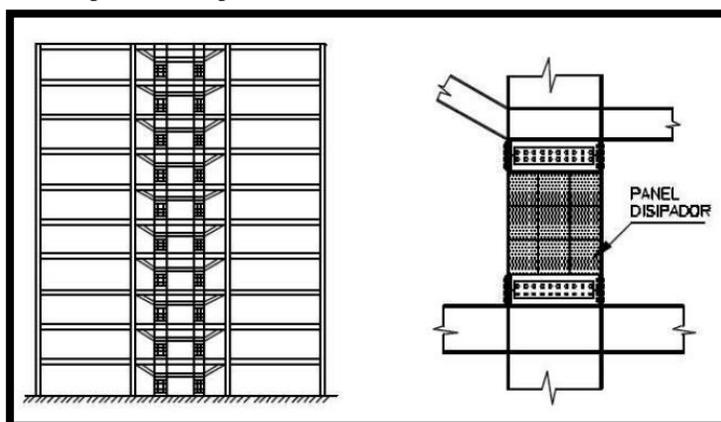
Los paneles de cortante son placas de acero rigidizadas (Figura 16). Su estructura, con rigidizadores distanciados, obliga a espesores relativamente importantes para evitar el problema de la abolladura. Los aceros de alta ductilidad y bajo límite elásticos (80 Mpa, 40-60% de

alargamiento) se muestran de gran interés para permitir espesores mayores a igualdad de esfuerzo cortante, con una inferior necesidad de rigidización (Nakashima 1995a). (Mayorga, C. 2011)

Cahís et al. (1997) ensaya un diseño preliminar del disipador de cortante sobre el que versa su tesis doctoral. Su cuerpo disipativo está construido a partir de un solo bloque de acero de construcción (Figura 15) mecanizado por fresado, lo que permite incluir rigidizadores de pequeñas dimensiones y sin necesidad de soldadura en la zona de plastificación. Los primeros resultados obtenidos señalaban una elevada rigidez bajo comportamiento elástico, un desplazamiento de inicio de plastificación pequeño (0.5 mm) y disipación de energía a partir de ciclos histeréticos estables. (Mayorga, C. 2011)

Tsai et al. (1998) analizan el comportamiento de un dispositivo de cortante con sección en doble T y alma rigidizada (Figura 16), diseñado para actuar como nexo entre un pórtico y su arriostramiento en A. Su unión con los brazos de arriostramiento, mediante bulones o tornillos de tamaños grandes, admite sólo la acción horizontal, libre de momento y de acción vertical. Con ello se consigue desacoplar el sistema rígido del sistema flexible y reducir sollicitaciones de montaje. (Mayorga, C. 2011)

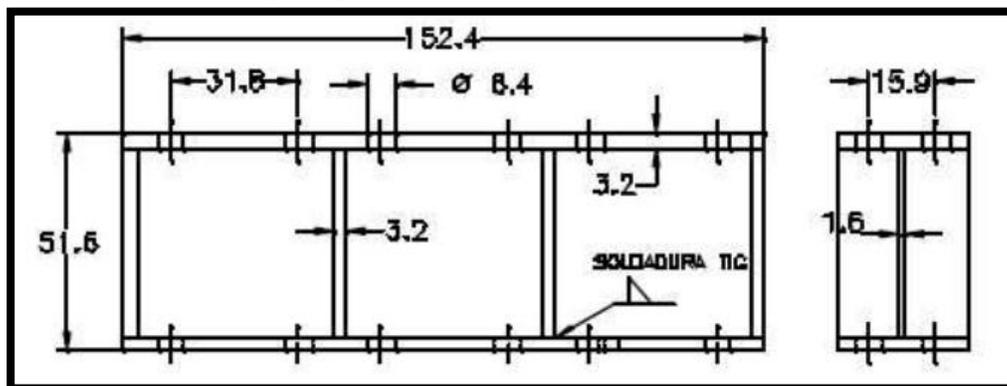
Figura 14: Disposición de paneles de cortante en una estructura metálica aporticada



Fuente: Mayorga, 2011

confirman el buen comportamiento del modelo propuesto por Kasai y Popov (1986) para la predicción de la abolladura. (Mayorga, C. 2011)

Figura 17: Disipador por cortante con aleaciones de aluminio y soldadura TIG



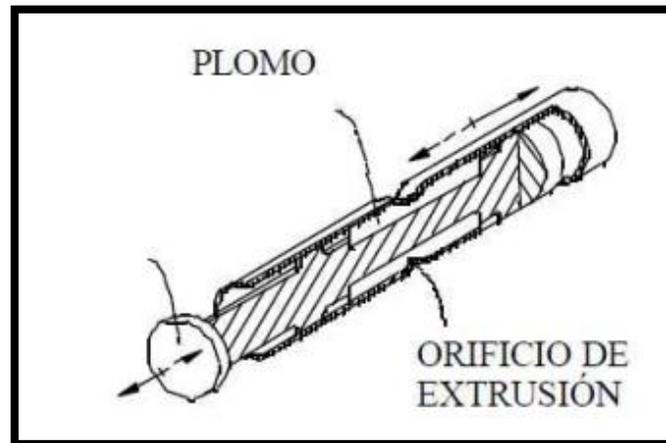
Fuente: Mayorga, 2011

2.2.10.4. Disipadores basados en la Extrusión de Metales

Robinson y Greenbank (1976) diseñan un elemento el cual permite disipar energía a partir de la extrusión del plomo. La Figura 18 representa un esquema de este sistema, en el cual el plomo pasa por un orificio y, forzado a un cambio de sección, disipa energía. Su respuesta Histerética resulta muy estable, tras muchos ciclos de desplazamiento.

Un modelo de 200 KN, apto para desplazamientos de hasta 10 mm y que disipa desde 0.05 mm, mantiene su curva histerética sin modificaciones apreciables tras 144000 ciclos a una amplitud de ± 4 mm (Monti et al. 1998). (Mayorga, C. 2011)

Figura 18: Disipador por extrusión



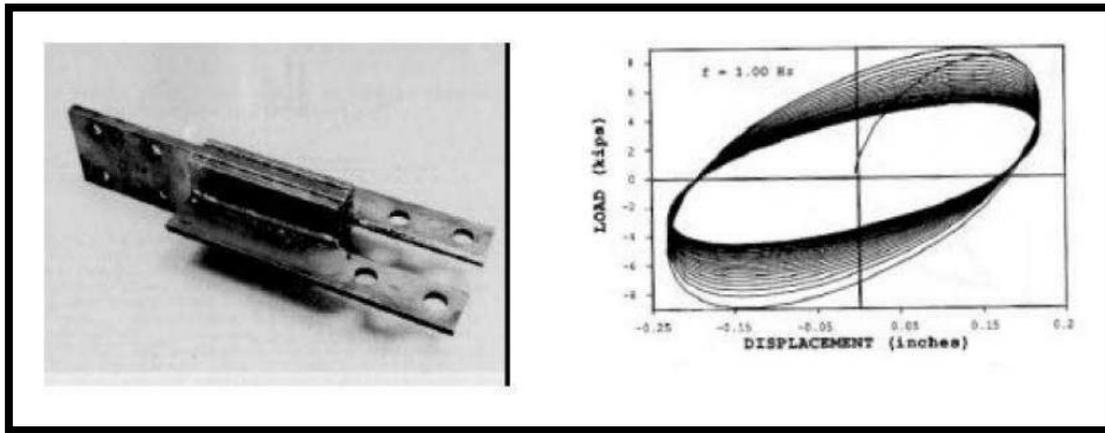
Fuente: Mayorga, 2011

2.2.10.5. Disipadores con comportamiento viscoelástico

Los disipadores viscoelásticos sólidos están formados por chapas metálicas unidas por capas finas de material viscoelástico (Figura 19a), y presentan unos ciclos histeréticos característicamente elípticos (Figura 19b). Su acción disipativa se basa en el aumento del amortiguamiento estructural. Presentan algunas ventajas con relación a los disipadores histeréticos: i) no precisan de una fuerza umbral para disipar energía; y ii) no cambian de forma significativa los períodos de vibración, con lo cual resulta posible linealizar el comportamiento estructural y realizar una modelización más sencilla. Como inconvenientes están: i) la poca variación del período fundamental no evita el comportamiento resonante; ii) los materiales viscoelásticos, en general, son sensibles a los cambios en temperatura, frecuencia y deformación, y resulta necesario minimizar la influencia de estas variables en sus rangos de servicio en estructuras sismorresistente para que su comportamiento resulte predecible; iii) para conseguir un aumento del amortiguamiento estructural a valores que reduzcan significativamente la respuesta

estructural ante un sismo severo es necesaria una gran cantidad de dispositivos. (Corpus, J. y Morales, E. 2015)

Figura 19: a) Disipador viscoelástico. b) Respuesta Histerética



Fuente: Mayorga, 2011

2.3. MARCO CONTEXTUAL Y GEOGRÁFICO

2.3.1. Datos generales del municipio de Pamplona departamento de Norte de Santander

2.3.1.1. Localización y Límites

Pamplona está localizado en la Cordillera Oriental de los Andes colombianos, situado en las coordenadas $72^{\circ}39'$ de longitud al oeste de Greenwich y a 7° y $23'$ de latitud norte. Limita al norte con Pamplonita, al sur con Cácuta y Chitagá, al oriente con Labateca y al occidente con Cucutilla.

Figura 20: Localización del municipio de Pamplona

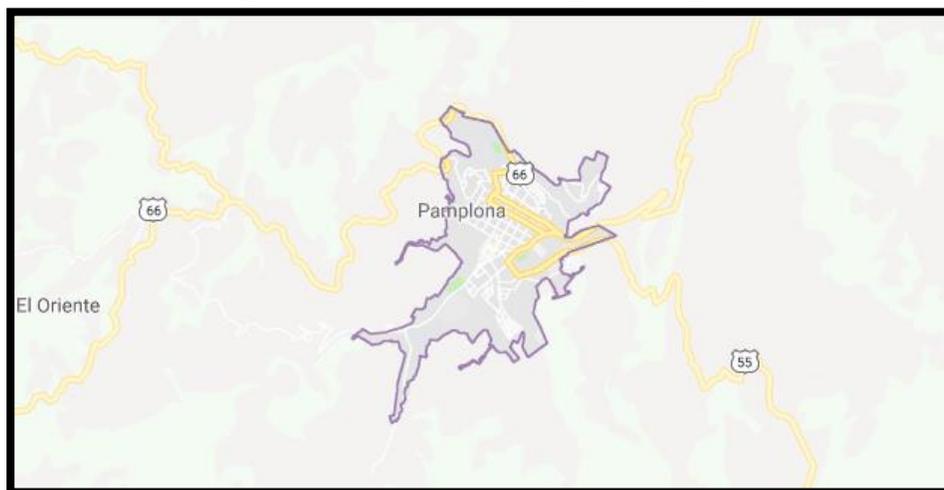


Fuente: Alcaldía Municipio de Pamplona.

2.3.1.2. Ubicación

El municipio de Pamplona se encuentra ubicado en el departamento de Norte de Santander, está conectado por carreteras nacionales con las ciudades de Cúcuta, Bucaramanga, Bogotá y Arauca.

Figura 21: Ubicación del municipio de Pamplona



Fuente: (Google maps data 2018)

2.3.1.3.Extensión

La extensión total del municipio es de 318 km² y corresponde al 0.0274% de la extensión total del país. La extensión del suelo urbano es de 59.214 ha.

2.3.1.4.Climatología Urbana

De acuerdo con los valores medios de precipitación, el régimen pluviométrico de esta zonas es de carácter Bimodal, es decir se presentan dos periodos de mayor pluviosidad que van de marzo-mayo, septiembre-noviembre los meses de poca pluviosidad enero, febrero, julio, agosto y diciembre. (Sepúlveda, D.)

2.3.1.5.Humedad Relativa

A nivel mensual la humedad relativa refleja los periodos de máxima y mínima precipitación, presentándose una menor humedad en los meses de menores lluvias y una mayor humedad en los meses de mayores lluvias. Se tienen datos de la estación ISER que son válidos solo para el área central del municipio. El promedio anual de humedad relativa es de 77 %, con un mínimo de 66% que se presenta el mes de agosto y un máximo de 89 % en el mes de abril. Los meses con menor humedad relativa son Junio, Julio, Agosto, Diciembre y Enero; lo que coincide con los períodos de mayor brillo solar. (Sepúlveda, D.)

2.3.1.6.Brillo Solar

El brillo solar depende directamente de la nubosidad que se presente sobre el área territorial. Los meses con mayor incidencia de la radiación solar corresponden a Enero, Febrero, Marzo, Julio, Agosto, Septiembre, Octubre, Noviembre y Diciembre. Los meses con menor radiación y mayor nubosidad son Abril, mayo y Junio, los cuales coinciden con los períodos de mayor precipitación

sobre el municipio. El valor mínimo registrado es de 51 Horas/mes y el de mayo mayor valor es de enero con 206.1 Horas/mes. (Sepúlveda, D.)

2.3.1.7.Vientos

Tiene importancia entre otras cosas por su acción en la dispersión de contaminantes y en la desecación de los suelos, su dirección predominante permite definir áreas críticas de amenazas por incendios. En este sentido interesa conocer el viento dominante y la frecuencia de las direcciones y velocidades. En el Municipio de Pamplona solo tiene registros para la estación ISER que son válidos para el área central del municipio. El valor anual medio de recorrido del viento es de 4660 km lo que equivale a 0,1478 m/s, el valor mínimo se encuentra para el mes de Septiembre y es de 0,0526 m/s y el máximo es de 0.1944 m/s para el mes de Julio. (Sepúlveda, D.)

2.3.1.8.Topografía

El municipio está situado sobre la cordillera Oriental, en la bifurcación del gran Nudo de Santurbán donde se divide en dos ramales; uno que toma la dirección nororiental hacia territorio venezolano y otro que se dirige al noroeste a formar la serranía de los Motilones o Perijá. (Sepúlveda, D.)

2.3.1.9.Geología del casco urbano del Municipio de Pamplona

El Diagnostico geológico realizado al casco urbano del municipio de Pamplona junto a la posible zona de expansión urbana, constituye la base fundamental que suministra información sobre las características, propiedades y capacidad de soportar actividades humanas para determinar la utilización más adecuada, del subsuelo, dentro de la fase de formulación.

El conocimiento de las unidades litológicas, estructurales y su dinámica permite determinar los procesos geomorfológicos y referenciar en cartografía que modificaron el paisaje en el pasado y lo hacen actualmente, a partir de la información geológica se identifican las zonas que presenten

susceptibilidad por amenazas naturales; y por ende riesgo para la población, la infraestructura, etc. Para realizar una planificación más adecuada del uso del suelo y ubicar las zonas de expansión urbana. (Quintero, M.)

2.3.2. Geología General

Desde el punto de vista geológico estructural el casco urbano de Pamplona desarrolla su urbanismo sobre depósitos cuaternarios de origen fluvioacustre depositados discordantemente sobre rocas ígneas tipo gneis cuarzomonzonítico pertenecientes a la unidad Ortogneis, en el denominado Valle del Espíritu Santo cortado por el cauce del río Pamplonita y bordeado por rocas sedimentarias pertenecientes a las formaciones Girón, Tibú-Mercedes y Aguardiente con fuerte control estructural que geomorfológicamente da origen a lomas y cuchillas. Estructuralmente el casco urbano de Pamplona se encuentra enmarcado por falla de Pamplona de tipo inverso con rumbo norte-sur y el sistema de fallas de Chitagá de tipo inverso con rumbo norte-sur, cortado por fallas de tipo normal, en el cerro Cristo Rey y en la cuenca de la quebrada El Escorial. (Quintero, M.)

2.3.2.1. Geología Estructural

Estructuralmente el casco urbano de Pamplona se encuentra enmarcado en una zona de tectónica compresiva generada en la evolución de la cordillera Oriental, la que produce estructuras con dirección norte-sur que afecta las diferentes litologías presentes. A escala local se presentan fallas de tipo normal con dirección este-oeste que fracturan las rocas de la formación Aguardiente y la formación Tibú-Mercedes en el cerro Cristo Rey, generando un alto fracturamiento del macizo rocoso que puede heredar planos de falla a los depósitos cuaternarios de la zona de influencia. En la cuchilla El Escorial la formación Aguardiente presenta un sistema de fallas de contacto y normal que afecta a la parte media de la cuenca de la quebrada El Escorial, donde actualmente se

vienen desarrollando proyectos urbanísticos, que ameritan ser estudiados. La fuerte tectónica afecta los macizos rocosos de la Unidad Ortoagneis produciendo fuerte fracturamiento que acelera los procesos de meteorización. Sobre los depósitos cuaternarios no se observan evidencias de Neotectónica, que suministren información sobre fallas en el basamento y hayan sido heredadas por los depósitos. Las principales estructuras tectónicas dentro del casco urbano de Pamplona son:

- **Falla Cristo Rey:** Falla de tipo normal, con rumbo este-oeste. Afecta las rocas de la formación Aguardiente y Tibú-Mercedes, generando un paisaje de origen estructural-denudacional, la estructura afecta parte del basamento donde reposan discordantemente depósitos de ladera tipo coluvión, donde se desarrolló el urbanismo de los barrios Juan XXIII.
- **Falla El Escorial:** Sistema de fallas con rumbo este-oeste, cortadas por una falla de contacto. La falla afecta rocas de la formación Aguardiente y de la formación Tibú-Mercedes y parte de algunos afloramientos de la formación Girón que afecta los depósitos presentes en el valle de la quebrada El Escorial. (Quintero, M.)

2.3.2.2.Estratigrafía

En el municipio de Pamplona afloran rocas metamórficas del proterozoico tardío al paleozoico y rocas sedimentarias del Cretáceo inferior pertenecientes a la Cuenca de Maracaibo. Los Depósitos Cuaternarios se encuentran ampliamente distribuidos en la zona cubriendo estas litologías, en su mayoría son de origen denudacional, estructural como coluviones, conos de deyección; y de origen fluvial como aluviones. (Quintero, M.)

2.3.2.3.Morfo-dinámica

El casco urbano de Pamplona presenta procesos morfodinámicos que modifican el paisaje y el relieve como la Erosión y los Fenómenos de Remoción en Masa; estos procesos geodinámicas deben ser estudiados y controlados por que causan efectos irreversibles en la morfología del paisaje y generan zonas vulnerables a amenazas dentro del casco urbano de Pamplona. En el área de influencia del casco urbano de Pamplona se presentan los diferentes grados de erosión los cuales se describen a continuación:

- **Erosión Laminar:** Este tipo de erosión se presenta en las partes altas de las lomas y cerros que bordean al casco urbano, producto de la de deforestación y uso inadecuado de los suelos en alta pendiente. Este tipo de erosión se presenta en las zonas con pendientes muy pronunciadas (31-70 %) a escarpadas (>70%).
- **Erosión en Surcos:** Este tipo de erosión se localiza en las laderas, lomas y cuchillas que bordean el valle del río Pamplonita. El desarrollo de urbanismo sin infraestructura de servicios públicos acelera los procesos erosivos en surcos. En los Barrios Santa Marta, Las Margaritas, Galán y el Humilladero se observa este fenómeno en los patios de las casas y calles destapadas. En el barrio Cariongo, Los Alpes y parte del Zulia.
- **Erosión en Cárcavas:** Este tipo de erosión avanzada se encuentra localizada en la parte alta del cerro Cristo Rey, bordeando La urbanización Villa Cristina, producto de las aguas de escorrentía y actividades mineras de extracción de arenas. El barrio el Zulia presenta una erosión en cárcavas, como resultado del uso inadecuado del suelo, desarrollo de cultivos en zonas de alta pendiente y procesos de tipo antrópico que aceleran el proceso de degradación. En el barrio Chichirá se presenta este fenómeno por aguas de escorrentía que labran cañadas en época de lluvias. (Quintero, M.)

- **Fenómeno de Remoción en Masa:** Constituye un proceso morfodinámico destructivo que genera, riesgo al casco urbano de Pamplona, causando pérdida de vidas humanas y económicas. Dentro de la clasificación de los Fenómenos de Remoción en Masa en el casco urbano de Pamplona se presentan los siguientes:
 - **Deslizamientos:** Este tipo de fenómeno se presenta en el casco urbano en el sector el buque, o puente Angosto como un deslizamiento de tipo rotacional múltiple, sobre depósitos de ladera que afecto un grupo de viviendas, actualmente, se encuentra estabilizado.

En el barrio Chichirá se presentaron, deslizamiento que afectaron varias viviendas, actualmente no presenta evidencias de reactivación producto de factores geológicos y antrópicos por cortes en ladera y cambios la dirección del agua de escorrentía.

En el Barrio Santa Marta este tipo de fenómenos es común, producto de procesos antrópicos como la modificación de la topografía mediante cortes produce la activación de deslizamientos. Los cortes realizados al talud para construcción y el trazado de vías dentro de estos barrios producen cambios sustanciales como son la concentración de esfuerzos los cuales se ven reflejados en pequeños deslizamiento que han taponado las vías y han destruidos casas para lo cual se han construidos numerosos muros de contención. (Quintero, M.)

En el barrio el progreso se ha presentado deslizamientos producto de la colocación de rellenos directamente sobre taludes con fuerte pendiente, sin compactación y en un área donde se presenta nacimiento de agua, factor que acelera este tipo de fenómenos.

En el barrio jurado se presenta este tipo de fenómenos producto de procesos antrópicos, como cortes en talud para construcción de viviendas y la vía de la carrera primera. En este barrio ya varias viviendas han sido destruidas por este tipo de fenómenos.

- **Reptación:** Este fenómeno de remoción en masa, produce daños a largo plazo en infraestructura vial, viviendas, dentro del casco urbano y la zona de expansión. La reptación se presenta en los alrededores de la Universidad de Pamplona, con escarpes que llegan a dos metros de altura. Suelen ser la primera etapa de deslizamientos.
- **Flujos Terrosos:** Son movimientos relativos rápidos de partículas o bloques pequeños dentro de una masa que se mueve o desliza sobre una superficie de falla. Este tipo de movimientos ocurre con mucha frecuencia en áreas de alta montaña y poca vegetación como en los barrios Santa Marta y en la mayoría de las zonas de alta pendiente, no cartografiados por su tamaño.
- **Amenaza por Sismicidad:** Teniendo en cuenta que gran parte del territorio del departamento de Norte de Santander se encuentra en una zona de alta Sismicidad. Se hizo una zonificación basada en un mapa dividiendo el departamento en tres zonas de Amenaza sísmica: alta, intermedia y baja, donde el municipio de Pamplona se ubica en una zona de Amenaza Sísmica alta, con intensidad histórica según la escala de Mercalli de X y profundidades de menores de 70 km. La Cabecera municipal debido a su ubicación dentro de un depósito de origen fluvio-lacustre y cercano a fallas geológicas a través de las cuales las ondas sísmicas se transmiten con más facilidad, resulta una Amenaza para la infraestructura de las viviendas las cuales en su mayoría son construidas en tapia pisada.
(Quintero, M.)

2.4. MARCO LEGAL

2.4.1. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR – 10, Título A (Requisitos Generales de Diseño y Construcción Sismo Resistente).

De acuerdo al numeral A.3.9 (Uso de elementos disipadores de energía) de la Norma Sismo Resistente se encuentran diferentes ítems que hacen referencia al uso de estos:

A.3.9.1 – Se permite el empleo de elementos disipadores de energía, siempre y cuando se cumplan en su totalidad los requisitos al respecto de uno de los dos documentos siguientes:

(a) “NEHRP Recommended Provisions for Seismic Regulations for New Buildings – Provisions and Commentary”, 2003 Edition, Federal Emergency Management Agency, FEMA 450, Building Seismic Safety Council, National Institute of Buildings Sciences, Washington, D.C., USA, 2004.

(b) “Minimum Design Loads for Building and Other Structures”, ASCE/SEI 7 -05, Structural Engineering Institute of the American Society of Civil Engineers, Reston, Virginia, USA, 2006.

A.3.9.2 – En el diseño y construcción de estructuras que tengan elementos disipadores de energía, se deben cumplir los requisitos de los Artículos 10 y 11 de la ley 400 de 1997, asumiendo el diseñador y el constructor las responsabilidades que allí se indican.

A.3.9.3 – La construcción de una edificación que utilice elementos disipadores de energía debe someterse a una supervisión técnica permanente, como la describe el Título I. (NSR-10, Título A)

2.4.2. Ley 400 de 1997 (Por la cual se adoptan normas sobre Construcciones Sismo Resistentes)

Teniendo en cuenta las recomendaciones de la Norma Sismo Resistente NSR- 10 en el ítem A.3.9.2 se debe cumplir con los siguientes artículos:

Artículo 10. Métodos Alternos de Análisis y Diseño. Se permite el uso de métodos de análisis y diseño estructural diferente a los prescritos por esta ley y sus reglamentos siempre y cuando el diseñador estructural presente evidencia que demuestre que la alternativa propuesta cumple con sus propósitos en cuanto a seguridad, durabilidad y resistencia especialmente sísmica, y además se sujete a uno de los procedimientos siguientes:

1. Presentar con los documentos necesarios para la obtención de la licencia de construcción de la edificación, la evidencia demostrativa y un memorial en el cual inequívocamente acepta la responsabilidad sobre las metodologías de análisis y diseño alternas, o
2. Obtener una autorización previa de la “Comisión Asesora Permanente para el Régimen de Construcciones Sismo Resistentes”, de acuerdo con lo dispuesto en el Artículo 14, que le permita su utilización, sujeto al régimen de responsabilidades establecido en la presente Ley y sus reglamentos.

Artículo 11. Métodos Alternos de Construcción. Se permite el uso de métodos alternos de construcción y de materiales cubiertos, pero cuya metodología constructiva sea diferente a la prescrita por estos, siempre y cuando el diseñador estructural y el constructor presenten, en conjunto, un memorial en el cual inequívocamente acepten las responsabilidades que se derivan de la metodología alterna de construcción. (Ley 400 de 1997)

3. DISIPADORES METÁLICOS TIPO ADAS

3.1. Dispositivo ADAS

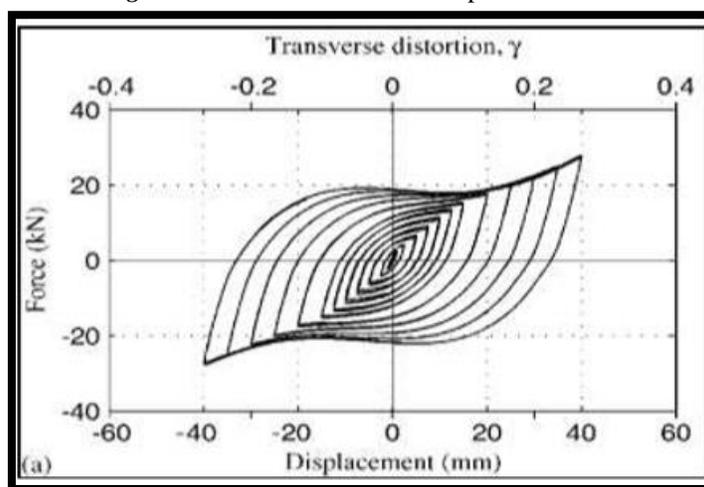
Este dispositivo disipador de energía de tipo pasivo denominado ADAS cuyo nombre proviene de "added damping and stiffness", es desarrollado conjuntamente por Bechtel Power Co. y Counterquake Corporation. Este consiste de múltiples placas de acero dulce en forma de X combinadas en paralelo entre los topes rígidos (como si fueran sujeta libros y las placas fueran los libros). (Avilés, R. 2001)

La aplicación a casos reales ha consistido en refaccionar con dispositivos ADAS, edificios que han sufrido daño tanto estructural como no estructural después de terremotos, para de esta forma reducir la respuesta sísmica. En la mayoría de los casos, normalmente se encuentra dificultades en la implementación física de los refuerzos requeridos o en el fortalecimiento de los miembros estructurales, que involucran algunas demoliciones locales, reemplazo de materiales, terminaciones y operaciones de construcción delicadas. Este tipo de operaciones son importantes cuando son ejecutadas mientras el edificio está en operación, causando disconformidad a sus ocupantes y alterando sus funciones. La implementación de dispositivos ADAS, ha sido apropiada para solucionar este tipo de inconvenientes. (Avilés, R. 2001)

Un ejemplo de ello, es el primer edificio en los Estados Unidos en incorporar un dispositivo con amortiguamiento suplementario para reducir la respuesta sísmica. Los elementos ADAS fueron usados para refaccionar una estructura de hormigón armado de 2 pisos en el centro de la ciudad de San Francisco, California después de que sufriera daño estructural y no estructural moderado en el sismo de Loma Prieta de 1989. El edificio de 1300 m² construido en 1967 está

compuesto de dos pisos y un entresuelo (piso bajo levantado más de un metro sobre el nivel de la calle), todo construido en la parte superior de un garaje de estacionamiento subterráneo que ocupa una cuadra completa. Las dimensiones en planta del edificio son de 24.7 m por 24.7 m. Como estrategia de refaccionamiento se establecieron primeramente varios objetivos de diseño, estos incluyen: limitar las fuerzas laterales en el edificio durante el sismo de diseño, así como no sobrecargar las fundaciones existentes; y, limitar las máximas deflexiones del techo durante el sismo de diseño, aproximadamente a las deflexiones experimentadas durante el sismo de Loma Prieta. Para ello, varias alternativas para la refacción del edificio fueron investigadas, escogiéndose una solución innovadora, que tiene un costo adecuado, una menor intrusión en el garaje de estacionamiento subterráneo y una menor molestia a los usuarios del edificio. La solución elegida incluyó la incorporación de dispositivos ADAS, montados en la parte superior de la armazón del arriostramiento en forma de V invertida y colocada alrededor del perímetro del edificio. Tres y cuatro dispositivos de disipación de energía fueron adheridos en el 1er y 2do piso respectivamente. (Avilés, R. 2001)

Figura 22: Curva de histéresis dispositivo ADAS

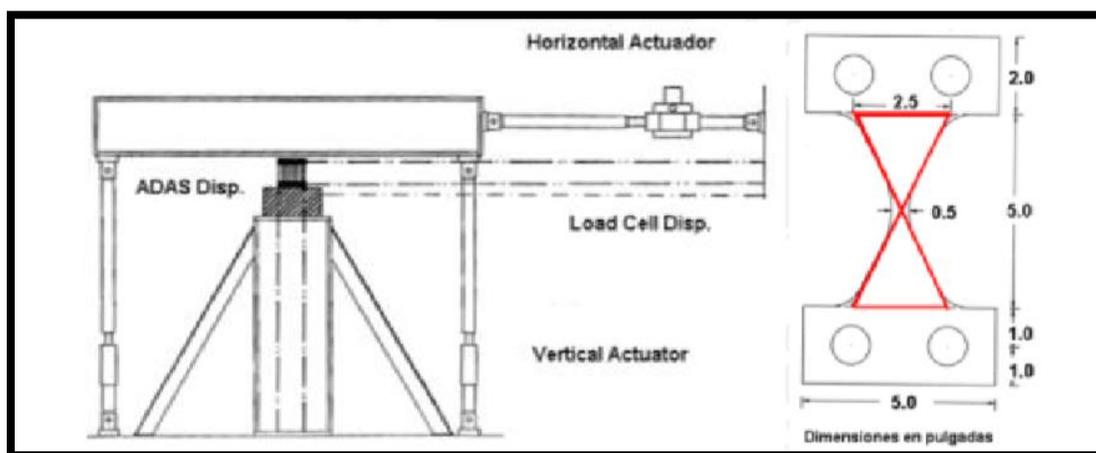


Fuente: Gatica, V. 2012

3.2. Características mecánicas básicas de disipadores ADAS

Debido a la forma de sus placas X (reloj de arena) de los disipadores tipo ADAS, conducen a una deformación uniforme en toda su sección lo cual le da una excelente resistencia y capacidad de deformación ante cargas cíclicas. Uno de los ensayos más extensos para determinar tanto las propiedades del elemento como el comportamiento dinámico fueron realizados por Alonso (1989) y Whittaker et al. (1989), tal como se muestra en la Figura 19. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 23: Ensayo de carga lateral cíclica de dispositivo ADAS

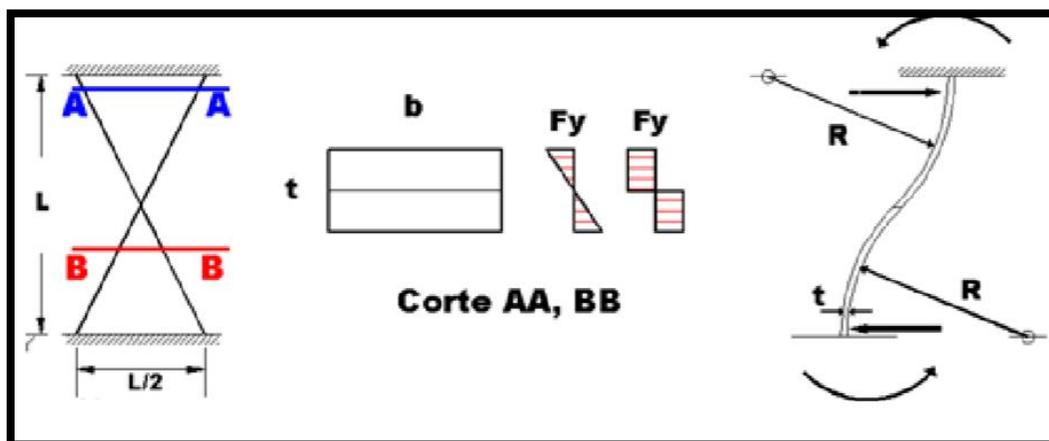


Fuente: Segovia, (2016)

Los resultados de los ensayos mostraron un buen comportamiento ante cargas cíclicas soportando grandes deformaciones sin pérdida de resistencia (Figura 21b). Los disipadores ADAS cuando están en condiciones de empotramiento perfecto y al sufrir un desplazamiento lateral (con secciones simétricas), tal como se muestra en la Figura 20 se deforma en doble curvatura con radios iguales “R” produciendo esfuerzos iguales en cada sección del disipador (esfuerzos en A-A es igual en B-B). La característica de esfuerzos iguales en cada sección es muy importante porque

garantiza una plastificación uniforme en toda la longitud del disipador evitando fallas locales. (Segovia, J.C. 2016)

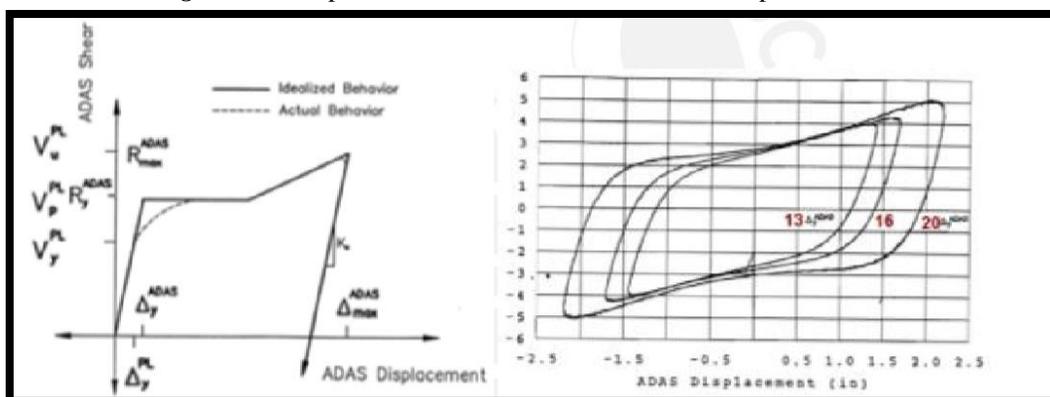
Figura 24: Deformación y esfuerzo en disipadores ADAS



Fuente: Segovia, (2016)

Para poder obtener los valores característicos del disipador, la curva experimental de fuerza-deformación fue idealizada (Alonso, 1989) en donde se definieron los siguientes parámetros: deformación de fluencia y plastificación $\Delta_y^{PL}, \Delta_y^{ADAS}$; la resistencia elástica y plástica V_y^{PL}, V_P^{PL} (figura 21a). (Segovia, J.C. 2016)

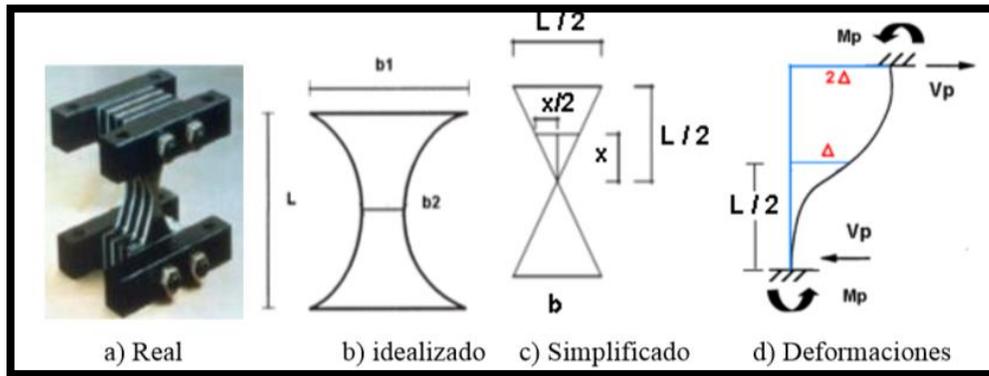
Figura 25: comportamiento fuerza – deformación de dispositivo ADAS



Fuente: Segovia, (2016)

Para la determinación de los valores característicos la geometría de las placas del disipador se pueden idealizar y simplificar (Figura 22), tal como lo propusieron (Alonso, 1989) y (Whittaker et al., 1989). (Segovia, J.C. 2016)

Figura 26: Caracterización de la geometría del disipador ADAS



Fuente: Segovia, (2016)

La deformación de fluencia y plástica se puede calcular por la integración doble del promedio plástico de la curvatura, siendo $M_{px}(z)$ el momento plástico y $I_x(z)$ el momento de inercia:

$$\Delta_{y}^{ADAS} = \iint \frac{M_{PX}(z) dx dz}{E I_x(z)} \quad (\text{Ecu. 1})$$

Donde:

$$M_{PX}(z) = \sigma_y \cdot Z_x = \frac{\sigma \cdot y \cdot b(z) \cdot t^2}{4}$$

$$I_x(z) = \frac{b \cdot z \cdot t^3}{12}$$

El desplazamiento de fluencia Δ_y^{ADAS} de acuerdo a lo indicado por (Tena, 1993) es:

$$\Delta_y^{ADAS} = \frac{3 \cdot \sigma \cdot y \cdot I^2}{4 \cdot E \cdot t} \quad (\text{Ecu. 2})$$

La ecuación (2) para el modelo simplificado se puede calcular aprovechando la simetría de la sección para una placa (Figura 22c). La deformación “ Δ ” puede calcularse por diferentes métodos como la viga conjugada o área de momentos, utilizando este último, asumiendo una distribución uniforme de esfuerzos en todas las secciones de las placas del disipador (Scholl, R, 1988) y tomando el valor de la base como la mitad de la altura (Alonso, 1989). (Segovia, J.C. 2016)

$$\Delta = \int_0^{\frac{L}{2}} \frac{M_{PX}}{EI(x)} \cdot \partial x \quad (\text{Ecu. 3})$$

Donde:

$$M_p = \frac{\sigma \cdot y \cdot x \cdot t^2}{4} \quad \text{Y} \quad I_{(x)} = \frac{x t^3}{12}$$

t = es el espesor de placa.

El desplazamiento “ Δ ” está dado por:

$$\Delta = \frac{3 \cdot \sigma \cdot y \cdot I^2}{8 E t}$$

Finalmente se logra la misma expresión que la ecuación (2):

$$\Delta_y^{ADAS} = 2\Delta = \frac{3 \cdot \sigma \cdot y \cdot I^2}{4 E t}$$

La fuerza V_{pi} para cada placa, se calcula a partir del equilibrio de momentos en los extremos (Figura 4.d). Para varias placas simplemente se multiplica V_{pi} por el número de placas “n”.

$$V_p = V_P^{PI} = \frac{2.M_p.n}{I} = \frac{\sigma.y.b.t^2.n}{2I} \quad (\text{Ecu. 4})$$

De manera similar se puede encontrar la fuerza de fluencia elástica Δ_y^{PI} considerando el momento elástico como:

$$M_e = \sigma.y.S_x = \frac{\sigma.y.b.t^2}{6}$$

Aplicando el método de área de momentos se obtiene la deformación elástica.

$$\Delta_y^{PL} = \frac{\sigma.y.I^2}{2Et} \quad (\text{Ecu. 5})$$

La fuerza de fluencia aplicando el equilibrio resulta:

$$V_y^{PI} = \frac{2.M.e.n}{I} = \frac{\sigma.y.b.t^2.n}{3I} \quad (\text{Ecu. 6})$$

3.3. Modelos de comportamiento histerético de disipadores ADAS

Los modelos histeréticos son ecuaciones que representan en forma aproximada las relaciones de carga y descarga vs desplazamiento de un elemento analizado la figura 25b. Existen modelos simples y complejos, a continuación se describen los principales. (Segovia, J.C. 2016)

3.2.1 Modelo de Ramberg-Osgood

Este modelo fue desarrollado por (Ramberg and Osgood, 1943) para representar los ciclos de histéresis materiales dúctiles, logrando representar el efecto de Bauschinger sin pérdida de rigidez. El modelo consiste en una curva esqueleto (Ecu. 7) y una familia de curvas (Ecu. 8) y fueron utilizados por primera vez por Jennings (1964). (Segovia, J.C. 2016)

$$\frac{d}{d_y} = \frac{F}{F_y} \left(1 + \alpha \left| \frac{F}{F_y} \right|^{n-1} \right) \quad (\text{Ecu.7})$$

$$\frac{d-d_0}{2d_y} = \frac{F-F_0}{2F_y} \left(1 + \alpha \left| \frac{F-F_0}{2F_y} \right|^{n-1} \right) \quad (\text{Ecu. 8})$$

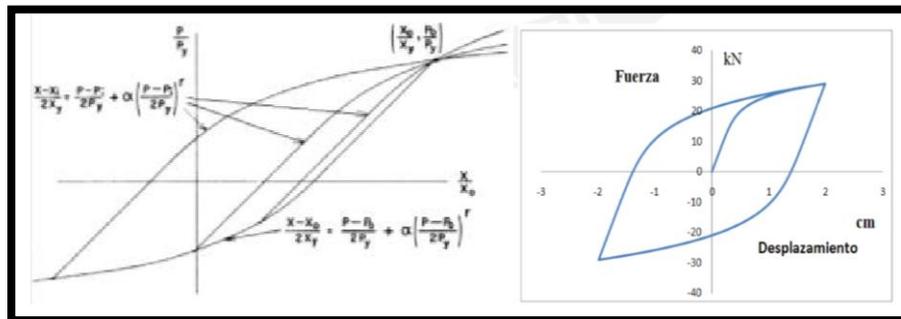
Donde:

F_y : Fuerza de fluencia.

d_y : Desplazamiento de fluencia.

α , n : Coeficientes.

Figura 27: Modelo de Ramberg-Osgood



a) Familia de curvas Jennings (1964). b) experimental $F_y= 25\text{kN}$, $d_y=0.5\text{cm}$, $\alpha=1$, $n=7$.

Fuente: Segovia, J.C. (2016)

Para la modelación de dispositivos ADAS con el modelo de Ramberg-Osgood, se obtuvieron valores de $\alpha=1$ y $n=7$ (Sun and Hanson, 1990). (Segovia, J.C. 2016)

3.2.2 Modelo de Bouc-wen

Se compone de una fuerza restauradora (cuya variable es el desplazamiento) y z (variable a dimensional).

$$f_r = \alpha k_1 \alpha + (1 - \alpha) f_y \cdot z \quad (\text{Ecu. 9})$$

Donde:

$$\dot{z} = A\dot{x} - \beta z |\dot{x}| |z|^{n-1} - \gamma \dot{x} |z|^n \quad (\text{Ecu. 10})$$

A =factor de escala general.

α =Razón de proporcionalidad entre fuerza lineal/fuerza no lineal.

β, γ =coeficientes de ajuste de la curva.

N =coeficiente que regula la suavidad de transición entre la región lineal y no lineal.

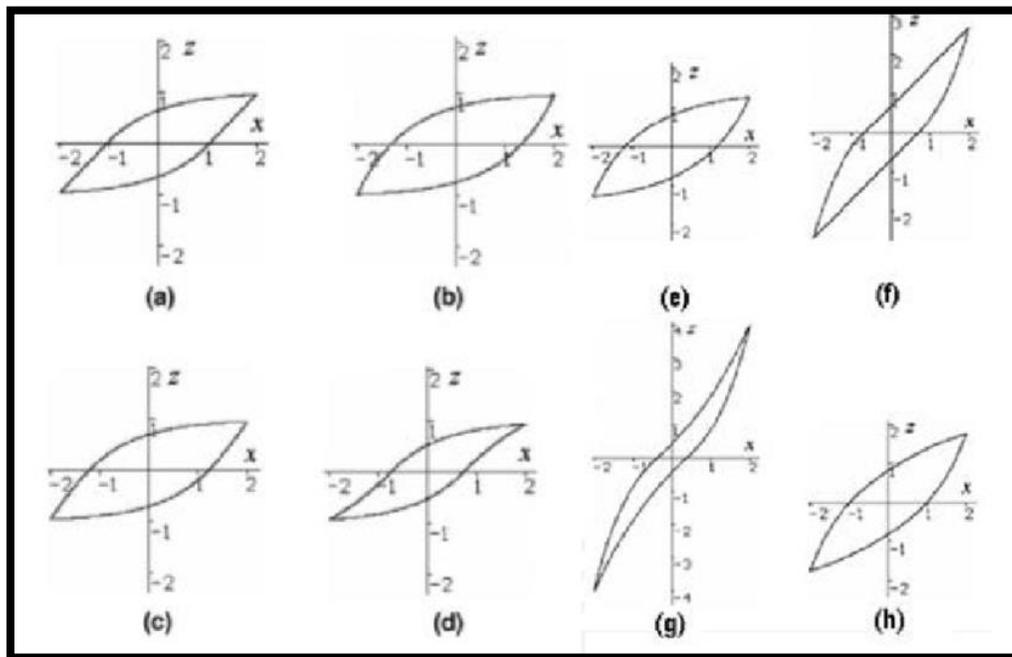
La ecuación diferencial que gobierna el movimiento para sistema de un grado de libertad (SDOF) dada por (Dobson et al., 1997) es. (Segovia, J.C. 2016)

$$\ddot{x} + 2\zeta\omega\dot{x} + \gamma\omega^2x + (1 - \gamma)\omega^2z = u(t) \quad (\text{Ecu. 11})$$

El modelo de Bouc-wen puede representar distintos tipos de curvas constitutivas y por lo tanto gran variedad de dispositivos (Dobson et al., 1997) Figura 24. (Segovia, J.C. 2016)

La dificultad de este modelo es tener una ecuación diferencial lo cual requiere métodos numéricos como el de Runge-Kutte, este modelo es muy potente y adecuado para el comportamiento de diferentes disipadores metálicos. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 28: Lazos de histéresis generados por modelo Bouc–Wen. (a) $\alpha = 0.5$, $\beta = 0.5$; (b) $\alpha = 1.0$, $\beta = 0.0$; (c) $\alpha = 0.75$, $\beta = 0.25$; (d) $\alpha = 0.25$, $\beta = 0.75$; (e) $\alpha = 0.85$, $\beta = -0.15$; (f) $\alpha = 0.5$, $\beta = -0.5$; (g) $\alpha = 0.3$, $\beta = -0.7$; (h) $\alpha = 0.7$, $\beta = -0.3$. (Dobson et al.



Fuente: Segovia, J.C (2016)

3.2.3 Modelo Bilineal

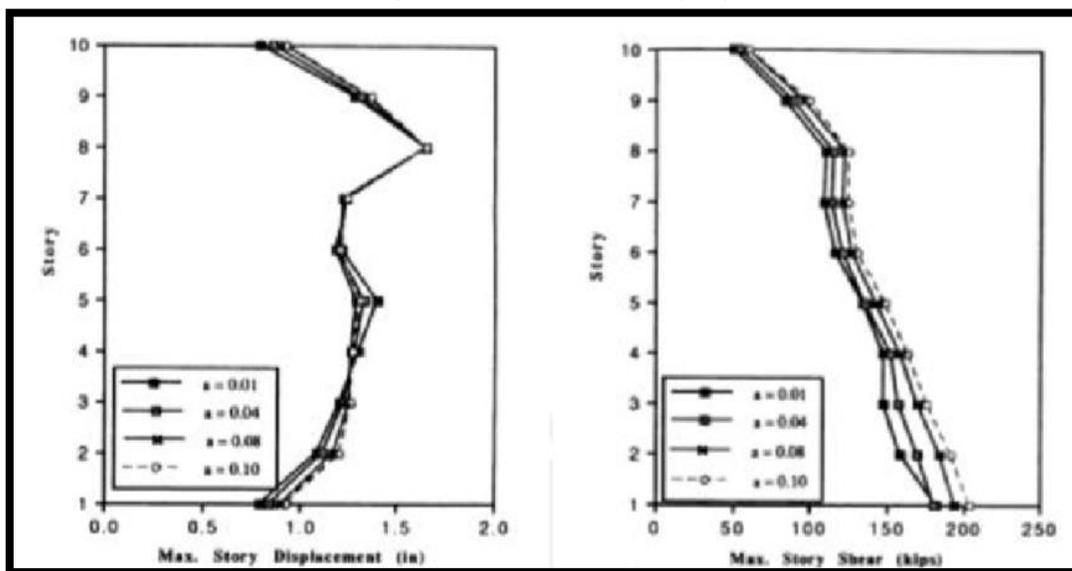
Es un modelo sencillo, consta de dos rigideces K_h , K_b (Figura 26a) este modelo representa muy bien el comportamiento cíclico de materiales dúctiles (acero, cobre principalmente) pero en zonas de transición (encuentro de K_d y K_b) aproxima a relaciones lineales cuando debería ser curvas. (Segovia, J.C. 2016)

Para determinar las características del modelo se necesita conocer los valores de fuerza, deformación de fluencia; deformación máxima y K_h . La fuerza de fluencia es $V_p = V_p^{PL}$, la deformación de fluencia es Δ_y^{ADAS} que fueron expuestos en la sección anterior. (Segovia, J.C. 2016)

La deformación máxima Δ_{max} se puede tomar como $14 \Delta_y^{ADAS}$ y K_h (hardening) igual a $0.075K_d$ a partir de $6 \Delta_y^{ADAS}$ según (Whittaker et al., 1989), (Su and Hanson, 1990) demostró que el valor de K_h no afecta significativamente la respuesta inelástica. (Segovia, J.C. 2016)

(Xia C. et al., (1990) analizo dos pórticos de acero de 10 niveles de tramo simple donde denomino $a=K_h/K_d$, demostró que los desplazamientos y fuerzas tienen poca variación para valores de “a” de 0.01 hasta 0.10. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 29: Variación de K_h (“a”)

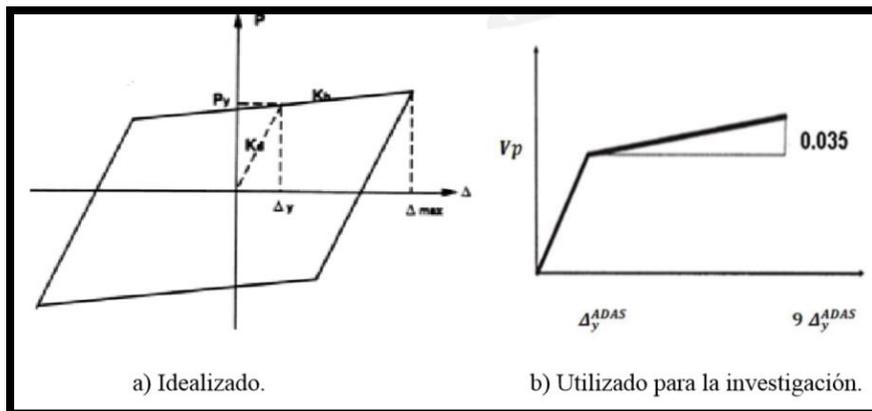


a) Desplazamiento por nivel. b) Fuerza por nivel

Fuente: Segovia, J.C (2016)

Para el modelo bilineal, en la presente investigación se tomara como deformación máxima igual a $9 \Delta_y^{ADAS}$ y $K_h=0.035K_d$ (Figura 26b), estos valores fueron comprobados en el ejemplo de (Whittaker et al., 1989) obteniéndose valores similares a los experimentales. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 30: Modelo Bilineal para dispositivos ADAS

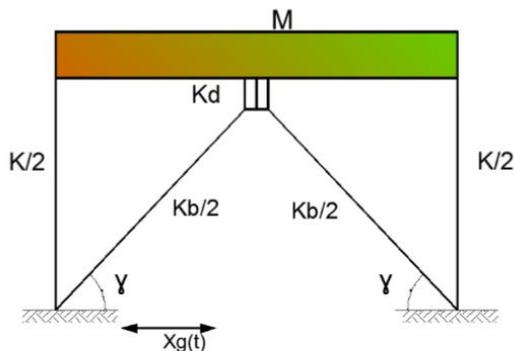


Fuente: Segovia, J.C. (2016)

3.3 Factores de influencia en el comportamiento de disipadores ADAS

En la respuesta de estructuras (tipo pórticos) con disipadores ADAS se han encontrado cuatro parámetros importantes que se debe de tener en cuenta para lograr un eficiente y correcto comportamiento del sistema.

Figura 31: Sistema pórtico simple y disipador ADAS



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

3.3.1 Soporte de los disipadores ADAS

La estructura donde se soportan los dispositivos ADAS debe permanecer elásticamente tanto en compresión (evitar el pandeo) y en tracción, generalmente se utiliza el sistema Chevron. Las fuerzas para cada barra serán:

$$\begin{pmatrix} F1_x \\ F1_y \end{pmatrix} = K \begin{bmatrix} (\cos \gamma)^2 & \cos \gamma \sin \gamma \\ \cos \gamma \sin \gamma & (\sin \gamma)^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \delta y \\ \delta x \end{pmatrix} \quad \text{(Ecu. 12)}$$

$$\begin{pmatrix} F2_x \\ F2_y \end{pmatrix} = K \begin{bmatrix} (\cos \gamma)^2 & -\cos \gamma \sin \gamma \\ -\cos \gamma \sin \gamma & (\sin \gamma)^2 \end{bmatrix} \begin{pmatrix} \delta y \\ \delta x \end{pmatrix} \quad \text{(Ecu. 13)}$$

Donde:

γ : Angulo del soporte con la columna vertical.

K: EI/A rigidez de una barra simple.

La fuerza horizontal total F_x está dada por la suma de $F1_x$ más $F2_x$.

$$F_x = 2\partial_x k (\cos \gamma)^2 \quad \text{(Ecu. 14)}$$

La rigidez horizontal está dada por:

$$K_b = \frac{F_x}{\partial_x} = \frac{2EA(\cos \gamma)^2}{L} \quad \text{(Ecu. 15)}$$

Para que los elementos de los soportes tengan una adecuada resistencia, (Su and Hanson, 1990) recomienda que la resistencia en fluencia de los soportes debe ser igual a dos veces el valor de la

fuerza del disipador ($F_x = 2V_p$). Asumiendo que el esfuerzo de fluencia en el soporte es σ_y , entonces la resistencia horizontal de los soportes es:

$$FX_y = 2(\sigma_y A \cos \gamma) \quad (\text{Ecu. 16})$$

El área mínima será:

$$A_{min} = \frac{V_p}{\sigma_y \cos \gamma} \quad (\text{Ecu. 17})$$

Finalmente la rigidez mínima del soporte será:

$$K_{bmin} = \frac{2V_p E \cos \gamma}{\sigma_y L} \quad (\text{Ecu. 18})$$

3.3.2 Rigidez elástica del elemento ADAS

La rigidez en conjunto (K_a) del soporte (K_b) y del dispositivo ADAS (K_d) están en serie y su valor es:

$$K_a = \frac{K_b K_d}{K_b + K_d} \quad (\text{Ecu. 19})$$

La relación de K_b/K_d denominada B/D, reescribiendo la ecuación anterior.

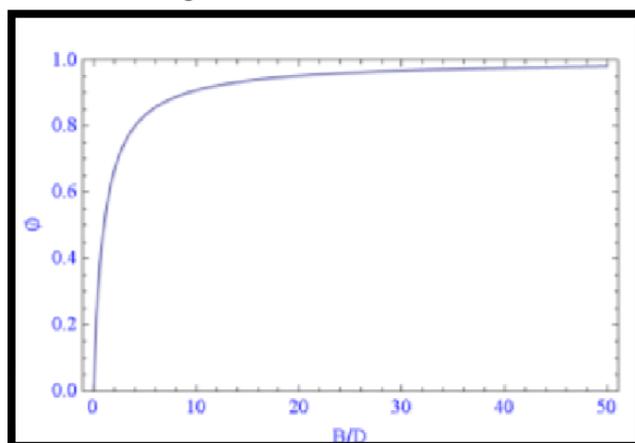
$$K_a = \phi K_d$$

Donde:

$$\phi = \frac{1}{1 + \frac{1}{B/D}} \quad (\text{Ecu. 20})$$

El factor Φ se incrementa rápidamente para relaciones $B/D = 5$, lo cual indica que no es eficiente ni económico tener relaciones mayores a 5, además cuando el disipador entra al rango no lineal esta relación se incrementa mucho más. (Segovia, J.C. 2016)

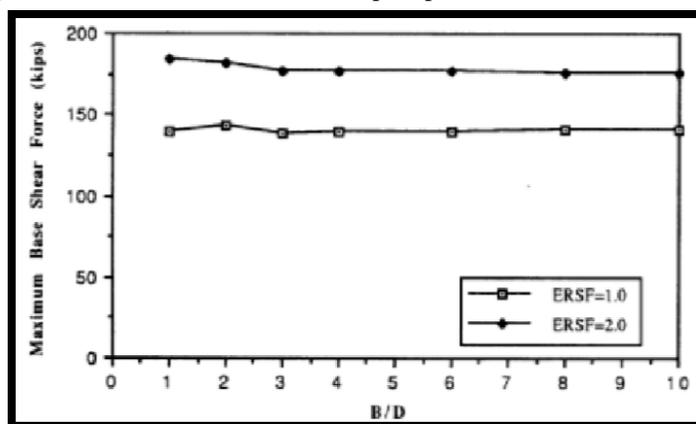
Figura 32: Relación de Φ - B/D



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

(Xia C. et al., 1990) recomienda una relación de $B/D=2$, además observó que esta relación tiene poca influencia en la respuesta no lineal de sistemas aporticados (Figura 29) donde ERSF de 1 y 2 son el factor de escala para la señal del Centro 1943. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 33: Relación de fuerza - B/D, para pórtico de 10 niveles con SR=2

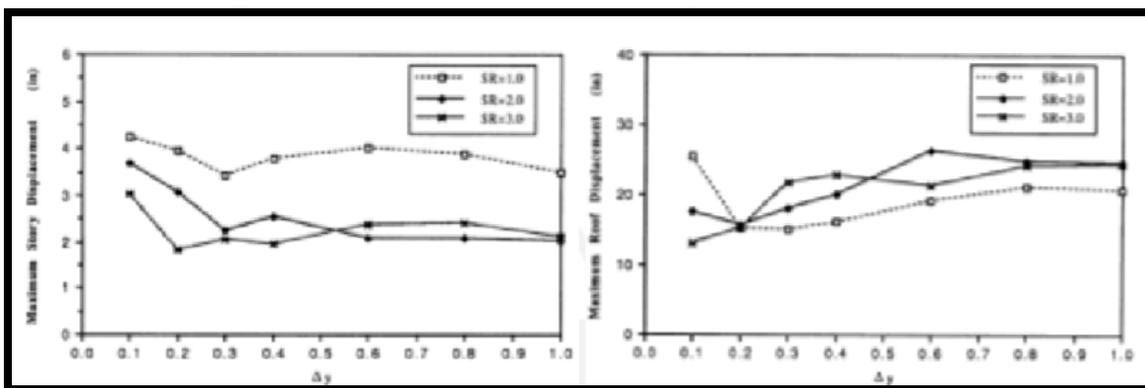


Fuente: Segovia, J.C. (2016)

3.3.3 Relación SR

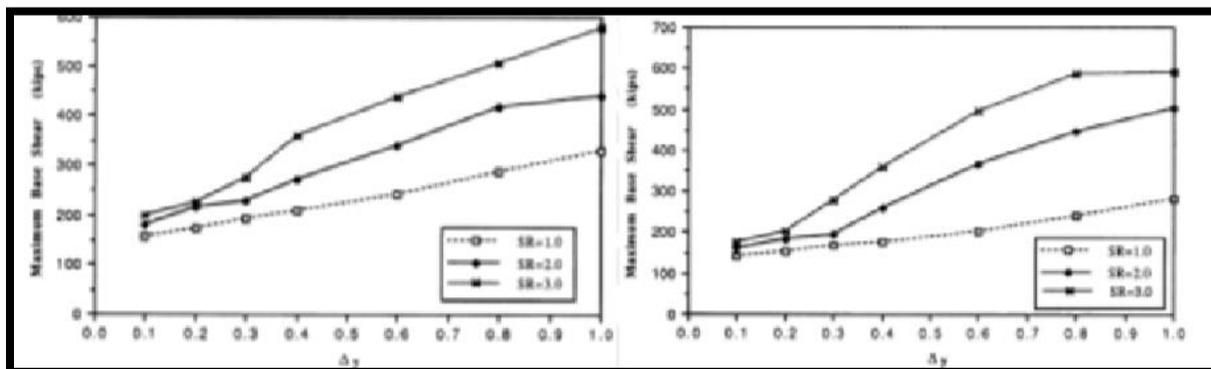
Se define relación $SR=K_a/K_s$, donde K_s es la rigidez del pórtico sin el dissipador, (Xia C. at el., 1990) verifico que valores de $SR = 1, 2,3$ reducen los desplazamientos laterales (Figura 30) pero de acuerdo a las características de cada sismo y aumentan los valores de fuerzas cortantes de entrepiso (Figura 31) donde Δy es la fluencia del dissipador. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 34: Desplazamientos máximos - Δy , para pórtico de 10 niveles



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

Figura 35: Relación de fuerza en la base - Δy , para pórtico de 10 niveles.



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

Se recomienda valores de SR entre 2 y 3 para tener una buena capacidad de reducción de desplazamientos, pero también recordar que influye mucho las características del sismo. (Segovia, J.C. 2016)

3.3.4 Amortiguamiento viscoso equivalente

El amortiguamiento viscoso equivalente por definición (Chopra, 1995) es:

$$\beta = \frac{W_D}{4\pi W_S} \quad (\text{Ecu. 21})$$

Donde W_D es la energía histerética disipada, igual al área bajo la curva de histéresis para un ciclo; para el modelo bilineal (Figura 326a) está dada por.

$$W_D = 4P_y\Delta_y(\Delta_{max} - \Delta_y) \quad (\text{Ecu. 22})$$

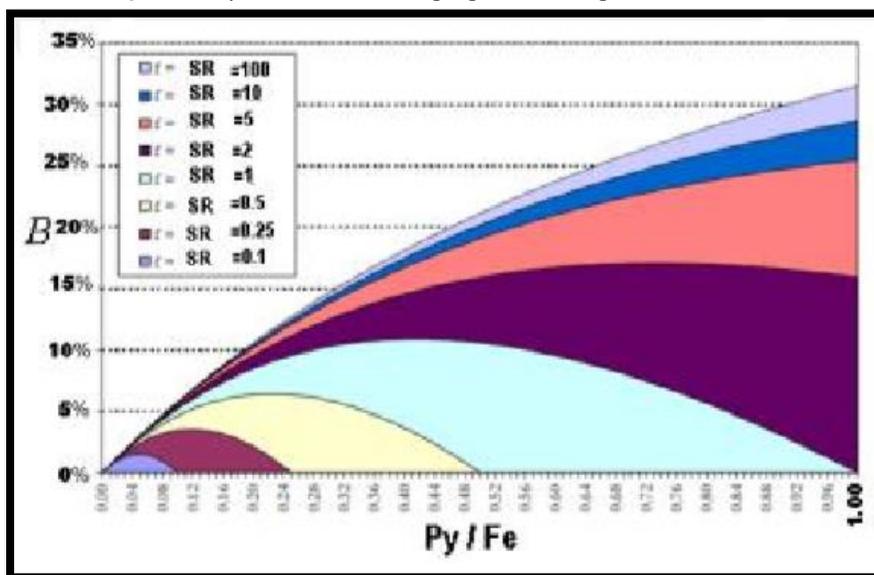
La energía de deformación W_S es:

$$W_S = \frac{1}{2}(K_s\Delta_{max} + K_s\Delta_y) \quad (\text{Ecu. 23})$$

$$\beta = \frac{2\frac{P_y}{F_e}\left(1 - \frac{P_y K_a}{F_e K_s}\right)}{\pi\left(1 + \frac{P_y}{F_e}\right)} \quad (\text{Ecu. 24})$$

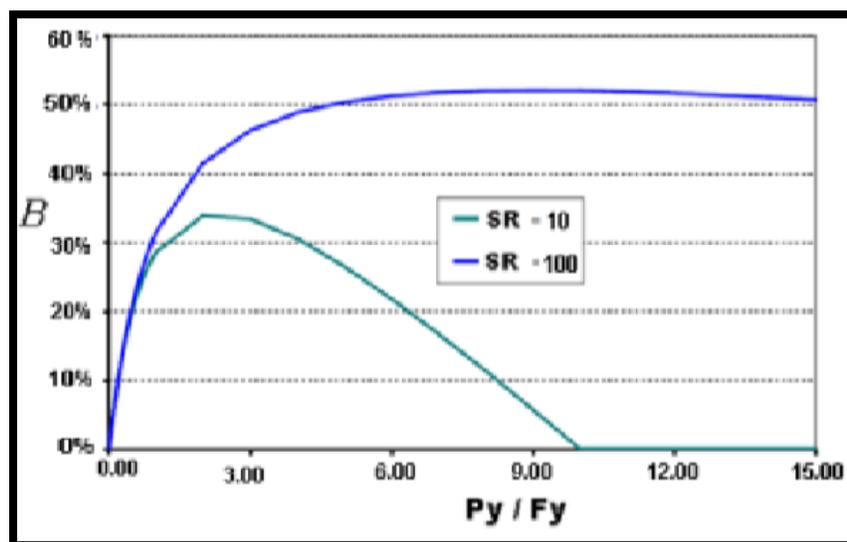
Sabiendo que $SR=K_a/K_s$, donde F_e es la fuerza elástica en la estructura (sin el disipador) una gráfica de β en función de SR y P_y/F_e Figura 32 adaptado de (Kelly, 2001) se puede observar que para un $SR=2$ el amortiguamiento es aproximadamente de 15% y vemos que en casos imprácticos llegara al 35% a 50% donde la fuerza del disipador (P_y) es mucho mayor a la de la estructura (F_e) Figura 33. (Segovia, J.C. 2016)

Figura 36: β como función de propiedades de pórtico estructural.



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

Figura 37: β como función de propiedades de disipador muy rígido



Fuente: Segovia, J.C. (2016)

3.3.5. Ventajas de los disipadores metálicos tipo ADAS

- La ventaja principal de la placa en forma de X es que cuando es deformada, la deformación de esta es uniforme sobre su altura y por consiguiente, cuando es deformada dentro de su

rango plástico, la fluencia sería uniformemente distribuida sobre la altura de la placa. La placa en forma de X es el resultado de la evolución de un dispositivo de placa triangular desarrollado en Nueva Zelanda, siendo primeramente desarrollado como un soporte de tuberías y elemento de disipación de energía. La curva de histéresis del dispositivo es estable. (Avilés, R. 2001)

- La seguridad estructural es entre 50 y 100% mayor que en un edificio convencional, además se pueden utilizar tanto en edificios como en equipos industriales para el control de vibraciones. (Prezi, 2012)
- Disminuye la aceleración del edificio.
- Disminuye el desplazamiento de entrepiso.
- Disminuye las fuerzas cortantes en los elementos verticales (Columnas).
- Aumenta el amortiguamiento viscoso de la estructura (20-40%) y adquieren una baja vibración.

3.3.6. Desventajas de los disipadores metálicos tipo ADAS

Algunos tipos de disipadores pueden requerir ser reemplazados parcial o totalmente luego de sismos excepcionalmente severos. Del mismo modo, algunos tipos de disipadores, que si bien reducen las demandas en la estructura, pueden incrementar la probabilidad de que se produzcan deformaciones residuales permanentes en las estructuras. (Dossier Protección Antisísmica en altura, 2017)

Los movimientos de giro de este dispositivo son nulos ya que las placas de acero se encuentran prohibidas de movimientos en ambos extremos, para que produzcan una distribución lineal de momentos flectores, simetría y con doble curvatura. Finalmente el ancho del disipador se provee

linealmente con la distribución de momentos flectores. (Dossier Protección Antisísmica en altura, 2017)

3.3.7. Costos de los disipadores tipo ADAS

La incorporación de disipadores de energía en la estructura involucra un costo, siendo este muy importante en la toma de decisiones del uso de los disipadores y que tipo de disipadores podrían ser utilizados en un determinado proyecto. (Jara, M.B., 2015).

El análisis, diseño, selección, fabricación e instalación de los disipadores en una estructura depende de varios e importantes aspectos que incluyen:

- Aceleración sísmica
- Condiciones del terreno de fundación
- Tipo de estructura
- Periodo de vida útil de la estructura
- Objetivos de desempeño
- Cantidad de disipadores
- Ciclo de vida de los disipadores
- Capacidad requerida de los disipadores
- Reforzamiento requerido de los elementos estructurales
- Instalación y detalles constructivos

- Interrupción de la ocupación y puesta en servicio durante la construcción
- Mantenimiento requerido, inspección y costos de reemplazo

La estructura con disipadores de energía tendría un ahorro debido a que no es necesario un aumento de la sección en las columnas como alternativas de solución para rigidizar la estructura nueva. En cambio, si se rigidiza la estructura, se tendría un incremento en el costo, incluyendo concreto, acero y encofrado. La estructura con la inclusión de disipadores de energía, un disipador por nivel, tendría un costo solo de los disipadores. Esta comparación se dio en el supuesto caso de una estructura nueva, en cambio, si fuera una estructura existente y se reforzaría con la alternativa tradicional, los costos se incrementarían, pudiendo variar según las características propias de la estructura y considerando el tiempo de construcción. (Jara, M.B., 2015)

Al evaluar los costos de las estructuras con disipadores de energía se deben de tener en consideración los siguientes aspectos:

- Ahorro en elementos y placas
- Ahorro en cimentación
- Tiempo de reparación y puesta en servicio de la estructura
- Costo de reparación en elementos estructurales y acabados
- Daño en instalaciones eléctricas, sanitarias, gas natural, etc.
- Mayor seguridad por incendios post-sismo.
- Estructura nueva o existente.

Los disipadores de energía actúan de manera similar a los aisladores de base, pero reducen el costo de manera considerable. Un disipador cuesta entre \$100.000 y \$150.000, mientras que un aislador de base puede costar \$6'000.000. Como máximo, se usan alrededor de ocho disipadores por piso en un edificio en el caso de aisladores de base, se necesitan más o menos 40 para estructuras de poca altura (hasta 5 pisos). (Jara, M.B., 2015)

4. METODOLOGIA DE TRABAJO

4.1. Metodología aplicada

4.1.1. Enfoque de la investigación

Para el desarrollo de la presente tesis se emplea un enfoque cuantitativo, ya que a través de mediciones numéricas se busca cuantificar, medir y calcular las características de la inclusión de los disipadores de energía metálicos en una edificación de concreto armado; mediante la determinación de resultados numéricos se explica el procedimiento de análisis de edificaciones con este sistema, así como también la generación de tablas y gráficos permiten determinar diferencias entre edificaciones convencionales y edificaciones con disipadores de energía metálicos.

4.1.2. Tipo de investigación

El presente análisis reúne las condiciones metodológicas de una investigación descriptiva y comparativa; la primera porque se desarrolla una descripción general del marco conceptual, características, propiedades y el procedimiento de análisis de edificaciones con disipadores de energía metálicos, mientras que el segundo porque se desarrollan comparaciones entre un edificación convencional y una edificación con disipadores de energía metálicos para determinar las ventajas de su aplicación.

4.1.3. Alcance de la investigación

La presente tesis alcanza un nivel de investigación descriptiva; ya que en el desarrollo se responden las preguntas de: ¿Cómo es el análisis de una edificación con disipadores de energía metálico?, ¿Cuál es la diferencia entre una edificación convencional y una edificación con disipadores de energía metálicos?

4.1.4. Método y análisis de la investigación

Para el desarrollo de este proyecto se emplea el método descriptivo ya que se realiza una exposición narrativa, numérica y grafica lo más detallada posible de los disipadores de energía metálicos aplicados a edificaciones. Así mismo la modalidad empleada es el estudio evaluativo de los resultados numéricos obtenidos.

4.1.5. Universo, población y muestra

Durante el desarrollo de la investigación se emplea como universo a una estructura de edificaciones, población a una edificación de concreto armado y muestra a una edificación de concreto armado de 4 pisos.

4.1.6. Técnicas de recopilación de información

Se emplea como técnica de recopilación de información la observación estructurada mediante el registro sistemático, valido y confiable de bibliografía referente al análisis de edificaciones con disipadores de energía metálico.

El acopio de la información se enfoca en las publicaciones efectuadas por instituciones públicas y privadas relacionadas con la disipación de energía. En este nivel nos enfocaremos en la obtención

de información en fuentes como libros, catálogos, monografías, revistas, tesis, internet, prensa y otros.

4.1.7. Técnicas de análisis y procesamiento de datos

Para lograr los objetivos planteados se emplean las técnicas de análisis y diseño de edificaciones trazadas en las normas colombianas e incluso códigos americanos los cuales incluyen análisis lineales y no lineales de edificaciones, así como las expresiones para el diseño estructural de los elementos que conforman la edificación.

Los resultados del comportamiento sísmico, el cálculo de las fuerzas internas en los elementos estructurales y el diseño estructural, se obtienen mediante el uso de programas de cómputo con una versión 12 y la programación de hojas de cálculo en Excel. Finalmente, el procesamiento de datos se muestra en la generación de tablas y/o gráficos mediante el programa Excel.

4.2. Procedimiento metodológico

Para el desarrollo de esta investigación una vez obtenida la información bibliográfica, se plasma una descripción del marco teórico y la metodología de aplicación, finalmente se realiza el trabajo aplicativo que consta de las siguientes etapas:

- Caracterización estructural del edificio convencional.
- Caracterización estructural del edificio con disipadores de energía metálicos.
- Modelación computacional mediante el programa SAP2000 V12.
- Análisis de la estructura convencional.
- Análisis de la estructura con disipadores de energía metálicos.

- Comparación de la respuesta sísmica entre la edificación convencional y la edificación con disipadores de energía metálicos.
- Desarrollo de las conclusiones y recomendaciones.

5. ANALISIS ESTRUCTURAL

El diseño de edificaciones debe cumplir con ciertos criterios y condiciones mínimas para que estas tengan un adecuado comportamiento y desempeño en su vida útil. En cuanto a edificaciones nuevas y a estructuras existentes deben cumplir con los lineamientos establecidos en la NSR-10 la cual rige el trabajo ingenieril en Colombia.

De acuerdo con los parámetros establecidos en la norma la mayor intención de estos lineamientos es tratar en lo posible que las estructuras no colapsen y causen el menor daño posible a la hora que se presente un evento sísmico en el lugar; además las estructuras deben ser diseñadas con la capacidad de soportar movimientos sísmicos moderados durante la vida de servicio de las edificaciones. Por otro lado, las estructuras deben soportar daños dentro de los límites aceptables, es decir; que puedan ser reparados y la menor pérdida humana posible.

5.1.Descripción y Estructura del Proyecto

5.1.1. Condiciones Generales de la edificación

En la presente investigación se realizó el análisis dinámico lineal de un edificio de concreto armado de 4 pisos, siendo utilizado como soporte informático el programa SAP2000 Versión estudiantil. Teniendo en cuenta que la edificación se encuentra ubicada en el municipio de Pamplona el cual tiene un alto grado de sismicidad es necesario mencionar que la utilización de disipadores de energía es especialmente adecuada en edificios flexibles fundados sobre cualquier tipo de suelos. Teniendo en cuenta estas características, se eligió el proyecto que se presentara a continuación.

5.1.2. Proyecto Arquitectónico

5.1.2.1. Generalidades

El edificio que se va a analizar corresponde a una estructura tradicional del municipio de Pamplona. El proyecto se encuentra ubicado en la avenida Celestino Villamizar del municipio de Pamplona-Norte de Santander con una altura de 11,2m.

5.1.2.1.1. Área del terreno

El edificio que se eligió para esta tesis posee un área de 474m² y para resaltar dicha edificación es totalmente independiente de los locales comerciales que se encuentran en toda la avenida.

5.1.2.1.2. Descripción del edificio

Datos generales

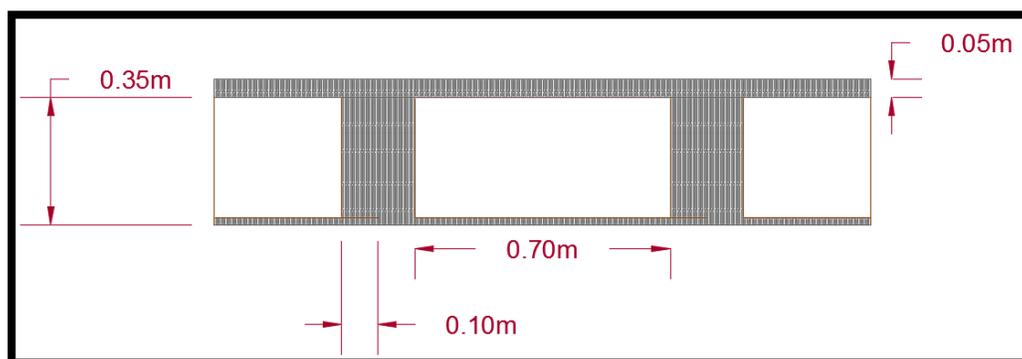
Tabla 2: Datos generales del edificio

Función	Vivienda Multifamiliar	
Ubicación	Av. Celestino Villamizar, Pamplona- N. de Santander	
Área	119 m2 por nivel	
	Altura primer nivel	3.3m
Niveles	4	Altura piso típico 2.8m

Fuente: Núñez R., 2018

- El Primer piso cuenta con sala, comedor, cocina, 2 habitaciones auxiliares, la habitación principal, 2 baños y una zona de servicios.
- El segundo y tercer piso cuentan con 4 habitaciones, sala de estar, baños.
- El cuarto piso cuenta con el patio de ropa, la azotea y el lavadero.

Figura 39: Altura de la losa=0.40m



Fuente: Núñez R., 2018

Losa Aligerada

Uso residencial: $L= 1,80\text{Kn/m}^2$

De acuerdo a la NSR-10 en el Capítulo C.9- Requisitos de resistencia y funcionamiento en la Tabla CR.9.5 hace referencia a las alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones (Ver Anexo 1), se determina que se usara la siguiente fórmula para h será:

$$h = \frac{l}{12} \quad (\text{Ecu. 25})$$

Que se utiliza para vigas o losas nervadas en una dirección.

Luego de aplicar la ecuación 25 se obtiene un resultado aproximado de 40cm de espesor al cual se le descuenta 5cm de recubrimiento que ira encima de los casetones de madera.

Columnas

Partiendo de lo establecido en la NSR-10 en el Capítulo C.8-Analisis y diseño-Consideraciones Generales en el numeral C.8.10 se habla de los parámetros con los cuales deben cumplir las

columnas al momento de ser diseñadas, las capacidades que deben tener, es decir, resistir fuerzas axiales, momentos máximos debido a cargas mayoradas, la resistencia a la flexión, etc.

Avaluó de las cargas Muerta (D) Y Viva (L) por metro cuadrado de placa de entrepiso

Carga Muerta

Tabla 4: Cargas Muertas

Carga Muerta	
Loseta superior	1,2 Kn/m ²
Loseta inferior	0,48 Kn/m ²
Vigueta	0,99 Kn/m ²
Casetón	0,3 Kn/m ²
Total=	2,97 Kn/m²

Fuente: Núñez R., 2018

El peso de los acabados y de los muros divisorios se incluye a continuación teniendo en cuenta que el peso específico del concreto reforzado es de 24Kn/m³.

Muros, Fachadas y Divisorios

- **Muros de fachada:** Se recomienda calcular los metros cuadrados de fachada en cada piso, de acuerdo con el proyecto arquitectónico. El resultado de multiplicar el área total de muros, de fachada por su peso por metro cuadrado es el peso total de estos por piso. En este análisis se concluyó del proyecto arquitectónico que existen 30m², con un peso de 2Kn/m² con lo que se obtiene un peso de muros de fachada.

$$30\text{m}^2 * 2\text{Kn}/\text{m}^2 = 60\text{Kn}/\text{piso}$$

- **Muros Divisorios:** El mismo procedimiento debe llevarse a cabo para los muros divisorios. Se cuenta con un área neta de 118m² (descontando los vacíos) y se toma un peso de muros divisorios por metro cuadrado de placa igual a 3Kn/ m².

$$118\text{m}^2 * 3\text{Kn}/\text{m}^2 = 354\text{Kn}/\text{piso}$$

La norma NSR-10 indica que la carga muerta producida por los muros divisorios, cuando estos no hacen parte del sistema estructural, debe evaluarse por cada piso y se puede considerar como carga distribuida sobre la placa. Si no se realiza un análisis detallado y debe utilizarse como mínimo 3Kn/m^2 para alturas libres de entrepiso de 2,2m para entrepisos de mayor de mayor altura deben utilizarse valores proporcionales. (Ver Anexo 2)

$$60\text{Kn/piso} + 354 \text{ Kn/piso} = 414 \text{ Kn/piso}$$

- **Acabados:** Se sabe del proyecto arquitectónico que los pisos 1, 2, 3,4, y 5 tienen acabados en Baldosa cerámica cuyo peso específico de acuerdo con el fabricante es igual a $0,80\text{Kn/m}^2$.

Al respecto de le norma NSR-10 indica que a falta de un análisis detallado debe suponerse un valor mínimo de carga par acabado igual a $1,5\text{Kn/m}^2$.

- **Vigas:** El avalúo del peso de las vigas por piso se lleva a cabo teniendo en cuenta la variación de la sección de las vigas principales, es decir aquellas que soportan la carga de las viguetas, y las vigas secundarias, paralelas a estas últimas. Las distancias empleadas en el cálculo se obtuvieron de la planta del proyecto.

Ejes literales

De acuerdo a la información obtenida de los planos arquitectónicos, las dimensiones de las vigas son $40\text{cm} \times 40\text{cm}$, la longitud de $8,2720\text{m}$ cada una y son 4 vigas.

$$W = 0,40 * 0,40 * 8,2720 * 24 * 4 = \frac{127,10\text{Kn}}{\text{piso}}$$

Ejes numéricos

De acuerdo a los datos obtenidos de los planos arquitectónicos tenemos que las vigas son de 40cmx40cm, la longitud es de 11,25m cada una y son 3 vigas.

$$W = 0,40 * 0,40 * 11,25 * 24 * 3 = \frac{130Kn}{\text{piso}}$$

- **Columnas**

Teniendo en cuenta que son 12 columnas de 0,30mx0,30m y la altura de pisos es de 2,8m se obtiene.

$$W = 0,30 * 0,30 * 2,8 * 24 * 12 = \frac{73Kn}{\text{piso}}$$

Peso de cada piso

- **Cubierta**

Placa: $2,97 * 8,2720 * 11,25 = 276,4 \text{ Kn}$

Impermeabilización: $0,10 * 8,2720 * 11,25 = 9,31 \text{ Kn}$

Vigas: $127,10 + 130 = 257,1 \text{ Kn}$

Columnas: 73 Kn

Total = $615,81 \text{ Kn}$

- **Pisos tipo 1, 2, 3, y 4**

Placa: $2,97 * 8,2720 * 11,25 = 276,4 \text{ Kn}$ (sin descontar los vacíos)

Muros: 414 Kn

Impermeabilización: $0,10 * 8,2720 * 11,25 = 9,31$ Kn (sin descontar los vacíos)

Vigas: 257,1 Kn

Columnas: 73Kn

Total = 1029,81 Kn

NOTA: $8,2720 + 11,25 =$ Área total del piso sin descontar los vacíos

Peso del edificio: $615,81 + 5 * 1029,81 = 3705,24$ KN

5.1.3. Modelación del Edificio por el Programa SAP2000 V12

Las características del concreto y del acero especificadas para el diseño son:

- Resistencia a la compresión del concreto: $f^c = 21000$ KN/m²
- Módulo de elasticidad del concreto: $E_c = 21538106$ KN/m²
- Peso específico del concreto: $\gamma = 24$ KN/m³
- Coeficiente e Poisson del concreto: $c = 0,2$
- Esfuerzo de fluencia del acero: $f_y = 420000$ KN/m²
- Módulo de elasticidad del acero: $E_s = 200000000$ KN/m²

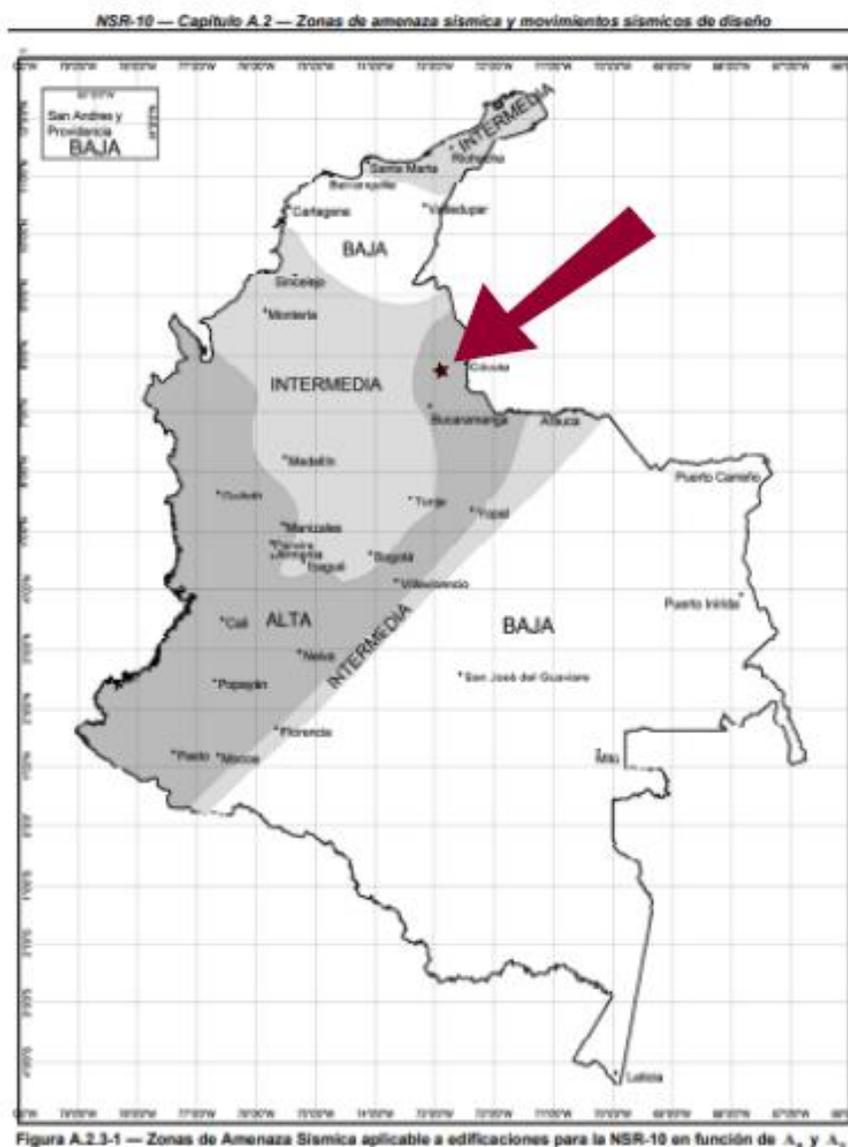
Procedimiento de Diseño

Determinación de la Zona de amenaza sísmica

De acuerdo a la información obtenida en los mapas que se encuentran en el capítulo A-2 de la NSR-10, se tiene que el Municipio de Pamplona se encuentra cerca de las zonas 5, 6 y 7 por lo

cual se nos hace difícil determinar con exactitud el valor de los datos necesarios, es por esto que se recurre a utilizar la tabla que se encuentra en el apéndice A-4, en las páginas A-168 Y A-169, donde obtenemos los valores de A_a , A_v , A_e y A_d y la definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos, en este caso el departamento de Norte de Santander.

Figura 40: Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de zonificación sísmica del Capítulo A.2



Fuente: NSR-10, Título A

Figura 41: Representación esquemática ilustrativa del procedimiento de localización dentro del mapa de valores de A_a y A_v del capítulo A.2

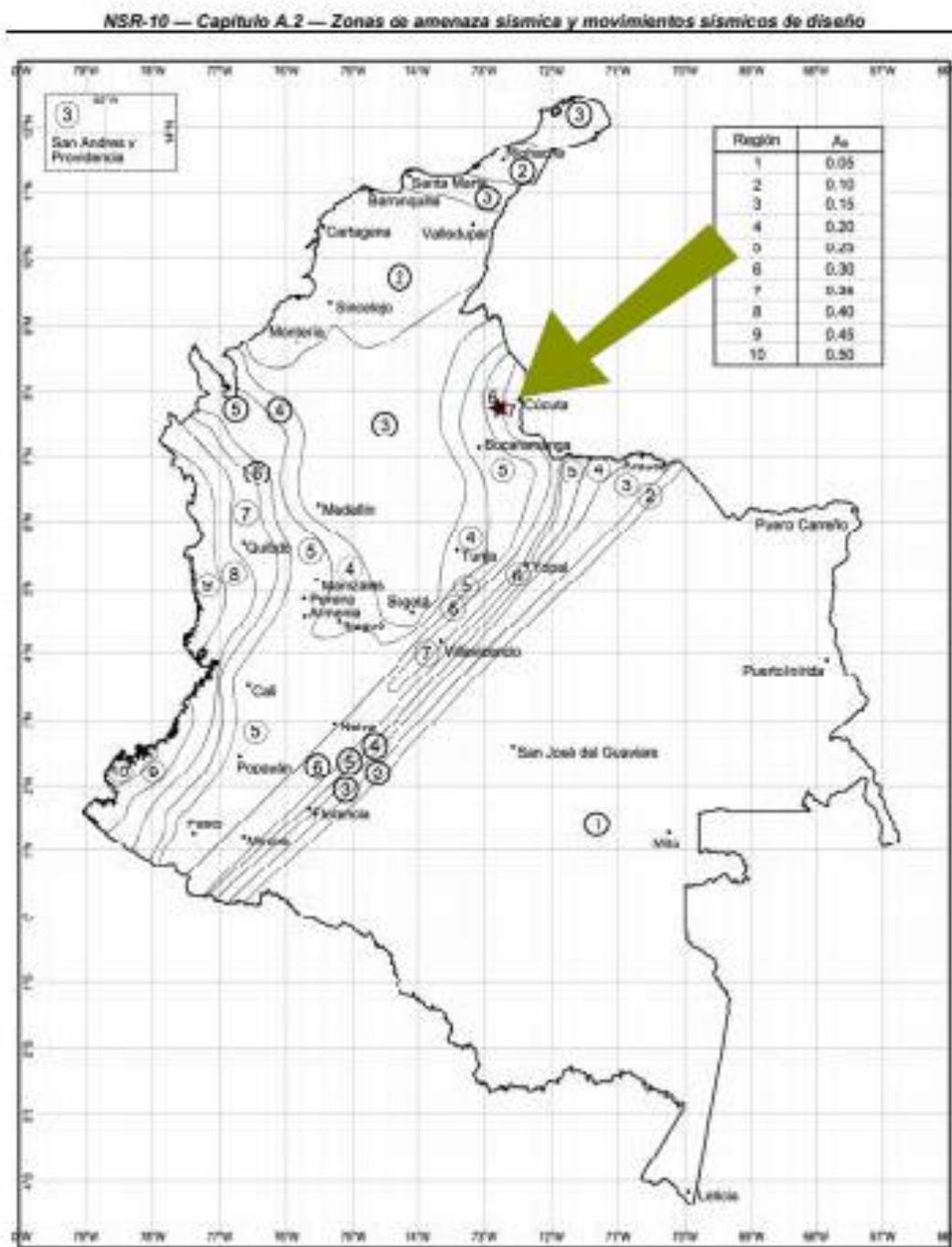


Figura A.23-2 — Mapa de valores de A_a

Fuete: NSR-10, Título A

Tabla 5: NSR-10- Apéndice A-4- Valores de A_a , A_v , A_e y A_d y definición de la zona de amenaza sísmica de los municipios colombianos

Departamento del Norte de Santander						
Municipio	Código Municipio	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica	A_e	A_d
Cúcuta	54001	0.35	0.25	Alta	0.25	0.10
Abrego	54003	0.30	0.20	Alta	0.07	0.04
Arboledas	54051	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04
Bochalema	54099	0.35	0.25	Alta	0.13	0.06
Bucarasica	54109	0.30	0.25	Alta	0.09	0.04
Cáchira	54128	0.25	0.25	Alta	0.07	0.04
Cácota	54125	0.30	0.25	Alta	0.10	0.05
Chinácota	54172	0.35	0.30	Alta	0.16	0.07
Chitagá	54174	0.30	0.30	Alta	0.11	0.05
Convención	54206	0.20	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Cucutilla	54223	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04
Durania	54239	0.35	0.25	Alta	0.14	0.06
El Carmen	54245	0.15	0.10	Intermedia	0.04	0.02
El Tarra	54250	0.20	0.15	Intermedia	0.05	0.03
El Zulia	54261	0.35	0.25	Alta	0.22	0.09
Gramalote	54313	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Hacarí	54344	0.25	0.20	Alta	0.06	0.03
Herrán	54347	0.35	0.30	Alta	0.19	0.08
La Esperanza	54385	0.20	0.20	Intermedia	0.05	0.03
La Playa	54398	0.20	0.15	Intermedia	0.06	0.03
Labateca	54377	0.35	0.30	Alta	0.14	0.06
Los Patios	54405	0.35	0.30	Alta	0.22	0.09
Lourdes	54418	0.30	0.25	Alta	0.11	0.05
Mutiscua	54480	0.30	0.25	Alta	0.08	0.04
Ocaña	54498	0.20	0.15	Intermedia	0.08	0.03
Pamplona	54518	0.30	0.25	Alta	0.10	0.05
Pamplonita	54520	0.35	0.25	Alta	0.13	0.06
Puerto Santander	54553	0.35	0.25	Alta	0.09	0.04
Ragonvalia	54599	0.35	0.30	Alta	0.20	0.09
Salazar	54660	0.30	0.25	Alta	0.09	0.04
San Calixto	54670	0.20	0.15	Intermedia	0.05	0.03
San Cayetano	54673	0.35	0.30	Alta	0.19	0.08
Santiago	54680	0.30	0.25	Alta	0.14	0.06
Sardinata	54720	0.30	0.25	Alta	0.15	0.06
Silos	54743	0.25	0.25	Alta	0.07	0.03
Teorama	54800	0.20	0.15	Intermedia	0.04	0.02
Tibú	54810	0.20	0.20	Intermedia	0.11	0.04
Toledo	54820	0.35	0.30	Alta	0.24	0.10
Villa Caro	54871	0.30	0.25	Alta	0.07	0.04
Villa del Rosario	54874	0.35	0.30	Alta	0.25	0.10

Fuente: NSR-10, Marzo de 2010

De la tabla se obtiene:

Tabla 6: Zona de Amenaza Sísmica del municipio de Pamplona

Municipio	Zona de Amenaza Sísmica	
	Aa	Av
Pamplona	0,3	0,25

Fuente: Núñez R., 2018

Luego se determina el tipo de perfil de suelo que se definen en la siguiente tabla:

Tabla 7: Clasificación de los perfiles de Suelo

Tabla A.2.4-1
Clasificación de los perfiles de suelo

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	1500 m/s > $\bar{v}_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	760 m/s > $\bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$, o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa (≈ 1 kgf/cm ²)
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	360 m/s > $\bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$, o 100 kPa (≈ 1 kgf/cm ²) > $\bar{s}_u \geq 50$ kPa (≈ 0.5 kgf/cm ²)
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	180 m/s > \bar{v}_s
	perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	IP > 20 w $\geq 40\%$ 50 kPa (≈ 0.50 kgf/cm ²) > \bar{s}_u
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: F₁ — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. F₂ — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). F₃ — Arcillas de muy alta plasticidad (H > 7.5 m con Índice de Plasticidad IP > 75) F₄ — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H > 36 m)	

Fuente: NSR-10, Marzo de 2010

Asumiendo que el tipo de perfil del suelo es E, se utiliza para determinar los valores de F_a y F_v utilizando las tablas A.2.4-3 y A.2.4-4 que son para la zona de periodos cortos del espectro y para la zona de periodos intermedios del espectro, respectivamente.

Tabla 8: Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro**Tabla A.2.4-3**
Valores del coeficiente F_a , para la zona de periodos cortos del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_a \leq 0.1$	$A_a = 0.2$	$A_a = 0.3$	$A_a = 0.4$	$A_a \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.2	1.2	1.1	1.0	1.0
D	1.6	1.4	1.2	1.1	1.0
E	2.5	1.7	1.2	0.9	0.9
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: NSR-10, Título A

Tabla 9: Valores del coeficiente F_v , para la zona de periodos intermedios del espectro**Tabla A.2.4-4**
Valores del coeficiente F_v , para la zona de periodos intermedios del espectro

Tipo de Perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos				
	$A_v \leq 0.1$	$A_v = 0.2$	$A_v = 0.3$	$A_v = 0.4$	$A_v \geq 0.5$
A	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
B	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
C	1.7	1.6	1.5	1.4	1.3
D	2.4	2.0	1.8	1.6	1.5
E	3.5	3.2	2.8	2.4	2.4
F	véase nota	véase nota	véase nota	Véase nota	véase nota

Nota: Para el perfil tipo **F** debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse a cabo un análisis de amplificación de onda de acuerdo con A.2.10.

Fuente: NSR-10, Título A

Luego de verificar las tablas se obtienen los resultados de F_a y F_v así:

$$F_a = 1,2$$

$$F_v = 3,0$$

Para continuar con el proceso se determina el coeficiente de importancia teniendo en cuenta el tipo de uso y la información de la tabla A.2.5-1

Tabla 10: Valores del coeficiente de importancia, I**Tabla A.2.5-1**
Valores del coeficiente de importancia, I

Grupo de Uso	Coficiente de Importancia, I
IV	1.50
III	1.25
II	1.10
I	1.00

Fuente: NSR-10, Titulo A

Teniendo en cuenta el tipo de edificación y el uso que esta va a tener, se determina que está incluida en el Grupo I de importancia el cual tiene un coeficiente de 1,00; a partir de ahí se procede a realizar los cálculos para realizar el espectro de diseño, así:

Espectro de Diseño

Espectro de aceleraciones: La forma del espectro elástico de aceleraciones, **Sa** expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se define por la ecuación 26.

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v I}{T} \quad (\text{Ecu. 26})$$

$$S_a = \frac{1.2(0.25)(3.0)(1.00)}{T} = \frac{9}{10T}$$

- Para periodos de vibración menores de T_c , calculado de acuerdo con la ecuación 27, el valor de **Sa** puede limitarse al obtenido de la ecuación 28.

$$T_c = 0.48 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad (\text{Ecu. 27})$$

$$T_c = 0.48 \frac{(0.25)(3.0)}{(0.3)(1.2)} = 1.00 \text{seg}$$

Y

$$S_a = 2.5A_a F_a I \quad (\text{Ecu. 28})$$

$$S_a = 2.5(0.3)(1.2)(1.0) = 0.9$$

- Para periodos de vibración mayores que T_L , calculado de acuerdo a la ecuación 29, el valor de S_a no puede ser menor que el dado por la ecuación 30.

$$T_L = 2.4F_v \quad (\text{Ecu. 29})$$

$$T_L = 2.4(3.0) = 7.2 \text{seg}$$

Y

$$S_a = \frac{1.2A_v F_v T_L I}{T^2} \quad (\text{Ecu. 30})$$

$$S_a = \frac{1.2(0.25)(3.0)(7.2)(1)}{T^2} = \frac{27}{4T}$$

- Cuando se utilice el análisis dinámico, tal como se indica en el Capítulo A.5 (NSR-10), para periodos de vibración diferentes del fundamental, en la dirección en estudio, menores de T_0 calculado de acuerdo con la ecuación 31, del espectro de diseño puede obtenerse la ecuación 32.

$$T_0 = 0.1 \frac{A_v F_v}{A_a F_a} \quad (\text{Ecu. 31})$$

$$T_0 = 0.1 \frac{(0.25)(3.0)}{(0.3)(1.2)} = 0.208 \approx 0.21 \text{seg}$$

Y

$$S_a = 2.5A_a F_a I \left(0.4 + 0.6 \frac{T}{T_0} \right) \quad (\text{Ecu. 32})$$

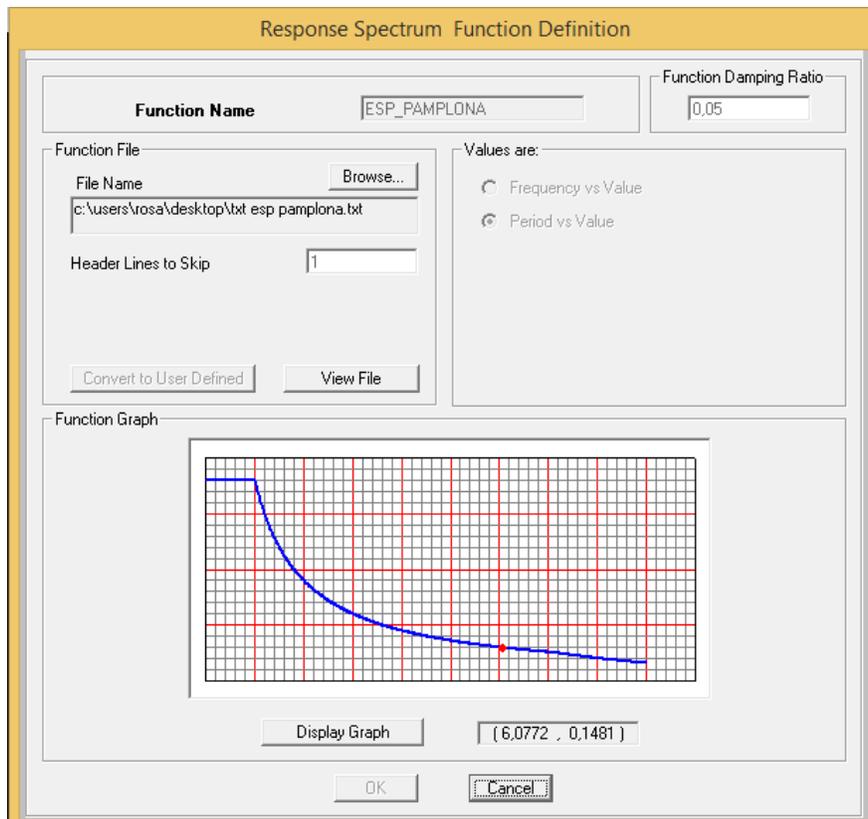
$$S_a = 2.5(0.3)(1.2)(1.0) \left(0.4 + 0.6 \frac{1}{0.21} \right) = 2.93$$

Y calculando el valor de: $A_a F_a I$, tenemos:

$$(0.3)(1.2)(1) = 0.36$$

Luego de realizados los cálculos anteriores se obtiene el espectro de diseño, que se muestra a continuación:

Figura 42: Espectro de Diseño



Fuente: Núñez R., 2018

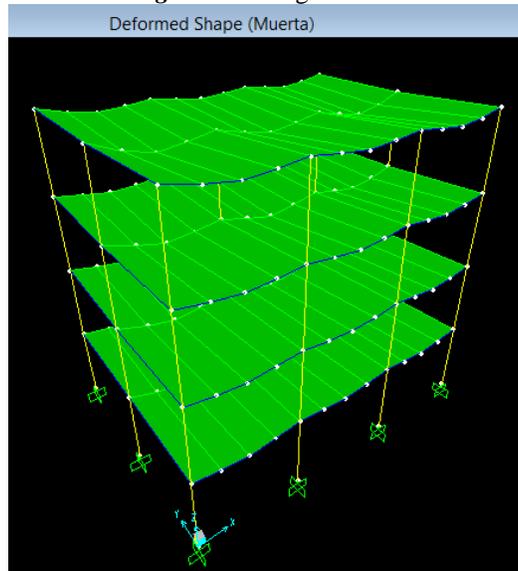
A continuación se realiza el análisis y modelamiento de la estructura en el programa SAP2000 V12, donde se observa las diferentes formas de deformación teniendo en cuenta las cargas y los movimientos sísmicos a los que está expuesto la edificación.

Los siguientes gráficos permiten observar las deformaciones que tendrá el edificio sin la aplicación de los disipadores de energía.

Formas Deformadas

- Carga Muerta

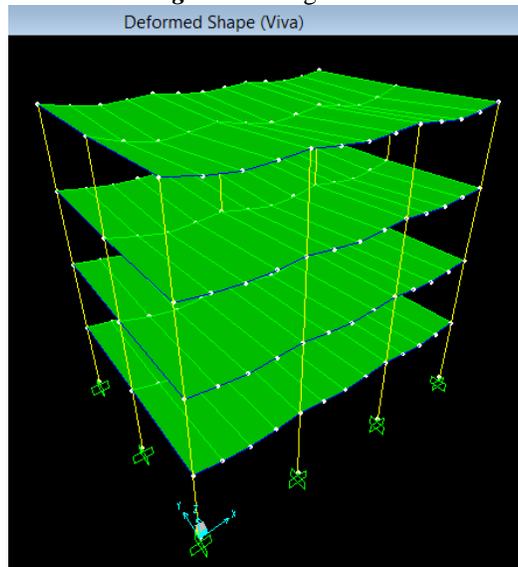
Figura 43: Carga Muerta



Fuente: Núñez R., 2018

- Carga Viva

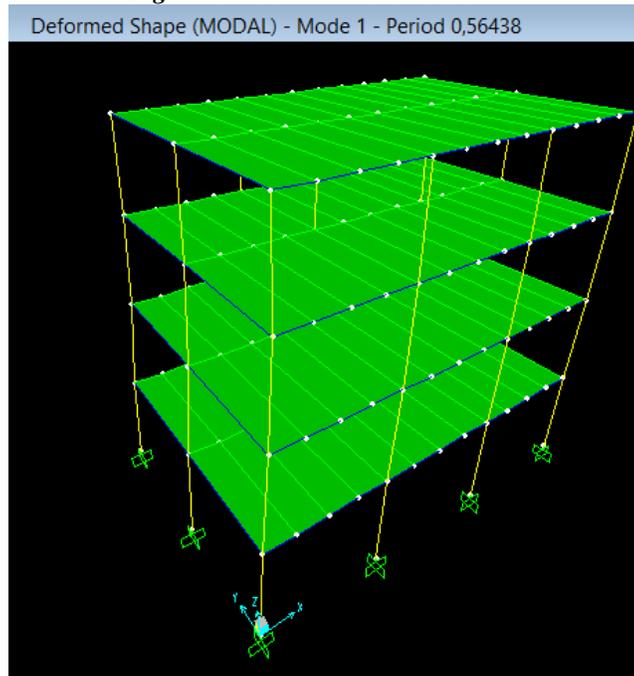
Figura 44: Carga Viva



Fuente: Núñez R., 2018

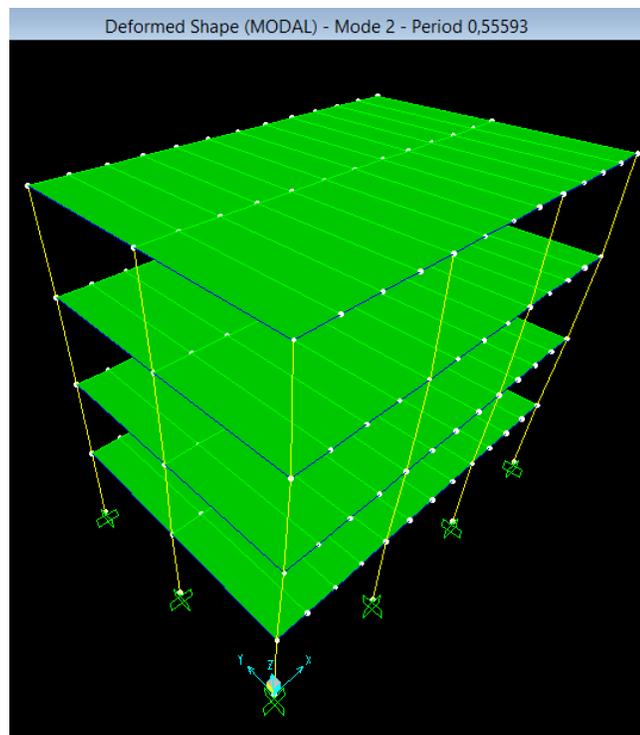
- Modos de Vibración

Figura 45: Modo de vibración 1



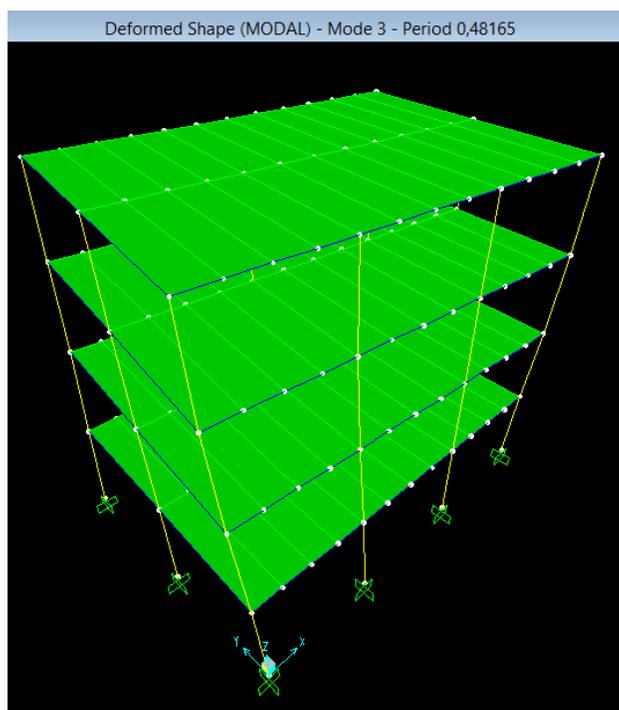
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 46: Modo de Vibración 2



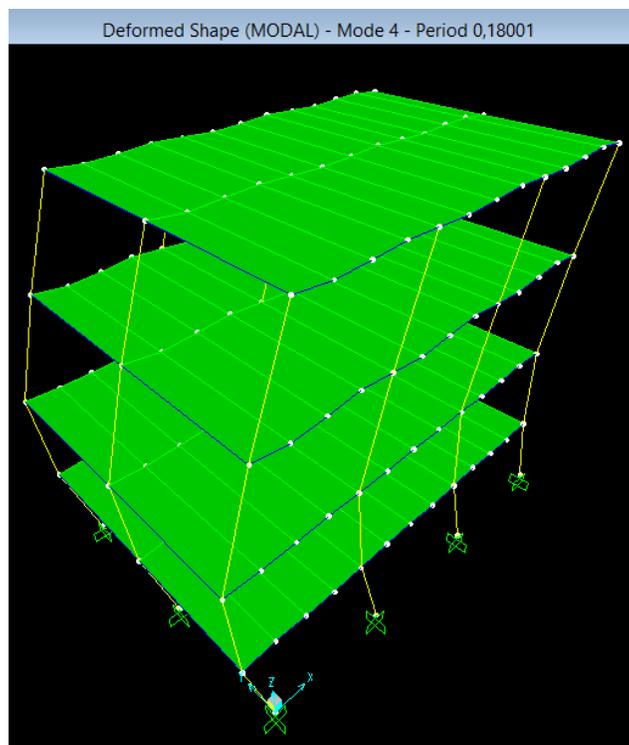
- **Fuente:** Núñez R., 2018

Figura 47: Modo de Vibración 3



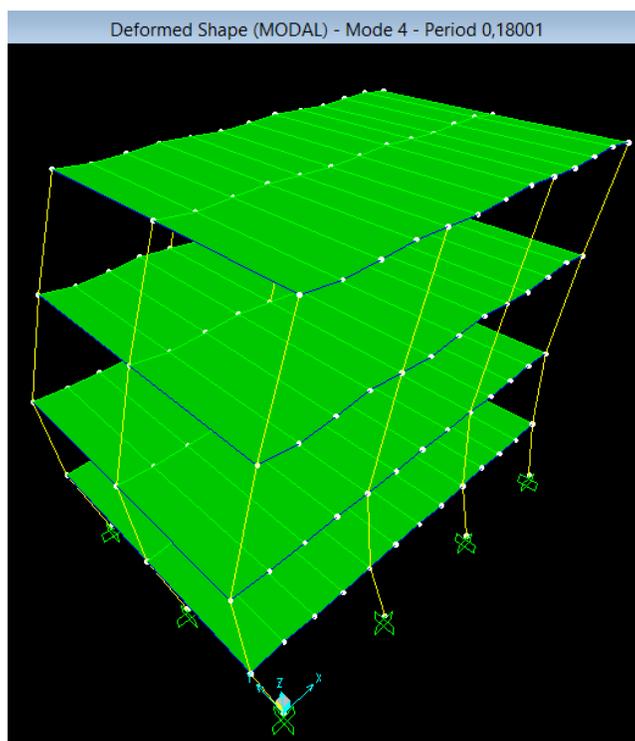
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 48: Modo de Vibración 4



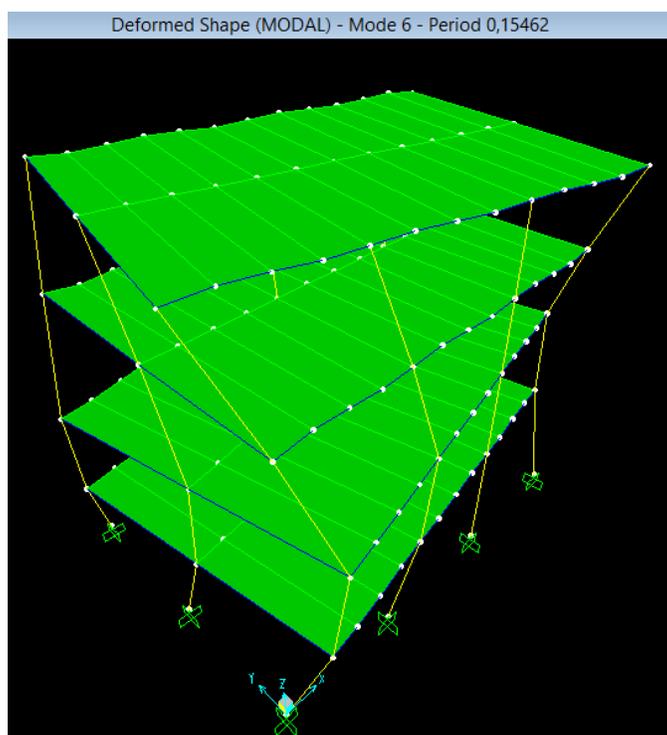
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 49: Modo de Vibración 5



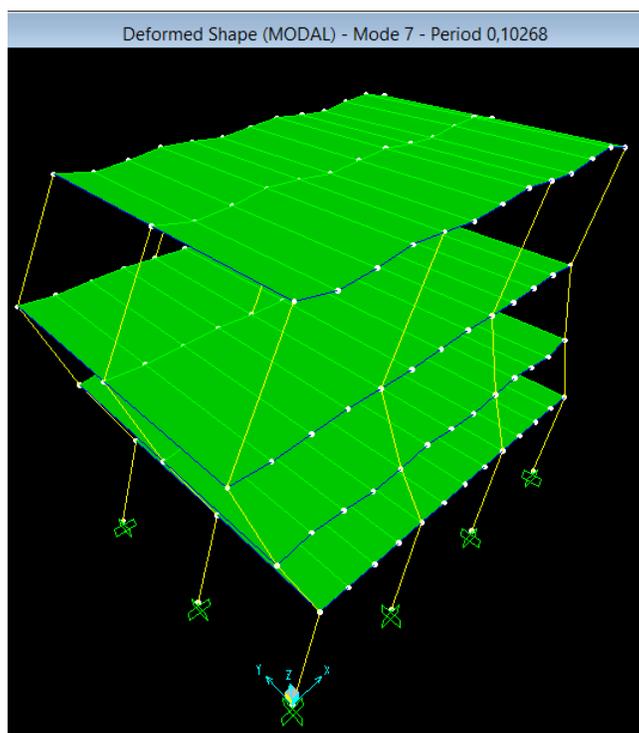
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 50: Modo de Vibración 6



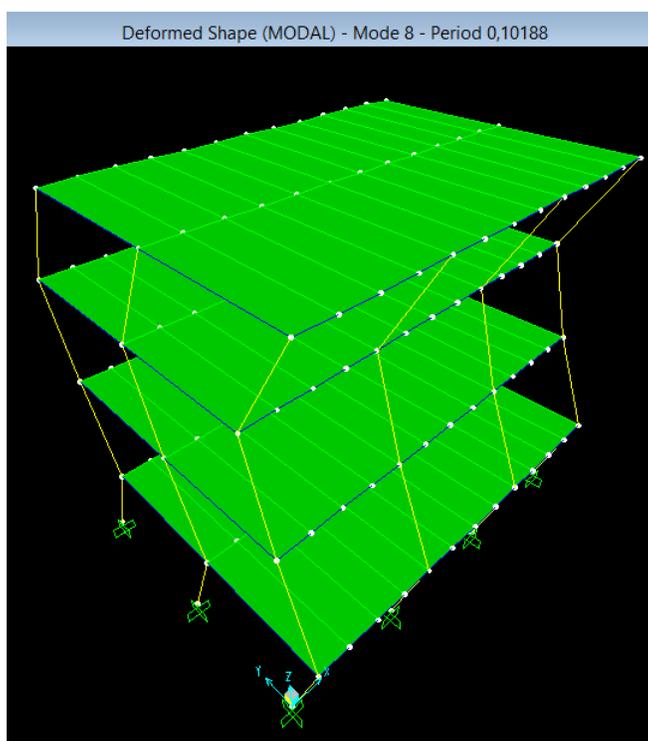
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 51: Modo de Vibración 7



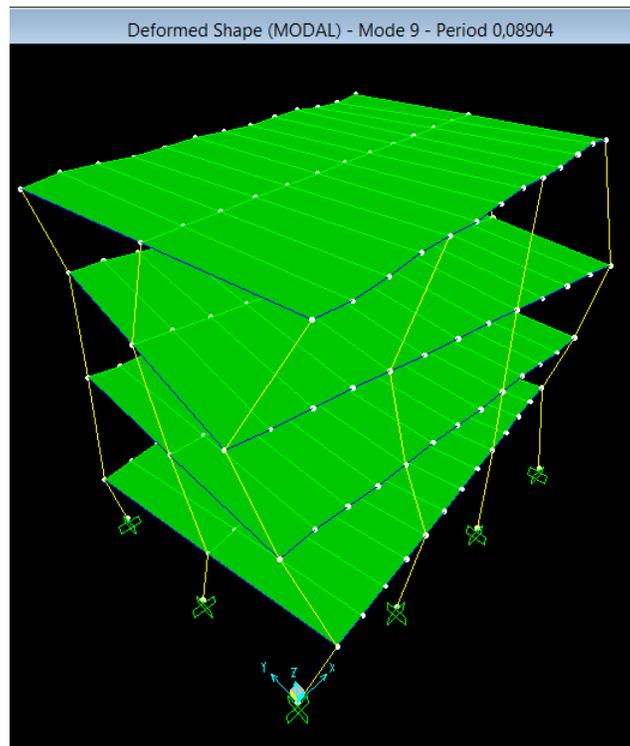
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 52: Modo de Vibración 8



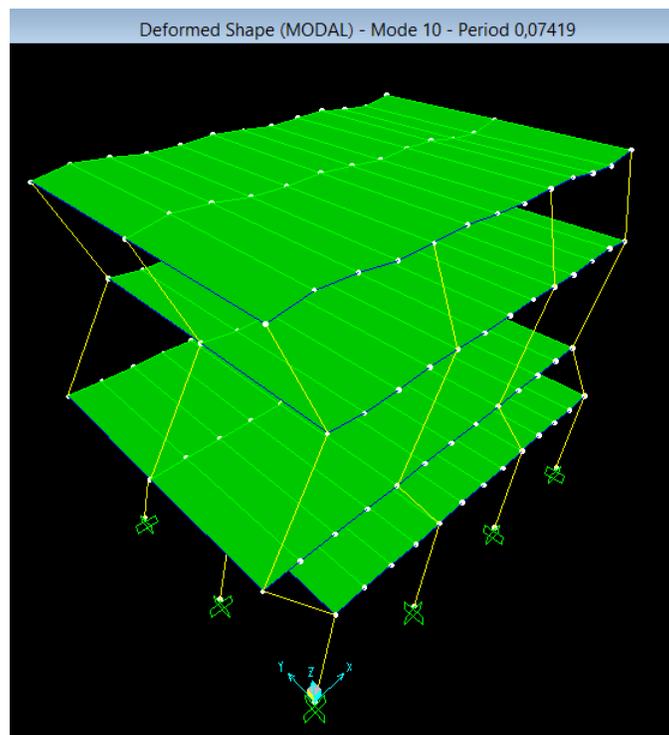
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 53: Modo de Vibración 9



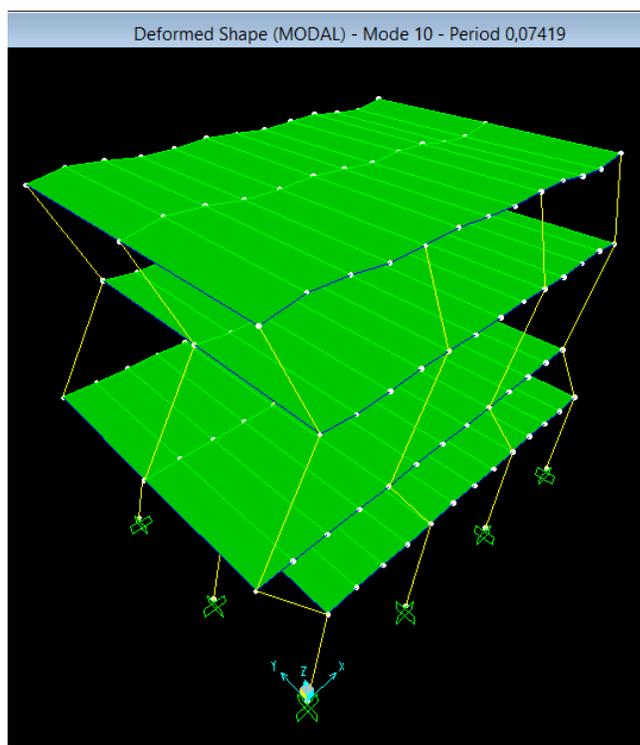
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 54: Modo de Vibración 10



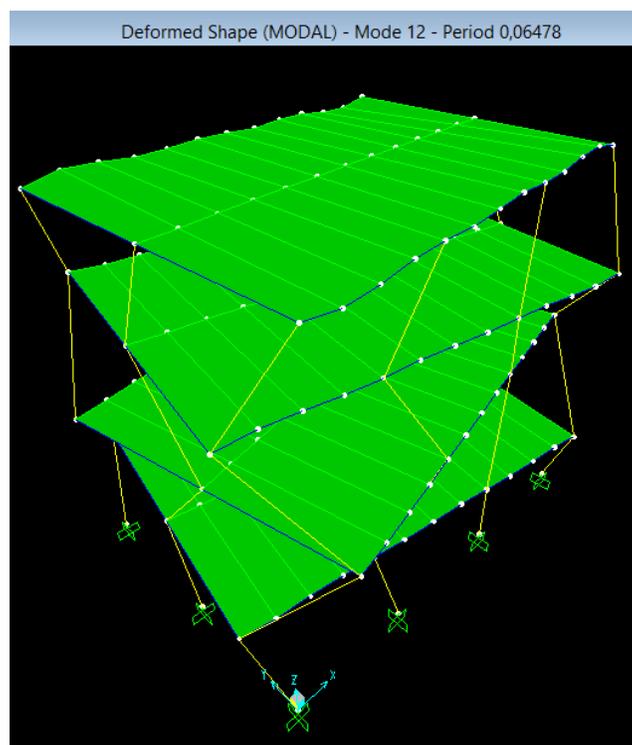
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 55: Modo de Vibración 11



Fuente: Núñez R., 2018

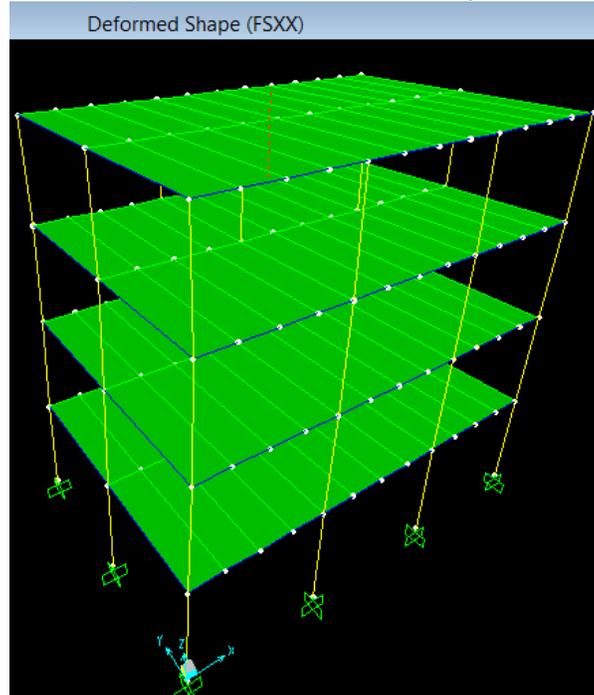
Figura 56: Modo de Vibración 12



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica (FSXX)

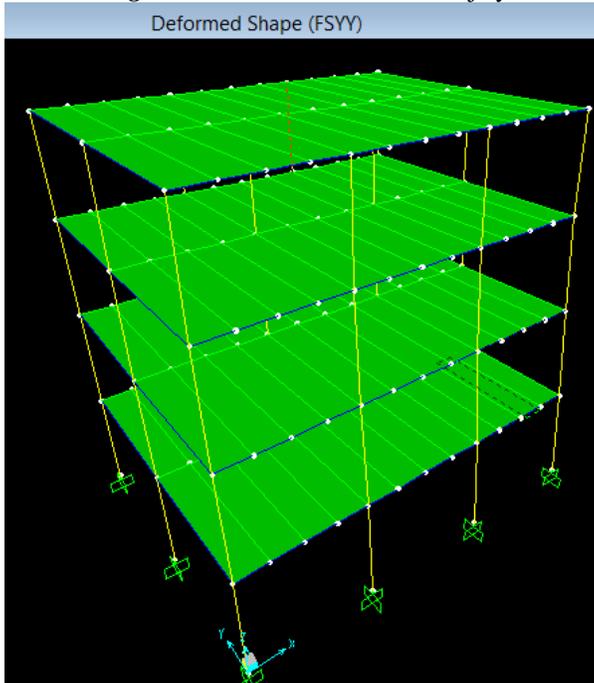
Figura 57: Fuerza Sísmica en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica (FSYY)

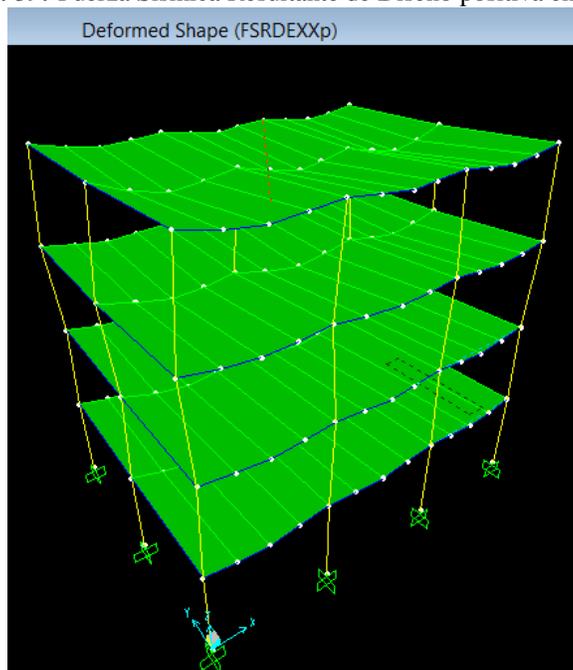
Figura 58: Fuerza Sísmica en el eje y



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva (FSRDEXXp)

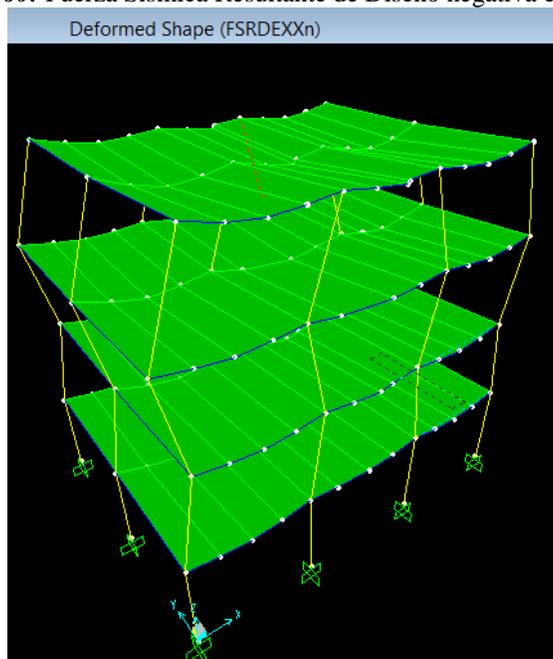
Figura 59: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa (FSRDEXXn)

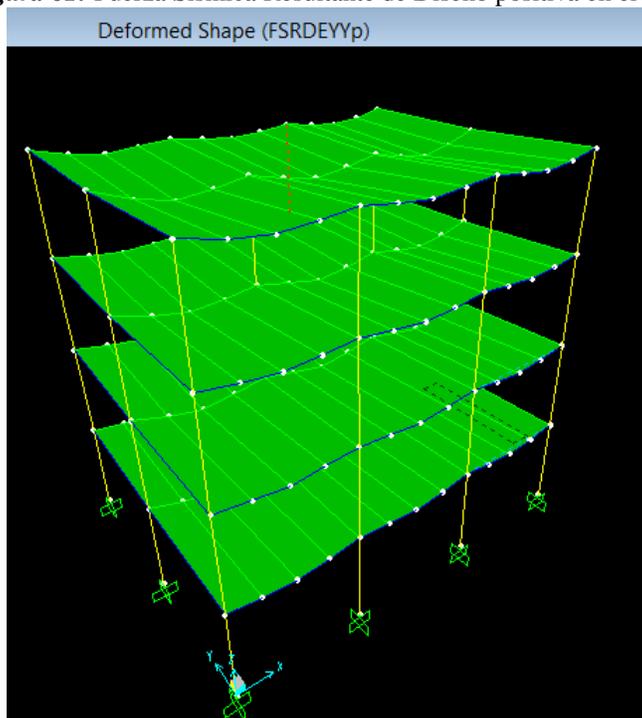
Figura 60: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva (FSRDEYYp)

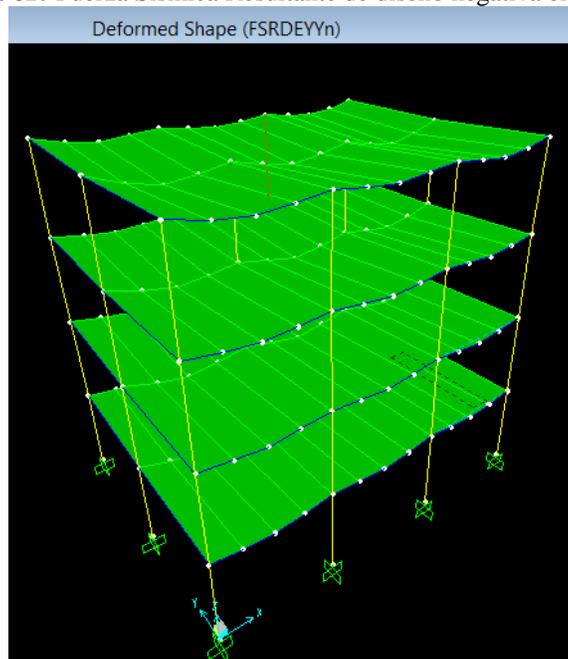
Figura 61: Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva en el eje y



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa (FSRDEYYn)

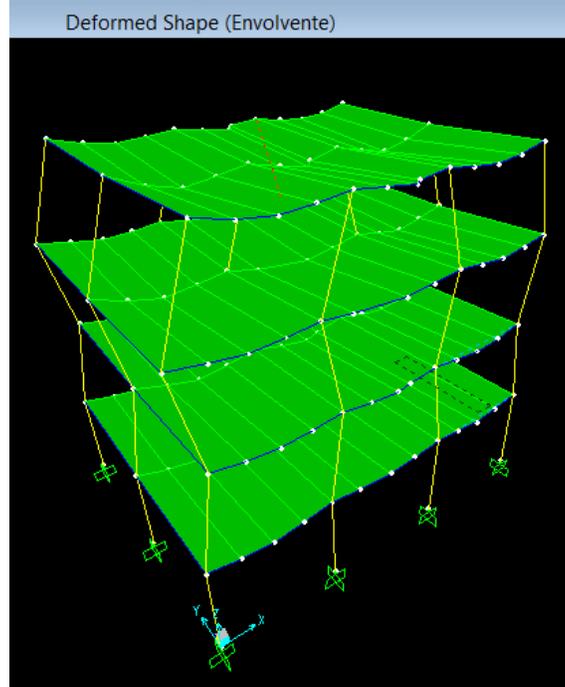
Figura 62: Fuerza Sísmica Resultante de diseño negativa en el eje y



Fuente: Núñez R., 2018

- Envolverte

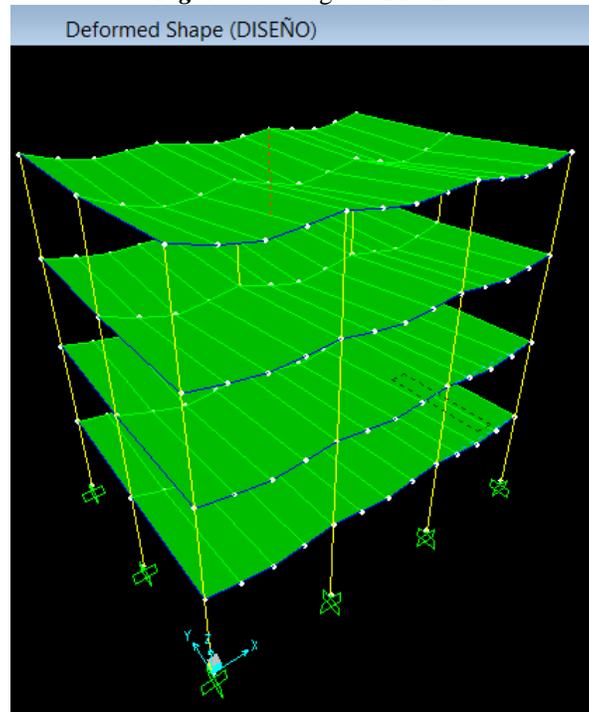
Figura 63: Envolverte



Fuente: Núñez R., 2018

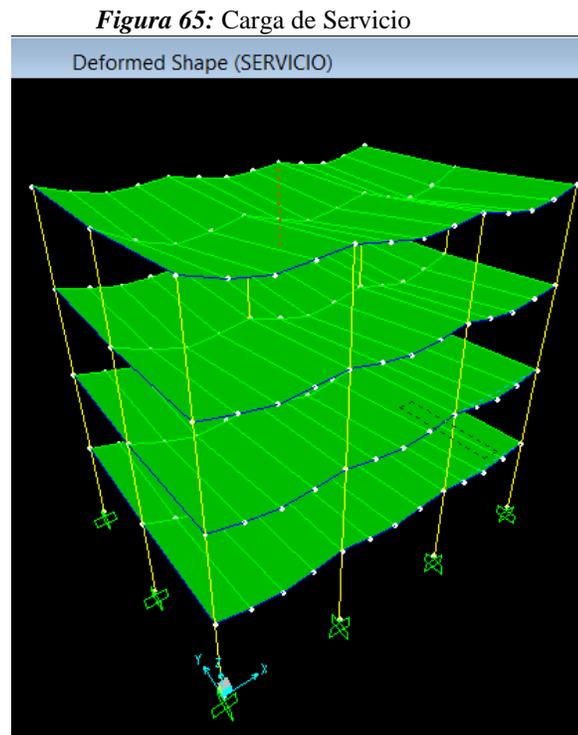
- Cargas de Diseño

Figura 64: Carga de Diseño



Fuente: Núñez R., 2018

- Carga de Servicio



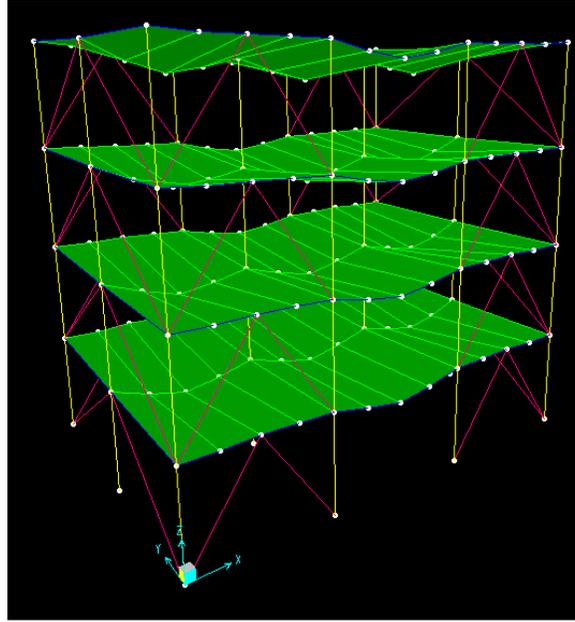
Fuente: Núñez R., 2018

Luego de realizar el modelamiento y análisis de la estructura sin disipadores de energía se procede a realizar el modelamiento y análisis de la estructura colocándole los respectivos disipadores de energía para observar la diferencia y la importancia del uso de estos elementos.

Formas Deformadas utilizando disipadores de energía

- Carga Muerta

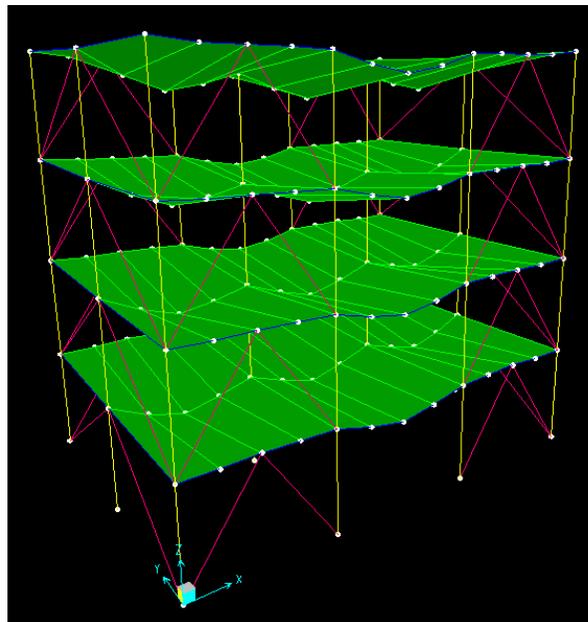
Figura 66: Carga Muerta



Fuente: Núñez R., 2018

- Carga Viva

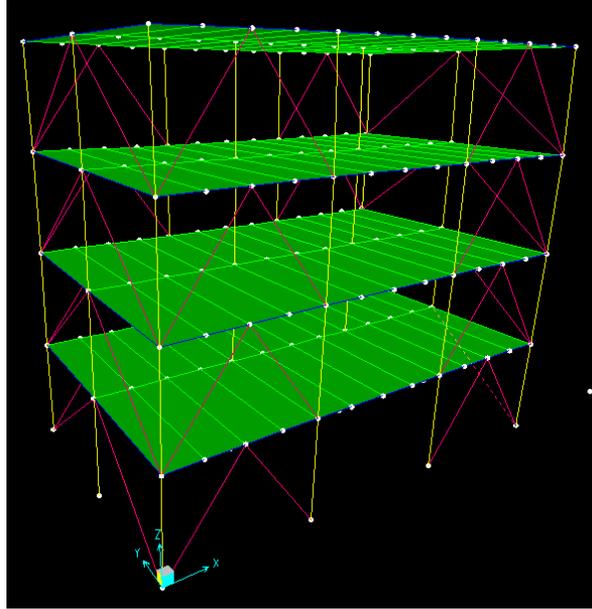
Figura 67: Cargas Vivas



Fuente: Núñez R., 2018

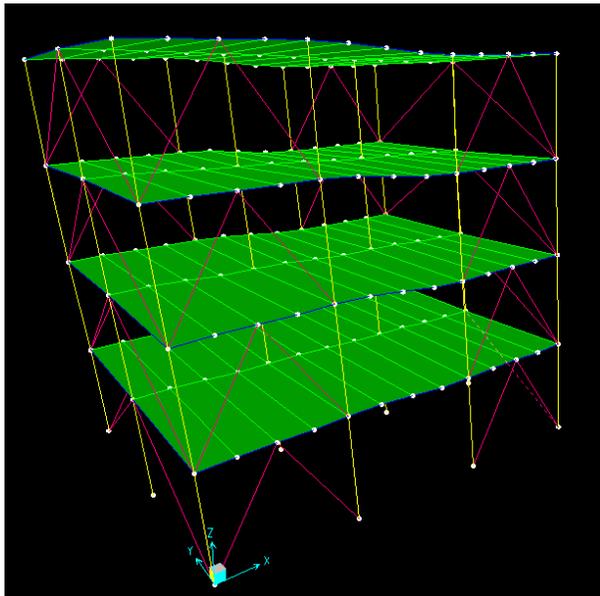
- Modos de Vibración

Figura 68: Modo de Vibración 1



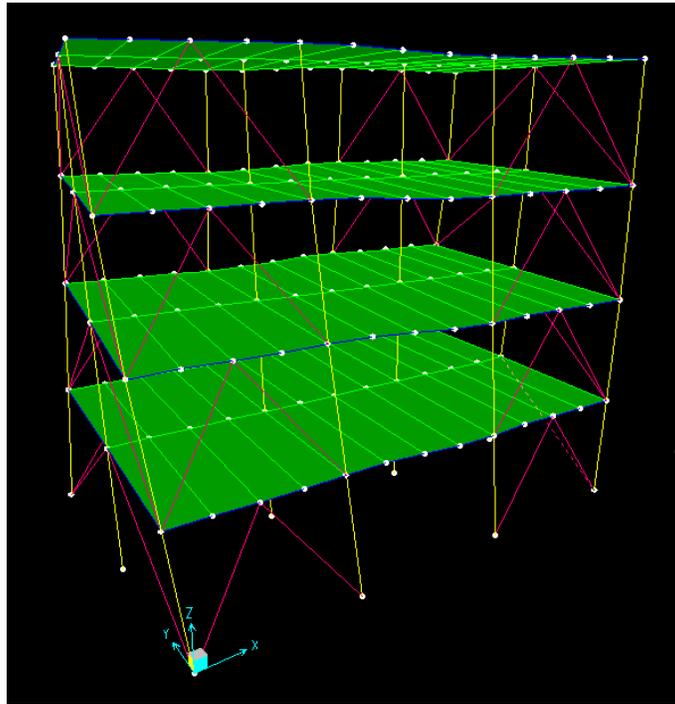
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 69: Modo de Vibración 2



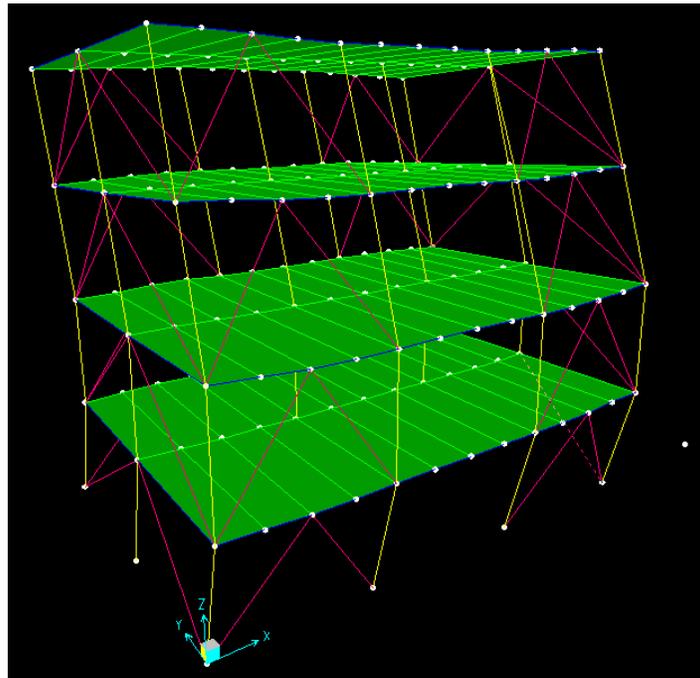
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 70: Modo de Vibración 3



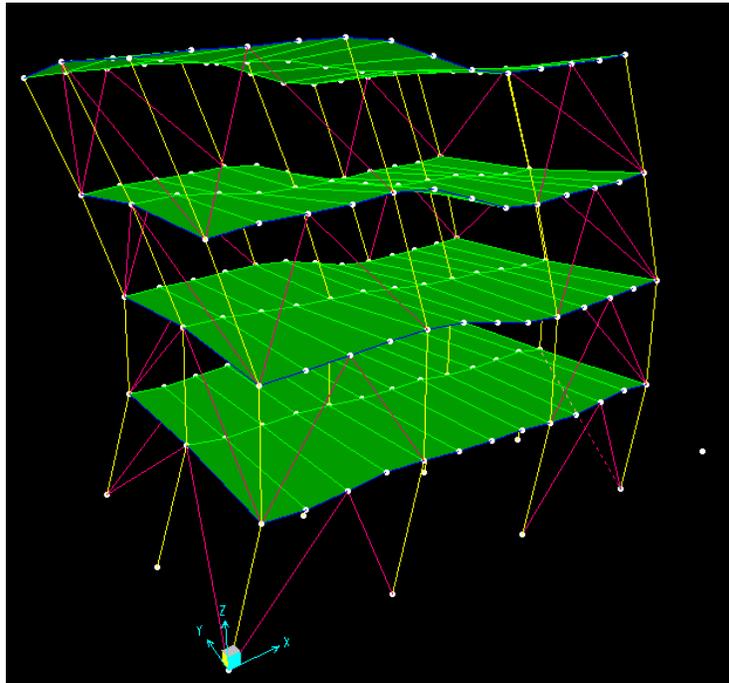
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 71: Modo de Vibración 4



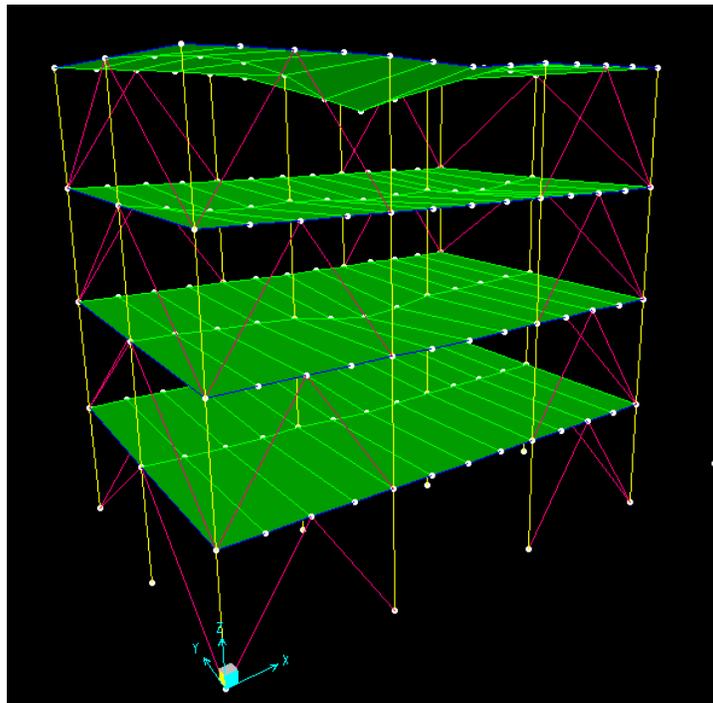
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 72: Modo de Vibración 5



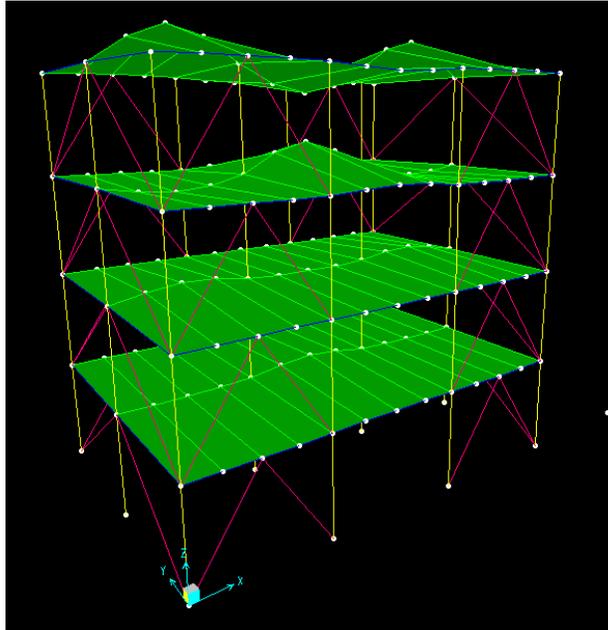
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 73: Modo de Vibración 6



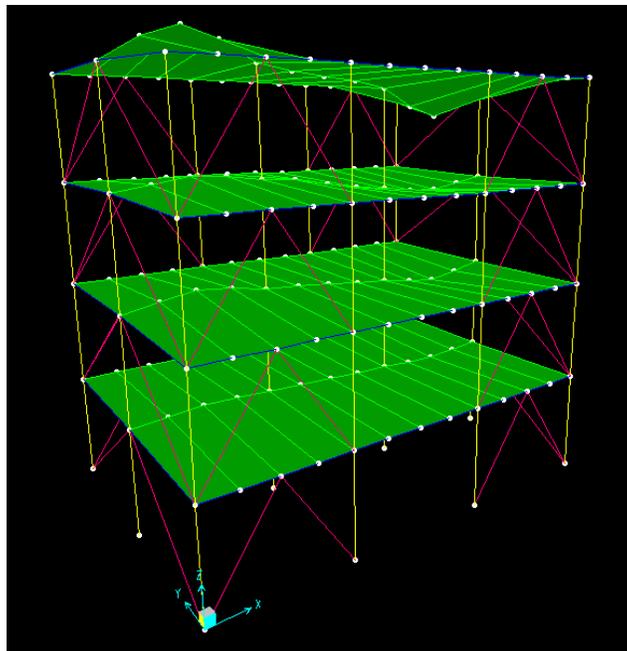
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 74: Modo de Vibración 7



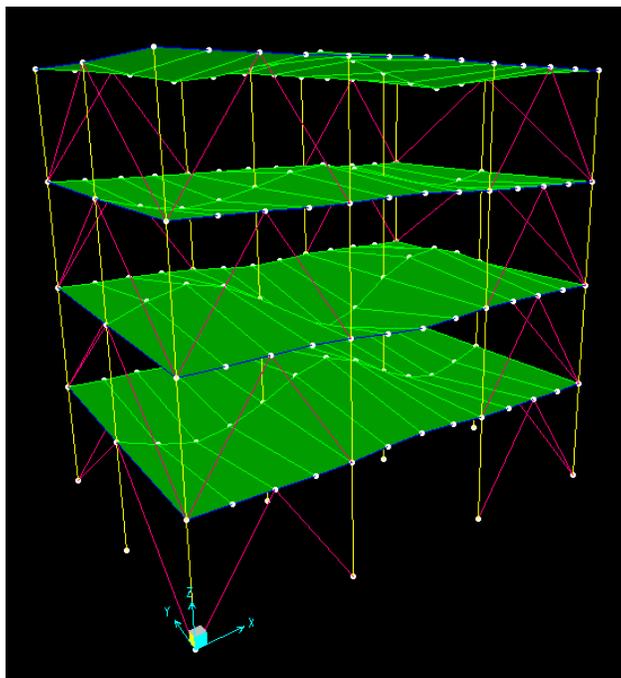
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 75: Modo de Vibración 8



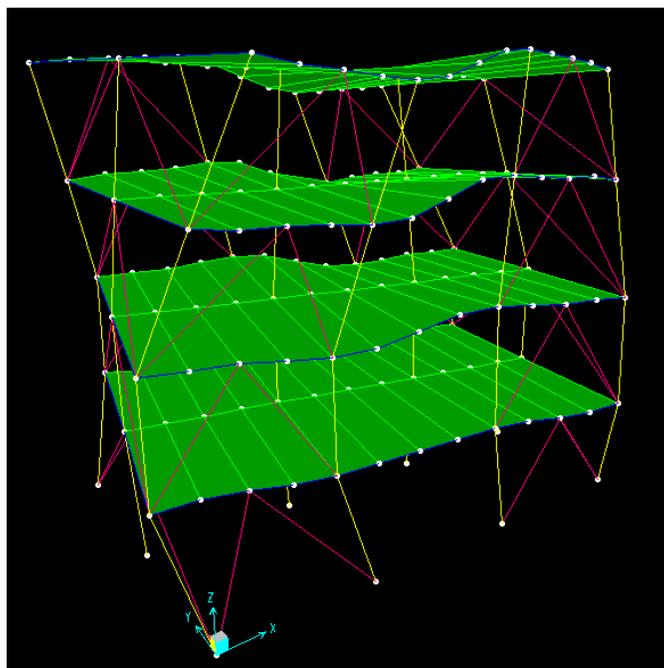
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 76: Modo de Vibración 9



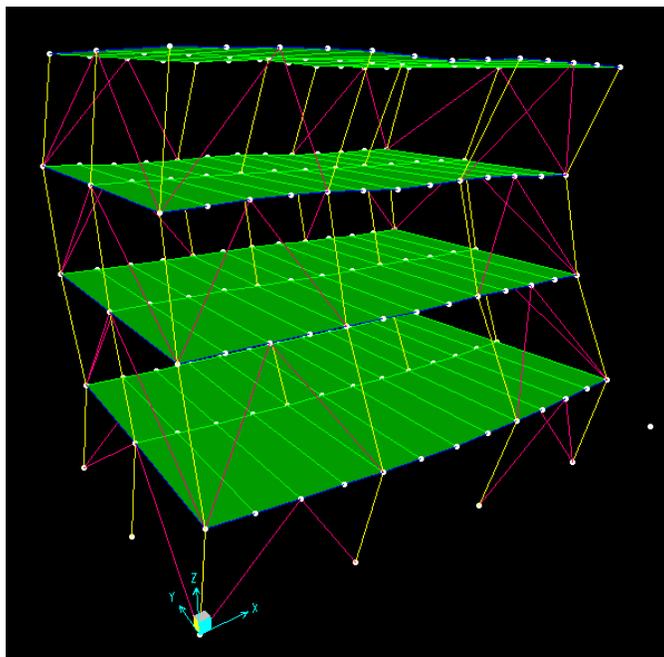
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 77: Modo de Vibración 10



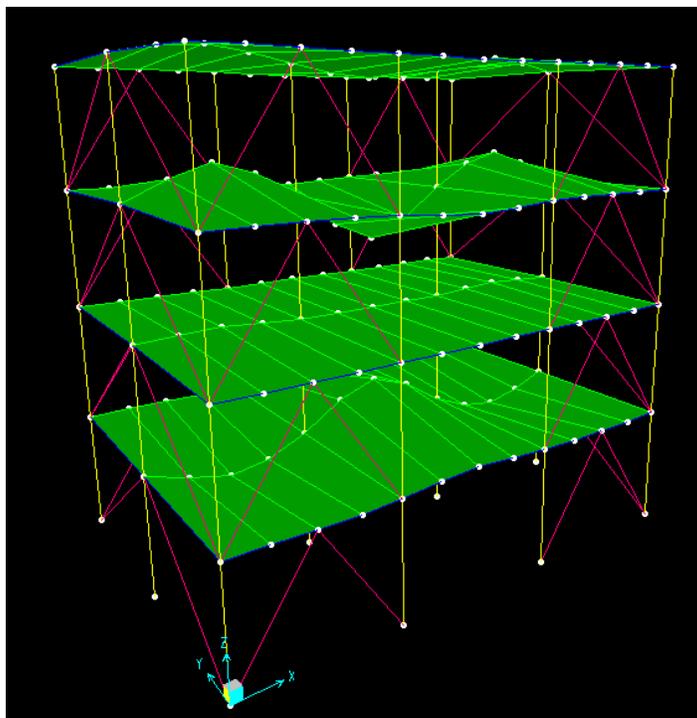
Fuente: Núñez R., 2018

Figura 78: Modo de Vibración 11



Fuente: Núñez R., 2018

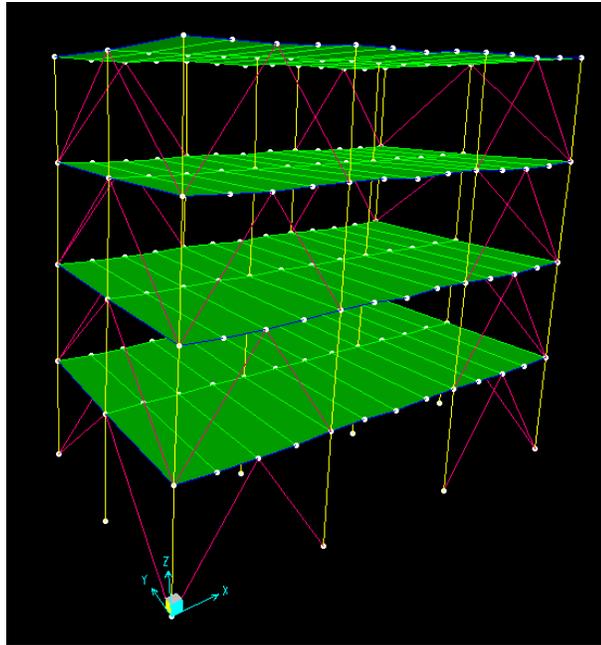
Figura 79: Modo de Vibración 12



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica (FSXX)

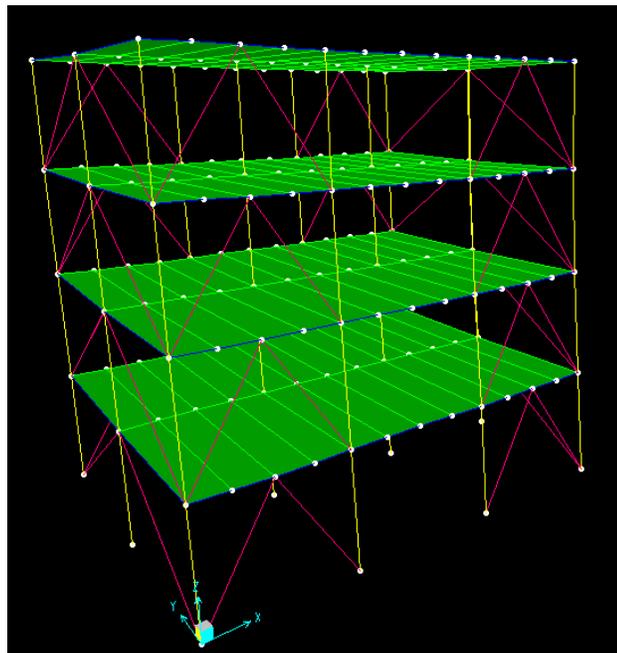
Figura 80: Fuerza sísmica en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica (FSYY)

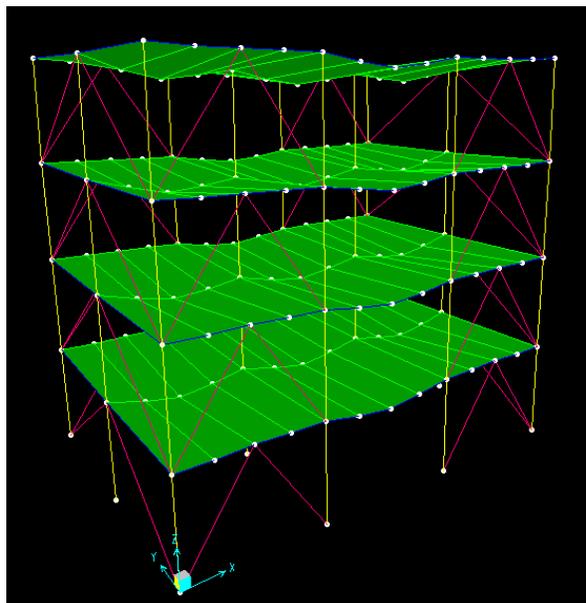
Figura 81: Fuerza sísmica en el eje y



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva (FSRDEXXp)

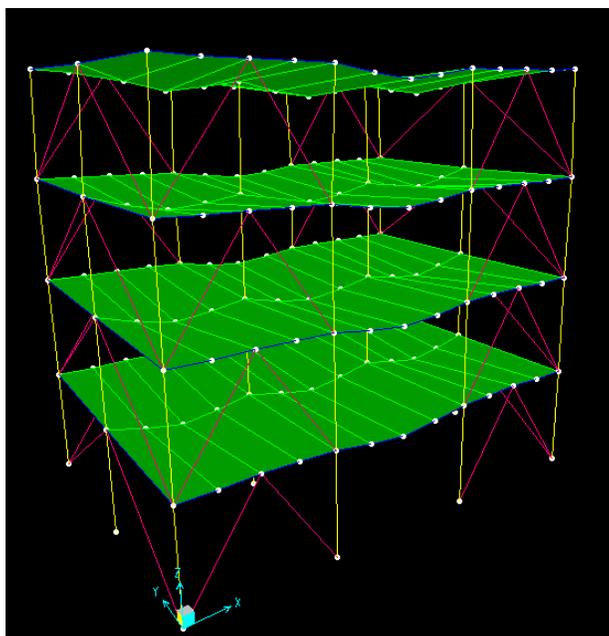
Figura 82: Fuerza sísmica resultante de diseño positiva en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa (FSRDEXXn)

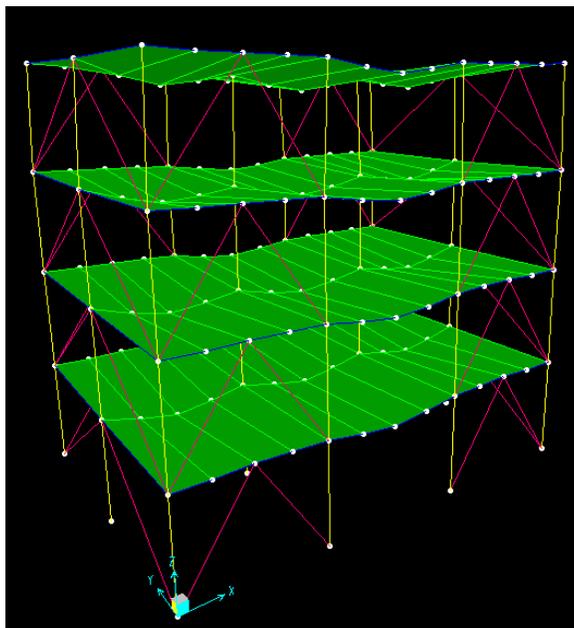
Figura 83: Fuerza sísmica resultante de diseño negativa en el eje x



Fuente: Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño positiva (FSRDEYYp)

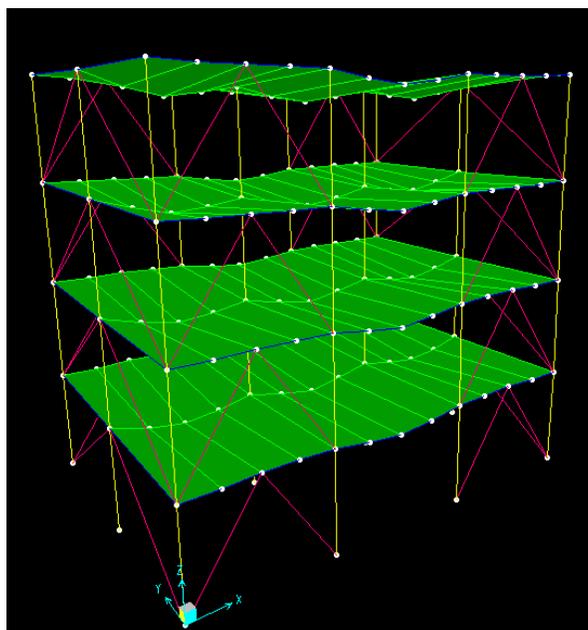
Figura 84: Fuerza sísmica resultante de diseño positiva en el eje y



- *Fuente:* Núñez R., 2018

- Fuerza Sísmica Resultante de Diseño negativa (FSRDEYYn)

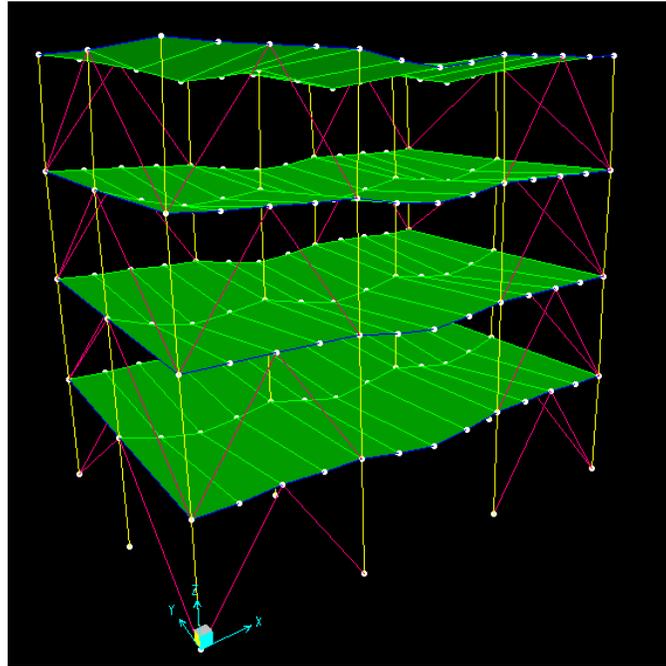
Figura 85: Fuerza sísmica resultante de diseño negativa en el eje y



- *Fuente:* Núñez R., 2018

- Envolverte

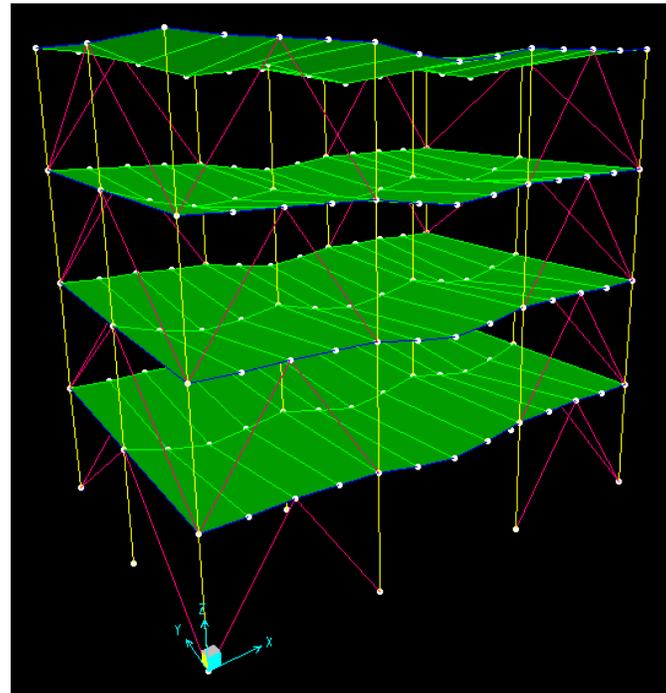
Figura 86: Envolverte



Fuente: Núñez R., 2018

- Cargas de Diseño

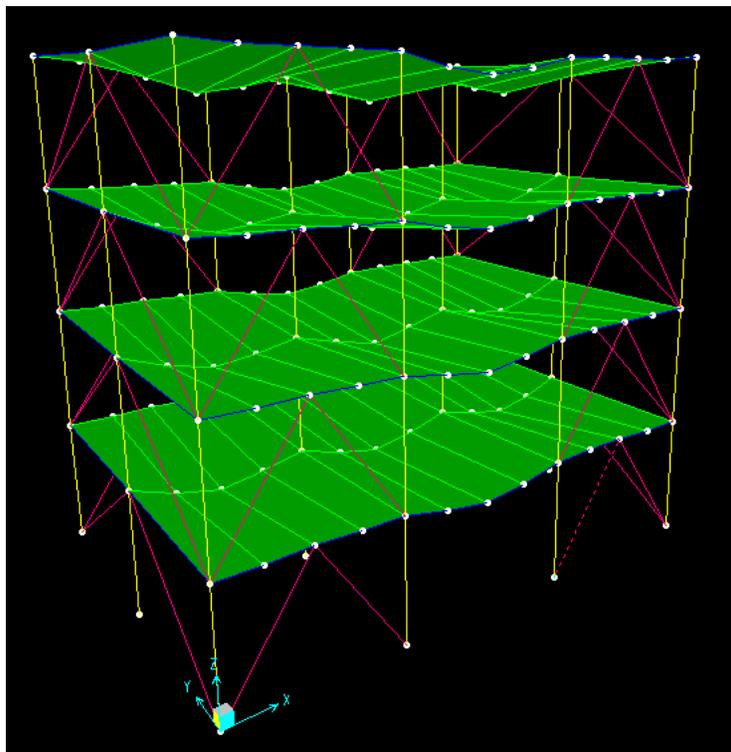
Figura 87: Cargas de Diseño



Fuente: Núñez R., 2018

- Carga de Servicio

Figura 88: Cargas de Servicio



Fuente: Núñez R., 2018

5.1.4. Resultados

De acuerdo al análisis realizado se obtuvo como resultado que la incorporación de los disipadores de energía tipo ADAS mejoran notablemente el comportamiento de la estructura debido a que reduce el valor del periodo en cada modo de vibración de la estructura, también cuando se analizan los diferentes tipos de cargas (viva, muerta, sísmica y de diseño).

En la tabla 11 se observa la disminución del periodo de la estructura cuando se utilizan disipadores de energía tipo ADAS, teniendo en cuenta que el valor más alto de reducción es el 63,38% del valor del modo de vibración 2 y como menor valor de reducción el 25,04% del valor

del modo de reducción 12; lo que demuestra que incorporar este tipo de elementos en las estructuras es de gran ayuda para mejorar su funcionamiento y soporte de sus elementos.

Tabla 11: Comparación de los periodos de diseño de la edificación

NOMBRE	PERÍODO	
	Modo de Vibración	Sin Disipadores de Energía
1	0,56438	0,22086
2	0,55593	0,20358
3	0,48165	0,1433
4	0,18001	0,07852
5	0,1778	0,07255
6	0,15462	0,05662
7	0,10268	0,05505
8	0,10188	0,05229
9	0,08904	0,0511
10	0,07419	0,05083
11	0,07413	0,04999
12	0,06478	0,04856

Fuente: Núñez R., 2018

Por otro lado en la tabla 12 se observan los diferentes giros y desplazamientos de la estructura con y sin disipadores de energía donde se observa que se reducen los valores de los desplazamientos lo cual es de gran importancia al momento de presentarse un sismo debido a que la estructura va a tener mayor capacidad de soporte y menor riesgos a sufrir daños.

Tabla 12: Diferencia de Giros y Desplazamientos de la edificación con y sin disipadores de energía (Pórtico 1)

Puntos	SIN DISIPADORES DE ENERGÍA		CON DISIPADORES DE ENERGÍA	
	Giros	Desplazamientos	Giros	Desplazamientos
1	0	0	0	0
	0	0	0	0
	0	0	0	0
2	-0,00003	9,1039	0,00332	0,0229
	0,00325	0,1037	-0,0025	-10,8641
	-0,00002	0,1407	0,00068	-1,2039
3	-0,00003	21,335	0,0026	0,0805
	0,00298	0,239	-0,00018	-21,9598
	-0,00004	0,2311	0,00056	-1,7948
4	0,00002	30,9536	0,00187	-1498
	0,002	0,345	-0,00012	-30,6524
	-0,00006	0,2751	0,00031	-1,9762
5	-8,136E-06	36,371	0,00108	-0,2506
	0,00099	0,4035	-0,00015	-35,7528
	-0,00007	0,2884	0,00003	-1,9839

Fuente: Núñez R., 2018

CONCLUSIONES

Finalmente luego de las investigaciones realizadas y de consultar diferentes fuentes de información, se presentan las siguientes conclusiones:

- Se puede concluir que los disipadores de energía son de gran utilidad al momento del análisis, modelado y diseño de una edificación ya que le aporta a la estructura y a los elementos que la conforman.
- Los disipadores de energía son un gran tema de estudio donde se investiga y analiza sobre temas que no son usualmente utilizados en nuestro país, además sería importante seguir investigando y consultando temas que incorporen nuevas técnicas de diseño al campo ingenieril.
- El uso de un disipador de energía o cualquier elemento disipador de energía ayuda a mejorar el comportamiento de cualquier tipo de estructura frente a un evento sísmico.
- Teniendo en cuenta que los disipadores de energía ayudan a reducir la demanda sísmica, se minimizan los posibles daños que se presenten en las edificaciones al momento de presentarse un sismo y los componentes de la estructura corren menor riesgo de sufrir deformaciones.
- Luego de observar los resultados obtenidos se deduce que uno de los lugares más indicados para colocar los disipadores de energía sería en las esquinas de la edificación teniendo en cuenta el valor de los desplazamientos por piso, debido a que este no debe ser superior al 1% de la altura entre piso; por ello se determina la cantidad de disipadores que se colocaran en los pórticos, además si se colocan en un sentido o dos sentidos, es decir en diagonal o en equis.

RECOMENDACIONES

De acuerdo a los resultados obtenidos del trabajo realizado se dan las siguientes recomendaciones:

- Implementar el uso de disipadores de energía en las diferentes edificaciones debido a que son de gran ayuda para reducir la amenaza sísmica.
- Debido al análisis realizado anteriormente se puede proponer el uso de disipadores de energía para usarse en estructuras de concreto armado y edificaciones similares a la analizada en esta investigación.
- Conocer e investigar más sobre el comportamiento de los diferentes elementos disipadores de energía, su uso y aplicación
- Teniendo en cuenta que el trabajo realizado en esta investigación es descriptiva y no experimental, es recomendable realizar estudios en los cuales se lleve a cabo la práctica para implementar y verificar la eficiencia de estos elementos.

BIBLIOGRAFIA

- Acuña, P., s.f. Disipadores de energía técnicas de diseño sismo resistente, parr.5
- Alcaldía de Pamplona, (“Localización del Municipio de Pamplona”, s.f)
- Ariza, F. (2017). Los diez pueblos de Colombia donde más tiembla. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com>
- Avilés, R., (2001). Dispositivos para el control de vibraciones (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Austral de Chile. Valdivia-Chile.
- CEC, (2010). Aislación sísmica y disipación de energía. Chile. Recuperado de <http://www.cec.uchile.cl/~dicesco/aislacion.html>
- Corpus, J. y 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 para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Privada Antenor Orrego, Trujillo-Venezuela.
- De Nicolo, A., (2005). Análisis estructural del centro de formación orquestal sinfónica de Lara en Barquisimeto Estado Lara usando mecanismos de disipación de energía del tipo amortiguadores (Trabajo para optar el título de Especialista en Ingeniería Estructural). Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela.
- Dossier protección antisísmico en altura, (“Ventajas y desventajas de los disipadores”, 2017).
- El Tiempo, (2017). No reportan afectaciones tras sismo de magnitud 5,7 en Norte de Santander. *El Tiempo*. Recuperado de <https://www.eltiempo.com>
- Escalante, N.A., (2005). Modelado estructural del centro de formación orquestal sinfónica de Lara en Barquisimeto Estado Lara usando mecanismos de disipación de energía del tipo amortiguadores (Trabajo para optar el título de Especialista en Ingeniería Estructural). Universidad de los Andes, Mérida-Venezuela.
- García, J. (29 de Marzo de 2015). Cúcuta una ciudad que convive con fallas geológicas. *La Opinión*. Recuperado de <https://www.laopinion.com>
- Gatica, V., (2012). Respuesta sísmica de un edificio de estructura metálica con aisladores. Alternativas de diseño (Tesis de Magister). Universidad Politécnica de Madrid, Madrid-España.
- Jara, M.B., (2015). Disipadores de Energía (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Nacional Federico Villareal, Ciudad de México, México.

- León, L. T. (2016). Disipadores y aisladores sísmicos, modelo de puente vehicular con disipador y sin disipador de energía, comparación de la respuesta sísmica (Tesis para optar el Título de Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia, Bogotá-Colombia.
- Ley 400, (15 de Agosto de 1997), por el cual se adoptan normas sobre construcciones sismos resistentes, pág. 7, Bogotá-Colombia
- Mayorga, C. (2011). Caracterización mecánica y modelamiento estructural de un disipador pasivo de energía de tipo arriostamiento de pandeo restringido (Tesis de Magister). Universidad Nacional de Colombia. Bogotá-Colombia.
- Mayorga, N., y Martínez, E., (2014). Estado del arte y modelo didáctico-descriptivo de amortiguadores y aisladores sísmicos (Tesis para optar el título de Ingeniero Civil). Universidad Católica de Colombia, Bogotá-Colombia.
- Oviedo, J., y Duque, M. (2009). Disipadores histeréticos metálicos como técnica de control de respuesta sísmica en edificaciones colombianas. *Revista EIA*, Numero 11, p. 51-63. ISSN 1794-1237.
- Prezi, (“Disipadores de Energía”, 2012)
- Quintero, M., (“Geología Pamplona”, s.f. pag.36-130)
- Reglamento Colombiano de construcción Sismo resistente NSR-10, Titulo A (Requisitos generales de diseño y construcción sismo resistente), pág. A-50, A-51
- Reglamento colombiano de construcción Sismo resistente NSR-10, Titulo B (Cargas), pág. B-12
- Reglamento colombiano de construcción Sismo resistente NSR-10, Titulo C (Concreto Estructural), pág. C-129.
- Reyes, J., y Rubiano, N. (2004). Modelación inelástica de edificios de concreto con disipadores de energía histeréticos. *Revista Uniandes*, Numero 16, p.525.
- Richard, G. (2012). Japoneses desarrollan el primer edificio con aislación sísmica tridimensional. *AOa*, 37.
- Sandoval, R. (18 de Mayo de 2016). Cúcuta: riesgo sísmico de los mayores del país. *La Opinión*. Recuperado de <https://www.laopiniocom.co>
- Segovia, J.C. (2016). Diseño de disipadores de energía metálicos para una edificación de baja altura de concreto armado (Tesis de Magister). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima-Perú.
- Sepúlveda, D., (“Agroecología y desarrollo rural”, s.f.)

Tena, A. (Septiembre, 2004). Rehabilitación sísmica de estructuras, técnicas tradicionales y tecnologías modernas. *VIII Simposio Nacional de Ingeniería Sísmica*. Simposio llevado a cabo por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica, A.C., Tlaxcala, México.

Reglamento colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10, (Marzo de 2010), Comisión asesora permanente para el régimen de construcciones sismo resistentes (creada por la Ley 400 de 1997), Bogotá D.C., Colombia.

ANEXOS

Anexo 1. Alturas o Espesores mínimos recomendados

TABLA CR.9.5 — Alturas o espesores mínimos recomendados para vigas no preesforzadas o losas reforzadas en una dirección que soporten muros divisorios y particiones frágiles susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes, a menos que se calculen las deflexiones

	Espesor mínimo, h			
	Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos Extremos continuos	En voladizo
Elementos	Elementos que soporten o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes.			
Losas macizas en una dirección	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{16}$	$\frac{\ell}{19}$	$\frac{\ell}{7}$
Vigas o losas nervadas en una dirección	$\frac{\ell}{11}$	$\frac{\ell}{12}$	$\frac{\ell}{14}$	$\frac{\ell}{5}$

La Notas son las mismas de la Tabla C.9.5(a) del Reglamento.:

La Tabla CR.9.5 se determinó para impedir que se supere la deflexión que causaría una fisura diagonal en un muro de

Anexo 2. Cargas Muertas mínimas de elementos no estructurales verticales-recubrimiento de muros

Tabla B.3.4.2-1
Cargas muertas mínimas de elementos no estructurales verticales – recubrimiento de muros

<i>Componente</i>	<i>Carga (kN/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kN/m)</i>	<i>Carga (kgf/m²) por m² de superficie vertical (multiplicar por la altura del elemento en m para obtener cargas distribuidas en kgf/m)</i>
Recubrimiento de muros		
Baldosín de cemento	0.80	80
Entablado de madera	0.0060 (por mm de espesor)	6.0 (por cm de espesor)
Madera laminada (según el espesor)	0.0100 (por mm de espesor)	10.0 (por cm de espesor)
Tableros aislantes para muros		
Espuma de poli estireno	0.0005 (por mm de espesor)	0.5 (por cm de espesor)
Espuma de poliuretano	0.0010 (por mm de espesor)	1.0 (por cm de espesor)
Fibra o acrílico	0.0020 (por mm de espesor)	2.0 (por cm de espesor)
Perlita	0.0015 (por mm de espesor)	1.5 (por cm de espesor)
Tableros de fibra	0.0030 (por mm de espesor)	3.0 (por cm de espesor)
Tableros de fibra, 12 mm	0.05	5
Tableros de yeso, 12 mm	0.10	10