

ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UNA
EDIFICACIÓN TÍPICA APOYADA SOBRE AISLADORES SÍSMICOS Y APOYOS
RÍGIDOS.

ANGIE LIZETH ÑAÑEZ ORTIZ - 505977
SAÚL ANDRÉS HERNÁNDEZ CAGUA - 505976

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ, D. C.
ABRIL 2019

ESTUDIO COMPARATIVO DEL DISEÑO DE LA ESTRUCTURA DE UNA EDIFICACIÓN TÍPICA APOYADA SOBRE AISLADORES SÍSMICOS Y APOYOS RÍGIDOS.

ANGIE LIZETH ÑAÑEZ ORTIZ- 505977
SAÚL ANDRÉS HERNÁNDEZ CAGUA - 505976

Trabajo de grado para optar el título de
Ingeniero civil

DIRECTOR:
MARISOL NEMOCÓN RUIZ
Ingeniera Civil

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE COLOMBIA
FACULTAD DE INGENIERÍA
PROGRAMA DE INGENIERÍA CIVIL
MODALIDAD PROYECTO DE GRADO
BOGOTÁ, D. C.
ABRIL 2019



Atribución-NoComercial-SinDerivadas 2.5 Colombia (CC BY-NC-ND 2.5 CO)

Esto es un resumen legible por humanos del [Texto Legal \(la licencia completa\)](#).

[Advertencia](#)

Usted es libre de:



Compartir - copiar, distribuir, ejecutar y comunicar públicamente la obra

Bajo las condiciones siguientes:



Atribución — Debe reconocer los créditos de la obra de la manera especificada por el autor o el licenciante (pero no de una manera que sugiera que tiene su apoyo o que apoyan el uso que hace de su obra).



No Comercial — No puede utilizar esta obra para fines comerciales.

Nota de aceptación:

Ing. Marisol Nemocón Ruiz
Director de Investigación

Firma del presidente del Jurado

Firma del Jurado

Bogotá D.C, ABRIL de 2019

DEDICATORIA

El proyecto lo dedicamos a nuestros profesores e ingenieros externos que nos ayudaron y transmitieron su conocimiento logrado a través de la experiencia, a nuestros compañeros y familiares que de una u otra forma nos apoyaron para la ejecución del trabajo.

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos primero a Dios por permitirnos culminar este ciclo lleno de aprendizaje y experiencias, y poder cumplir todas nuestras metas.

En el acompañamiento agradecemos al Ingeniero Julio Cesar Martínez, por brindarnos su tiempo y conocimiento en la línea de investigación, como también en la gestión integral de nuestro desarrollo.

A la docente Marisol Nemocón Ruiz que también nos apoyó y brindo de su conocimiento para alcanzar la culminación de esta investigación.

CONTENIDO

	pág.
LISTADO DE TABLAS	9
LISTADO DE FIGURAS	12
LISTADO DE ECUACIONES	14
INTRODUCCIÓN	15
1. GENERALIDADES	16
1.1 ANTECEDENTES	16
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	17
1.2.1 Descripción del problema.	17
1.2.2 Formulación del problema.	17
1.3 OBJETIVOS	18
1.3.1. Objetivo General.	18
1.3.2. Objetivos Específicos.	18
1.4 JUSTIFICACIÓN	19
1.5 DELIMITACIÓN	20
1.5.1 Espacio.	20
1.5.2 Tiempo.	20
1.5.3 Contenido.	20
1.5.4 Alcance.	20
1.6 MARCO DE REFERENCIA	21
1.6.1 Marco Teórico.	21
1.6.1.1. Desarrollo de los Aisladores Sísmicos.	21
1.6.1.2. Sistemas de Aislamiento en Colombia.	23
1.6.1.3. Conceptos Fundamentales del Sistema de Aislación Sísmica.	25
1.6.1.4. Aisladores Elastoméricos.	28
- Aisladores Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento (LDRB).	29
- Aisladores Elastoméricos con Núcleo De Plomo (LRB)	30
- Aisladores Elastoméricos De Alto Amortiguamiento (HDRB)	31
- Aisladores Deslizantes.	31
- Aisladores Deslizantes Planos.	32
- Aisladores De Péndulo Friccional (FPS).	33
1.6.2 Marco Conceptual.	34
1.7 METODOLOGÍA	35
1.7.1 Tipo de estudio.	35
1.7.2 Fuentes de información.	35
1.8 DISEÑO METODOLÓGICO	35
1.8.1 Fases de la investigación	36
2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON APOYOS EMPOTRADOS EN SU BASE38	

2.1	Análisis Fuerza Horizontal Equivalente.	38
2.1.1.	Características de la Estructura y Materiales.	38
2.1.2.	Avaluó de Cargas.	38
2.1.3.	Nivel de amenaza Sísmica.	40
2.1.4.	Movimientos Sísmicos de Diseño (Espectro de Diseño).	42
2.1.5.	Determinación de las Fuerzas Sísmicas.	43
2.1.6.	Periodo Fundamental de la Estructura.	44
2.1.7.	Torsión.	47
2.1.8.	Umbral de Daños.	58
2.2	Análisis Dinámico.	70
3.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICO.	72
3.1.	Selección del Aislador Sísmico.	72
3.2.	Entrada de Datos.	78
3.3.	Implementación del Sistema de Aislación en la Estructura.	82
3.4.	Análisis del Comportamiento de la Estructura.	83
4.	ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.	87
5.	CONCLUSIONES.	90
	BIBLIOGRAFÍA	91
	ANEXOS.	93

LISTADO DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Piso 1.	38
Tabla 2. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Piso Tipo.	39
Tabla 3. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Cubierta.	39
Tabla 4. Valor de A_a y de A_v para capitales del departamento .	40
Tabla 5. Valores A_a y A_v aplicados al Proyecto.	40
Tabla 6. Coeficiente F_a para la zona de periodos cortos de espectro.	41
Tabla 7. Coeficiente F_v para la zona de periodos intermedios de espectro.	41
Tabla 8. Valores asignados F_a y F_v para el proyecto.	41
Tabla 9. Valores de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo.	42
Tabla 10. Masas de la Estructura.	43
Tabla 11. Fuerza Horizontal Equivalente.	44
Tabla 12. Periodo Fundamental T_x .	44
Tabla 13. Periodo Fundamental T_y .	45
Tabla 14. Valores para F_{sx}	45
Tabla 15. Fuerza Horizontal Equivalente en X.	45
Tabla 16. Valores para F_{sy} .	46
Tabla 17. Fuerza Horizontal Equivalente en Y.	46
Tabla 18. Torsión Accidental en Eje X.	46
Tabla 19. Torsión Accidental en Eje Y.	47
Tabla 20. Combinaciones para verificar Derivas.	47
Tabla 21. Irregularidad Torsional Modo 1 (X).	47
Tabla 22. Irregularidad Torsional Modo 2 (X).	49
Tabla 23. Irregularidad Torsional Modo 3 (X).	50
Tabla 24. Irregularidad Torsional Modo 4 (X).	51
Tabla 25. Irregularidad Torsional Modo 5 (Y).	53
Tabla 26. Irregularidad Torsional Modo 6 (Y).	54
Tabla 27. Irregularidad Torsional Modo 7 (Y).	55
Tabla 28. Irregularidad Torsional Modo 8 (Y).	57

Tabla 29. Valores de A_d para las ciudades capitales de departamento.	58
Tabla 30. valores asignados para Umbral de Daño.	59
Tabla 31. Valores asignados para umbral de daños Tx.	59
Tabla 32. Fuerza horizontal Equivalente en X, para umbral de daño.	60
Tabla 33. Valores asignados para umbral de daños Ty.	60
Tabla 34. Fuerza horizontal Equivalente en Y, para umbral de daño.	60
Tabla 35. Torsión Accidental para Umbral de Daño en X.	61
Tabla 36. Torsión Accidental para Umbral de Daño en Y.	61
Tabla 37. Derivas máximas para el umbral de Daño como porcentaje de h_{pi} .	61
Tabla 38. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 1 (X).	62
Tabla 39. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 2 (X).	63
Tabla 40. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 3 (X).	64
Tabla 41. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 4 (X).	65
Tabla 42. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 5 (Y).	66
Tabla 43. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 6 (Y).	67
Tabla 44. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 7 (Y).	68
Tabla 45. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 8 (Y).	69
Tabla 46. Derivas máximas como porcentaje de h_{pi} .	70
Tabla 47. Derivas en el Principales Modo de Vibracion X.	70
Tabla 48. Derivas en el Principales Modo de Vibracion Y.	71
Tabla 49. Cortante Basal Estructura Empotrada.	71
Tabla 50. Combinacion de carga.	72
Tabla 51. Fuerza Axial AIS1.	72
Tabla 52. Fuerza Axial para AIS2.	73
Tabla 53. Fuerza Axial para AIS3.	74
Tabla 54. Fuerza Axial para AIS4.	75
Tabla 55. Fuerza Axial para AIS5.	76
Tabla 56. Valor máximo de carga axial en los apoyos.	77
Tabla 57. Propiedades Técnicas del Aislador.	78
Tabla 58. Propiedades de los aisladores a implementar.	80

Tabla 59. Aisladores Seleccionados.	81
Tabla 60. Derivas en los 3 Principales Modos de Vibraciones X.	84
Tabla 61. Derivas en los 3 Principales Modos de Vibraciones Y.	84
Tabla 62. Cortante Basal con Aisladores Sismicos.	84
Tabla 63. Comparación del Cortante Basal.	88

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Puentes la Estampilla – Manizales.....	23
Figura 2. Aisladores utilizados en las pilas.	23
Figura 3. Viaducto Helicoidal - Entre Dosquebradas y Santa Rosa.	24
Figura 4. Aisladores en pila del Viaducto Helicoidal.	24
Figura 5. Aceleración y desplazamiento de la estructura.	26
Figura 6. Impacto de Alargamiento de periodo obtenido por aislamiento sísmico en aceleraciones, (a) Espectro de respuesta de aceleración, (b) Espectro de respuesta de desplazamientos de una estructura.	27
Figura 7. Respuesta de aceleración y desplazamiento, espectro para aumentar la amortiguación. (a) Aceleración RS, (b) Desplazamiento RS.	27
Figura 8. Diagrama que muestra varios tipos de aisladores.	28
Figura 9. Partes de un Aislador Elastómero.	29
Figura 10. Aislador tipo LDRB.	30
Figura 11. Aislador tipo LRB.	30
Figura 12. Aislador de Alto Amortiguamiento.	31
Figura 13. Aislador deslizante, o friccional.	32
Figura 14. Aislador deslizante plano.	33
Figura 15. Aisladores de Péndulo Friccional.	33
Figura 16. Diseño Metodológico.	36
Figura 17. Espectro de Diseño.	42
Figura 18. Espectro umbral de daño.	59
Figura 19. Lazo de Histeresis.	79
Figura 20. Localización de Aisladores Sísmicos.	81
Figura 21. Propiedades de diseño NLink.	82
Figura 22. Disposición de Aisladores Sísmicos en la Estructura.	82
Figura 23. Detalle elemento tipo LINK.	83
Figura 24. Deformaciones presentadas en el Modelo con Aisladores.	85
Figura 25. Deformaciones presentadas en el Modelo empotrada en la base.	86

Figura 26. Desplazamiento de estructura empotrada en la base..... 86

Figura 27. Desplazamiento de estructura con aisladores. 87

Figura 28. Derivas en Estructura Empotrada. 89

Figura 29. Derivas en Estructura Aislada. 89

LISTADO DE ECUACIONES

	Pág.
Ecuación 1. Periodo Fundamental de la Estructura.....	42
Ecuación 2. Ecuación de Cortante Sísmico en la Base.....	43
Ecuación 3. Exponente relacionado con el periodo fundamental.	43
Ecuación 4. Periodo Fundamental.	44
Ecuación 5. Rigidez Efectiva.	79
Ecuación 6.Desplazamiento de transición.....	79
Ecuación 7. Fuerza de Fluencia.....	79
Ecuación 8. Rigidez Inicial.	79

INTRODUCCIÓN

Se ha evidenciado a través del tiempo, eventos sísmicos de diferentes magnitudes, que al momento de presentarse generan daños sobre las construcciones, causando desgastes en los materiales y daños en elementos. Por lo tanto, desde el punto de vista tecnológico e industrial se ha buscado la forma en la cual se puedan mitigar los efectos de los movimientos sísmicos sobre las estructuras. Creando sistemas de aislación que disipen la energía del sismo y reduzcan su impacto en la estructura.

El objetivo de realizar esta investigación es elaborar una modelación numérica de una estructura apoyada en el Software de análisis y diseño estructural ETABS 2016, que permita observar el comportamiento de la estructura al momento de un sismo, y paralelo al mismo modelo, implementar el sistema de aislación sísmica, con el objetivo de realizar un análisis comparativo entre estos dos modelos y evidenciar la reducción de fuerzas internas y desplazamientos presentados por la estructura, demostrando que el uso del sistema de aislación genera sobre la estructura una mayor capacidad de disipación de energía y mayor resistencia a los daños colaterales.

1. GENERALIDADES

1.1 ANTECEDENTES

Basados en los eventos sísmicos que se han presentado en diferentes países del mundo, se han desarrollado investigaciones y tecnologías fundamentadas en construcciones antiguas que no presentaron daños después de un sismo. Como resultado a los análisis realizados a estas estructuras, se encontraron en las cimentaciones materiales como maderas, algas y ciertos tipos de cimentaciones no convencionales. Luego de caracterizar estos materiales se encontró que, debido a su composición, estos materiales tenían la capacidad de absorber o disipar energía (Kirikov, 1992).

Apoyados en estas investigaciones se crearon sistemas de aislación sísmica, con la finalidad de disipar la energía del sismo, a través de materiales como el caucho, el cual luego de pasar por un proceso de vulcanización desarrolla propiedades elastoméricas, capaces de disipar energía, además se pueden encontrar aisladores con estructura de plomo para otorgar resistencia al sistema y aumentar las capacidades de amortiguamiento (Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes, 2007).

Uno de los primeros países en utilizar el sistema de aislación sísmica fue Japón, que en 2011 en la ciudad de Tohoku presentó un sismo de grado IX, el cual origino velocidades de hasta 100 cm/s, se evidenció que las estructuras en las que se empleó el sistema de aislación sísmica respondieron de manera positiva evitando el colapso (Moquete, 2012).

El sistema de aislación sísmica se usa con el objetivo de que la estructura no colapse a causa de las fuerzas sísmicas generadas, lo que busca es que la estructura soporte estos esfuerzos y los daños que se presenten no afecten los componentes estructurales (Genatios, y otros, 2016).

1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.2.1 Descripción del problema.

Es habitual luego de un evento sísmico, que se presente deterioro sobre elementos estructurales que fallan debido a las fuerzas internas generadas por el sismo, lo cual puede llegar a producir que la estructura colapse.

Haciendo frente a esta problemática se han generado a nivel internacional, en países como Japón, Chile, México donde se presentan eventos sísmicos con frecuencia y de magnitudes considerables, sistemas de aislación analizando materiales en estructuras antiguas, que debido a su composición funcionaban como disipadores de energía, ubicados entre la superestructura y la subestructura, de esta manera reduciendo los esfuerzos y desplazamientos transferidos a la estructura y evitando el deterioro de la misma. Con el fin de verificar la utilidad del sistema de aislación se realizarán dos modelos, a los cuales se les evaluarán los desplazamientos y fuerzas internas producidas por los sismos. Este proceso se realizará bajo la normativa NSR-10 (NSR-10, 2010) y el libro Design of seismic isolated structures from theory to practice (Naeim, y otros, 1999).

1.2.2 Formulación del problema.

¿Qué variación se genera en los desplazamientos y fuerzas internas de la estructura al momento de implementar el sistema de aislación sísmica?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo General.

Evaluar la resistencia sísmica de una estructura, ya planteada y diseñada bajo la NSR-10, a la cual se le implementará el sistema de aislación sísmica, para un posterior análisis comparativo.

1.3.2. Objetivos Específicos.

- Describir la metodología para llevar a cabo la implementación del sistema de aislación sobre la estructura ya planteada.
- Integrar de manera efectiva el sistema de aislamiento sobre la estructura, relacionando los aspectos técnicos que contempla el sistema.
- Llevar a cabo modelos numéricos, a través de software (ETABS 2016), con el fin de representar la respuesta sísmica de ambas estructuras.
- Realizar un análisis comparativo de los resultados obtenidos, de la estructura aporticada en concreto reforzado sobre apoyos convencionales vs la estructura agregando el sistema de aislamiento.
- Dar a conocer el comportamiento de una estructura, con la implementación del sistema de aislación sísmica.

1.4 JUSTIFICACIÓN

La investigación se basa en la comparación de desplazamientos y fuerzas internas producidas en una estructura, comparadas con los resultados obtenidos en la misma estructura con el sistema de aislación aplicado en su base, y de este modo obtener más información y considerar el uso de este sistema para futuras estructuras. Este análisis comparativo se realizará con ayuda del software ETABS 2016.

El uso de estos sistemas se justifica, en vista de que Colombia se encuentra ubicado en zona de amenaza sísmica intermedia y alta, asimismo que en las últimas décadas se han presentado eventos sísmicos de magnitudes considerables, como el ocurrido el Armenia en 1999, evento que generó innumerables pérdidas humanas y daños irreparables a estructuras del municipio (AIS, 2010).

Este proyecto adquiere importancia al ser un avance científico que en Latinoamérica se ha comenzado a implementar, no obstante, en Colombia se cuestiona el uso del sistema, debido a la falta de práctica y ausencia de información.

1.5 DELIMITACIÓN

1.5.1 Espacio.

La investigación y el desarrollo del proyecto se realizado en las instalaciones de la Universidad Católica de Colombia, en los laboratorios de informática. Y en los equipos de la empresa Julio Martínez Chávez & CIA. Teniendo en cuenta el horario de uso de los equipos y la disponibilidad de tiempo que se tenga para el uso, con el fin de evitar interrupciones.

1.5.2 Tiempo.

El tiempo de elaboración de los modelos estructurales se establece en vista de las correcciones realizadas por el director del proyecto y la aprobación de las investigaciones usadas para determinar las propiedades del sistema de aislación

1.5.3 Contenido.

A lo largo del documento se presentarán los sistemas de aislación sísmica, su clasificación e información general, la implementación a nivel mundial. Se lleva a cabo una descripción general de la edificación sobre la cual se analizarán las fuerzas internas y desplazamientos, y posteriormente se agregará el sistema sísmico sobre la misma estructura con ayuda del software ETABS 2016, y así extraer la información del modelo y realizar el análisis comparativo sobre los resultados obtenidos.

1.5.4 Alcance.

La investigación va dirigida a evaluar el comportamiento de una estructura empleando el sistema de aislación sísmica, el cual contribuye a absorber la energía transmitida por el suelo, y de esta manera que la estructura presente menores desplazamientos y reducir las fuerzas internas en los componentes estructurales.

1.6 MARCO DE REFERENCIA

1.6.1 Marco Teórico.

1.6.1.1. Desarrollo de los Aisladores Sísmicos.

El desarrollo de los aisladores sísmicos dio inicio en 1909 cuando J.A. Calantegris redactó una carta al Director de servicio sísmico de Chile, en la cual, afirmaba que un edificio podía construirse en un país sísmico con total seguridad si es que había una junta entre la base de la estructura y el suelo rellena de un material fino ya fuese arena, mica o talco, que le permitiese deslizarse durante un evento sísmico, esto permitiría que las fuerzas horizontales transmitidas a la estructura se reduzcan y como consecuencia no colapse la edificación (Naeim, y otros, 1999).

Entre 1876 y 1895, el ingeniero John Milne, quien fue maestro de Ingeniería de Minas en la Universidad de Tokio, llevó a cabo varias investigaciones pioneras sobre la sismología, tanto que se le llegó a conocer como el “Padre de la Sismología Moderna”, y a lo largo de sus investigaciones realizó varias publicaciones para el diseño de edificios en áreas sísmicamente activas, publicaciones que hasta el día de hoy son válidas, también ejecutó varios experimentos de aislación sísmica, en donde instrumentaba una estructura aislada sísmicamente y la sometía a un movimiento sísmico. En 1885, escribió un reporte sobre su primer experimento a la Asociación Británica de Avance de la Ciencia, en donde describía su primer experimento, en el cual la estructura estaba construida sobre unas esferas de deslizamiento de 10 pulgadas de diámetro, sin embargo, aparentemente el edificio no tenía un buen desempeño a cargas del viento, así que al realizar nuevamente el ensayo determinó que con esferas de un diámetro de $\frac{1}{4}$ de pulgada la estructura se volvía estable a cargas de viento (Naeim, y otros, 1999).

La práctica de los aisladores se ha implementado en las construcciones en los últimos 20 años con el desarrollo de los aisladores elastoméricos, mediante unión por vulcanización del caucho a las placas de refuerzo de acero delgadas. Que ha desarrollado que estos elementos sean rígidos verticalmente y que puedan soportar las cargas del edificio, y a su vez, que el edificio se mueva lateralmente bajo un fuerte movimiento del suelo (Naeim, y otros, 1999).

Lo que se busca al momento de implementar estos aisladores sísmicos es a edificios importantes que alberguen equipos sensibles o que sean de un uso importante para la ciudad, afectando directamente las derivas que pueden ocurrir al momento de un sismo. Ya que, las derivas de gran tamaño causan daños a los componentes no estructurales del edificio, y estas derivas se pueden disminuir endureciendo la estructura, pero esto conlleva a que se amplifique el movimiento del

suelo por lo que sobre el suelo se generarían aceleraciones más elevadas lo cual puede llevar a hacer colapsar la edificación. Por lo que el mejor método para disminuir estas derivas y conservar la estructura es implementando los aisladores sísmicos, ya que el sistema proporciona la flexibilidad necesaria para los desplazamientos generados por el sismo (Kirikov, 1992).

El sistema de aislamiento, lo que busca es desacoplar el edificio o la estructura de los componentes horizontales, al interponer elementos estructurales con una rigidez horizontal baja entre la estructura y la base. Esto le da a la estructura un comportamiento diferente y mucho menor al que se genera con unas bases fijas y al comportamiento del movimiento del suelo. Este sistema de aislamiento no afecta la energía del terremoto, sino que la desvía a través de la dinámica del sistema (Kelly, 2001).

El primer sistema de aislamiento usado en una estructura fue en 1969, en una escuela de Skopje, Yugoslavia. La escuela Pestalozzi, cuya estructura estaba constituida por tres pisos y había sido construida por ingenieros suizos, esta construcción está aislada por un sistema conocido como aislamiento de base completa 3D. En donde se desarrollaron bloques de goma, que no se encontraban reforzados por completo, por lo que la presión ejercida por el edificio hacía que los aisladores se abultaran hacia los lados. Se usaron unos bloques de vidrio los cuales actuaban como espoletas sísmicas que amenazaban con romperse cuando la carga sísmica ejercida superaba el umbral de diseño. Debido a la rigidez del sistema, el edificio rebotaría sobre los aislamientos y se sacudiría en dos direcciones, al momento en que se presentara el terremoto. Estos apoyos se diseñaron cuando la tecnología de las placas no era ampliamente conocida ni se había desarrollado por completo, este sistema es muy poco probable a que se vuelva a usar en la actualidad (Naeim, y otros, 1999).

Muchos de los sistemas implementados en Nueva Zelanda y Japón, incluyen rodamientos en los aislamientos de baja amortiguación, con algún tipo de amortiguador mecánico, fuera de eso tienen componentes como amortiguadores hidráulicos, barras de acero, bobinas de acero o tapones de plomo dentro de su estructura. Lo cual conlleva a varios inconvenientes, ya que estos amortiguadores requieren conectores mecánicos y mantenimiento de rutina, estos amortiguadores generan un comportamiento no lineal en la respuesta del análisis dinámico del edificio.

En comparación Estados Unidos, lo más usado es el aislador con núcleo de plomo, los cuales son rodamientos elastoméricos laminados con uno o más orificios circulares, en donde los tapones de plomo se insertan para agregar mayor amortiguación al sistema de aislamiento. También se han usado estos aislamientos mediante la inclusión de amortiguación en el propio elastómero. En Estados Unidos, Italia, Japón, La República Popular de China e Indonesia han usado aisladores de alta amortiguación, lo cual nos permite concluir que su simplicidad e importancia genera que este principio se extienda rápidamente (Kirikov, 1992).

El concepto de aislamiento ha proporcionado una rica fuente de trabajo teórico, tanto en la dinámica del sistema estructural como en la mecánica de los propios aisladores. Este trabajo teórico, ha sido publicado en revistas de ingeniería estructural y de ingeniería sísmica, y ha conducido a implementar normas de diseño para estructuras aisladas (Kirikov, 1992).

1.6.1.2. Sistemas de Aislamiento en Colombia.

El primer proyecto al cual se le implementó del sistema de aislación sísmica en Colombia fue el puente La Estampilla – Manizales en 2008, Figura 1.

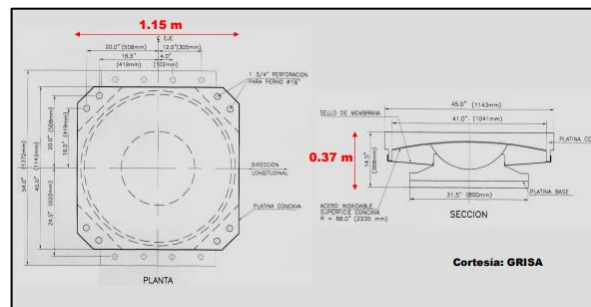
Figura 1. Puentes la Estampilla – Manizales



Fuente: El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia., 2009.

De acuerdo con la información encontrada se utilizaron aisladores de péndulo por fricción, con capacidad de desplazamiento de 0.35 m, y ubicando 2 aisladores por cada pila, y de esta manera cada uno de los puentes se encuentra apoyado sobre 6 aisladores sobre las pilas (Figura 2).

Figura 2. Aisladores utilizados en las pilas.



Fuente: El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia., 2009.

La segunda obra ejecutada con el sistema de aislación sísmica es el viaducto Helicoidal – Entre Dosquebradas y Santa Rosa construida en el año 2010, Figura 3.

Figura 3. Viaducto Helicoidal - Entre Dosquebradas y Santa Rosa.



Fuente: El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia., 2009.

Estructura de la cual habló el diseñador como “Una solución creativa, pero con mucha responsabilidad. 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” (10). Construcción que el ingeniero bautizó como su hijo más preciado. Se puede visualizar los aisladores entre la base del puente y la pila del viaducto en la Figura 4

Figura 4. Aisladores en pila del Viaducto Helicoidal.



Fuente: El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia., 2009.

Luego de estas estructuras, se abrieron paso a variedad de posibilidades a contemplar en las construcciones a nivel nacional, continuando con estas metodologías se implementaron en las siguientes estructuras:

- Puente Gualanday-Tolima.
- Clínica Comfandi-Cali.

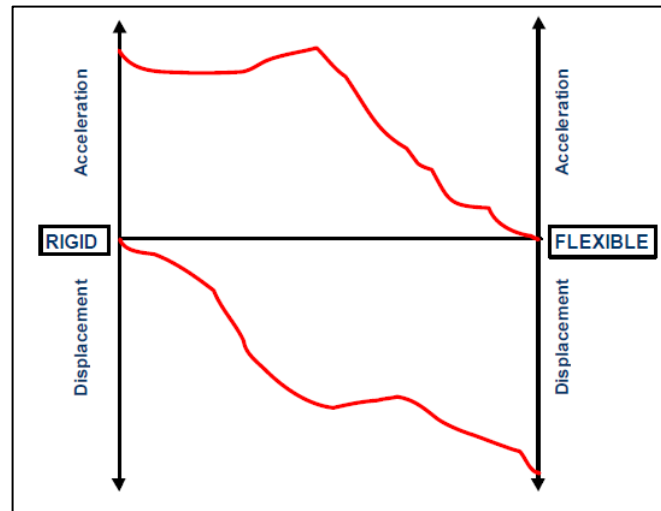
Dentro de las investigaciones realizadas por la comunidad científica, buscando la ampliación de estas metodologías, se ha llegado a concluir que “Los aisladores sísmicos disipan la energía que es producida por los eventos de sismo, posibilitando el desacoplamiento del edificio con la cimentación, haciendo que en los apoyos inferiores no se produzca acumulación de energía y que en los pisos superiores no aumente la aceleración que causa la deformación del pórtico”, a estas investigaciones se han elaborado modelos de simulación de aisladores sísmicos tipo péndulo de fricción, a través de ecuaciones y modelaciones analíticas utilizando el software ETABS 2016, ensayando varios tipos de estructuras buscando los mejores resultados, simulaciones de las cuales se concluyó que “Los modelos experimentales reflejan el comportamiento esperado de una estructura con aislamiento sísmico en su base presentando reducciones hasta en un 300% en los niveles de aceleración. Sin embargo, esta disminución puede variar significativamente dependiendo de la frecuencia de la señal de entrada. No en todos los casos este sistema funcionaría eficientemente” (Antorveza, 2010).

No obstante, se deja claro que es necesario seguir profundizando en este tema debido a la falta de implementación del sistema en las estructuras en el país, lo cual da paso a la investigación efectuada en este proyecto, que busca determinar el efecto generado por un sismo sobre una estructura de uso público la cual va a ser necesaria antes, durante y después de un evento sísmico.

1.6.1.3. Conceptos Fundamentales del Sistema de Aislación Sísmica.

En la actualidad, las estructuras no son ni perfectamente rígidas ni perfectamente flexibles, por lo que la respuesta a los movimientos del suelo se encuentra entre los dos extremos, como se muestra en la Figura 5. Para periodos entre cero e infinito, las aceleraciones y los desplazamientos máximos relativos al suelo son una función del terremoto. (Obando, 2013)

Figura 5. Aceleración y desplazamiento de la estructura.



Fuente: Obando, 2013.

Para la mayoría de los terremotos, existe un rango de periodos en donde la aceleración generada en la estructura se amplificará más que la aceleración máxima del sismo. Los desplazamientos generalmente no superarán el desplazamiento del terreno máximo, aunque particularmente para sitios de suelo blando y sitios que se encuentren cerca de la falla, no aplicará esta situación (Obando, 2013).

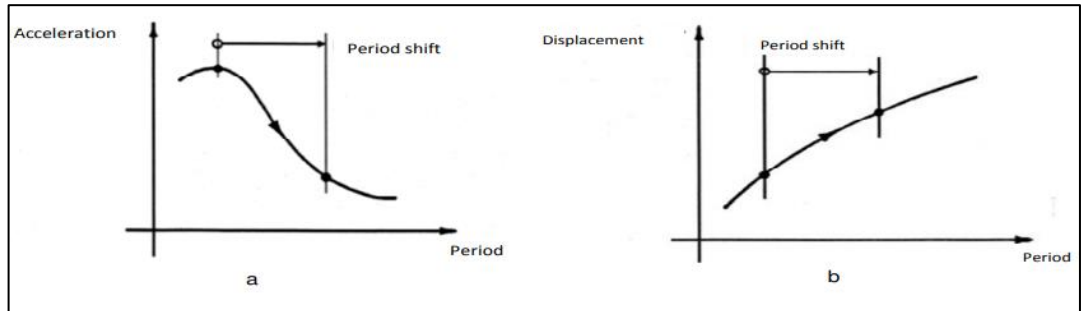
La implementación del sistema de aislación sísmica, aplicara a tres propiedades características, presentadas en la estructura al momento del sismo y cumpliendo con el principio ya mencionado:

1. Flexión.
2. Amortiguación.
3. Rigidez.

Los aisladores reaccionarán de la siguiente forma ante estas propiedades generando:

1. Flexibilidad: debido a la flexibilidad adicional, el periodo de la estructura se alargará. Como podemos ver en la Figura 6, se producen reducciones en la fuerza cortante de la base a medida que se alarga el periodo de vibración de la estructura. La medida en que estas fuerzas se reducen depende de la naturaleza del movimiento del terreno y del periodo de la estructura (Valerio, 2015).

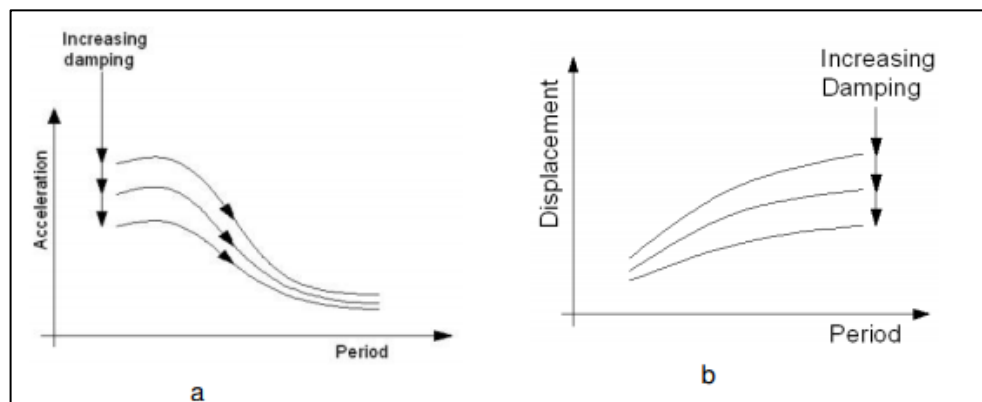
Figura 6. Impacto de Alargamiento de periodo obtenido por aislamiento sísmico en aceleraciones, (a) Espectro de respuesta de aceleración, (b) Espectro de respuesta de desplazamientos de una estructura.



Fuente: Valerio, 2015.

2. Disipación de la energía: la flexibilidad adicional para alargar el periodo de la estructura dará como resultado un desplazamiento relativo a través de la montura flexible. Como se muestra en la Figura 7, en la curva se ve aumentar el desplazamiento al aumentar el periodo. Los grandes desplazamientos se pueden controlar si se introduce una amortiguación adicional en la estructura. Como se muestra en la Figura 7, se ve el efecto suavizado de una amortiguación más alta. Uno de los medios más efectivos para proporcionar un nivel sustancial de amortiguación es mediante la disipación de energía (Valerio, 2015).

Figura 7. Respuesta de aceleración y desplazamiento, espectro para aumentar la amortiguación. (a) Aceleración RS, (b) Desplazamiento RS.



Fuente: Valerio, 2015.

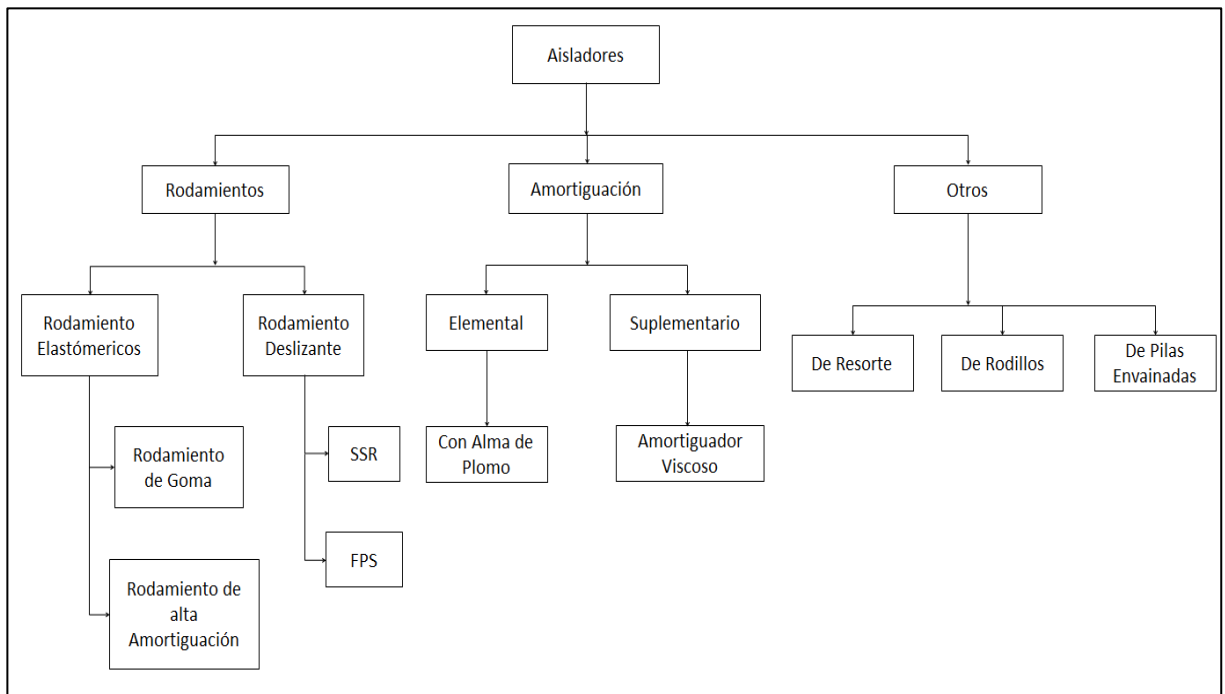
3. Rigidez bajo cargas laterales bajas: Si bien la flexibilidad lateral es altamente deseable para cargas sísmicas elevadas, claramente no es deseable tener

en un sistema estructural que vibre perceptiblemente bajo cargas que ocurren con frecuencia, como cargas de viento o cargas de frenado.

La implementación del sistema de aislamiento se basa en la suposición de que en el rango de frecuencias medias, durante periodos de aproximadamente 0,5 segundos a 4 segundos, la entrada de energía es una constante, por lo que la velocidad será constante, según los códigos de diseño para una velocidad constante, el desplazamiento es proporcional al periodo (T), y la aceleración será inversamente proporcional al periodo (T). Cumpliendo de esta forma el principio fundamental del sistema de aislamiento, que es modificar la respuesta de la estructura para que el suelo pueda moverse debajo del edificio sin transmitir estos movimientos al interior de la estructura. (Obando, 2013)

Atendiendo a la necesidad de mitigar los efectos sísmicos sobre las estructuras, se han desarrollado varios tipos de aisladores sísmicos, según su composición y estructura, como se muestra en la Figura 8.

Figura 8. Diagrama que muestra varios tipos de aisladores.



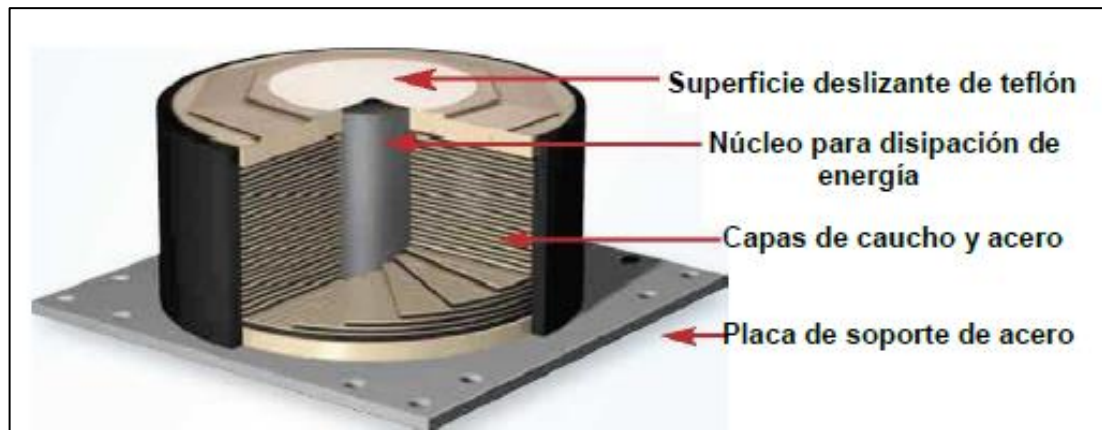
Fuente: Seismic isolation in buildings to be a practical reality: behavior of structure and installation technique, 2011.

1.6.1.4. Aisladores Elastoméricos.

Los aisladores elastoméricos, están formados por un conjunto de láminas planas de goma intercaladas por placas planas de acero, adheridas a la goma durante un

proceso de vulcanización, por lo general presentan una sección circular o cuadrada y cubierta en su extremo superior e inferior por dos placas de acero, donde se conecta con la superestructura, en su parte superior y con la subestructura en su parte inferior. Las láminas de acero confinan lentamente a la goma haciendo que el aislador tenga una gran rigidez vertical, y a su vez una rigidez horizontal muy baja, permitiendo el desplazamiento horizontal de la estructura en relación al suelo. La rigidez vertical del sistema es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de los aisladores elastómeros depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos, en menor grado de la temperatura, el envejecimiento y la frecuencia del movimiento (Nitsche, 2018).

Figura 9. Partes de un Aislador Elastómero.



Fuente: Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes, 2007.

- **Aisladores Elastoméricos de Bajo Amortiguamiento (LDRB).**

Estos dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDRB (Figura 10), presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo) por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema.

Las ventajas que otorgan este tipo de aisladores de bajo amortiguamiento son: la fácil manufactura, modelado simple, y la temperatura y el envejecimiento no afecta sus propiedades mecánicas. Su única desventaja es que generalmente se instalan acompañados de algún otro sistema de amortiguamiento adicional con el fin de complementar la absorción de energía (Seismic isolation in buildings to be a practical reality: behavior of structure and installation technique, 2011).

Figura 10. Aislador tipo LDRB.



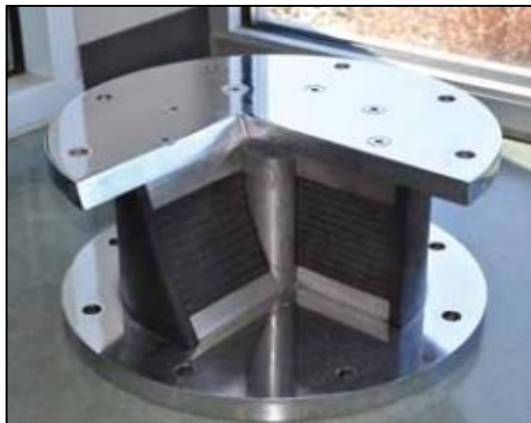
Fuente: Grupo Vikingo.

- **Aisladores Elastoméricos con Núcleo De Plomo (LRB)**

Estos aisladores con núcleo de plomo son aisladores similares a los LDRB (Figura 11), pero poseen un núcleo de plomo, ubicado al centro del aislador que permite aumentar el nivel de amortiguamiento del sistema hasta niveles cercanos al 25-30%. Ya que, al deformarse lateralmente el aislador durante la acción de un sismo, el núcleo de plomo fluye, incurriendo en deformaciones plásticas y disipando energía en forma de calor. Al término de la acción sísmica, la goma del aislador retorna la estructura a su posición original, mientras el núcleo de plomo se recristaliza.

La rigidez inicial y el amortiguamiento efectivo del aislador dependen del desplazamiento al cual sea ejercido el aislador sísmico (Grupo Vikingo).

Figura 11. Aislador tipo LRB



Fuente: Grupo Vikingo.

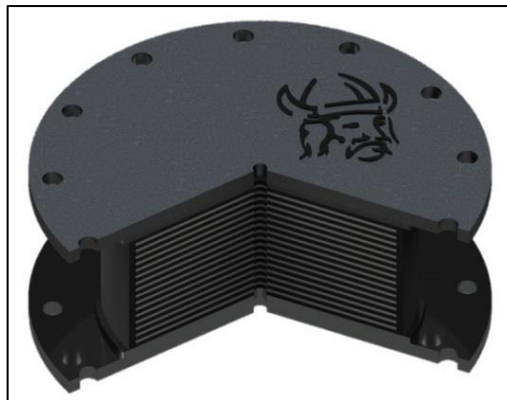
- **Aisladores Elastoméricos De Alto Amortiguamiento (HDRB)**

Los aisladores elastoméricos de alto amortiguamiento, cuyas láminas de elastómero son fabricados complementando su estructura con elementos como carbón, aceites y resinas con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%. El comportamiento del material se presenta no lineal para tensiones de cortante, inferiores a 20%, y se caracteriza por una alta rigidez y amortiguamiento, lo que tiende a minimizar la respuesta bajo acciones de viento y sismos de pequeña magnitud. Sobre el rango de 20-120% de tensión de cortante, el módulo se torna bajo y constante (Uso de los Aisladores de Base en Puentes de Concreto Simplemente Apoyados, 2012).

La relación de la deformación lateral entre el espesor de la lámina de caucho alcanza niveles de hasta 300%.

Estos aisladores a comparación de los LDRB (Figura 12), presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia, pero a su vez los aisladores HDRB presentan mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, y que posteriormente en el tercer ciclo de carga se logra estabilizar (Naeim, y otros, 1999).

Figura 12. Aislador de Alto Amortiguamiento.



Fuente: TecnoAv.

- **Aisladores Deslizantes.**

Los aisladores deslizantes (Figura 13), utilizan una superficie de deslizamiento típicamente de acero inoxidable, sobre la que se desliza una placa de acero revestida de Poli tetra Fluoruro Etileno (PTFE), sobre la que se soporta la estructura. La superficie de deslizamiento permite el movimiento horizontal de la estructura de manera independiente del suelo. Este sistema disipa la energía por medio de las

fuerzas de rozamiento que se generan durante un sismo (Doshin Rubber Engineering).

Estos sistemas requieren de un mayor mantenimiento y cuidado, ya que cualquier modificación en las superficies deslizantes puede resultar en un coeficiente de fricción distinto al esperado por el diseño (CDV Ingeniería Sísmica).

El coeficiente de fricción del aislador dependerá de cierta variedad de coeficientes relacionados con el entorno en el cual actuará y será instalado el aislador, tales como, la temperatura de trabajo, la presión de contacto, la velocidad de movimiento, el estado de la superficie de contacto, etc.

Figura 13. Aislador deslizante, o friccional.

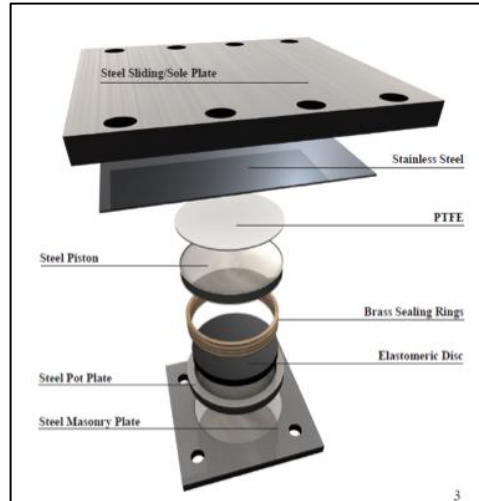


Fuente: Infraestructura Hospitalaria.

- **Aisladores Deslizantes Planos.**

Estos aisladores son los más simples, consisten básicamente en dos superficies, una adherida a la superestructura y la otra a la subestructura, posee un bajo coeficiente de fricción, por lo que permite los movimientos horizontales y resistencia a cargas verticales. Estos llevan una capa de material elastoméricos que les facilita el movimiento del deslizador en caso de sismos. Estas superficies deslizantes son de acero inoxidable pulido espejo, y de un material polimérico de baja fricción (Figura 14). Este tipo de aisladores generalmente requieren de disipadores y aisladores sísmicos adicionales, con el propósito de que estos regresen la estructura a su posición original luego de un sismo (Naeim, y otros, 1999).

Figura 14. Aislador deslizante plano



Fuente: Sismica.

- **Aisladores De Péndulo Friccional (FPS).**

El aislador FPS (Figura 15), consiste de un deslizador articulado sobre una superficie de acero inoxidable de forma esférica. Las características de estos apoyos constan en la superficie deslizante esférica de acero inoxidable pulido y el deslizador articulado, que está revestido con un material compuesto, de alta capacidad de soporte basado en poli tetra fluoro etileno que tiene un bajo coeficiente de fricción. Los apoyos están sellados e instalados con la superficie deslizante boca abajo, para evitar la contaminación de la interfaz de deslizamiento.

Este es un dispositivo que elimina por completo el efecto de la torsión en la estructura, al ser un elemento que actúa por gravedad, su funcionamiento está prácticamente garantizado (Infraestructura Hospitalaria).

Figura 15. Aisladores de Péndulo Friccional



Fuente: Sismica.

1.6.2 Marco Conceptual.

Podemos observar un listado de definiciones de los términos utilizados en el presente documento, con el fin de otorgar una mayor claridad en la lectura del mismo:

- **Aisladores Sísmicos:** Sistema diseñado, con el fin de disipar la energía creada por los eventos sísmicos, y que de esta forma la estructura no colapse. (El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia., 2009)
- **Elastómeros:** Son polímeros amorfos, es decir que no tienen una forma determinada. Mediante procesos físicos y químicos, los elastómeros son moldeados según las necesidades de la producción. Cuando están a temperatura ambiente, los elastómeros son blandos y fácilmente deformables. (QuimiNet, 2019)
- **Deriva:** Se define como la relación entre el desplazamiento lateral en la parte más alta del edificio, dividido la altura del piso. Este es un factor que permite calcular los desplazamientos laterales máximos de la edificación. (Significados, 2019)
- **Fricción:** Es la fuerza ejercida, por el rozamiento de dos cuerpos, en donde uno de estos cuerpos se encuentra inmóvil.
- **Polímero:** Son macromoléculas formadas por uniones de enlaces covalentes, creando de esta forma largas cadenas moleculares. Ejemplo: Polietileno, poli tetra fluoruro etileno, etc. (Marínez, 1983)
- **Amortiguamiento:** Es la capacidad que tiene el sistema, de disipar la energía, es decir de recibir, absorber y mitigar la fuerza a la cual es sometido. (Ecultura Group, 2019)
- **Vulcanización:** Es el proceso mediante el cual se calienta el caucho crudo, en presencia de azufre, con el fin de que este se vuelva más duro y resistente. (Mariano, 2012)
- **Carga Muerta:** Carga vertical aplicada sobre una estructura que incluye el peso de la misma estructura más la de los elementos permanentes. También llamada carga permanente, concarga. (N/A, 2019)
- **Carga Viva:** Carga externa movable sobre una estructura, que incluye el peso de la misma junto con el mobiliario, equipamiento, personas, etc, que actúa verticalmente, por lo tanto no incluye la carga eólica, también llamada la carga variable. (N/A, 2019)
- **Fuerza Sísmica:** Es la acción que un sismo provoca sobre la estructura de un edificio y que deben ser soportadas por esta. Fuerzas transmitidas a través del suelo. (N/A, 2019)
- **Tensión:** es aquella fuerza que, aplicada a un cuerpo elástico, generalmente estas fuerzas son ejercidas buscando la elongación del cuerpo, como por ejemplo cadenas, cables o hilos. (Ecultura Group, 2019)

- **Rigidez:** Esta es la resistencia a las deformaciones elásticas producidas en cierto material, en donde se contempla la capacidad del elemento para soportar los esfuerzos que se estén aplicando. (Julian Perez Porto, 2010)
- **Cizallamiento:** Deformación lateral que es producida por una fuerza externa, también llamada esfuerzo cortante. (Construmatica, 2018)
- **Péndulo:** Es un sistema físico que puede oscilar bajo la acción gravitatoria u otras características físicas, y que está configurado para una masa suspendida de un punto o de un eje horizontal fijos mediante un hilo, una varilla, y otro dispositivo que sirve para medir el tiempo. (Física Conceptual, 2018)

1.7 METODOLOGÍA

1.7.1 Tipo de estudio.

El proyecto se llevó a cabo mediante diferentes métodos de investigación, “el diseño metodológico que se realizó es de tipo experimental” (CATÓLICA s. f.), los cuales abarcaron todo el proyecto para el cumplimiento de los objetivos planteados.

1.7.2 Fuentes de información.

Para llevar a cabo el proyecto se utilizaron diferentes fuentes de información.

➤ Fuente de información personal: Se consultaron diferentes docentes del área de estructuras de la Universidad Católica de Colombia, también se contó con fuentes de ingenieros de las empresas JULIO MARTÍNEZ CHÁVEZ & CIA LTDA.

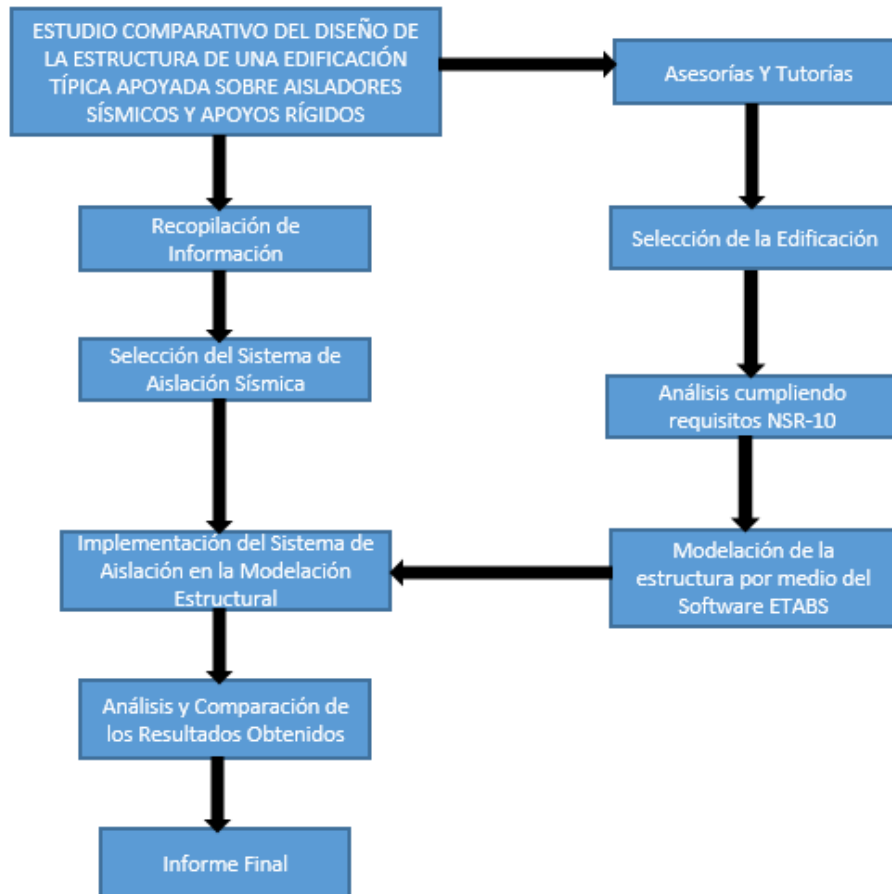
➤ Fuentes de información institucional: La biblioteca de la universidad católica de Colombia nos proporcionó la mayoría de información teórica mediante sus instalaciones físicas y virtuales.

➤ Fuentes de información documental: Información documental para el desarrollo del proyecto se basó en investigaciones enfocadas en determinar la eficiencia y aplicabilidad del sistema de aislación sísmica a nivel internacional para estructuras de tipo institucional.

1.8 DISEÑO METODOLÓGICO

El proyecto pasó por diferentes etapas las cuales se reflejan en la Figura 16.

Figura 16. Diseño Metodológico.



Fuente: Autores.

1.8.1 Fases de la investigación

➤ Fase 1: Se realizó una investigación, recopilando información acerca de las características y funcionamiento, con el fin de conocer e implementar el sistema de aislación, partiendo de información y experiencias a nivel internacional, con el objetivo de adaptar la información y así elaborar prácticas a nivel nacional.

➤ Fase 2: Se realizaron dos modelaciones numéricas, la primera modelación será la estructura convencional empotrada en su base y en la segunda modelación se agregará el sistema de aislación sísmica, obteniendo los desplazamientos y fuerzas internas presentadas en las estructuras, estas se evaluarán a condiciones naturales de la zona en donde se encuentran ubicadas.

➤ Fase 3: Con los resultados obtenidos se realiza la comparación de las fuerzas internas y desplazamientos presentados en los dos casos, y así mismo se determina que tan factible es el uso del sistema de aislación.

2. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON APOYOS EMPOTRADOS EN SU BASE

2.1 Análisis Fuerza Horizontal Equivalente.

2.1.1. Características de la Estructura y Materiales.

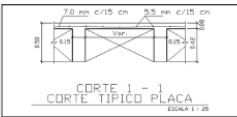
El proyecto se refiere al “CENTRO DE ESPECIALIDADES – ALTHEA”, una estructura conformada con 8 placas aéreas aligeradas para un área de construcción de 3,213.73 m², con una altura activa de 26.60 m; se encuentra localizado en la calle 49 No. 1-09 de la ciudad de Tunja, Boyacá. Se anexan los planos estructurales elaborados por la empresa JULIO MARTÍNEZ CHÁVEZ & LTDA, en el - Anexo 1.

Los parámetros de diseño para resistir las cargas verticales y laterales se rigen según NRS-10, por lo tanto, la amenaza sísmica dentro de la cual se encuentra la ciudad de Tunja es intermedia, el proyecto se encuentra clasificado en el grupo de uso IV – edificaciones indispensables. El sistema estructural utilizado es pórticos de concreto reforzado, el material utilizado para el concreto es de $f'c= 35.0$ MPa y para el acero de refuerzo se tiene $Fy=420$ MPa.

2.1.2. Avalúo de Cargas.

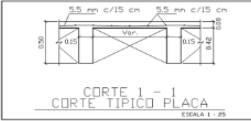
Los valores relacionados en los avalúos de carga, son los especificados para este proyecto por la empresa JULIO MARTÍNEZ CHÁVEZ & CIA LTDA.

Tabla 1. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Piso 1.

AVALUO DE CARGAS DE ENTREPISO - PISO 1				
Datos de entrada:				
H	[m]	=	0.50	
ts	[m]	=	0.08	
ti	[m]	=	0.00	
hc	[m]	=	0.42	
bv	[m]	=	0.15	
Sv	[m]	=	1.54	
				
Plaqueta superior	-	0.08	x 24.00 kN/m ³	= 1.92 kN/m ²
Acabados	-	0.05	x 22.00 kN/m ³	= 1.100 kN/m ²
Cieloraso liviano	-			= 0.294 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-	3.10	x 0.370 kN/m ³	= 1.147 kN/m ²
Muros y particiones	-	3.10	x 0.140 kN/m ³	= 0.434 kN/m ²
				2.975 kN/m ²
CARGA MUERTA				4.895 kN/m ²
CARGA VIVA				4.905 kN/m ²
DISEÑO PLAQUETA SUPERIOR				
AVALUO DE CARGAS				
Peso propio	-			= 1.920 kN/m ²
Acabados	-			= 1.100 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-			= 1.147 kN/m ²
Muros y particiones	-			= 0.434 kN/m ²
CARGA MUERTA				4.601 kN/m ²
CARGA VIVA				4.905 kN/m ²
CARGA TOTAL				9.506 kN/m ²
CARGA ULTIMA				12.388 kN/m ²

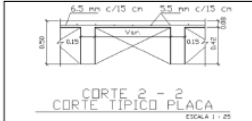
Fuente: Autores.

Tabla 2. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Piso Tipo.

AVALUO DE CARGAS DE ENTREPISO - PISO TIPO					
Datos de entrada:					
H	[m]	=	0.50		
ts	[m]	=	0.08		
ti	[m]	=	0.00		
hc	[m]	=	0.42		
bv	[m]	=	0.15		
Sv	[m]	=	1.52		
					
Plaqueta superior	-	0.08	x	24.00 kN/m ³	= 1.92 kN/m ²
Acabados	-	0.05	x	22.00 kN/m ³	= 1.100 kN/m ²
Cieloraso liviano	-				= 0.294 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-	3.10	x	0.330 kN/m ³	= 1.023 kN/m ²
Muros y particiones	-	3.10	x	0.270 kN/m ³	= 0.837 kN/m ²
					3.254 kN/m ²
CARGA MUERTA					5.174 kN/m ²
CARGA VIVA					1.960 kN/m ²
DISEÑO PLAQUETA SUPERIOR					
AVALUO DE CARGAS					
Peso propio	-				= 1.920 kN/m ²
Acabados	-				= 1.100 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-				= 1.023 kN/m ²
Muros y particiones	-				= 0.837 kN/m ²
CARGA MUERTA					4.880 kN/m ²
CARGA VIVA					4.900 kN/m ²
CARGA TOTAL					9.780 kN/m ²
CARGA ULTIMA					12.716 kN/m ²

Fuente: Autores.

Tabla 3. Avalúo de Cargas de Entrepiso-Cubierta.

AVALUO DE CARGAS DE ENTREPISO - CUBIERTA					
Datos de entrada:					
H	[m]	=	0.50		
ts	[m]	=	0.08		
ti	[m]	=	0.00		
hc	[m]	=	0.42		
bv	[m]	=	0.15		
Sv	[m]	=	1.49		
					
Plaqueta superior	-	0.08	x	24.00 kN/m ³	= 1.920 kN/m ²
Acabados	-	0.08	x	22.00 kN/m ³	= 1.760 kN/m ²
Cieloraso liviano	-				= 0.294 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-				= 0.490 kN/m ²
Muros y particiones	-				= 0.147 kN/m ²
					2.692 kN/m ²
CARGA MUERTA					4.612 kN/m ²
CARGA VIVA					4.903 kN/m ²
DISEÑO PLAQUETA SUPERIOR					
AVALUO DE CARGAS					
Peso propio	-				= 1.920 kN/m ²
Acabados	-				= 1.760 kN/m ²
Muros y particiones livianas	-				= 0.490 kN/m ²
Muros y particiones	-				= 0.147 kN/m ²
CARGA MUERTA					4.317 kN/m ²
CARGA VIVA					4.903 kN/m ²
CARGA TOTAL					9.221 kN/m ²
CARGA ULTIMA					12.046 kN/m ²

Fuente: Autores.

2.1.3. Nivel de amenaza Sísmica.

Tabla 4. Valor de A_a y de A_v para capitales del departamento .

Ciudad	A_a	A_v	Zona de Amenaza Sísmica
Arauca	0.15	0.15	Intermedia
Armenia	0.25	0.25	Alta
Barranquilla	0.10	0.10	Baja
Bogotá D. C.	0.15	0.20	Intermedia
Bucaramanga	0.25	0.25	Alta
Cali	0.25	0.25	Alta
Cartagena	0.10	0.10	Baja
Cúcuta	0.35	0.30	Alta
Florencia	0.20	0.15	Intermedia
Ibagué	0.20	0.20	Intermedia
Leticia	0.05	0.05	Baja
Manizales	0.25	0.25	Alta
Medellín	0.15	0.20	Intermedia
Mitú	0.05	0.05	Baja
Mocoa	0.30	0.25	Alta
Montería	0.10	0.15	Intermedia
Neiva	0.25	0.25	Alta
Pasto	0.25	0.25	Alta
Pereira	0.25	0.25	Alta
Popayán	0.25	0.20	Alta
Puerto Carreño	0.05	0.05	Baja
Puerto Inírida	0.05	0.05	Baja
Quibdó	0.35	0.35	Alta
Riohacha	0.10	0.15	Intermedia
San Andrés, Isla	0.10	0.10	Baja
Santa Marta	0.15	0.10	Intermedia
San José del Guaviare	0.05	0.05	Baja
Sincedejo	0.10	0.15	Intermedia
Tunja	0.20	0.20	Intermedia
Valledupar	0.10	0.10	Baja
Villavicencio	0.35	0.30	Alta
Yopal	0.30	0.20	Alta

Fuente: NSR-10, 2010.

Según la Tabla 4, se obtienen los valores de la aceleración horizontal (A_a) y el coeficiente de la velocidad horizontal (A_v). Que, para la ciudad de Tunja, Boyacá son los indicados en la:

Tabla 5. Valores A_a y A_v aplicados al Proyecto.

A_a	A_v
0,20	0,20

Fuente: Autores.

Basados en estos coeficientes, posteriormente se determina el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos cortos (F_a) y el coeficiente de amplificación que afecta la aceleración en la zona de periodos intermedios (F_v), con ayuda de la Tabla 6 y Tabla 7:

Tabla 6. Coeficiente F_a para la zona de periodos cortos de 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

Fuente: NSR-10, 2010.

Tabla 7. Coeficiente F_v para la zona de periodos intermedios de 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

Fuente: NSR-10, 2010.

Teniendo en cuenta que el tipo de perfil es D, según el estudio de suelos elaborado por la empresa LÓPEZ HERMANOS LTDA para el proyecto, los coeficientes aplicados a este tipo de suelo se visualizan en la Tabla 8:

Tabla 8. Valores asignados F_a y F_v para el proyecto.

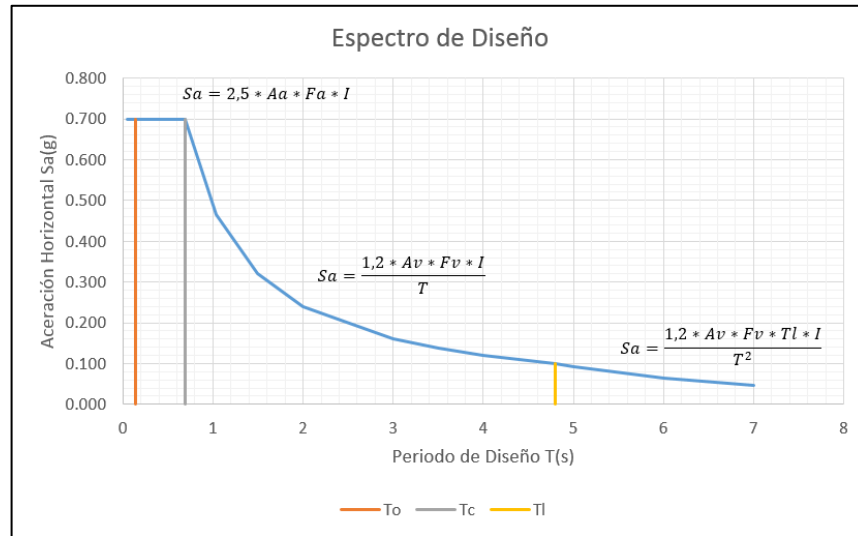
F_a	F_v
1,4	2,0

Fuente: Autores.

2.1.4. Movimientos Sísmicos de Diseño (Espectro de Diseño).

Con los datos anteriores se obtiene el espectro de diseño evidenciado en la Figura 17.

Figura 17. Espectro de Diseño.



Fuente: Autores.

Con el espectro de diseño establecido, se obtiene el periodo fundamental de la estructura (T_a) dado por la Ecuación 1, para posteriormente hallar la aceleración horizontal (S_a) aplicada al proyecto.

$$T_a = C_t * h^\alpha$$

Ecuación 1. Periodo Fundamental de la Estructura.

Los valores se toman de la Tabla 9.

Tabla 9. Valores de los parámetros C_t y α para el cálculo del periodo.

Sistema estructural de resistencia sísmica	C_t	α
Pórticos resistentes a momentos de concreto reforzado que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.047	0.9
Pórticos resistentes a momentos de acero estructural que resisten la totalidad de las fuerzas sísmicas y que no están limitados o adheridos a componentes más rígidos, estructurales o no estructurales, que limiten los desplazamientos horizontales al verse sometidos a las fuerzas sísmicas.	0.072	0.8
Pórticos arriostrados de acero estructural con diagonales exocéntricas restringidas a pandeo.	0.073	0.75
Todos los otros sistemas estructurales basados en muros de rigidez similar o mayor a la de muros de concreto o mampostería	0.049	0.75
Alternativamente, para estructuras que tengan muros estructurales de concreto reforzado o mampostería estructural, pueden emplearse los siguientes parámetros C_t y α , donde C_w se calcula utilizando la ecuación A.4.2-4.	$\frac{0.0062}{\sqrt{C_w}}$	1.00

Fuente: NSR-10, 2010.

El valor del periodo fundamenta de la estructura será.

$$T_a = 0,90 \text{ s}$$

Mediante el espectro de diseño, con el valor del periodo (T_a), se procede a establecer la aceleración de diseño (S_a).

$$S_a = 0,53 \text{ g}$$

2.1.5. Determinación de las Fuerzas Sísmicas.

Para el cálculo de las fuerzas sísmicas, se procede a determinar la masa por piso de la edificación. Según la

Tabla 10.

Tabla 10. Masas de la Estructura.

PISO	LOSA (kN)	COLUMNAS (kN)	VIGAS (kN)	ΣW	M(mg)
Cub. Maq.	1519.61	13.44	241.07	450.73	45.946
6	1427.21	161.04	1254.99	2467.38	251.516
5	1427.21	599.28	1622.39	3741.27	381.373
4	1427.21	761.28	1844.24	4032.73	411.083
3	949.62	761.28	1844.24	4032.73	411.083
2	1673.65	761.28	1844.24	4032.73	411.083
Mezanine	1519.61	761.28	1459.63	3170.53	323.194
1	1427.21	761.28	1757.29	4192.22	427.341

Fuente: Autores.

Se calcula el cortante sísmico de diseño en la base de la estructura a través de la Ecuación 2:

$$V_s = S_a * \Sigma M$$

Ecuación 2. Ecuación de Cortante Sísmico en la Base.

$$V_s = 1411.18 \text{ Ton}$$

Se elabora antes de la fuerza sísmica, el cálculo del exponente relacionado con el periodo fundamental de la edificación (k).

$$k = 0.75 + 0.5T$$

Ecuación 3. Exponente relacionado con el periodo fundamental.

$$k = 1.2$$

Se procede a calcular la fuerza sísmica aplicada sobre la estructura, como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11. Fuerza Horizontal Equivalente.

PISO	Ni(H)	M(mg)	M * H ^k	Cvx	Fs(T)	Cor. (Ton)
Cub. Maq.	26.6	45.946	2355.62	4.64%	641.109	641.109
6	22.8	251.516	10717.37	21.09%	2916.851	3557.961
5	19	381.373	13057.33	25.70%	3553.700	7111.660
4	15.2	411.083	10768.18	21.19%	2930.681	10042.341
3	11.4	411.083	7624.58	15.00%	2075.114	12117.455
2	7.6	411.083	4687.12	9.22%	1275.653	13393.108
Mezanine	3.8	323.194	1604.00	3.16%	436.546	13829.653
1	0	427.341	0.00	0.00%	0.000	13829.653
	∑	2662.621	50814.203			

Fuente: Autores.

2.1.6. Periodo Fundamental de la Estructura.

Por medio de las combinaciones básicas establecidas en la NSR-10 (B.2.4.2), se generan los desplazamientos en X, Y y rotación, para la corrección del cortante basan y obtener el periodo fundamental de la estructura mediante la siguiente ecuación.

Ecuación 4. Periodo Fundamental.

$$T = 2\pi \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (m_i * \delta_i^2)}{\sum_{i=1}^n (f_i * \delta_i)}}$$

Se muestran los resultados en las siguientes tablas.

Tabla 12. Periodo Fundamental Tx.

Piso	m	Fx(T)	δx	m*δx ²	Fx*δx
Cub. Maq.	45.95	65.42	0.152	1.059	9.931
6	25.64	297.64	0.145	0.535	43.009
5	38.88	362.62	0.132	0.672	47.685
4	41.90	299.05	0.113	0.534	33.763
3	41.90	211.75	0.088	0.327	18.697
2	41.90	130.17	0.059	0.145	7.667
Mezanine	32.95	44.55	0.026	0.023	1.172
1	43.56	0.00	0.001	0.000	0.000
			∑	3.295	161.92

Fuente: Autores.

$$T_x = 0.89 \text{ s}$$

Tabla 13. Periodo Fundamental T_y .

Piso	m	Fy(T)	δy	$m \cdot \delta y^2$	Fy $\cdot \delta y$
Cub. Maq.	45.95	65.419	0.0679	0.212	4.442
6	25.64	297.638	0.0944	0.228	28.097
5	38.88	362.622	0.0721	0.202	26.145
4	41.90	299.049	0.0587	0.144	17.554
3	41.90	211.746	0.0435	0.079	9.211
2	41.90	130.169	0.0276	0.032	3.593
Mezanine	32.95	44.545	0.0102	0.003	0.454
1	43.56	0.000	0.0011	0.000	0.000
			Σ	0.901	89.50

Fuente: Autores

$$T_y = 0.63 \text{ s}$$

Con los periodos fundamentales calculados se realiza la corrección del cortante basal y las fuerzas sísmicas.

Tabla 14. Valores para F_{sx}

T (s)	0.89
Sa (g)	0.53
K	1.195
Vsx (Ton)	1411.18912

Fuente: Autores

Tabla 15. Fuerza Horizontal Equivalente en X.

PISO	Ni(H)	M(mg)	MxH^k	C_{vx}	$F_{sx}(\text{Ton})$	Cor (Ton)
Cubierta Maq	26.6	45.946	2317.30	4.62%	65.242	65.242
6	22.8	251.516	10551.12	21.05%	297.061	362.303
5	19	381.373	12866.51	25.67%	362.250	724.553
4	15.2	411.083	10622.66	21.19%	299.075	1023.628
3	11.4	411.083	7532.36	15.03%	212.070	1235.698
2	7.6	411.083	4639.83	9.26%	130.632	1366.330
Mezanine	3.8	323.194	1593.33	3.18%	44.859	1411.189
1	0	427.341	0.00	0.00%	0.000	1411.189
	Σ	2662.621	50123.100			

Fuente: Autores.

Tabla 16. Valores para Fsy.

T (s)	0.63
Sa (g)	0.7
K	1.065
Vsy (Ton)	1863.83469

Fuente: Autores

Tabla 17. Fuerza Horizontal Equivalente en Y.

PISO	Ni (H)	M(mg)	MxH ^k	Cvx	Fsy(Ton)	Cor(Ton)
Cubierta Maq	26.6	45.946	1512.68	4.30%	80.176	80.176
6	22.8	251.516	7026.95	19.98%	372.445	452.621
5	19	381.373	8774.51	24.95%	465.070	917.691
4	15.2	411.083	7457.50	21.21%	395.266	1312.956
3	11.4	411.083	5489.51	15.61%	290.957	1603.914
2	7.6	411.083	3564.48	10.14%	188.926	1792.840
Mezanine	3.8	323.194	1339.47	3.81%	70.995	1863.835
1	0	427.341	0.00	0.00%	0.000	1863.835
	Σ	2662.621	35165.104			

Fuente: Autores.

Se verifica la torsión accidental de la estructura, a través de la Tabla 18.

Tabla 18. Torsión Accidental en Eje X.

PISO	Fsx (Ton)	Long x (m)	ex(m)	MTx (Ton*m)
Cub. Maq.	65.24	10.51	0.53	34.28
6	297.06	31.64	1.58	469.95
5	362.25	31.21	1.56	565.29
4	299.08	31.21	1.56	466.71
3	212.07	31.21	1.56	330.93
2	130.63	31.21	1.56	203.85
Mezanine	44.86	26.31	1.32	59.01
1	0.00	31.21	1.56	0.00

Fuente: Autores.

Tabla 19. Torsión Accidental en Eje Y.

PISO	Fsy (Ton)	Long y (m)	ey(m)	MTy (Ton*m)
Cub. Maq.	80.18	5.85	0.29	23.45
6	372.45	12.29	0.61	228.87
5	465.07	21.62	1.08	502.74
4	395.27	21.62	1.08	427.28
3	290.96	21.62	1.08	314.52
2	188.93	21.62	1.08	204.23
Mezanine	71.00	21.62	1.08	76.75
1	0.00	20.12	1.01	0.00

Fuente: Autores.

Con las torsiones accidentales en ambos ejes, se verifican las derivas con las siguientes combinaciones de la Tabla 20.

Tabla 20. Combinaciones para verificar Derivas.

Eje X	Eje Y
Fsx + Mty	Fsy + Mtx
Fsx - Mty	Fsy - Mtx
-Fsx + Mty	-Fsy + Mtx
-Fsx - Mty	-Fsy - Mtx

Fuente: Autores.

2.1.7. Torsión.

Se realiza el chequeo para torsión aplicando los 8 modos de sismo en X y Y respectivamente, para verificar las irregularidades torsionales que se puedan presentar.

Tabla 21. Irregularidad Torsional Modo 1 (X).

MODO 1 (X)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
21	7.495	9.260	NO IRREGULARIDAD
15	7.939		
23	7.603	9.427	NO IRREGULARIDAD
17	8.109		

Tabla 21 (Continuación).

PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	12.726	16.174	NO IRREGULARIDAD
12	14.231		
30	12.798	16.187	NO IRREGULARIDAD
17	14.180		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	19.311	23.526	NO IRREGULARIDAD
12	19.899		
30	19.327	23.827	NO IRREGULARIDAD
5	20.384		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	25.650	31.167	NO IRREGULARIDAD
12	26.295		
30	25.666	31.496	NO IRREGULARIDAD
5	26.828		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	30.687	37.302	NO IRREGULARIDAD
12	31.482		
30	30.698	37.698	NO IRREGULARIDAD
5	32.132		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	33.444	40.584	NO IRREGULARIDAD
12	34.195		
30	33.454	40.956	NO IRREGULARIDAD
5	34.806		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	22.090	26.870	NO IRREGULARIDAD
12	22.694		
30	22.091	27.161	NO IRREGULARIDAD
5	23.177		

Fuente: Autores

Tabla 22. Irregularidad Torsional Modo 2 (X).

MODO 2 (X)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
21	7.957	9.256	NO IRREGULARIDAD
15	7.469		
23	7.928	9.255	NO IRREGULARIDAD
17	7.497		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	13.689	16.200	NO IRREGULARIDAD
12	13.310		
30	13.636	16.154	NO IRREGULARIDAD
17	13.286		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	21.115	24.339	NO IRREGULARIDAD
12	19.450		
30	20.841	23.193	NO IRREGULARIDAD
5	17.814		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	27.735	32.155	NO IRREGULARIDAD
12	25.856		
30	27.447	28.620	NO IRREGULARIDAD
5	20.253		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	32.873	38.311	NO IRREGULARIDAD
12	30.979		
30	32.603	40.061	NO IRREGULARIDAD
5	34.165		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	35.443	41.502	NO IRREGULARIDAD
12	33.727		
30	35.220	40.404	NO IRREGULARIDAD

Tabla 22 (Continuación).

5	32.120		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	23.194	27.331	NO IRREGULARIDAD
12	22.358		
30	23.102	26.817	NO IRREGULARIDAD
5	21.594		

Fuente: Autores

Tabla 23. Irregularidad Torsional Modo 3 (X).

MODO 3 (X)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
21	8.628	10.141	NO IRREGULARIDAD
15	8.275		
23	8.635	10.213	NO IRREGULARIDAD
17	8.387		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	14.041	16.660	NO IRREGULARIDAD
12	13.726		
30	13.980	16.603	NO IRREGULARIDAD
17	13.691		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	21.771	25.111	NO IRREGULARIDAD
12	20.081		
30	21.470	28.954	NO IRREGULARIDAD
5	26.787		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	28.276	32.821	NO IRREGULARIDAD
12	26.426		
30	27.987	29.321	NO IRREGULARIDAD
5	20.881		

Tabla 23 (Continuación).

PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	33.329	38.890	NO IRREGULARIDAD
12	31.487		
30	33.068	40.587	NO IRREGULARIDAD
5	34.577		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	35.831	41.998	NO IRREGULARIDAD
12	34.166		
30	35.616	40.934	NO IRREGULARIDAD
5	32.607		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	23.390	27.582	NO IRREGULARIDAD
12	22.580		
30	23.301	27.085	NO IRREGULARIDAD
5	21.841		

Fuente: Autores

Tabla 24. Irregularidad Torsional Modo 4 (X).

MODO 4 X)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
21	8.189	10.178	NO IRREGULARIDAD
15	8.774		
23	8.260	10.327	NO IRREGULARIDAD
17	8.952		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
25	13.022	16.572	NO IRREGULARIDAD
12	14.597		
30	13.193	16.692	NO IRREGULARIDAD
17	14.627		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	

Tabla 24 (Continuación).

25	19.941	24.266	NO IRREGULARIDAD
12	20.502		
30	19.965	24.565	NO IRREGULARIDAD
5	20.977		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	26.190	31.833	NO IRREGULARIDAD
12	26.866		
30	26.211	32.183	NO IRREGULARIDAD
5	27.428		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	31.153	37.892	NO IRREGULARIDAD
12	32.001		
30	31.166	38.316	NO IRREGULARIDAD
5	32.694		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	33.842	41.091	NO IRREGULARIDAD
12	34.642		
30	33.853	41.488	NO IRREGULARIDAD
5	35.294		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
25	22.291	27.127	NO IRREGULARIDAD
12	22.920		
30	22.291	27.429	NO IRREGULARIDAD
5	23.423		

Fuente: Autores

Tabla 25. Irregularidad Torsional Modo 5 (Y).

MODO 5 (Y)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
15	13.448	16.799	NO IRREGULARIDAD
17	14.550		
21	13.484	16.817	NO IRREGULARIDAD
23	14.545		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
12	17.743	19.493	NO IRREGULARIDAD
17	14.745		
25	17.794	19.556	NO IRREGULARIDAD
30	14.800		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	11.858	17.232	NO IRREGULARIDAD
3	16.863		
25	24.717	20.990	IRREGULARIDAD
30	10.266		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	12.287	18.175	NO IRREGULARIDAD
3	18.005		
25	27.307	22.639	IRREGULARIDAD
30	10.426		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	12.542	18.796	NO IRREGULARIDAD
3	18.784		
25	29.495	23.689	IRREGULARIDAD
30	9.986		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	11.297	16.969	NO IRREGULARIDAD
3	16.985		
25	27.500	21.540	IRREGULARIDAD

Tabla 25 (Continuación).

30	8.400		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	6.531	9.676	NO IRREGULARIDAD
3	9.596		
25	15.845	12.161	IRREGULARIDAD
30	4.424		

Fuente: Autores

Tabla 26. Irregularidad Torsional Modo 6 (Y).

MODO 6 (Y)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
15	14.110	15.305	NO IRREGULARIDAD
17	11.399		
21	14.174	15.346	NO IRREGULARIDAD
23	11.403		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
12	23.998	20.909	IRREGULARIDAD
17	10.850		
25	24.200	21.267	IRREGULARIDAD
30	11.245		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	13.905	20.668	NO IRREGULARIDAD
3	20.541		
25	32.878	25.476	IRREGULARIDAD
30	9.582		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	14.941	22.285	NO IRREGULARIDAD
3	22.201		
25	37.977	29.074	IRREGULARIDAD
30	10.480		

Tabla 26 (Continuación).

PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
5	16.139	23.850	NO IRREGULARIDAD
3	23.610		
25	37.818	29.251	IRREGULARIDAD
30	10.934		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
5	15.176	22.134	NO IRREGULARIDAD
3	21.714		
25	36.777	28.106	IRREGULARIDAD
30	10.066		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
5	9.116	12.988	NO IRREGULARIDAD
3	12.531		
25	21.328	16.250	IRREGULARIDAD
30	5.755		

Fuente: Autores

Tabla 27. Irregularidad Torsional Modo 7 (Y).

MODO 7 (Y)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
15	13.486	14.786	NO IRREGULARIDAD
17	11.158		
21	13.656	14.944	NO IRREGULARIDAD
23	11.250		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	
12	24.225	21.257	IRREGULARIDAD
17	11.203		
25	24.505	21.746	IRREGULARIDAD
30	11.739		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2*((\Delta 1+\Delta 2) / 2)$	

Tabla 27 (Continuación).

5	13.442	20.249	NO IRREGULARIDAD
3	20.306		
25	34.138	26.562	IRREGULARIDAD
30	10.132		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	14.440	21.801	NO IRREGULARIDAD
3	21.895		
25	37.182	28.898	IRREGULARIDAD
30	10.981		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	15.635	23.346	NO IRREGULARIDAD
3	23.275		
25	37.921	29.583	IRREGULARIDAD
30	11.384		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	14.716	21.667	NO IRREGULARIDAD
3	21.395		
25	36.832	28.376	IRREGULARIDAD
30	10.461		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	8.874	12.738	NO IRREGULARIDAD
3	12.356		
25	21.353	16.385	IRREGULARIDAD
30	5.956		

Fuente: Autores

Tabla 28. Irregularidad Torsional Modo 8 (Y).

MODO 8 (Y)			
PISO Cub. Maq.			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
15	12.892	16.364	NO IRREGULARIDAD
17	14.381		
21	12.921	16.353	NO IRREGULARIDAD
23	14.333		
PISO 6			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
12	18.005	19.901	NO IRREGULARIDAD
17	15.163		
25	18.077	19.990	NO IRREGULARIDAD
30	15.240		
PISO 5			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	11.602	17.008	NO IRREGULARIDAD
3	16.745		
25	25.009	21.388	IRREGULARIDAD
30	10.638		
PISO 4			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	11.966	17.859	NO IRREGULARIDAD
3	17.799		
25	27.445	22.938	IRREGULARIDAD
30	10.786		
PISO 3			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	12.165	18.416	NO IRREGULARIDAD
3	18.527		
25	29.558	23.938	IRREGULARIDAD
30	10.339		
PISO 2			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	10.910	16.579	NO IRREGULARIDAD
3	16.721		
25	27.541	21.767	IRREGULARIDAD

Tabla 28 (Continuación).

30	8.737		
PISO MEZANINE			
NODO	SISMO X (mm)	$1.2 * ((\Delta 1 + \Delta 2) / 2)$	
5	6.311	9.452	NO IRREGULARIDAD
3	9.443		
25	15.864	12.284	IRREGULARIDAD
30	4.609		

Fuente: Autores

El edificio presenta irregularidad torsional causada por los puntos extremos de la estructura, que fueron calculados perpendicularmente a un eje determinado, dentro de los parámetros establecidos en NRS-10, Título A. Por lo tanto, el diseño es afectado por $\phi_p = 0.90$.

2.1.8. Umbral de Daños.

Se realiza un análisis de la estructura teniendo en cuenta las fuerzas sísmicas horizontales del umbral de daño, para ello se determinan los parámetros para la obtención de los movimientos sísmicos.

Parámetros de diseño:

Tabla 29. Valores de A_d para las ciudades capitales de departamento.

Ciudad	A_d	Ciudad	A_d
Arauca	0.04	Neiva	0.08
Armenia	0.10	Pasto	0.08
Barranquilla	0.03	Pereira	0.10
Bogotá	0.06	Popayán	0.08
Bucaramanga	0.09	Puerto Carreño	0.02
Cali	0.09	Puerto Inírida	0.02
Cartagena	0.03	Quibdó	0.13
Cúcuta	0.10	Riohacha	0.04
Florencia	0.05	San Andrés, Isla	0.03
Ibagué	0.06	San José del Guaviare	0.02
Leticia	0.02	Santa Marta	0.04
Manizales	0.10	Sincelejo	0.04
Medellín	0.07	Tunja	0.07
Mitú	0.02	Valledupar	0.03
Mocoa	0.10	Villavicencio	0.07
Montería	0.04	Yopal	0.06

Fuente: NSR-10, 2010.

Se extraen los valores para los movimientos sísmicos de la zona, de la Tabla 7 y Tabla 29.

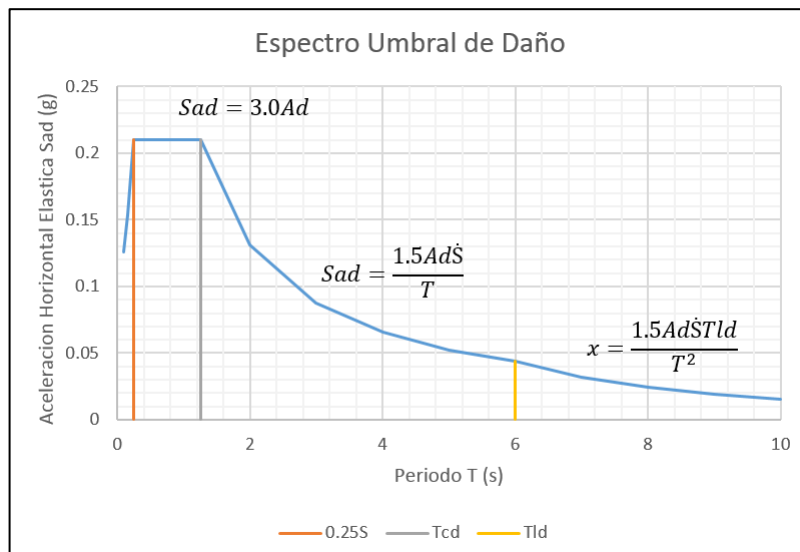
Tabla 30. valores asignados para Umbral de Daño.

A_d	0.07
F_v	2.0
\dot{S}	$1.25 \cdot F_v$

Fuente: Autores.

Con los datos anteriores se elaboró el siguiente espectro para el umbral de daños.

Figura 18. Espectro umbral de daño.



Fuente: Autores.

Por lo tanto, para los periodos (T_x , T_y) establecidos el valor de $S_{ad} = 0.21$ g, se procede a realizar el cálculo del cortante basal (V_{sd}) para las fuerzas horizontales del umbral de daño (F_s).

Tabla 31. Valores asignados para umbral de daños T_x .

T_x (s)	0.89
S_{ad} (g)	0.21
K	1.195
V_{sdx} (Ton)	559.15

Fuente: Autores.

Tabla 32. Fuerza horizontal Equivalente en X, para umbral de daño.

PISO	Ni(H)	M(mg)	MxH ^k	Cvx	Fsx(Ton)	Cor(Ton)
Cub. Maq.	26.6	45.946	2317.30	4.62%	25.851	25.851
6	22.8	251.516	10551.12	21.05%	117.703	143.554
5	19	381.373	12866.51	25.67%	143.533	287.087
4	15.2	411.083	10622.66	21.19%	118.501	405.589
3	11.4	411.083	7532.36	15.03%	84.028	489.616
2	7.6	411.083	4639.83	9.26%	51.760	541.376
Mezanine	3.8	323.194	1593.33	3.18%	17.774	559.150
1	0	427.341	0.00	0.00%	0.000	559.150
	Σ	2662.621	50123.100			

Fuente: Autores.

Se obtiene el cortante correspondiente a cada piso en el eje X, de igual manera se realiza el cálculo del cortante en el eje Y.

Tabla 33. Valores asignados para umbral de daños Ty.

Ty (s)	0.63
Sad (g)	0.21
K	1.065
Vsdy (Ton)	559.15

Fuente: Autores.

Tabla 34. Fuerza horizontal Equivalente en Y, para umbral de daño.

PISO	Ni (H)	M(mg)	MxH ^k	Cvx	Fsy(Ton)	Cor(Ton)
Cub. Maq.	26.6	45.946	1512.68	4.30%	24.053	24.053
6	22.8	251.516	7026.95	19.98%	111.734	135.786
5	19	381.373	8774.51	24.95%	139.521	275.307
4	15.2	411.083	7457.50	21.21%	118.580	393.887
3	11.4	411.083	5489.51	15.61%	87.287	481.174
2	7.6	411.083	3564.48	10.14%	56.678	537.852
Mezanine	3.8	323.194	1339.47	3.81%	21.299	559.150
1	0	427.341	0.00	0.00%	0.000	559.150
	Σ	2662.621	35165.104			

Fuente: Autores

Se calculan las torsiones accidentales en cada eje (X y Y), en base a los esfuerzos horizontales de umbral de daño obtenidos.

Tabla 35. Torsión Accidental para Umbral de Daño en X.

PISO	Fsx (Ton)	Long x (m)	ex(m)	MTx (Ton*m)
Cub. Maq.	25.85	10.51	0.53	13.58
6	117.70	31.64	1.58	186.21
5	143.53	31.21	1.56	223.98
4	118.50	31.21	1.56	184.92
3	84.03	31.21	1.56	131.13
2	51.76	31.21	1.56	80.77
Mezanine	17.77	26.31	1.32	23.38
1	0.00	31.21	1.56	0.00

Fuente: Autores.

Tabla 36. Torsión Accidental para Umbral de Daño en Y.

PISO	Fsy (Ton)	Long y (m)	ey(m)	MTy (Ton*m)
Cub. Maq.	24.05	5.85	0.29	7.04
6	111.73	12.29	0.61	68.66
5	139.52	21.62	1.08	150.82
4	118.58	21.62	1.08	128.18
3	87.29	21.62	1.08	94.36
2	56.68	21.62	1.08	61.27
Mezanine	21.30	21.62	1.08	23.02
1	0.00	20.12	1.01	0.00

Fuente: Autores.

Se verifican las derivas para el umbral de daño bajo los lineamientos señalados en NSR-10, Titulo A- Capitulo 12, donde se reduce el coeficiente de amortiguamiento al 2% y la deriva máxima no debe superar lo establecido en la Tabla 37.

Tabla 37. Derivas máximas para el umbral de Daño como porcentaje de h_{pi} .

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.12.5.3.1	0.40% $\left(\Delta_{max}^i \leq 0.0040 h_{pi} \right)$
de mampostería que cumplen los requisitos de A.12.5.3.2	0.20% $\left(\Delta_{max}^i \leq 0.0020 h_{pi} \right)$

Fuente: NSR-10, 2010.

Tabla 38. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 1 (X).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 1 X								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	153.507	-0.019	7.487	0.336	7.495	15.2	0.20%
6	3.8	146.02	-0.355	13.331	0.407	13.337	15.2	0.35%
5	3.8	132.689	-0.762	19.575	0.004	19.575	15.2	0.52%
4	3.8	113.114	-0.766	25.942	-0.049	25.942	15.2	0.68%
3	3.8	87.172	-0.717	31.041	-0.189	31.042	15.2	0.82%
2	3.8	56.131	-0.528	33.779	-0.26	33.780	15.2	0.89%
Mezanine	3.8	22.352	-0.268	22.352	-0.268	22.354	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	153.507	2.811	7.487	0.842	7.534	15.2	0.20%
6	3.8	146.02	1.969	13.331	1.126	13.378	15.2	0.35%
5	3.8	132.689	0.843	19.575	0.283	19.577	15.2	0.52%
4	3.8	113.114	0.56	25.942	0.258	25.943	15.2	0.68%
3	3.8	87.172	0.302	31.041	0.188	31.042	15.2	0.82%
2	3.8	56.131	0.114	33.779	0.096	33.779	15.2	0.89%
Mezanine	3.8	22.352	0.018	22.352	0.018	22.352	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	153.507	5.515	7.487	1.325	7.603	15.2	0.20%
6	3.8	146.02	4.19	13.331	1.814	13.454	15.2	0.35%
5	3.8	132.689	2.376	19.575	0.549	19.583	15.2	0.52%
4	3.8	113.114	1.827	25.942	0.55	25.948	15.2	0.68%
3	3.8	87.172	1.277	31.041	0.55	31.046	15.2	0.82%
2	3.8	56.131	0.727	33.779	0.436	33.782	15.2	0.89%
Mezanine	3.8	22.352	0.291	22.352	0.291	22.354	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 39. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 2 (X).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 2 X								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	157.036	4.576	7.927	0.691	7.957	15.2	0.21%
6	3.8	149.109	3.885	13.47	0.446	13.477	15.2	0.35%
5	3.8	135.639	3.439	20.085	0.608	20.094	15.2	0.53%
4	3.8	115.554	2.831	26.602	0.761	26.613	15.2	0.70%
3	3.8	88.952	2.07	31.759	0.836	31.770	15.2	0.84%
2	3.8	57.193	1.234	34.459	0.818	34.469	15.2	0.91%
Mezanine	3.8	22.734	0.416	22.734	0.416	22.738	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	157.036	0.157	7.927	0.266	7.931	15.2	0.21%
6	3.8	149.109	-0.109	13.47	0.266	13.473	15.2	0.35%
5	3.8	135.639	-0.375	20.085	-0.19	20.086	15.2	0.53%
4	3.8	115.554	-0.185	26.602	-0.139	26.602	15.2	0.70%
3	3.8	88.952	-0.046	31.759	-0.067	31.759	15.2	0.84%
2	3.8	57.193	0.021	34.459	0.002	34.459	15.2	0.91%
Mezanine	3.8	22.734	0.019	22.734	0.019	22.734	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	157.036	-4.065	7.927	-0.14	7.928	15.2	0.21%
6	3.8	149.109	-3.925	13.47	0.093	13.470	15.2	0.35%
5	3.8	135.639	-4.018	20.085	-0.952	20.108	15.2	0.53%
4	3.8	115.554	-3.066	26.602	-0.997	26.621	15.2	0.70%
3	3.8	88.952	-2.069	31.759	-0.93	31.773	15.2	0.84%
2	3.8	57.193	-1.139	34.459	-0.779	34.468	15.2	0.91%
Mezanine	3.8	22.734	-0.36	22.734	-0.36	22.737	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 40. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 3 (X).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 3 X								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-160.4	-4.606	-8.627	-0.116	8.628	15.2	0.23%
6	3.8	-151.773	-4.49	-13.833	-0.796	13.856	15.2	0.36%
5	3.8	-137.94	-3.694	-20.709	-0.746	20.722	15.2	0.55%
4	3.8	-117.231	-2.948	-27.158	-0.828	27.171	15.2	0.72%
3	3.8	-90.073	-2.12	-32.249	-0.868	32.261	15.2	0.85%
2	3.8	-57.824	-1.252	-34.879	-0.833	34.889	15.2	0.92%
Mezanine	3.8	-22.945	-0.419	-22.945	-0.419	22.949	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-160.4	-0.462	-8.627	0.128	8.628	15.2	0.23%
6	3.8	-151.773	-0.59	-13.833	-0.646	13.848	15.2	0.36%
5	3.8	-137.94	0.056	-20.709	0.064	20.709	15.2	0.54%
4	3.8	-117.231	-0.008	-27.158	0.056	27.158	15.2	0.71%
3	3.8	-90.073	-0.064	-32.249	0.01	32.249	15.2	0.85%
2	3.8	-57.824	-0.074	-34.879	-0.04	34.879	15.2	0.92%
Mezanine	3.8	-22.945	-0.034	-22.945	-0.034	22.945	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-160.4	3.498	-8.627	0.362	8.635	15.2	0.23%
6	3.8	-151.773	3.136	-13.833	-0.504	13.842	15.2	0.36%
5	3.8	-137.94	3.64	-20.709	0.839	20.726	15.2	0.55%
4	3.8	-117.231	2.801	-27.158	0.901	27.173	15.2	0.72%
3	3.8	-90.073	1.9	-32.249	0.849	32.260	15.2	0.85%
2	3.8	-57.824	1.051	-34.879	0.718	34.886	15.2	0.92%
Mezanine	3.8	-22.945	0.333	-22.945	0.333	22.947	15.2	0.60%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 41. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 4 (X).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 4 X								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-156.871	-0.012	-8.186	0.239	8.189	15.2	0.22%
6	3.8	-148.685	-0.251	-13.695	2.504	13.922	15.2	0.37%
5	3.8	-134.99	-2.755	-20.2	-3.404	20.485	15.2	0.54%
4	3.8	-114.79	0.649	-26.498	-0.019	26.498	15.2	0.70%
3	3.8	-88.292	0.668	-31.53	0.157	31.530	15.2	0.83%
2	3.8	-56.762	0.511	-34.199	0.246	34.200	15.2	0.90%
Mezanine	3.8	-22.563	0.265	-22.563	0.265	22.565	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-160.024	-6.082	-11.339	-3.413	11.842	15.2	0.31%
6	3.8	-148.685	-2.669	-13.695	0.086	13.695	15.2	0.36%
5	3.8	-134.99	-2.755	-20.2	-2.003	20.299	15.2	0.53%
4	3.8	-114.79	-0.752	-26.498	-0.339	26.500	15.2	0.70%
3	3.8	-88.292	-0.413	-31.53	-0.246	31.531	15.2	0.83%
2	3.8	-56.762	-0.167	-34.199	-0.134	34.199	15.2	0.90%
Mezanine	3.8	-22.563	-0.033	-22.563	-0.033	22.563	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-160.024	-6.082	-8.692	-8.492	12.152	15.2	0.32%
6	3.8	-151.332	2.41	-16.342	5.165	17.139	15.2	0.45%
5	3.8	-134.99	-2.755	-20.2	-0.664	20.211	15.2	0.53%
4	3.8	-114.79	-2.091	-26.498	-0.646	26.506	15.2	0.70%
3	3.8	-88.292	-1.445	-31.53	-0.63	31.536	15.2	0.83%
2	3.8	-56.762	-0.815	-34.199	-0.497	34.203	15.2	0.90%
Mezanine	3.8	-22.563	-0.318	-22.563	-0.318	22.565	15.2	0.59%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 42. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 5 (Y).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 5 Y								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	9.799	97.988	-0.135	13.484	13.485	15.2	0.35%
6	3.8	9.934	84.504	0.734	15.916	15.933	15.2	0.42%
5	3.8	9.2	68.588	1.361	15.241	15.302	15.2	0.40%
4	3.8	7.839	53.347	1.881	15.986	16.096	15.2	0.42%
3	3.8	5.958	37.361	2.261	16.063	16.221	15.2	0.43%
2	3.8	3.697	21.298	2.321	13.897	14.089	15.2	0.37%
Mezanine	3.8	1.376	7.401	1.376	7.401	7.528	15.2	0.20%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	9.799	80.439	-0.135	14.026	14.027	15.2	0.37%
6	3.8	9.934	66.413	0.734	15.317	15.335	15.2	0.40%
5	3.8	9.2	51.096	1.361	12.259	12.334	15.2	0.32%
4	3.8	7.839	38.837	1.881	12.451	12.592	15.2	0.33%
3	3.8	5.958	26.386	2.261	11.892	12.105	15.2	0.32%
2	3.8	3.697	14.494	2.321	9.695	9.969	15.2	0.26%
Mezanine	3.8	1.376	4.799	1.376	4.799	4.992	15.2	0.13%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	9.799	63.671	-0.135	14.544	14.545	15.2	0.38%
6	3.8	9.934	49.127	0.734	14.744	14.762	15.2	0.39%
5	3.8	9.2	34.383	1.361	9.41	9.508	15.2	0.25%
4	3.8	7.839	24.973	1.881	9.074	9.267	15.2	0.24%
3	3.8	5.958	15.899	2.261	7.906	8.223	15.2	0.22%
2	3.8	3.697	7.993	2.321	5.68	6.136	15.2	0.16%
Mezanine	3.8	1.376	2.313	1.376	2.313	2.691	15.2	0.07%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 43. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 6 (Y).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 6 Y								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	16.516	106.551	0.75	14.154	14.174	15.2	0.37%
6	3.8	15.766	92.397	0.979	15.879	15.909	15.2	0.42%
5	3.8	14.787	76.518	2.356	16.456	16.624	15.2	0.44%
4	3.8	12.431	60.062	3.141	17.524	17.803	15.2	0.47%
3	3.8	9.29	42.538	3.612	17.974	18.333	15.2	0.48%
2	3.8	5.678	24.564	3.592	15.897	16.298	15.2	0.43%
Mezanine	3.8	2.086	8.667	2.086	8.667	8.914	15.2	0.23%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	16.516	74.726	0.75	12.735	12.757	15.2	0.34%
6	3.8	15.766	61.991	0.979	13.238	13.274	15.2	0.35%
5	3.8	14.787	48.753	2.356	11.363	11.605	15.2	0.31%
4	3.8	12.431	37.39	3.141	11.694	12.108	15.2	0.32%
3	3.8	9.29	25.696	3.612	11.395	11.954	15.2	0.31%
2	3.8	5.678	14.301	3.592	9.505	10.161	15.2	0.27%
Mezanine	3.8	2.086	4.796	2.086	4.796	5.230	15.2	0.14%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	16.516	44.316	0.75	11.378	11.403	15.2	0.30%
6	3.8	15.766	32.938	0.979	10.716	10.761	15.2	0.28%
5	3.8	14.787	22.222	2.356	6.497	6.911	15.2	0.18%
4	3.8	12.431	15.725	3.141	6.121	6.880	15.2	0.18%
3	3.8	9.29	9.604	3.612	5.11	6.258	15.2	0.16%
2	3.8	5.678	4.494	3.592	3.397	4.944	15.2	0.13%
Mezanine	3.8	2.086	1.097	2.086	1.097	2.357	15.2	0.06%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 44. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 7 (Y).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 7 Y								
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-19.88	-106.582	-1.45	-13.579	13.656	15.2	0.36%
6	3.8	-18.43	-93.003	-1.343	-16.229	16.284	15.2	0.43%
5	3.8	-17.087	-76.774	-2.979	-16.594	16.859	15.2	0.44%
4	3.8	-14.108	-60.18	-3.697	-17.593	17.977	15.2	0.47%
3	3.8	-10.411	-42.587	-4.102	-18.006	18.467	15.2	0.49%
2	3.8	-6.309	-24.581	-4.012	-15.911	16.409	15.2	0.43%
Mezanine	3.8	-2.297	-8.67	-2.297	-8.67	8.969	15.2	0.24%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 23								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-19.88	-75.031	-1.45	-12.34	12.425	15.2	0.33%
6	3.8	-18.43	-62.691	-1.343	-13.62	13.686	15.2	0.36%
5	3.8	-17.087	-49.071	-2.979	-11.489	11.869	15.2	0.31%
4	3.8	-14.108	-37.582	-3.697	-11.776	12.343	15.2	0.32%
3	3.8	-10.411	-25.806	-4.102	-11.452	12.164	15.2	0.32%
2	3.8	-6.309	-14.354	-4.012	-9.543	10.352	15.2	0.27%
Mezanine	3.8	-2.297	-4.811	-2.297	-4.811	5.331	15.2	0.14%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%
NODO 21								
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %
Cub. Maq.	3.8	-19.88	-44.883	-1.45	-11.156	11.250	15.2	0.30%
6	3.8	-18.43	-33.727	-1.343	-11.126	11.207	15.2	0.29%
5	3.8	-17.087	-22.601	-2.979	-6.611	7.251	15.2	0.19%
4	3.8	-14.108	-15.99	-3.697	-6.218	7.234	15.2	0.19%
3	3.8	-10.411	-9.772	-4.102	-5.19	6.615	15.2	0.17%
2	3.8	-6.309	-4.582	-4.012	-3.459	5.297	15.2	0.14%
Mezanine	3.8	-2.297	-1.123	-2.297	-1.123	2.557	15.2	0.07%
1	0.6	0	0	0	0	0.000	2.4	0.00%

Fuente: Autores.

Tabla 45. Análisis de derivas Umbral de Daño, Modo 8 (Y).

ANÁLISIS DE DERIVAS MODO 8 Y									
NODO 21									
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %	
Cub. Maq.	3.8	-13.163	-98.019	-0.565	-12.909	12.921	15.2	0.34%	
	6	3.8	-12.598	-85.11	-1.097	-16.267	16.304	15.2	0.43%
	5	3.8	-11.501	-68.843	-1.985	-15.378	15.506	15.2	0.41%
	4	3.8	-9.516	-53.465	-2.438	-16.054	16.238	15.2	0.43%
	3	3.8	-7.078	-37.411	-2.75	-16.095	16.328	15.2	0.43%
	2	3.8	-4.328	-21.316	-2.741	-13.912	14.179	15.2	0.37%
Mezanine	3.8	-1.587	-7.404	-1.587	-7.404	7.572	15.2	0.20%	
	1	0.6	0	0	0	0.000	2.4	0.00%	
NODO 23									
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %	
Cub. Maq.	3.8	-13.163	-80.744	-0.565	-13.631	13.643	15.2	0.36%	
	6	3.8	-12.598	-67.113	-1.097	-15.698	15.736	15.2	0.41%
	5	3.8	-11.501	-51.415	-1.985	-12.385	12.543	15.2	0.33%
	4	3.8	-9.516	-39.03	-2.438	-12.534	12.769	15.2	0.34%
	3	3.8	-7.078	-26.496	-2.75	-11.948	12.260	15.2	0.32%
	2	3.8	-4.328	-14.548	-2.741	-9.734	10.113	15.2	0.27%
Mezanine	3.8	-1.587	-4.814	-1.587	-4.814	5.069	15.2	0.13%	
	1	0.6	0	0	0	0.000	2.4	0.00%	
NODO 21									
PISO		Δx	Δy	dx	dy	ΔP	$\Delta \text{lim}(\text{mm})$	Deriva %	
Cub. Maq.	3.8	-13.163	-64.238	-0.565	-14.322	14.333	15.2	0.38%	
	6	3.8	-12.598	-49.916	-1.097	-15.154	15.194	15.2	0.40%
	5	3.8	-11.501	-34.762	-1.985	-9.524	9.729	15.2	0.26%
	4	3.8	-9.516	-25.238	-2.438	-9.171	9.490	15.2	0.25%
	3	3.8	-7.078	-16.067	-2.75	-7.986	8.446	15.2	0.22%
	2	3.8	-4.328	-8.081	-2.741	-5.741	6.362	15.2	0.17%
Mezanine	3.8	-1.587	-2.34	-1.587	-2.34	2.827	15.2	0.07%	
	1	0.6	0	0	0	0.000	2.4	0.00%	

Fuente: Autores.

Se realiza la comprobación del límite de deriva máxima para el umbral de daño sobre los nodos que presentaron mayor desplazamiento en la estructura, en cada

combinación de carga para sismo, sin superar el 1% de la deriva máxima en cada piso, teniendo en cuenta que en el análisis no se trabajan secciones fisuradas.

2.2 Análisis Dinámico.

Se clasifica la estructura por el uso, altura total, perfil de suelo y zona de amenaza sísmica y se determina el método de análisis dinámico según la NSR-10 A.3.4.2. Por lo tanto, para iniciar el análisis se procede a obtener los modos de vibración(ϕ) de la estructura mediante el software ETABS 2016, con una participación de masas mínima del 90% en los modos de vibración.

Posteriormente con los periodos específicos de cada modo de vibración, se determina a través del espectro elástico de aceleraciones y el espectro elástico de desplazamientos, las aceleraciones horizontales (S_a) y los desplazamientos horizontales de diseño (S_d).

Con estos valores ya determinados se realiza el cálculo de desplazamientos horizontales, para el respectivo cálculo de deriva en los ejes X y Y, cumpliendo con los límites establecidos por la NSR-10, A.6.4-1.

Tabla 46. Derivas máximas como porcentaje de h_{pi} .

Estructuras de:	Deriva máxima
concreto reforzado, metálicas, de madera, y de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.2	1.0% ($\Delta_{max}^i \leq 0.010 h_{pi}$)
de mampostería que cumplen los requisitos de A.6.4.2.3	0.5% ($\Delta_{max}^i \leq 0.005 h_{pi}$)

Fuente: NSR-10, 2010.

Los cálculos y resultados del análisis dinámico se encuentran en el -Anexo 2.

Se obtienen las derivas y se verifica que no sobrepasen el límite establecido, se muestra el modo de mayor desplazamiento tanto en X como en Y.

Tabla 47. Derivas en el Principales Modo de Vibracion X.

Deriva X	
PISO	1
7	0.13%
6	0.30%
5	0.43%
4	0.58%
3	0.71%
2	0.79%
1	0.52%

Fuente: Autores.

Tabla 48. Derivas en el Principales Modo de Vibracion Y.

Deriva Y	
PISO	1
7	0.002%
6	0.001%
5	0.001%
4	0.001%
3	0.001%
2	0.001%
1	0.000%

Fuente: Autores.

Se procede a calcular el valor del cortante basal generado para cada modo establecido.

Tabla 49. Cortante Basal Estructura Empotrada.

Cortante Basal (kN)		
	Vx	Vy
Modal 1	9138.7053	405.4296
Modal 2	-842.2102	9248.3864
Modal 3	-1263.3588	-25642.9987
Modal 4	-27846.7729	1589.6625
Modal 5	-1283.5217	-36334.0934
Modal 6	27838.9931	-33542.7215
Modal 7	35191.7479	27015.3948
Modal 8	-22736.6394	-69390.3713
Modal 9	53211.5212	-15162.0042
Modal 10	-83345.6899	36291.7434
Modal 11	-24041.7151	58325.1213
Modal 12	39422.4378	170373.278
Modal 13	40817.6785	36214.9475
Modal 14	138251.434	40608.4777
Modal 15	34553.1824	-439300.165
Modal 16	-164788.419	-22724.4823
Modal 17	-38284.8448	-135955.721
Modal 18	67852.5115	347920.833
Modal 19	-30324.4387	1109433.54
Modal 20	31055.7321	-1489436
Modal 21	23423.8036	-1081726

Fuente: Autores.

3. ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA CON AISLADORES SÍSMICO.

3.1. Selección del Aislador Sísmico.

Los parámetros específicos del aislador sísmico se obtendrán del catálogo de la empresa Dynamic Insolation Systems (DIS). En donde se ingresa con la carga axial ejercida sobre el apoyo, y se elige el aislador que cumpla la carga axial requerida, se seleccionan las propiedades de diseño como lo son las resistencias, desplazamiento máximo, parámetros de rigidez y el diámetro.

Para la selección del aislador sísmico, se verifica que este cumpla con la carga axial a la cual va a ser sometido, bajo las combinaciones de carga establecidas en la Tabla 50.

Tabla 50. Combinacion de carga.

ID	COMBINACIÓN
AIS1	1.2Pd+PI+EQ
AIS2	1.2Pd+PI+EQ
AIS3	0.8Pd+EQ
AIS4	0.8Pd-EQ
AIS5	Pd+0.5PL

Fuente: Autores.

Con los resultados de las fuerzas axiales obtenidas por medio de las combinaciones, se selecciona la carga máxima encontrada en cada apoyo de la estructura.

Tabla 51. Fuerza Axial AIS1.

AIS1				
Story	Joint Label	FX	FY	FZ
		kN	kN	kN
PI-01	3	-401.6215	-153.7011	-2015.6879
PI-01	4	-552.3393	-78.5797	101.3711
PI-01	5	-266.1627	-12.8813	1547.3962
PI-01	8	-345.3104	-230.5166	435.8997
PI-01	9	-459.0268	-115.9125	1988.3643
PI-01	10	-235.0733	-43.8099	2062.5302
PI-01	12	-486.7413	-423.2499	-4811.0894
PI-01	13	-741.1522	-426.4918	445.0527
PI-01	14	-698.4935	-312.3539	-580.4072
PI-01	15	-770.3195	-5147.186	-19551.6
PI-01	16	-444.479	-115.8641	1319.1585

Tabla 51 (Continuación).

PI-01	17	-544.2064	-498.9005	-4830.3231
PI-01	18	-540.6504	-644.4947	-1914.1698
PI-01	19	-635.6082	-547.2241	3040.4599
PI-01	20	-766.6563	-465.8976	2191.8607
PI-01	21	-412.3684	-242.9994	2979.2988
PI-01	22	-351.0714	-132.3914	3121.6186
PI-01	23	-507.9167	-1396.091	12733.1689
PI-01	24	-259.0482	-99.9256	-2251.4087
PI-01	25	-554.8989	-405.1795	2661.4594
PI-01	26	-995.9569	-444.2549	6613.1769
PI-01	27	-853.2724	-316.7995	3867.786
PI-01	28	-642.1779	-350.521	2676.8306
PI-01	29	-1774.083	-72.1204	1663.6023
PI-01	30	-350.638	-24.7961	4400.7928
PI-01	68	-338.3323	-5231.074	20577.42

Fuente: Autores.

Tabla 52. Fuerza Axial para AIS2.

AIS2				
Story	Joint Label	FX	FY	FZ
		kN	kN	kN
PI-01	3	394.5941	168.4337	4298.7058
PI-01	4	564.097	94.5381	1861.1401
PI-01	5	250.7048	23.5688	-288.0853
PI-01	8	330.3926	233.9341	2995.6607
PI-01	9	468.2487	125.1676	1370.2851
PI-01	10	197.0125	48.1997	-277.5917
PI-01	12	493.5025	431.0262	6808.9617
PI-01	13	789.1104	443.9006	2847.1371
PI-01	14	697.1452	325.1128	4281.4278
PI-01	15	762.3307	5710.154	23052.762
PI-01	16	463.9811	129.059	3003.3736
PI-01	17	503.8576	1008.401	9261.5669
PI-01	18	539.3407	637.4844	5049.3094
PI-01	19	710.0846	551.661	329.4889
PI-01	20	702.4426	476.6611	2470.7431
PI-01	21	423.4105	273.2246	-609.2752

Tabla 52 (Continuación).

PI-01	22	376.3773	112.0715	1195.7485
PI-01	23	471.1123	940.404	-8597.4593
PI-01	24	260.1141	99.1511	3719.215
PI-01	25	557.1026	403.8478	-509.9193
PI-01	26	1014.83	419.0902	-4212.9737
PI-01	27	848.7136	297.728	-925.8182
PI-01	28	656.1786	314.2928	438.9487
PI-01	29	1771.941	49.9539	1100.6452
PI-01	30	342.2705	13.8313	-3074.2378
PI-01	68	338.7088	4602.318	-17117.198

Fuente: Autores.

Tabla 53. Fuerza Axial para AIS3.

AIS3				
Story	Joint Label	FX	FY	FZ
		kN	kN	kN
PI-01	3	-399.1252	-158.117	-2547.7761
PI-01	4	-555.9049	-83.2661	-363.1258
PI-01	5	-261.7984	-15.9519	1263.366
PI-01	8	-341.2807	-230.8101	-406.7312
PI-01	9	-461.8771	-118.4239	1153.0206
PI-01	10	-223.5791	-45.0926	1633.399
PI-01	12	-488.1733	-424.2025	-5227.2611
PI-01	13	-755.1496	-431.1839	-259.2503
PI-01	14	-697.5643	-316.0309	-1402.2071
PI-01	15	-767.5806	-5265.752	-20299.075
PI-01	16	-450.9716	-118.7127	326.9251
PI-01	17	-532.8444	-610.7242	-5795.6683
PI-01	18	-540.0554	-643.0531	-2556.5397
PI-01	19	-658.0475	-548.0578	2261.1033
PI-01	20	-746.3622	-468.8919	1124.6682
PI-01	21	-415.8606	-250.3711	2447.8305
PI-01	22	-357.857	-127.9369	2118.9984
PI-01	23	-497.8101	-1300.155	11851.1965
PI-01	24	-259.5391	-99.7429	-2526.2554
PI-01	25	-555.5565	-404.8055	2230.3128
PI-01	26	-1001.641	-438.3311	6085.352
PI-01	27	-851.4706	-311.4381	3226.0994

Tabla 53 (Continuación).

PI-01	28	-646.8072	-341.4636	1978.3524
PI-01	29	-1774.097	-65.9616	1031.6199
PI-01	30	-348.0783	-21.4584	4111.721
PI-01	68	-338.5735	-5093.28	19835.8434

Fuente: Autores.

Tabla 54. Fuerza Axial para AIS4.

AIS4				
Story	Joint Label	FX	FY	FZ
		kN	kN	kN
PI-01	3	397.0903	164.0178	3766.6175
PI-01	4	560.5315	89.8516	1396.6432
PI-01	5	255.0691	20.4982	-572.1155
PI-01	8	334.4224	233.6405	2153.0299
PI-01	9	465.3984	122.6562	534.9413
PI-01	10	208.5068	46.917	-706.7229
PI-01	12	492.0705	430.0736	6392.7899
PI-01	13	775.113	439.2085	2142.8342
PI-01	14	698.0743	321.4358	3459.628
PI-01	15	765.0696	5591.588	22305.2879
PI-01	16	457.4885	126.2104	2011.1402
PI-01	17	515.2196	896.5775	8296.2217
PI-01	18	539.9358	638.9259	4406.9395
PI-01	19	687.6453	550.8272	-449.8677
PI-01	20	722.7366	473.6668	1403.5506
PI-01	21	419.9183	265.8529	-1140.7435
PI-01	22	369.5917	116.5259	193.1283
PI-01	23	481.219	1036.339	-9479.4317
PI-01	24	259.6232	99.3339	3444.3683
PI-01	25	556.4451	404.2218	-941.0659
PI-01	26	1009.147	425.014	-4740.7986
PI-01	27	850.5155	303.0894	-1567.5048
PI-01	28	651.5493	323.3502	-259.5295
PI-01	29	1771.927	56.1128	468.6628
PI-01	30	344.8302	17.169	-3363.3096
PI-01	68	338.4677	4740.111	-17858.775

Fuente: Autores.

Tabla 55. Fuerza Axial para AIS5.

AIS5				
Story	Joint Label	FX	FY	FZ
		kN	kN	kN
PI-01	3	-2.2656	5.1583	875.4648
PI-01	4	4.0961	5.636	749.0071
PI-01	5	-5.5468	3.8084	487.6404
PI-01	8	-5.444	1.562	1294.465
PI-01	9	3.1858	3.3719	1261.653
PI-01	10	-13.283	1.5535	677.9036
PI-01	12	2.6646	3.4119	790.8503
PI-01	13	16.9804	6.3584	1293.943
PI-01	14	-0.2096	4.541	1439.61
PI-01	15	-2.625	222.2013	1376.844
PI-01	16	6.5047	5.1732	1665.149
PI-01	17	-14.493	198.8385	1732.949
PI-01	18	-0.3573	-2.7844	1246.385
PI-01	19	26.0186	1.8016	1295.296
PI-01	20	-21.96	3.8846	1797.706
PI-01	21	3.7749	11.4267	919.2777
PI-01	22	9.2602	-7.9327	1657.373
PI-01	23	-13.349	-179.876	1626.869
PI-01	24	0.2875	-0.2959	596.4798
PI-01	25	0.7731	-0.4789	860.1967
PI-01	26	6.5948	-9.6204	936.1891
PI-01	27	-1.3785	-6.8551	1150.141
PI-01	28	4.6857	-13.5854	1208.651
PI-01	29	-1.078	-8.0038	1066.133
PI-01	30	-2.9039	-3.8136	518.7416
PI-01	68	0.0677	-245.481	1359.323

Fuente: Autores.

Con las cargas axiales obtenidas, se seleccionan el valor máximo de las combinaciones de carga en los apoyos como se observa en la Tabla 56.

Tabla 56. Valor máximo de carga axial en los apoyos.

Id	Carga Axial (kN)
3	4299
4	1861
5	1547
8	2996
9	1988
10	2063
12	6809
13	2847
14	4281
15	23053
16	3003
17	9262
18	5049
19	3040
20	2471
21	2979
22	3122
23	12733
24	3719
25	2661
26	6613
27	3868
28	2677
29	1664
30	4401
68	20577

Fuente: Autores.

Con los valores máximos de carga se ingresa a la Tabla 57, para obtener las propiedades del aislador.

Tabla 57. Propiedades Técnicas del Aislador.

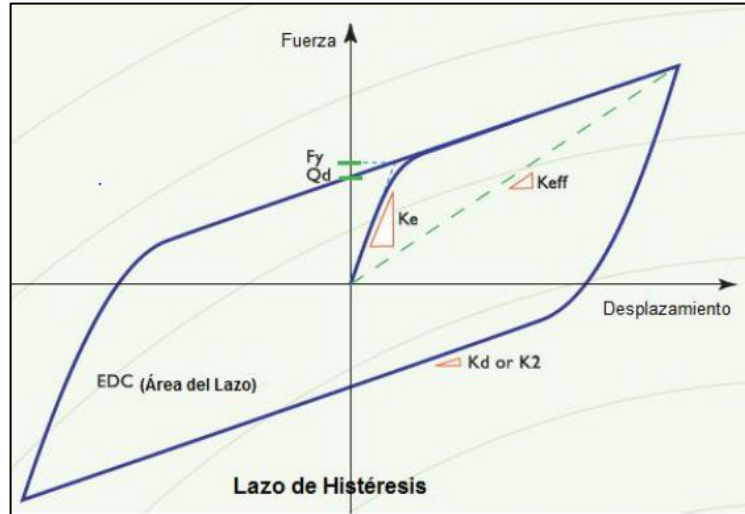
Diámetro Aislador, D _i (mm)	PROPIEDADES DE DISEÑO			Desplazamiento Máximo, D _{max} (mm)	Capacidad Carga Axial P _{max} (kN)
	Rigidez Producida, K _d (kN/mm)	Resistencia Características Q _d (kN)	Rigidez a la compresión, K _v (kN/mm)		
305	0.2-0.9	0-65	>50	150	450
355	0.2-1.2	0-65	>100	150	700
405	0.3-1.6	0-110	>100	200	900
455	0.3-2.0	0-110	>100	250	1,150
520	0.4-2.3	0-180	>200	300	1,350
570	0.5-2.8	0-180	>500	360	1,800
650	0.5-3.5	0-220	>700	410	2,700
700	0.5-4.2	0-220	>800	460	3,100
750	0.7-4.7	0-265	>900	460	3,600
800	0.7-5.3	0-265	>1,000	510	4,000
850	0.7-6.1	0-355	>1,200	560	4,900
900	0.7-6.1	0-355	>1,400	560	5,800
950	0.7-6.1	0-490	>1,800	610	6,700
1000	0.8-6.3	0-490	>1,900	660	7,600
1050	0.9-6.3	0-580	>2,100	710	8,500
1160	1.1-6.5	0-665	>2,800	760	13,800
1260	1.2-6.7	0-755	>3,700	810	20,500
1360	1.4-7.0	0-890	>5,100	860	27,600
1450	1.6-7.2	0-1,025	>5,300	910	33,400
1550	1.8-7.4	0-1,025	>6,500	910	40,000

Fuente: Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes, 2007.

3.2. Entrada de Datos.

Posteriormente a la selección del aislador, se calculan parámetros adicionales de rigidez y desplazamiento, para comprender el comportamiento de este, frente a cargas aplicadas. El análisis se realiza bajo los fundamentos de la norma ASCE/SEI 7-16, que estable la curva de histéresis, para determinar la respuesta al amortiguamiento y las cargas operativas del aislador.

Figura 19. Lazo de Histeresis.



Fuente: Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes, 2007.

$$K_{eff} = K_d + \frac{Q_d}{D_m}$$

Ecuación 5. Rigidez Efectiva.

$$D_y = \frac{Q_d}{K_e - K_d}$$

Ecuación 6. Desplazamiento de transición.

$$F_y = Q_d + K_d * D_y$$

Ecuación 7. Fuerza de Fluencia.

$$K_e = 10 * K_d$$

Ecuación 8. Rigidez Inicial.

En donde:

Tabla 58. Propiedades de los aisladores a implementar.

Id	Carga Axial (kN)	Carga Axial Aislador (kN)	Kd (kN/mm)	Qd (kN)	Ke (kN/mm)	Dm (mm)	Dy (mm)	Fy (kN)	Keff (kN/mm)
3	4299	4900	3,40	177,5	34	560	5,801	197,22	3,717
4	1861	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
5	1547	1800	1,65	90,0	16,5	360	6,061	100,00	1,900
8	2996	3100	2,35	110,0	23,5	460	5,201	122,22	2,589
9	1988	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
10	2063	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
12	6809	7600	3,55	245,0	35,5	660	7,668	272,22	3,921
13	2847	3600	2,70	132,5	27	460	5,453	147,22	2,988
14	4281	4900	3,40	177,5	34	560	5,801	197,22	3,717
15	23053	27600	4,20	445,0	42	860	11,772	494,44	4,717
16	3003	3100	2,35	110,0	23,5	460	5,201	122,22	2,589
17	9262	13800	3,80	332,5	38	760	9,722	369,44	4,238
18	5049	5800	3,40	177,5	34	560	5,801	197,22	3,717
19	3040	3100	2,35	110,0	23,5	460	5,201	122,22	2,589
20	2471	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
21	2979	3600	2,70	132,5	27	460	5,453	147,22	2,988
22	3122	3600	2,70	132,5	27	460	5,453	147,22	2,988
23	12733	13800	3,80	332,5	38	760	9,722	369,44	4,238
24	3719	4000	3,00	132,5	30	510	4,907	147,22	3,260
25	2661	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
26	6613	6700	3,40	245,0	34	610	8,007	272,22	3,802
27	3868	4000	3,00	132,5	30	510	4,907	147,22	3,260
28	2677	2700	2,00	110,0	20	410	6,111	122,22	2,268
29	1664	1800	1,65	90,0	16,5	360	6,061	100,00	1,900
30	4401	4900	3,40	177,5	34	560	5,801	197,22	3,717
68	20577	27600	4,20	445,0	42	860	11,772	494,44	4,717

Fuente: Autores.

Debido a que cada apoyo requiere un aislador de dimensiones distintas, se realiza una tipificación de los aisladores a implementar verificando que cumplan las cargas solicitadas, se seleccionaron los siguientes aisladores a implementar que se muestran en la Tabla 59.

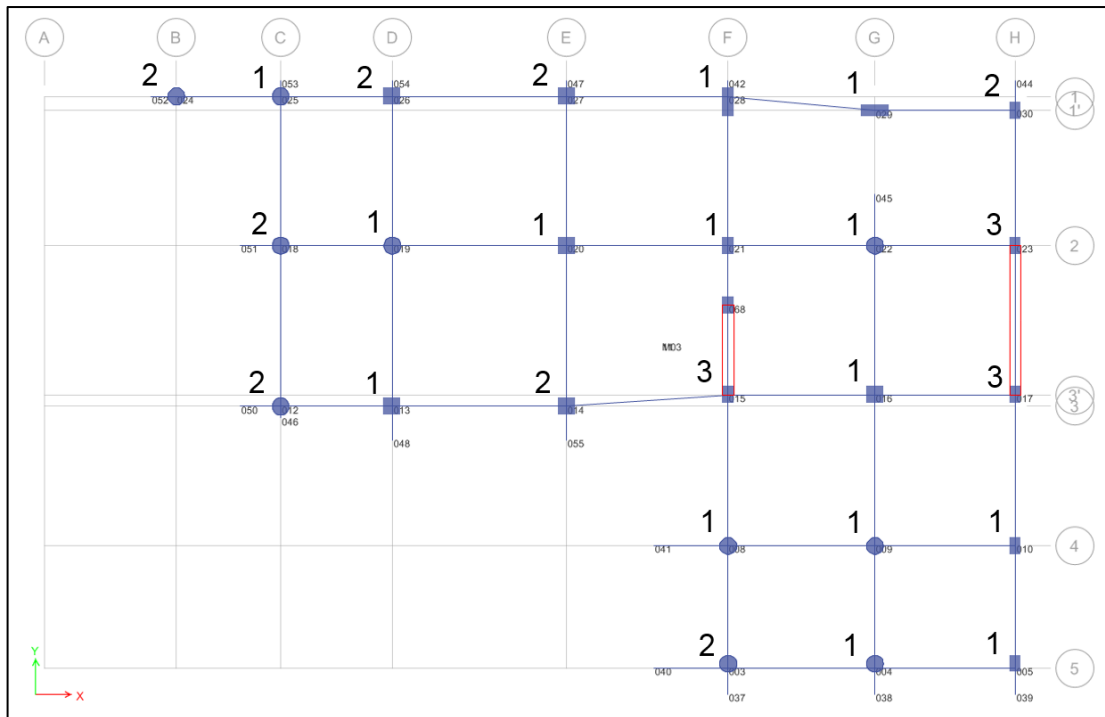
Tabla 59. Aisladores Seleccionados.

ID	Carga Axial Aislador (kN)	Kd (kN/mm)	Qd (kN)	Ke (kN/mm)	Dm (mm)	Dy (mm)	Fy (kN)	Km (kN/mm)
1	3600	2,70	132,5	27	460	5,453	147,22	2,988
2	7600	3,55	245,0	35,5	660	7,668	272,22	3,921
3	27600	4,20	445,0	42	860	11,772	494,44	4,717

Fuente: Autores.

Se realiza la disposición de estos aisladores en la planta como se muestra en la Figura 20, según la carga axial presentada en cada apoyo.

Figura 20. Localización de Aisladores Sísmicos.



Fuente: Autores.

3.3. Implementación del Sistema de Aislación en la Estructura.

Se diseñó el aislador sísmico, por medio de un elemento tipo NLink, al cual se le ingresan las propiedades determinadas anteriormente, como se señala en la Figura 21.

Figura 21. Propiedades de diseño NLink.

Identification	
Property Name	ISO1
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	2988 kN/m Keff
Effective Damping	209 kN-s/m C

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.46 m Dm

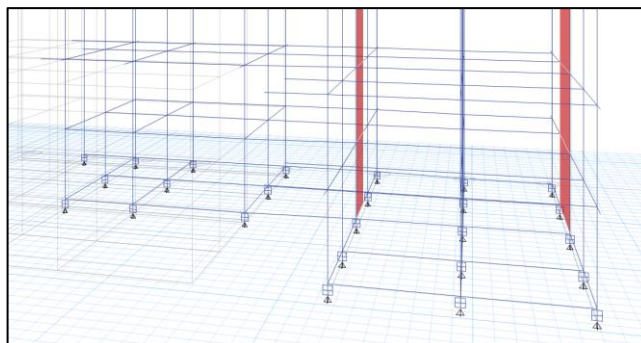
Nonlinear Properties	
Stiffness	27000 kN/m Kd
Yield Strength	147.22 kN Fy
Post Yield Stiffness Ratio	10 Ke/Kd

Fuente: Autores.

Se crean los diferentes tipos de NLink necesarios para representar los aisladores a implementar en el proyecto, en este caso se crearon tres tipos diferentes, los cuales responden a cargas axiales y desplazamientos específicos de cada apoyo.

Se observa el aislador ubicado en los apoyos de la estructura.

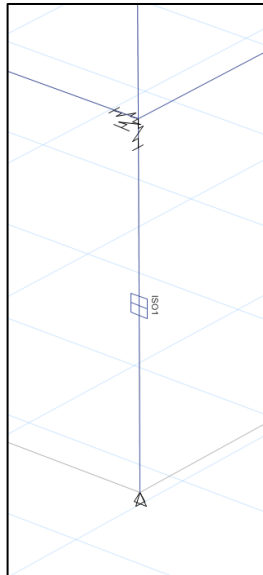
Figura 22. Disposición de Aisladores Sísmicos en la Estructura.



Fuente: Autores.

Se muestra el aislador modelado a través de un elemento tipo LINK en la Figura 23.

Figura 23. Detalle elemento tipo LINK.



Fuente: Autores.

3.4. Análisis del Comportamiento de la Estructura.

Para realizar una comparación correcta entre las estructuras desarrollada con aisladores sísmicos y la que se encuentra empotrada en sus apoyos, se obtienen las fuerzas internas y las derivas encontradas en los elementos.

Se seleccionan los 3 principales modos de vibración, donde se evidencian los valores de derivas más alto con respecto a los 21 modos calculados. Como se pueden ver en el -Anexo 3.

Tabla 60. Derivas en los 3 Principales Modos de Vibraciones X.

Deriva X			
PISO	1	2	3
7	0.18%	0.02%	0.70%
6	0.21%	0.06%	0.88%
5	0.03%	0.05%	0.07%
4	0.02%	0.06%	0.04%
3	0.88%	0.93%	0.59%
2	0.46%	0.85%	0.04%
1	0.79%	0.92%	0.87%

Fuente: Autores

Tabla 61. Derivas en los 3 Principales Modos de Vibraciones Y.

Deriva Y			
PISO	1	2	3
7	0.042%	0.000%	0.514%
6	0.575%	0.063%	0.339%
5	0.604%	0.056%	0.481%
4	0.014%	0.340%	0.049%
3	0.014%	0.146%	0.055%
2	0.817%	0.696%	0.781%
1	0.660%	0.880%	0.405%

Fuente: Autores.

Se realiza el cálculo del cortante basal, para elaborar el análisis comparativo en cuanto a la reducción de esfuerzos que genera la implementación los aisladores.

Tabla 62. Cortante Basal con Aisladores Sismicos.

Cortante Basal (kN)		
	Vx	Vy
Modal 1	311.4282	-311.1707
Modal 2	-177.703	-193.1347
Modal 3	77.7854	-101.0024
Modal 4	-428.4437	-276.1711
Modal 5	-213.8808	233.2184
Modal 6	449.2848	-598.3377
Modal 7	-411.2855	-15.296
Modal 8	-110.9237	-350.8755
Modal 9	612.3455	-322.2246
Modal 10	269.9707	72.0832

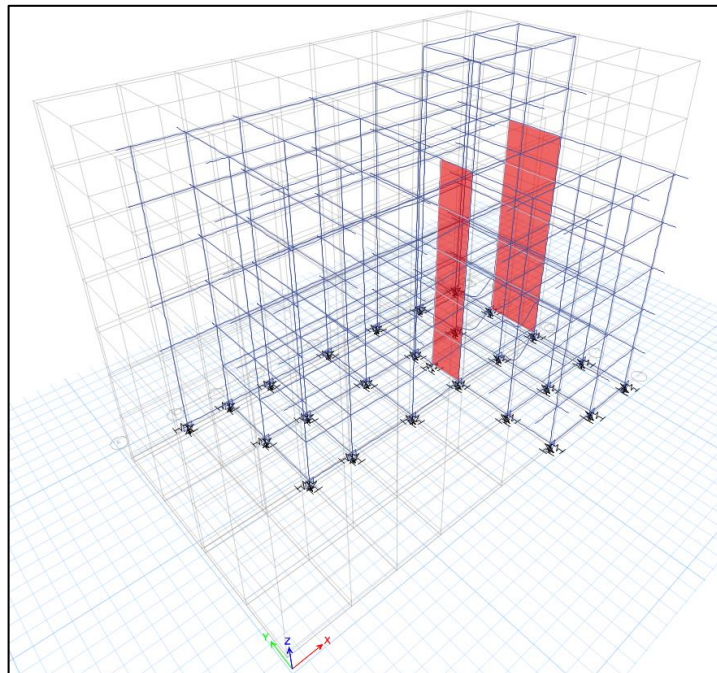
Tabla 62 (Continuación).

Modal 11	-316.0535	-7.509
Modal 12	-627.284	-118.8481
Modal 13	266.6237	-95.6144
Modal 14	-411.6831	115.2708
Modal 15	-73.1953	211.448
Modal 16	-658.1585	-68.6541
Modal 17	367.3228	23.2362
Modal 18	-198.8013	828.0086
Modal 19	691.9783	-523.9878
Modal 20	-402.5793	859.6287
Modal 21	-219.4287	492.3492

Fuente: Autores.

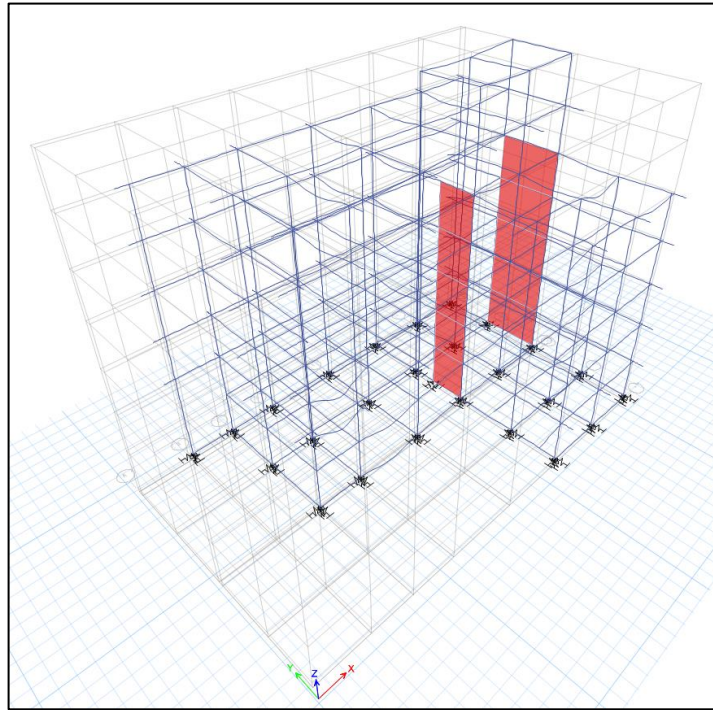
Además, se evidencian las deformaciones presentadas en las estructuras a través del modelo en 3D elaborado en el Software ETABS 2016 (Figura 24 y Figura 25). Como también evidenciar el desplazamiento de la estructura en la base por causa de las fuerzas sísmicas (Figura 26 y Figura 27).

Figura 24. Deformaciones presentadas en el Modelo con Aisladores.



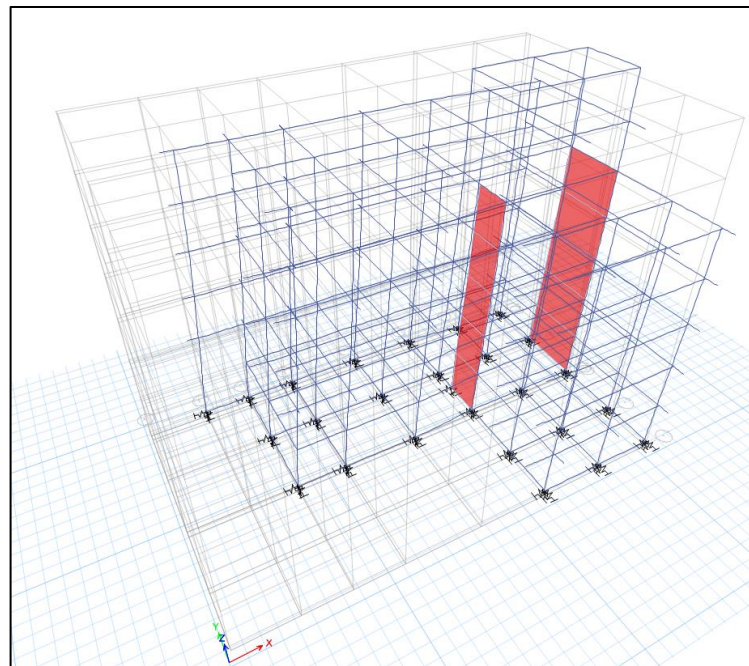
Fuente: Autores.

Figura 25. Deformaciones presentadas en el Modelo empotrada en la base.



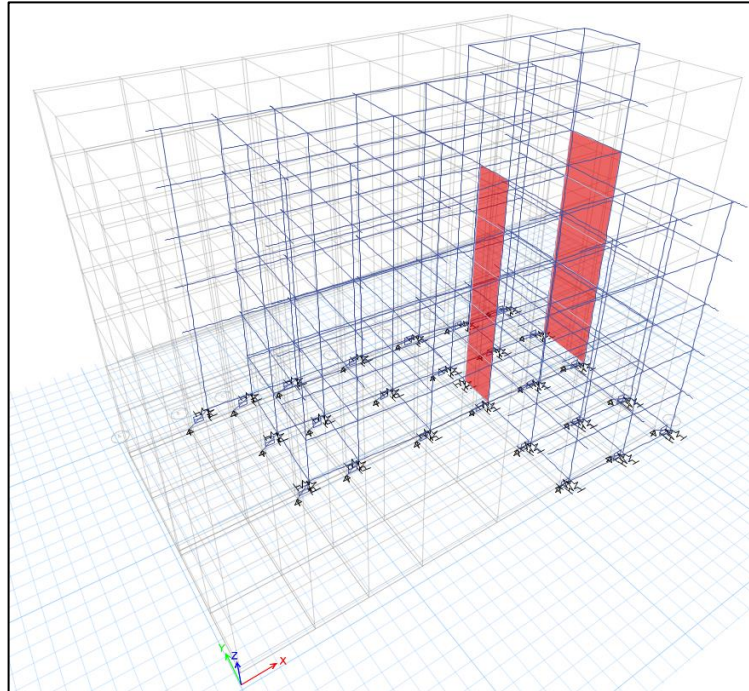
Fuente: Autores.

Figura 26. Desplazamiento de estructura empotrada en la base.



Fuente: Autores.

Figura 27. Desplazamiento de estructura con aisladores.



Fuente: Autores.

4. ANÁLISIS COMPARATIVO DE LOS RESULTADOS.

El primer parámetro a comparar en las estructuras, es el cortante basal, que es la reacción que se presenta en una estructura sometida a fuerzas sísmicas, las cuales se distribuyen a lo largo de sus elementos, y se reflejan los esfuerzos soportados.

Como se evidencia en la Tabla 49 y

Tabla 62, se presenta una reducción significativa del cortante basal, que será reflejado en un mejor desempeño estructural del modelo con aisladores sísmicos.

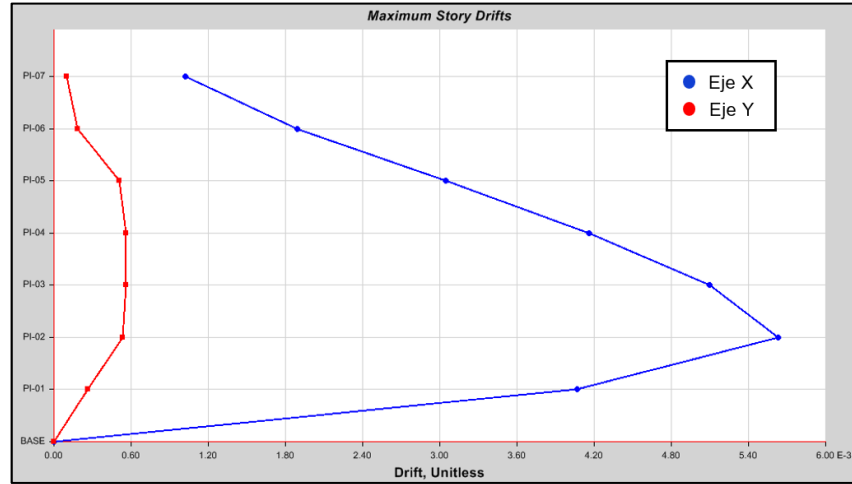
Tabla 63. Comparación del Cortante Basal.

Cortante Basal (kN)						
	Empotrada		Aislada		Disminuyó	
	Vx	Vy	Vx	Vy	X	Y
Modal 1	9138.705	405.4296	311.4282	-311.171	8827.2771	716.6003
Modal 2	-842.21	9248.386	-177.703	-193.135	-664.5072	9441.5211
Modal 3	-1263.36	-25643	77.7854	-101.002	-1341.1442	-25541.996
Modal 4	-27846.8	1589.663	-428.444	-276.171	-27418.329	1865.8336
Modal 5	-1283.52	-36334.1	-213.881	233.2184	-1069.6409	-36567.312
Modal 6	27838.99	-33542.7	449.2848	-598.338	27389.7083	-32944.384
Modal 7	35191.75	27015.39	-411.286	-15.296	35603.0334	27030.6908
Modal 8	-22736.6	-69390.4	-110.924	-350.876	-22625.716	-69039.496
Modal 9	53211.52	-15162	612.3455	-322.225	52599.1757	-14839.78
Modal 10	-83345.7	36291.74	269.9707	72.0832	-83615.661	36219.6602
Modal 11	-24041.7	58325.12	-316.054	-7.509	-23725.662	58332.6303
Modal 12	39422.44	170373.3	-627.284	-118.848	40049.7218	170492.126
Modal 13	40817.68	36214.95	266.6237	-95.6144	40551.0548	36310.5619
Modal 14	138251.4	40608.48	-411.683	115.2708	138663.117	40493.2069
Modal 15	34553.18	-439300	-73.1953	211.448	34626.3777	-439511.61
Modal 16	-164788	-22724.5	-658.159	-68.6541	-164130.26	-22655.828
Modal 17	-38284.8	-135956	367.3228	23.2362	-38652.168	-135978.96
Modal 18	67852.51	347920.8	-198.801	828.0086	68051.3128	347092.824
Modal 19	-30324.4	1109434	691.9783	-523.988	-31016.417	1109957.53
Modal 20	31055.73	-1489436	-402.579	859.6287	31458.3114	-1490295.6
Modal 21	23423.8	-1081726	-219.429	492.3492	23643.2323	-1082218.3

Fuente: Autores

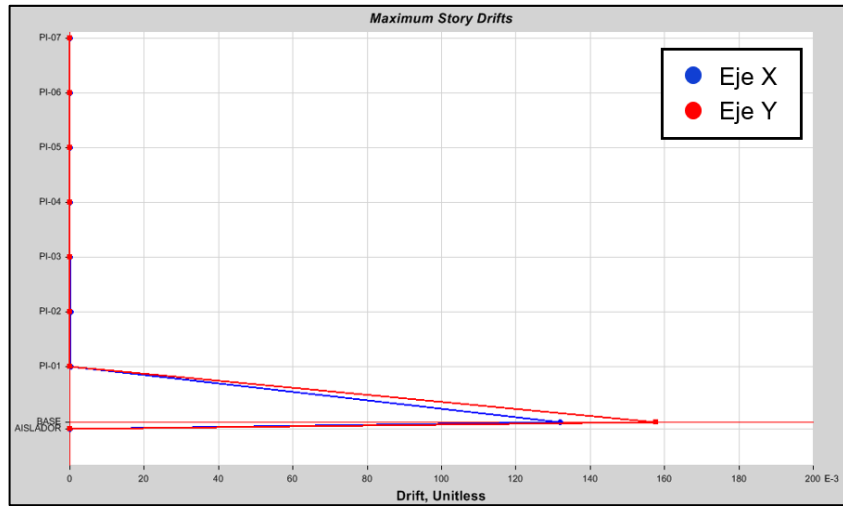
En las derivas y desplazamientos horizontales presentados por las estructuras, se puede observar según la Tabla 47 y Tabla 60, donde se presenta un incremento de las derivas en la estructura con aisladores sísmicos, estos debido a la absorción de energía dispuesta por el sistema y reflejando así mismo el comportamiento elástico de la estructura.

Figura 28. Derivas en Estructura Empotrada.



Fuente: Autores.

Figura 29. Derivas en Estructura Aislada.



Fuente: Autores.

5. CONCLUSIONES.

- Al realizar el análisis de la estructura empotrada en la base, se comprobó que este si cumplía con los parámetros mínimos establecidos por la NSR-10, sin embargo, al momento de implementar el sistema de aislación sísmica, la estructura presentó un mejor desempeño en los desplazamientos y las fuerzas internas.
- El propósito final del aislador sísmico es reducir las fuerzas sísmicas para que la estructura trabaje en el rango elástico y así poder reducir las secciones de la estructura, lo cual permitirá que se tenga optimización de recursos y de igual manera se cumpla con las solicitaciones que exige la normativa para que la respuesta estructural frente a un sismo sea la adecuada. Lo anterior se puede cumplir, ya que se han disminuido en un mayor porcentaje los desplazamientos laterales.
- Se observa que los desplazamientos calculados para la estructura con aisladores sísmicos, presentan un aumento de derivas en el primer piso, esto debido a que las fuerzas horizontales presentadas en la estructura aislada son distribuidas de manera uniforme, por lo que las derivas máximas se presentaran en el primero piso, por acción la absorción de energía presentada en el aislador sísmico, por lo tanto, al incrementar la altura la energía se va disipando.
- El aislamiento en la base presenta mejor comportamiento en cuanto a las fuerzas de sismo frente al modelo empotrado en la base, en conclusión, la estructura que se encuentra aislada tendrá un mejor desempeño donde las deformaciones permanentes serán casi nulas y la rigidez y resistencia no se verán afectadas por el evento.
- Como se puede evidenciar en los periodos establecidos por las estructuras, en la estructura con aisladores sísmicos, el periodo incrementa, y de esta manera disminuye la aceleración espectral lo que genera que se presenten fuerzas laterales menores, comparadas con la estructura empotrada en los apoyos.
- Gracias a la respuesta del aislador en cuanto a la absorción de la energía producida en un sismo y la disipación de la misma sin afectar los miembros rígidos, los daños que presentará la estructura serán mínimos, por lo tanto, la integridad de la estructura no se verá afectada y podrá seguir siendo inmediatamente ocupacional.
- Al realizar el análisis comparativo de las estructuras, se obtuvo una respuesta eficaz al evaluar la reducción de esfuerzos y desplazamientos presentados en la estructura con el sistema de aislación sísmica, cumpliendo con el principal objetivo de la investigación que es exponer y corroborar la información a nivel internacional y nacional, que justifica el uso de sistemas de aislación sísmica como una solución, para mitigar los daños causados por efecto de un sismo.

BIBLIOGRAFÍA

- AIS, UNIDADES INGEOMINAS. 2010.** *Estudio General de Amenaza Sísmica.* Bogotá : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.
- Aislamiento Sísmico para Edificaciones y Puentes. DIS. 2007.* 2007.
- Antorveza, Gregorio Rentería. 2010.** Gregorio Rentería Antorveza, el ingeniero que diseñó el puente helicoidal en Risaralda. Colombia : El Tiempo, 31 de Julio de 2010.
- CDV Ingeniería Sísmica.** *CDV Ingeniería Sísmica.* [En línea] [Citado el: 18 de 09 de 2018.] www.cdvperu.com.
- Doshin Rubber Engineering.** *Doshin Rubber Engineering.* [En línea] [Citado el: 15 de 09 de 18.] www.doshinrubber.com.
- El Aislamiento Sísmico de Estructuras. Su Aplicación en Colombia. Rendón, Jorge. 2009.* Colombia : s.n., 2009.
- Genatios, Carlos y Marianela, Lafuente. 2016.** *Introducción al Uso de Aisladores y Disipadores en Estructuras.* 2016.
- Grupo Vikingo.** *Grupo Vikingo.* [En línea] [Citado el: 14 de 09 de 18.] www.cauchosvikingo.com.
- Infraestructura Hospitalaria.** *Infraestructura Hospitalaria.* [En línea] [Citado el: 14 de 09 de 18.] www.hospitalaria.cl.
- Kelly, Trevor. 2001.** *Base Isolation of Structures.* New Zealand : Holmes Consulting Group Ltd, 2001. 00988847.
- Kirikov, B. 1992.** *History of Earthquake Resistant Construction.* Madrid : Instituto de Ciencias de la Construcción Eduardo Torroja-Fundación MAPFRE, 1992.
- Moquete, Francisco. 2012.** *Evaluación de Riesgo Sísmico en Edificios Especiales.* Cataluña : Universidad Politécnica de Cataluña, 2012.
- Moreno, D.M., L.E., Yamin y Reyes, J.C.** *Estudio Experimental de Aisladores Sísmicos Tipo Péndulo de Fricción en Modelos a Escala Reducida.* Bogotá : Universidad de Los Andes.

Naeim, Farzad y Kelly, James M. 1999. *Design of seismic isolated structures: from theory to practice.* s.l. : John Wiley & Sons, 1999. 0471149217.

Nitsche, Claudio. 2018. *Proteccion Sismica de Estructuras.* 2018.

NSR-10. 2010. *Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10.* Colombia : Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010.

Obando, Alejandrina. 2013. *Análisis y Diseño de un Edificio con Aisladores Sísmicos Modelamiento en el ETABS.* s.l. : Universidad Central Del Ecuador, 2013. 1003324991/2248-7220.

Pinzon, Nathalia y Edwin, Martinez. 2014. *ESTADO DEL ARTE Y MODELO DIDÁCTICODESCRIPTIVO DE AMORTIGUADORES Y AISLADORES.* Bogota : s.n., 2014.

Seismic isolation in buildings to be a practical reality: behavior of structure and installation technique. **Islam, A. y Jameel.M.:Jumaat, M. 2011.** s.l. : J. Eng. Technol. Res, 2011, Vol. 3, págs. 99-117. 2006-9790.

Sismica. Sismica. [En línea] [Citado el: 14 de 09 de 18.] www.sismica.cl.

Structural Engineering Institute. 2017. *Minimum Design Loads And Associated Criteria For Buildings and Other Structures.* United States of America : America Society Of Civil Engineers, 2017.

TecnoAv. TecnoAv. [En línea] [Citado el: 14 de 09 de 18.] www.tecnoav.cl.

Uso de los Aisladores de Base en Puentes de Concreto Simplemente Apoyados.

Rico, Leocardio y Chio, Gustavo. 2012. 2012, Revista Tecnura, págs. 103-124.

Valerio, Jacob. 2015. *Análisis Comparativo de un edificio en la base vs un edificio aislado utilizando 4 tipos de aisladores sísmicos.* Catalunya : Universidad Politecnica de Catalunya, 2015.

ANEXOS.

-Anexo 1. Planos Centro de Especialidades Althea. El documento se encuentra en la carpeta PLANOS CENTRO DE ESPECIALIDADES ALTHEA.

-Anexo 2. Cálculo por Método de Análisis Dinámico para Estructura Empotrada. El documento se encuentra en la carpeta ANÁLISIS DINÁMICO, con el nombre CÁLCULO POR MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO PARA ESTRUCTURA EMPOTRADA

-Anexo 3. Cálculo por Método de Análisis Dinámico para Estructura Aislada. El documento se encuentra en la carpeta ANÁLISIS DINÁMICO, con el nombre CÁLCULO POR MÉTODO DE ANÁLISIS DINÁMICO PARA ESTRUCTURA AISLADA.