

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

Facultad de Tecnología de la Construcción

Monografía

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DEL COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE UN EDIFICIO
CONVENCIONAL VERSUS EDIFICIO CON AISLACIÓN SÍSMICA DE PISOS
SUPERIORES”.**

Para optar al título de Ingeniero Civil

Elaborado por

Br. Danner José Segura Tercero

Br. Steve Enrique Vargas García

Br. Jeral José Altamirano García

Tutor

Ing. Dwane Roberto Amador Rocha

Managua, Febrero 2022

Agradecimientos

A Dios por ser nuestro guía constante.

A nuestras familias por su gran apoyo en este camino de formación.

Ing. Dwane R. Amador R. gracias por confiar en nosotros, compartir sus valiosos conocimientos, y por siempre estar al pendiente a nuestro llamado a aclarar nuestras dudas.

A la universidad por mantener sus puertas abiertas a soñadores y ayudar a convertirnos en los profesionales del futuro.

Dedicatoria

A Dios por darme la fuerza para cada día luchar por mis sueños.

A usted mamá, por las largas noches de desvelo y las dulces canciones de cuna. Este es un reconocimiento a su sacrificio, gracias por su amor y apoyo incondicional, con todo el amor de un hijo agradecido y orgulloso de usted.

A mi familia por todo su aprecio y confianza.

A todas y cada una de las personas que en el anonimato aportaron un granito de arena para poder llegar a este punto de mi vida.

Danner Segura

Dedicatoria

A Dios por guiarme por los mejores caminos y ponerme a las personas adecuadas para llegar a este punto de mi vida.

A mi madre, que, sin su esfuerzo y apoyo desde el principio de mi carrera, nada de esto sería posible, estoy orgulloso de la madre que tengo y este triunfo se lo dedico totalmente

A toda mi familia que siempre creyó en mí.

A todos mis amigos y compañeros que me ayudaron a llegar hasta aquí.

Steve Vargas

Dedicatoria

A Dios, por darme la sabiduría y fortaleza de seguir con mis propósitos cada día y continuar adelante teniendo siempre la fe en él.

Le dedico esta tesis a mis padres Martha García y Antonio Altamirano, pero en especial a una gran persona y dama, mi abuela paterna Paulina. Ellos son parte fundamental en mi vida, que, con su amor y esfuerzo me han impulsado por luchar, perseverar y sobre todo por cumplir mis sueños de ser un profesional, y sembrar en mí el deseo de auto superación.

A mis compañeros de tesis, ya que por cinco años siempre hemos estado unidos dándonos motivación y apoyo para egresar juntos como ingenieros civiles.

A mis hermanos y demás familiares por la confianza y sobre todo porque son profesionales, ejemplos a seguir.

A todos mis profesores por compartir sus conocimiento y sabiduría y a todas las personas que permanecieron y me ayudaron en esta etapa de mi vida

Jeral J. Altamirano

Resumen

El presente trabajo expone un análisis comparativo entre una estructura diseñada convencionalmente y esta misma estructura con un sistema de aislación de pisos superiores, la estructura es de concreto reforzado y losas solidas del mismo material.

La estructura es sometida a una cantidad de energía sísmica, basados en las aceleraciones espectrales más desfavorables que probablemente se experimenten en la ciudad de Managua, sitio donde se ha idealizado la ubicación del edificio (ver anexo A, Ilustración 53 e Ilustración 54), el análisis se ha llevado a cabo en el programa de análisis y diseño estructural Etabs versión 18 aplicando el método de análisis dinámico modal espectral.

Primeramente, se presenta el procedimiento de determinación de las cargas que están actuando en la estructura, tanto vivas como muertas, luego se muestra el proceder del análisis de fuerzas equivalentes, esto para determinar los cortantes estáticos en la estructura convencional, posteriormente se tiene el método de análisis espectro-modal aplicado a la estructura convencional, una vez realizado esto, se presenta el dimensionamiento de los aisladores elastoméricos tipo LRB, seguido se muestra la manera de definir estos aisladores en el programa y como asignarlos a la estructura. Se procede a realizar el análisis dinámico de la estructura con el sistema de aislación del cual se extraen los resultados del programa.

Finalmente, se presenta una comparación de los resultados obtenidos en el programa, de las dos estructuras, también se brindan las debidas conclusiones del análisis.

Contenido

CAPITULO I: Generalidades	1
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	11
4. Objetivos	13
General	13
Específicos	13
CAPÍTULO II: Marco teórico	15
i. Estructura	15
ii. Análisis Dinámico	16
1. Respuesta estructural	16
2. Valor máximo de la respuesta	17
3. Indicadores	17
iii. Dinámica Estructural	17
1. Análisis Modal-Espectral	21
iv. Aisladores Sísmicos	23
1. Aisladores de goma de bajo amortiguamiento (LDRB)	24
2. Aisladores de goma de alto amortiguamiento (HDRB)	25
3. Péndulos Friccionales (FPS)	25
4. Péndulos Friccionales Triples (TFP)	26
v. Aisladores Tipo LRB	28
1. Propiedades	28
2. Sistema de anclaje	30
3. Protección del dispositivo	30
4. Aplicaciones	30
5. Sistemas pasivos	31
6. Sistemas activos de control de respuesta	32
vi. Cálculo manual de las características del sistema de aislación según el ASCE 7-10.	34
1. Propiedades mecánicas del aislador	34
2. Rigidez horizontal	34

3.	Deformación por cortante _____	34
4.	Rigidez vertical _____	35
5.	Fuerza característica _____	35
6.	Rigidez post-fluencia _____	36
7.	Rigidez estática _____	36
8.	Desplazamiento de fluencia _____	37
9.	Amortiguamiento efectivo _____	37
10.	Frecuencia natural _____	37
11.	periodo efectivo _____	37
vii.	Condiciones ambientales _____	38
1.	Fuerzas de viento _____	38
2.	Resistente al fuego _____	38
3.	Fuerza lateral restauradora _____	38
4.	Restricción de desplazamiento _____	38
viii.	Amortiguador de masa sintonizada _____	39
1.	Aislamiento de masa Parcial(PMI). _____	41
CAPÍTULO III: Análisis estático de la estructura convencional _____		44
i.	Caracterización de la estructura _____	44
ii.	Determinación de las cargas actuantes en la estructura _____	45
CAPÍTULO IV: Análisis dinámico de la estructura convencional _____		48
i.	Análisis de la estructura _____	48
1.	Espectro de respuesta _____	48
2.	Casos de carga _____	50
3.	Deformada de la estructura _____	51
4.	Desplazamientos _____	52
5.	Proporciones de masa participativa modal _____	54
6.	Masas por cada nivel _____	55
7.	Cortantes de entrepiso _____	56
8.	Cortantes basales _____	57
9.	Distorciones de entrepiso _____	58
CAPÍTULO IV: Aisladores _____		61
	Dimensionamiento de los aisladores tipo LRB _____	61

1. Cargas totales _____	61
2. Carga axial máxima _____	62
3. Pre-diseño del aislador _____	62
4. Dimensionamiento _____	64
5. Dimensiones del aislador y placas de montaje _____	65
6. Cálculo de las propiedades dinámicas del aislador _____	66
7. Propiedades en Matlab _____	67
8. Propiedades dinámicas del aislador _____	68
9. Propiedades de los materiales _____	68
10. Datos previos al ETABS V18 _____	69
CAPÍTULO V: Análisis dinámico de la estructura con sistema de aislación _____	71
i. Asignación de los aisladores a la estructura. _____	71
ii. Análisis _____	76
1. Deformada de la estructura _____	76
2. Desplazamientos _____	77
3. Proporciones de masa participativa modal _____	80
1. Masas por cada nivel _____	82
2. Cortantes de entrepiso _____	83
3. Cortantes basales _____	86
4. Distorsiones de entrepiso _____	87
CAPÍTULO VI: Comparación de resultados. _____	92
1. Periodos _____	92
2. Frecuencias _____	93
3. Masa participativa _____	94
4. Desplazamientos _____	95
5. Derivas _____	97
6. Demanda en columna típica _____	98
7. Demanda en viga típica _____	100
CAPITULO VII: Conclusiones y Recomendaciones _____	102
1. Conclusiones _____	102
2. Recomendaciones _____	104
BIBLIOGRAFIA _____	105

GLOSARIO	107
CAPÍTULO VIII: Anexos	I
Anexo A: Ilustraciones de caracterización	I
Anexo B: Ilustraciones y tablas	III
Anexo C: Cálculos manuales	XI
Anexo D: Ilustración de resultados	XII

Índice de Ilustraciones

<i>Ilustración 1: Vista externa de la edificación.</i>	5
<i>Ilustración 2: Sistema estructural.</i>	6
<i>Ilustración 3: Vista interior de la capa de aislamiento.</i>	6
<i>Ilustración 4: Modelo del edificio, vista exterior.</i>	7
<i>Ilustración 5: Plano de estructura, vista frontal y lateral.</i>	8
<i>Ilustración 6: Construcción de la interfaz de aislamiento.</i>	8
<i>Ilustración 7: Edificio preexistente.</i>	9
<i>Ilustración 8: Edificio actual.</i>	10
<i>Ilustración 9. Grados de libertad.</i>	18
<i>Ilustración 10. Marco plano, sistema pendular.</i>	18
<i>Ilustración 11. Marco plano, sistema pendular con traveses flexibles.</i>	19
<i>Ilustración 12. Sistema lejanamente acoplado.</i>	20
<i>Ilustración 13. Periodo.</i>	23
<i>Ilustración 14. Aislador de goma de bajo amortiguamiento, LDRB.</i>	24
<i>Ilustración 15. Aislador de goma de alto amortiguamiento, HDRB.</i>	25
<i>Ilustración 16. Aislador de péndulo simple (FPS).</i>	26
<i>Ilustración 17. Aislador de triple péndulo TFP.</i>	27
<i>Ilustración 18. Aislador de triple péndulo TFP, render.</i>	27
<i>Ilustración 19. Aisladores de goma con núcleo de plomo LRB.</i>	28
<i>Ilustración 20: Sistema pasivos de control de respuesta.</i>	32
<i>Ilustración 21: ventajas y desventajas de los sistemas.</i>	33
<i>Ilustración 22. Modelo 3D de la estructura.</i>	44
<i>Ilustración 23. Planta estructural del edificio.</i>	45
<i>Ilustración 24: Archivo de aceleraciones espectrales en txt.</i>	48
<i>Ilustración 25. Espectro de respuesta.</i>	49
<i>Ilustración 26. Definición del espectro de respuesta.</i>	49
<i>Ilustración 27. Casos de carga.</i>	50
<i>Ilustración 28. Definición de los casos de carga.</i>	50
<i>Ilustración 29. Deformada de la estructura.</i>	51
<i>Ilustración 30. Carga axial máxima.</i>	62
<i>Ilustración 31. Dimensiones del aislador, vista en planta.</i>	63
<i>Ilustración 32. Dimensiones del aislador, vista en elevación.</i>	64
<i>Ilustración 33. Script de Matlab</i>	66
<i>Ilustración 34. Resultados del Matlab.</i>	67
<i>Ilustración 35. Propiedades dinámicas del aislador, Matlab.</i>	68
<i>Ilustración 36. Diagrama de histéresis del aislador.</i>	69

<i>Ilustración 37. Asignación de los aisladores a la estructura.</i>	71
<i>Ilustración 38. Propiedades en la dirección U1.</i>	72
<i>Ilustración 39. Propiedades en la dirección U2.</i>	72
<i>Ilustración 40. Propiedades en la dirección U3.</i>	73
<i>Ilustración 41. Asignación de los aisladores.</i>	73
<i>Ilustración 42. Asignación de los aisladores.</i>	74
<i>Ilustración 43. Estructura con los aisladores asignados.</i>	75
<i>Ilustración 44. Deformada de la estructura con aislación.</i>	76
<i>Ilustración 45. Demanda de cortante, col. típica, estructura convencional.</i>	98
<i>Ilustración 46. Demanda de cortante, col. típica, estructura aislada.</i>	99
<i>Ilustración 47. Demanda de momento, col. típica, estructura convencional.</i>	99
<i>Ilustración 48. Demanda de momento, col. típica, estructura aislada.</i>	99
<i>Ilustración 49. Demanda de cortante, viga típica, estructura convencional.</i>	100
<i>Ilustración 50. Demanda de cortante, viga típica, estructura aislada.</i>	100
<i>Ilustración 51. Demanda de momento, viga típica, estructura convencional.</i>	100
<i>Ilustración 52. Demanda de momento, viga típica, estructura aislada.</i>	100
<i>Ilustración 53. Macro localización de la estructura.</i>	I
<i>Ilustración 54. Micro localización de la estructura.</i>	I
<i>Ilustración 55. Distribución arquitectónica, planta típica.</i>	II
<i>Ilustración 56. Distribución arquitectónica, habitación típica.</i>	II
<i>Ilustración 57. Zonificación sísmica de Nicaragua.</i>	III
<i>Ilustración 58. Espectro elástico.</i>	VI
<i>Ilustración 59. Ecuación del espectro elástico.</i>	VII
<i>Ilustración 60. Mapa de fallas geológicas de Managua.</i>	VII
<i>Ilustración 61. Leyenda de fallas geológicas de Managua.</i>	VIII
<i>Ilustración 62. Flujiograma de cálculo secuencial de las propiedades del aislador.</i>	VIII
<i>Ilustración 63. Cortantes de entrepiso para el modo 1, est. conv.</i>	XII
<i>Ilustración 64. Cortantes de entrepiso para el modo 2 est. conv.</i>	XII
<i>Ilustración 65. Derivas máximas eje "X", est. conv.</i>	XIII
<i>Ilustración 66. Derivas máximas eje "Y", est. conv.</i>	XIII
<i>Ilustración 67. Desplazamiento máximo de la estructura conv. "X".</i>	XIV
<i>Ilustración 68. Desplazamiento máximo de la estructura conv. "Y".</i>	XIV
<i>Ilustración 69. Cortantes de entrepiso para el modo 1, est. aislada.</i>	XV
<i>Ilustración 70. Cortantes de entrepiso para el modo 2 est. aislada.</i>	XV
<i>Ilustración 71. Derivas máximas eje "X", est. aislada.</i>	XVI
<i>Ilustración 72. Derivas máximas eje "Y", est. aislada.</i>	XVI
<i>Ilustración 73. Desplazamiento máximo de la estructura aislada "X".</i>	XVII
<i>Ilustración 74. Desplazamiento máximo de la estructura aislada "Y".</i>	XVII
<i>Ilustración 75. Diagramas col. típica de piso superior, estructura conv.</i>	XVIII
<i>Ilustración 76. Diagramas, viga típica de piso superior, estructura conv.</i>	XIX
<i>Ilustración 77. Diagramas, col. típica de piso superior, estructura aislada.</i>	XX
<i>Ilustración 78. Diagramas, viga típica de piso superior, estructura aislada.</i>	XXI

Índice de Tablas

Tabla 1. Dimensiones de los elementos nivel 1-15.	45
Tabla 2:Altura de las columnas.	46
Tabla 3:Cargas del piso 1-15.	46
Tabla 4:Cargas vivas y muertas por cada nivel.	46
Tabla 5: Isoaceleracion.	48
Tabla 6. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma.	52
Tabla 7. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma.	53
Tabla 8. Razón de masa participativa modal.	54
Tabla 9. Sumatoria de masas por piso.	55
Tabla 10. Cortantes de entrepiso "X".	56
Tabla 11. Cortantes de entrepiso "Y".	57
Tabla 12. Cortante basal "X".	57
Tabla 13. Cortante basal "Y".	57
Tabla 14. Derivas "X".	58
Tabla 15.Derivas "Y".	59
Tabla 16. Carga total considerada para el diseño de los aisladores.	61
Tabla 17. Propiedades en función del diámetro del aislador.	63
Tabla 18. Datos para dimensionar el aislador y placas de montaje.	64
Tabla 19. Dimensiones.	65
Tabla 20. Propiedades de los materiales de los aisladores.	68
Tabla 21. Datos previos al ETABS.	69
Tabla 22. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 9no piso.	77
Tabla 23. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 8vo piso.	78
Tabla 24. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 7mo piso.	78
Tabla 25. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma. Aislado 9no piso.	79
Tabla 26. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma. Aislado 8vo piso.	79
Tabla 27. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma. Aislado 7mo piso.	80
Tabla 28. Razón de masa participativa modal aislado 9no piso.	80
Tabla 29. Razón de masa participativa modal aislado 8vo piso.	81
Tabla 30. Razón de masa participativa modal aislado 7mo piso.	81
Tabla 31. Sumatoria de masas por piso.	82
Tabla 32. Cortantes de entrepiso "X" aislado 9no piso.	83
Tabla 33. Cortantes de entrepiso "X" aislado 8vo piso.	83
Tabla 34. Cortantes de entrepiso "X" aislado 7mo piso.	84
Tabla 35. Cortantes de entrepiso "Y" aislado 9no piso.	84
Tabla 36: Cortantes de entrepiso "Y" aislado 8vo piso.	85
Tabla 37. Cortantes de entrepiso "Y" aislado 7mo piso.	85
Tabla 38. Cortante basal "X" aislado 9no piso.	86
Tabla 39. Cortante basal "X" aislado 8vo piso.	86
Tabla 40. Cortante basal "X" aislado 7mo piso.	86
Tabla 41. Cortante basal "Y" aislado 9no piso.	86
Tabla 42. Cortante basal "Y" aislado 8vo piso.	86
Tabla 43. Cortante basal "Y" aislado 7mo piso.	87
Tabla 44. Derivas "X" aislado 9no piso.	87
Tabla 45. Derivas "X" aislado 8vo piso.	88
Tabla 46. Derivas "X" aislado 7mo piso.	88
Tabla 47. Derivas "Y" aislado 9no piso.	89

<i>Tabla 48. Derivas "Y" aislado 8vo piso.</i>	<i>89</i>
<i>Tabla 49: Derivas "Y" aislado 7mo piso.</i>	<i>90</i>
<i>Tabla 50. Periodos de la estructura convencional vs aislada.</i>	<i>92</i>
<i>Tabla 51. Frecuencias de la estructura convencional vs aislada.</i>	<i>93</i>
<i>Tabla 52. Comparación de masa participativa modal.</i>	<i>94</i>
<i>Tabla 53. Comparación de desplazamientos "X" del edificio convencional vs aislado.</i>	<i>95</i>
<i>Tabla 54. Comparación de desplazamientos "Y" del edificio convencional vs aislado.</i>	<i>96</i>
<i>Tabla 55. Comparación de derivas "X", convencional vs aislado.</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 56. Comparación de derivas "Y", convencional vs aislado.</i>	<i>98</i>
<i>Tabla 57. Coeficiente de isoaceleraciones a_0.</i>	<i>IV</i>
<i>Tabla 58. Cargas vivas unitarias mínimas (kg/m²).</i>	<i>IV</i>
<i>Tabla 59. Factores de amplificación por tipo de suelo.</i>	<i>VI</i>

CAPITULO I.

GENERALIDADES

CAPITULO I: Generalidades

1. Introducción

Nicaragua es un país con latente riesgo sísmico, debido a diversas razones, es atravesado por la conocida cadena volcánica “cinturón fuego”, fallamiento local y zonas de subducción. Particularmente en la zona C del país, está situada la ciudad de Managua que presenta 21 fallas confirmadas las cuales la atraviesan mayoritariamente de dirección NE a SO, las que hacen que sea un lugar vulnerable a movimientos telúricos. La ingeniería estructural apunta a uso de sistemas que permitan un comportamiento preservador de la vida y que se disminuyan los daños y pérdidas materiales ante un evento sísmico. En este trabajo se pretende mostrar la utilidad de uno de los sistemas viables para atender dicha necesidad, siempre en búsqueda de un buen desempeño de las edificaciones.

En la presente investigación se usaron los métodos de análisis estructural modal espectral y estático equivalente en el análisis comparativo del comportamiento de una estructura convencional y una estructura con aislación en pisos superiores; en la realización de los análisis mencionados anteriormente se hizo uso de las disposiciones plasmadas en el reglamento nacional de la construcción RNC-07 en conjunto con la normativa “Minimum Design Loads for Building and Other Structures” del ASCE/SEI 7-10 en la medida que son aplicables. También se abordó el diseño de aisladores sísmicos de tipo LRB (Lead Ruber Bearing), es decir, aisladores que constan de un soporte de caucho con acero laminado, placas de acero que se conectan a la estructura y un núcleo de plomo para disipación de la energía; para el diseño de estos se usó como apoyo el documento “Base Teórica Del Aislamiento Sísmico”, 2014, en el caso de la automatización del diseño de estos, se utilizó las disposiciones plasmadas en el Capítulo 8: “Diseño De Aislador Elastomérico” del documento “Respuesta No Lineal Del Sistema De Aislación, 2013”, y la debida revisión con los requisitos del documento “Cargas de diseño mínimas para edificios y otras estructuras” del ASCE/SEI 7-10.

Cabe destacar que para la realización del análisis estático equivalente y el análisis dinámico del edificio se hizo uso del software de diseño y análisis estructural Etabs, y de la herramienta de cálculos matemáticos Excel; por otra parte, para el pre dimensionamiento y diseño de los aisladores sísmicos se utilizaron las herramientas Matlab, Seismo signal, y Excel, tomando en cuenta las características y parámetros técnicos del fabricante. Posteriormente, para la estructura con aislación, luego de realizarle el análisis por el método dinámico modal espectral, se hizo una validación de resultados con los requerimientos del reglamento nacional de construcción RNC – 07, y luego se hizo la comparación con los resultados obtenidos de la estructura convencional.

2. Antecedentes

Nicaragua ha sufrido una serie de movimientos telúricos y presenta una actividad sísmica constante, entre los eventos ocurridos se encuentra el terremoto de 1972 que como se narra en las siguientes líneas causó pérdidas numerables.

Managua, Nicaragua 1972 (Mallin)

A los 27 minutos después de la medianoche del 23 de diciembre de 1972, la energía eléctrica se detuvo en toda Managua. Horas antes que ocurriera hubo algunos temblores de advertencia, pero la ciudadanía prestó poca atención. Los temblores no fueron una ocurrencia inusual en Managua.

Los expertos determinaron que el terremoto se centró debajo del borde sur del lago Managua, que se extiende desde el borde norte de la ciudad. Es precisamente en este tramo norte donde se ubica el centro de la ciudad, la zona que fue devastada. En una escala cuyo máximo fue XII, los expertos asignaron IX a la intensidad del sismo en esa parte de la ciudad.

Aproximadamente 250.000 personas, más de la mitad de la población de Managua, se quedaron sin hogar. De los 80.000 edificios de Managua, 57.000 fueron destruidos o gravemente dañados. De los restantes, casi todos recibieron algún grado de daño. Debido a que tantos cuerpos fueron enterrados bajo los escombros o consumidos por el fuego, no fue posible determinar exactamente cuántas personas murieron en el terremoto de 1972. Se estimó que entre 4.000 y 6.000 personas murieron y aproximadamente 20.000 resultaron heridas. El daño total en Managua se estimó entre \$ 600,000,000 y \$ 1,000,000,000. En 1971, el producto nacional bruto total de la nación llegó a solo \$ 760,000,000, por lo cual los daños representaron más del 100% PIB del país.

La ocurrencia de eventos naturales en América Latina y el Caribe afecta a nuestras sociedades e incide en el desarrollo sostenible de nuestros pueblos. Haití y Chile sufrieron, en 2010, los embates de fuertes terremotos y respondieron, según su nivel de preparación, a las repercusiones que tales acontecimientos tuvieron en sus economías. En el caso de Haití, el valor total de los daños y pérdidas, ocasionados por el terremoto

(vivienda, escuelas, hospitales, edificios, carreteras, puentes, aeropuertos), rondó el 120% de su PIB (año 2009). En el caso chileno, aunque con menor impacto en cuanto a daños de infraestructura y pérdidas humanas lamentables, fue necesaria la reconstrucción de un significativo número de viviendas, carreteras, aeropuertos y puentes, así como la reparación de estructuras estratégicas, hospitales y escuelas, lo cual representó cerca de un 25% de su PIB. (Carlos Genatios, 2016)

Estos tres casos, con diferentes grados de preparación, muestran la necesidad de estar aún más capacitados para minimizar las pérdidas ocasionadas por los desastres naturales y disminuir el riesgo generado por la acción del hombre al modificar el territorio que habita. El reconocimiento de esta realidad es el punto de partida para el desarrollo de la resiliencia en los países. (Carlos Genatios, 2016).

Edificios existentes con aislación en pisos superiores.

- ✚ Primer edificio lidabashi, First Hills lidabashi” en el que la estructura óptima y las formas de armazón para cada uso se apilaron verticalmente (Katsuhide Murakami, 1998)

Este edificio consta de 14 pisos, 5 de los cuales se asientan sobre una capa de aislamiento que consta de aisladores de cojinetes de caucho de plomo de 800 mm de diámetro. La capa de aislamiento se proporcionó mediante el uso del equipo y el espacio de tubería provisto entre la parte residencial y la parte de oficinas, para dar una estructura aislada en el piso medio con un efecto amortiguador de masa sin sintonizar. El escenario creado para este estudio es una comparación de opciones de modernización. Se asumió que la “estructura original” era la subestructura del edificio (es decir, una estructura de 9 pisos), y la estructura final contenía una adición de 5 pisos. Para el análisis de desempeño inicial de la respuesta del edificio ante terremotos y excitación del viento, se comparó la estructura original con la respuesta de dos opciones de modernización. (Katsuhide Murakami, 1998).

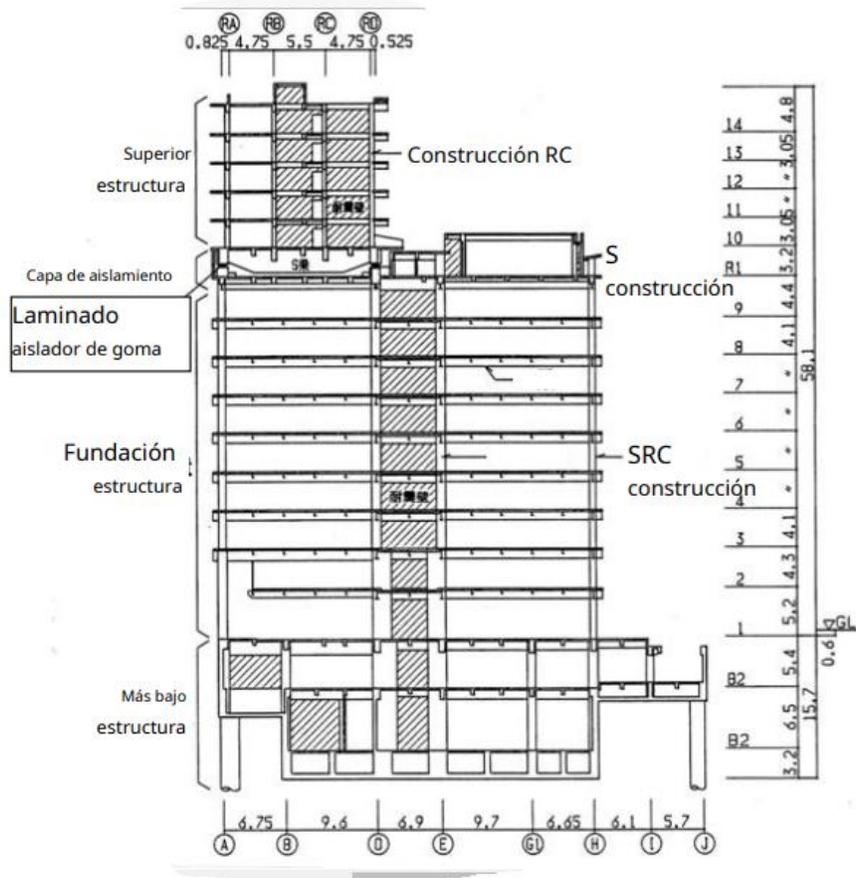
En el modelo de análisis de vibraciones, la masa de la parte superior del edificio era aproximadamente el 22% de la masa total de arriba.

Ilustración 1: Vista externa de la edificación.



Fuente: Revista de investigación de desastre Vol. 4, N°3, 2009

Ilustración 2: Sistema estructural.



Fuente: Revista de investigación de desastre Vol. 4, N°3, 2009

Vista interior de la capa de aislamiento • Aisladores de caucho laminado de caucho natural 800: 40 No. • Amortiguadores de 180 plomo: 212 No

Ilustración 3: Vista interior de la capa de aislamiento.



Fuente: Revista de investigación de desastre Vol. 4, N°3, 2009.

✚ Edificio Shiodome Sumitomo. (Yasuhiro Tsuneki, 2009)

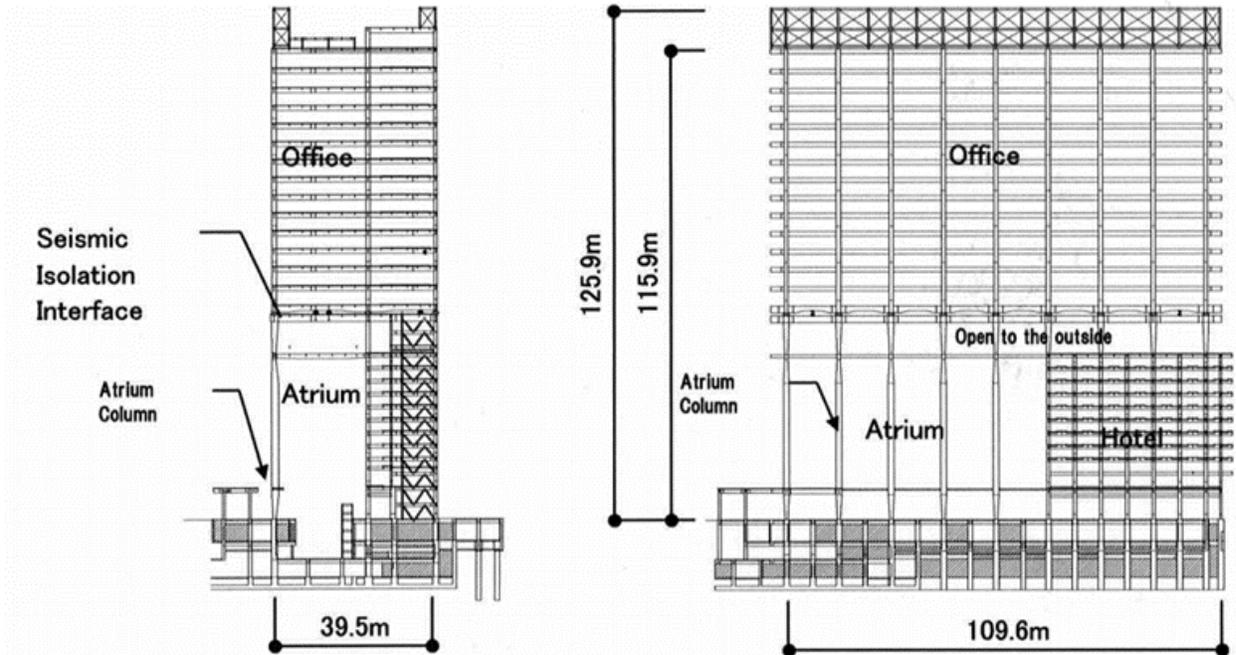
La altura total de este edificio es de 120 metros (el número total de pisos es de 25). La construcción de este edificio inicio el 1 de marzo de 2002. Y estará terminado hasta julio de 2004. El edificio consta de oficinas en los pisos superiores (el número de pisos es 14) y un espacio de hotel en los pisos inferiores. Y especialmente, el gran atrio de vidrio se suministra en los pisos inferiores (la proporción de área de espacio abierto es de aproximadamente el 50%). Sobre la característica principal del diseño estructural, se representa el siguiente sistema estructural. En la mitad del edificio (aproximadamente 50 metros de altura, entre 11 pisos y 12 pisos), se aplica la interfaz de aislamiento sísmico a este edificio. (Yasuhiro Tsuneki, 2009)

Ilustración 4: Modelo del edificio, vista exterior.



Fuente: Aplicación del diseño de control de respuesta utilizando el sistema de aislamiento de historia media para high-rise.

Ilustración 5: Plano de estructura, vista frontal y lateral.



Fuente: Aplicación del diseño de control de respuesta utilizando el sistema de aislamiento de historia media para high-rise.

Ilustración 6: Construcción de la interfaz de aislamiento.



Fuente: Aplicación del diseño de control de respuesta utilizando el sistema de aislamiento de historia media para high-rise

- ✚ Aplicación a la ampliación de la parte superior de un edificio existente para formar un centro de prevención de desastres de alto rendimiento sísmico "Centro de prevención y seguridad de desastres de la ciudad de Musashino. (Yasuhiro Tsuneki, 2009)

En el edificio actual, se construyó un centro de prevención de desastres de 5 pisos sobre un edificio existente de 2 pisos de desempeño sísmico comparativamente bajo, con una capa de aislamiento en el medio. El edificio en su conjunto tiene un alto rendimiento sísmico y la función del centro de prevención de desastres se pueden mantener incluso en el gran terremoto. Al adoptar una estructura de aislamiento de nivel intermedio, se llevó a cabo una cantidad mínima de reacondicionamiento sísmico en la parte existente mientras se seguía usando, y no solo la porción expandida no se daña en el terremoto mayor, sino que también es posible que la computadora proporcionada en el 6th piso para continuar funcionando (para aceleraciones de piso de 250 cm² /seg o menos). La capa de aislamiento comprende 8 piezas de 700mm de diámetro de aisladores de caucho laminado de caucho natural, 12 piezas de cojinetes deslizantes elásticos y 8 piezas de amortiguadores de varilla de acero. (Yasuhiro Tsuneki, 2009)

Ilustración 7:Edificio preexistente.



Fuente: Sistema estructural aislado del piso medio de un edificio de gran altura

Ilustración 8:Edificio actual.



Fuente: Sistema estructural aislado del piso medio de un edificio de gran altura.

3. Justificación

Nicaragua se encuentra a lo largo del "círculo de fuego", un anillo de volcanes y fallas sísmicas que rodean el Pacífico desde las Aleutianas a través del borde occidental de las Américas hasta Nueva Zelanda y Japón. Centroamérica a menudo se ve sacudida por turbulencias geológicas. Managua, situada en la cima de un cinturón volcánico, en un área muy activa (un volcán en estado activo se encuentra a la vista de Managua), que la hace especialmente vulnerable. (Mallin)

Los eventos sísmicos son una temática ha preocupado desde hace siglos y que seguirá preocupando, debido a la geodinámica existente en el globo terrestre. En nuestro país la única respuesta que se ha implementado para mitigar la amenaza sísmica es la utilización de la construcción antisísmica convencional la cual busca prevenir el colapso de los edificios preservando la vida de sus habitantes, sin embargo dichos edificios se encuentran expuestos a grandes deformaciones que puede causar daños severos y hasta el colapso de los mismos, mientras tanto una estructura con un sistema aislado presenta un mejor comportamiento dinámico a causa de que gran parte de la fuerza sísmica es absorbida por los aisladores logrando de esta manera disminuir los daños estructurales y no estructurales de la edificación, asegurar la operación de edificios esenciales durante y después de un sismo y sobre todo salvaguardar la vida de las personas. (Carlos Pichardo, 2015)

A fin de emprender la recuperación de las actividades vitales y productivas, es fundamental que ciertas edificaciones puedan funcionar inmediatamente después de un terremoto. Hospitales, estaciones de bomberos y policía, centros de acción estratégica, son algunas de ellas. Las normas sismorresistentes de estructuras parten de una "filosofía de diseño" que establece el comportamiento esperado de la estructura durante su vida útil.

Debido a los grandes sucesos y tragedias ocurridos en Managua a través de los tiempos se ha previsto el impacto que genera un movimiento sísmico hacia las estructuras de esta zona. A lo expuesto anteriormente existe la aplicación de diversos sistemas para la

prevención y afectación de estos movimientos hacia las diferentes estructuras que se vayan a diseñar en un futuro.

El sistema de aisladores sísmicos son una alternativa de solución ante esta necesidad, ya que son capaces de absorber gran cantidad de energía sísmica, de la que llega a la edificación, reduciendo los daños y con ello el riesgo de pérdidas humanas y materiales. El objetivo planteado es implementar un nuevo sistema en el sector, en el cual se atienda un buen desempeño de la estructura logrando un comportamiento adecuado al momento de un evento sísmico.

4. Objetivos

General

Comparar el comportamiento sísmico de una estructura convencional y una estructura con aislación en pisos superiores.

Específicos

- Determinar las cargas estructurales y no estructurales utilizando el RNC-07.
- Modelar y analizar el comportamiento sísmico de la estructura convencional, así como de la estructura con aislación, en el programa ETABS V18, por el método de análisis dinámico Modal-Espectral.
- Realizar el diseño de aisladores sísmicos tipo LRB.
- Hacer la validación de los resultados obtenidos (verificar si el nivel aislado funciona como freno de masa inercial) en la estructura con el sistema de aislación, y comparar dichos resultados con los obtenidos de la estructura convencional.

CAPITULO II.
MARCO TEÓRICO.

CAPÍTULO II: Marco teórico

i. Estructura

Una estructura puede concebirse como un sistema, es decir, como un conjunto de partes o componentes que se combinan en forma ordenada para cumplir una función dada. La función puede ser: salvar un claro, como en los puentes; encerrar un espacio, como sucede en los distintos tipos de edificios, o contener un empuje, como en los muros de contención, tanques o silos. La estructura debe cumplir la función a la que está destinada con un grado razonable de seguridad y de manera que tenga un comportamiento adecuado en las condiciones normales de servicio. Además, deben satisfacerse otros requisitos, tales como mantener el costo dentro de límites económicos y satisfacer determinadas exigencias estéticas. (Óscar M. González Cuevas, 2005)

Un examen de las consideraciones anteriores hace patente la complejidad del diseño de sistemas estructurales. ¿Qué puede considerarse como seguridad razonable, o como resistencia adecuada? ¿Qué requisitos debe satisfacer una estructura para considerar que su comportamiento sea satisfactorio en condiciones de servicio? ¿Qué es un costo aceptable? ¿Qué vida útil debe preverse? ¿Es estéticamente aceptable la estructura? Éstas son algunas de las preguntas que el proyectista tiene en mente al diseñar una estructura. El problema no es sencillo y en su solución usa su intuición y experiencia, basándose en el análisis y en la experimentación. (Óscar M. González Cuevas, 2005)

El análisis estructural, es decir, la determinación de las fuerzas internas en los elementos de la estructura, implica un conocimiento de las acciones que actúan sobre la misma y de las dimensiones de dichos elementos. Estos datos son imprecisos cuando se inicia el diseño, ya que sólo se conocen en forma aproximada las dimensiones que tendrán los elementos. Éstas influyen tanto en el valor del peso propio como en el comportamiento estructural del conjunto. En un proceso cíclico, el proyectista va ajustando los datos iniciales, a medida que afina el análisis. Solamente

en la fase final de este proceso hace un cálculo numérico relativamente preciso. El grado de precisión que trata de obtener en este proceso depende de la importancia de la estructura y de la posibilidad de conocer las acciones que realmente actuarán sobre ella. Un vicio común es el exceso de minuciosidad cuando la importancia del problema no lo amerita, o el conocimiento de las acciones solamente es aproximado, y cuando no lo justifica el ahorro que pueda obtenerse gracias al refinamiento en el análisis. (Óscar M. González Cuevas, 2005)

ii. Análisis Dinámico

El objetivo del estudio dinámico de una estructura es, en última instancia, predecir el comportamiento de la misma para establecer el grado de seguridad frente al colapso. El análisis siempre es la verificación de un diseño, que deberá ser corregido hasta lograr un comportamiento satisfactorio. La aceptación de este objetivo primario es importante porque ubica al proyectista frente al problema y le permite descubrir las limitaciones de los métodos empleados. (Reboredo, 1996)

1. Respuesta estructural

Se debe elegir un indicador apropiado para definir el comportamiento de la estructura. El indicador elegido se llama respuesta de la estructura. La respuesta esencial es el estado de deformación. Es el estado de deformación el que determina la supervivencia o no de la construcción. Las solicitaciones o las tensiones (que resultan de las deformaciones según una ley teórica dada) son indicadores teóricos que pueden ser más fáciles de manejar para el ingeniero con la formación habitual pero sólo indirectamente representan el estado de seguridad de una construcción. (Reboredo, 1996)

En la práctica se pueden elegir distintos indicadores como respuesta: pueden ser los desplazamientos de puntos escogidos, fuerzas de inercia equivalentes, solicitaciones en los componentes estructurales, etc. Es visible que la respuesta podría obtenerse en un nivel de detalle tan grande como se deseara, al menos teóricamente. Por ejemplo, sería posible obtener el momento flector en todas las secciones de una estructura... que son infinitas. Por consiguiente, se impone la necesidad de restringir el número de componentes de la respuesta. (Reboredo, 1996)

2. Valor máximo de la respuesta

En muchos casos es suficiente encontrar el valor máximo de la respuesta para compararla con un valor de referencia que depende de las características constructivas de la estructura y predecir la seguridad. Esto es así cuando la respuesta elegida es única y definitoria del comportamiento de la estructura. (Reboredo, 1996)

El indicador que toman los reglamentos para definir los métodos llamados estáticos de evaluación de la acción sísmica parte de estudiar como respuesta las fuerzas equivalentes aplicadas en las masas que producen el máximo corte en cada piso. Esto es válido en edificios “de pisos” pero puede ser muy diferente en otro tipo de estructuras. El asunto no ha recibido la atención que merecería porque la principal preocupación de los estudiosos hasta ahora era proporcionar métodos sencillos de verificación para un grupo de construcciones muy frecuentes y también muy peligrosas. Los últimos terremotos demuestran la vulnerabilidad de todo tipo de construcciones y la peligrosidad de generalizar procedimientos sin un análisis más detallado de sus limitaciones. (Reboredo, 1996)

3. Indicadores

Para la evaluación del grado de seguridad de las edificaciones se encuentran plasmados los factores y/o parámetros en el reglamento nacional de construcción, RNC, en este caso usaremos la edición del año 2007. Estos parámetros dependen directamente de las propiedades de los materiales con los que está concebida la estructura y del sistema constructivo de la misma.

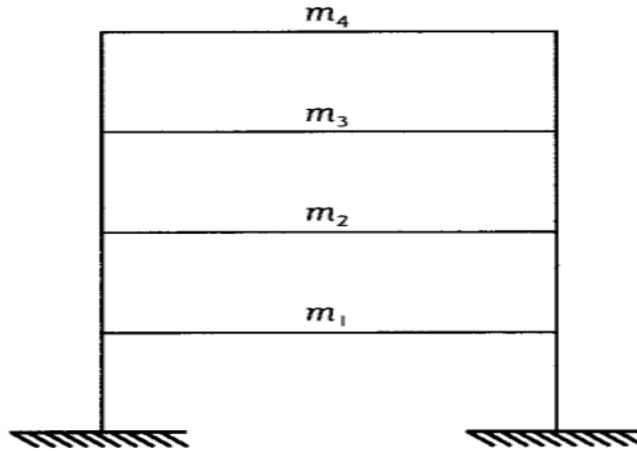
iii. Dinámica Estructural

Las estructuras se representan mediante modelos matemáticos cuya respuesta se aproxima a la realidad. (Chávez.)

Sistemas con varios grados de libertad, se trata de analizar problemas de estructuras con varias masas discretizadas unidas por sus sistemas de rigideces (resortes) El número de grados de libertad es igual al número de formas de movimientos posibles de la estructura. En el caso de marcos planos no puede haber más de un grado de

libertad por piso. En estructuras tridimensionales para definir el movimiento de cada piso se necesitan tres grados de libertad (Ilustración 9). (Chávez.)

Ilustración 9. Grados de libertad.



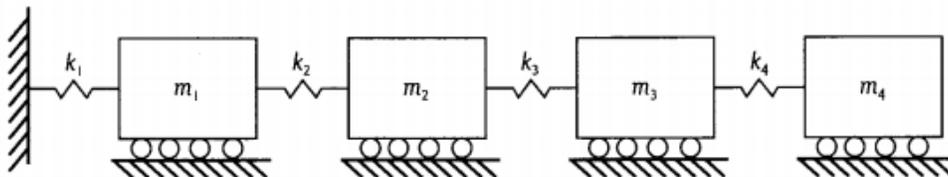
Fuente: Salvador Ismael Gómez Chávez. Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada.

Considerando lo siguiente:

- Marco plano de cuatro niveles.
- Las masas “m” incluyen el peso del piso, muros y columnas tributarias por nivel.
- Masas discretizadas y un grado de libertad horizontal por piso.

Si las traveses fueran infinitamente rígidas, nuestro marco podría representarse como en la ilustración 10.

Ilustración 10. Marco plano, sistema pendular.



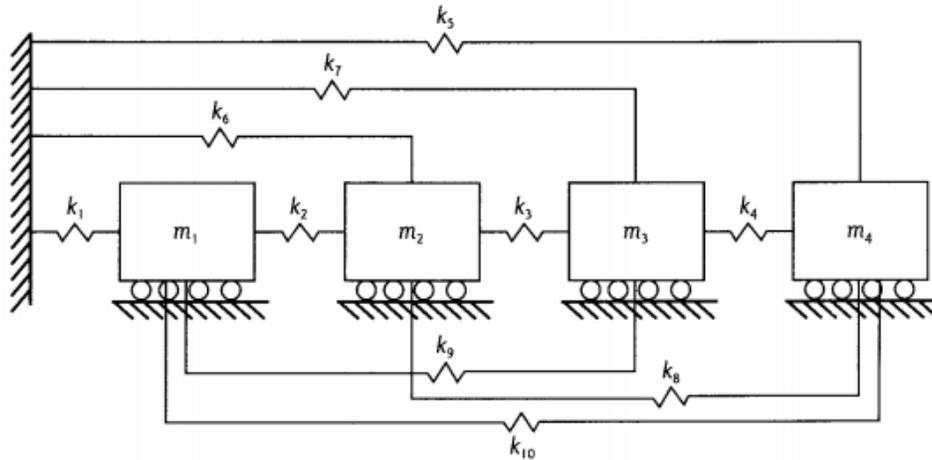
Fuente: Salvador Ismael Gómez Chávez. Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada.

El sistema pendular de la figura 10 se considera cercanamente acoplado. Si consideramos que el piso 4 sufre un movimiento horizontal, al haber traveses infinitamente

rígidas entonces los nudos del piso 3 no giran y no se deforman los elementos abajo del nivel 3, por tanto, no se crean fuerzas y desplazamientos.

Por otro lado, si consideramos que las traveses son flexibles nuestro sistema se representaría como se muestra en la ilustración 11.

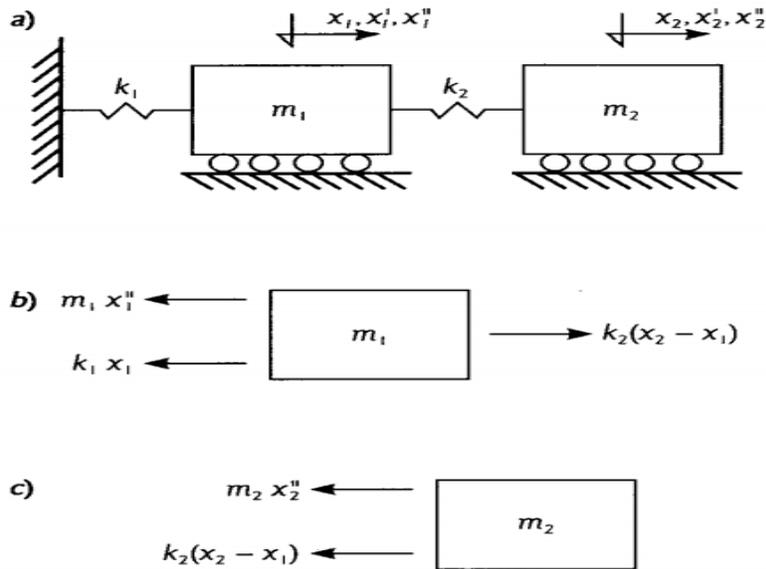
Ilustración 11. Marco plano, sistema pendular con traveses flexibles.



Fuente: Salvador Ismael Gómez Chávez. Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada.

La figura 12 constituye sistema lejanamente acoplado. En este caso si el piso 4 se somete un desplazamiento horizontal, los nudos de los pisos inferiores deforman y se generan fuerzas internas en los elementos. Este sistema es más real que el anterior ya que las traveses nunca son infinitamente rígidas.

Ilustración 12. Sistema lejanamente acoplado.



Fuente: Salvador Ismael Gómez Chávez. *Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada*.

Ecuaciones del movimiento

Si se tienen dos masas discretizadas y rigidez cercanamente acopladas sus ecuaciones del movimiento son figura 12.

Haciendo el análisis del sistema tenemos:

$$[\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}]\{x\} = \{0\}$$

Llamada también ecuación característica, su solución es:

$$[\mathbf{K}] - \omega^2[\mathbf{M}] = \{0\}$$

De este determinante se obtienen los eigenvalores (valores propios) y los eigenvectores (vectores propios).

Para n pisos con vigas infinitamente rígidas las matrices \mathbf{K} y \mathbf{M} son:

$$[\mathbf{K}] = \begin{bmatrix} k_1 + k_2 & -k_2 & 0 & 0 & \cdot & \cdot \\ -k_2 & k_2 + k_3 & -k_3 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & -k_3 & k_3 + k_4 & -k_4 & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & -k_4 & \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -k_n \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & -k_n & k_n \end{bmatrix}$$

$$[\mathbf{M}] = \begin{bmatrix} m_1 & 0 & 0 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & m_2 & 0 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & m_3 & 0 & \cdot & \cdot \\ 0 & 0 & 0 & m_4 & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & 0 & m_n \end{bmatrix}$$

Donde:

k_i = rigidez de entrepiso del piso i

m_i = masa del piso i

La matriz M es diagonal cuando no se toman en cuenta los giros en los grados de libertad, sino sólo los desplazamientos horizontales. Se observa que la matriz de rigidez es tridiagonal, diagonal positiva definida y simétrica. La matriz de masas es diagonal. En los dos casos las diagonales son cantidades mayores que el resto. Cuando en la diagonal de la matriz de rigidez algún valor es cero o negativo la matriz es singular lo cual indica estabilidad estructural. (Chávez.)

1. Análisis Modal-Espectral

El procedimiento de análisis de espectro de respuesta no debe usarse para el diseño de una estructura sísmicamente aislada a menos que la estructura, el sitio y el sistema de aislamiento cumplan con los criterios de la sección 17.4.1. ítems 1, 2, 3, 4 y 6 de la ASCE 7-16. (ASCE, 2017)

Ítems:

1. La estructura está ubicada en un sitio clase A, B, C, o D.
2. El periodo efectivo de la estructura aislada en el máximo desplazamiento D_m es menor o igual a 5.0 s.

3. La estructura sobre la interfaz de aislamiento es menor o igual a cuatro pisos o 65pies (19.8m) de la altura estructural medida desde el nivel de la base.
Excepción: Se permite que estos límites sean excedidos si no hay tensión o levantamiento en los aisladores.
4. El amortiguador efectivo del sistema de aislamiento en el desplazamiento máximo DM, es menor o igual al 30%.
- 6 La estructura sobre el sistema de aislamiento no tiene una irregularidad estructural.

Se realiza el análisis modal para determinar los modos y periodos de vibración de una estructura durante una vibración libre y el análisis espectral se hace para determinar las deformaciones laterales y los esfuerzos internos, de esta forma el análisis modal-espectral es la suma de estos dos análisis.

El análisis modal espectral (o método de la respuesta espectral) es un método ventajoso para estimar los desplazamientos y fuerzas en los elementos de un sistema estructural. El método implica el cálculo solamente de los valores máximos de los desplazamientos - y las aceleraciones - en cada modo usando un espectro de diseño, el mismo que representa el promedio o la envolvente de espectros de respuesta para diversos sismos, con algunas consideraciones adicionales expuestas en los códigos de diseño. Luego se combinan estos valores máximos, por ejemplo, mediante un promedio ponderado entre la media y la raíz cuadrada de la suma de los cuadrados de tales valores máximos; otro método es el de la combinación cuadrática completa (método CQC), que considera además una correlación entre los valores modales máximos. De este modo, se obtienen los valores más probables de desplazamientos y fuerzas. (Basualdo)

En el análisis el periodo varía de forma descendiente, como se muestra en la ilustración 13:

Ilustración 13. Periodo.



Fuente: elaboración propia, Excel.

iv. Aisladores Sísmicos

Los aisladores elastoméricos están conformados por la combinación de láminas planas de elastómeros intercaladas con capas de acero. Estas láminas de elastómero son vulcanizadas a las capas de acero y presentan una geometría generalmente circular. Mediante este tipo de configuraciones, se obtiene la flexibilidad lateral necesaria que permite el desplazamiento horizontal del sistema de aislación. La rigidez vertical del sistema, aportada por las láminas de acero, es comparable con la rigidez vertical de una columna de hormigón armado. El comportamiento de este tipo de aisladores depende de la amplitud de la deformación a la que son sometidos durante los eventos sísmicos, así como, en menor grado, de otros factores tales como temperatura, envejecimiento, contaminación y velocidad del movimiento. Existen varios tipos de sistemas elastoméricos, entre ellos se encuentran los aisladores de goma natural (NRB, Natural Rubber Bearing), los aisladores de goma de bajo amortiguamiento (LDRB, Low-Damping Rubber Bearing) y alto amortiguamiento (HDRB, High-Damping Rubber Bearing), y los aisladores de goma con núcleo de plomo (LRB, Lead-plug Rubber Bearing). Este último tipo de aislador puede aumentar el amortiguamiento efectivo del sistema a niveles que fluctúan entre 15 y 30%. (Rugel, 2020)

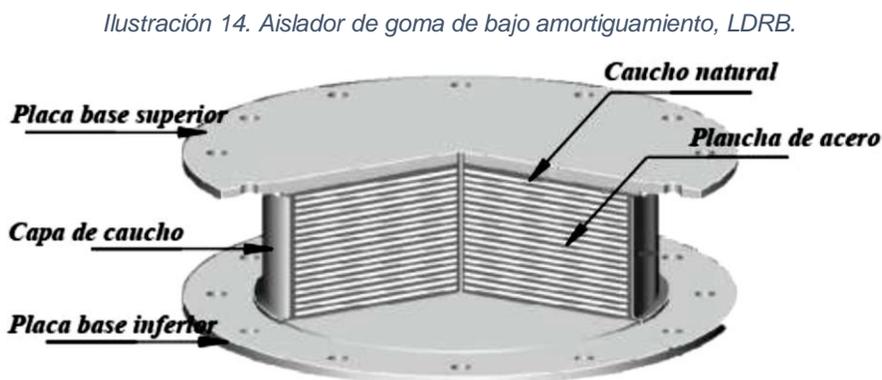
Existen también los aisladores sísmicos de deslizamiento, estos son los que se basan en apoyos con planchas metálicas que permiten desplazamientos relativos entre las dos

planchas. Una plancha va sujeta a la fundación y la otra a la estructura. La fricción permite la disipación de energía mientras que la curvatura de las superficies facilita la restitución a su posición original si el dispositivo sufre un desplazamiento. (Carlos Genatios, 2016)

El desplazamiento relativo de las planchas permite aislar el movimiento de la fundación de la estructura, por lo que no se transmite toda la energía de movimiento a la estructura. Estos sistemas deben producir poca fricción a fin de sólo transmitir parte de la fuerza de corte, pero, por otro lado, la fricción debe ser suficiente como para que fuertes vientos o pequeños temblores no generen desplazamientos. (Carlos Genatios, 2016)

1. Aisladores de goma de bajo amortiguamiento (LDRB)

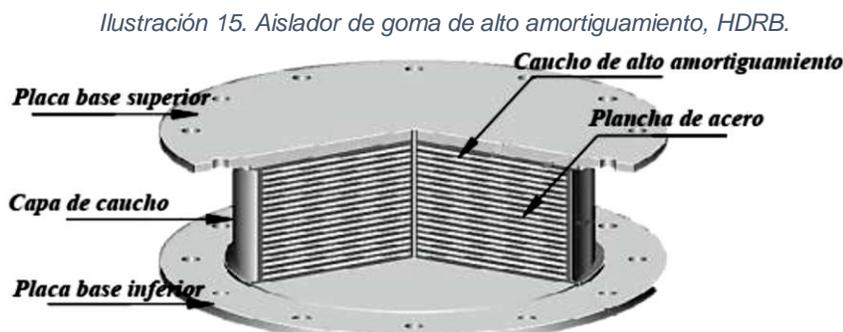
Este tipo de dispositivos son los más simples dentro de los aisladores elastoméricos. Los aisladores tipo LDRB presentan bajo amortiguamiento (2-5% como máximo), por lo que generalmente se utilizan en conjunto con disipadores de energía que proveen amortiguamiento adicional al sistema. Estos dispositivos presentan la ventaja de ser fáciles de fabricar. En la figura N°6 muestra una vista de un corte de un aislador elastomérico tipo LDRB. (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.24)



2. Aisladores de goma de alto amortiguamiento (HDRB)

Los HDRB son aisladores elastoméricos cuyas láminas de elastómeros son fabricados adicionando elementos como carbón, aceites y resinas, con el fin de aumentar el amortiguamiento de la goma hasta niveles cercanos al 10-15%.

Los aisladores tipo HDRB presentan mayor sensibilidad a cambios de temperatura y frecuencia que los aisladores tipo LDRB y LRB. A su vez, los aisladores HDRB presentan una mayor rigidez para los primeros ciclos de carga, que generalmente se estabiliza luego del tercer ciclo de carga. Estos dispositivos, al igual que los dispositivos tipo LRB, combinan la flexibilidad y disipación de energía en un solo elemento, con la característica de ser, relativamente, de fácil fabricación. (ver figura 7) (Corporación de Desarrollo Tecnológico – Cámara Chilena de la Construcción, 2011, p.25)



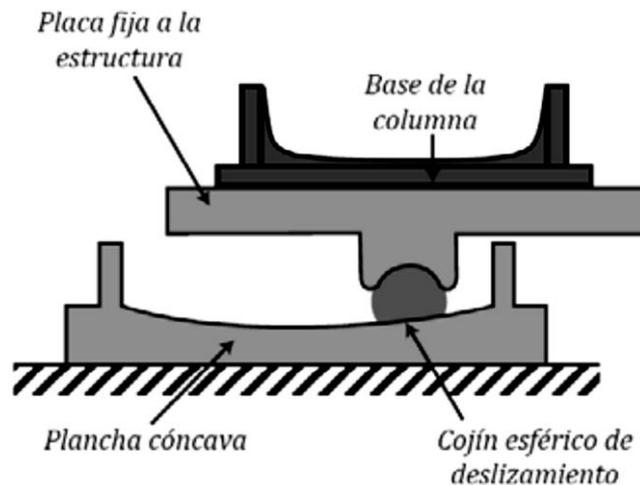
Fuente: cámara chilena de la construcción.

3. Péndulos Friccionales (FPS)

Los aisladores con planchas curvas, generan una condición de péndulo, razón por la cual son conocidos como Sistemas de péndulos de fricción (Friction pendulum systems o FPS). Estos sistemas incluyen superficies esféricas de contacto que permiten un deslizamiento relativo y generan un movimiento pendular. Estos péndulos funcionan de manera tal que, al producirse el desplazamiento entre las planchas generado por el sismo, se produce un leve levantamiento de la estructura; dada la curvatura de las planchas, el peso de la estructura genera una acción restauradora que busca colocar a la estructura en su posición inicial de equilibrio, una vez finalizado el terremoto. El proceso de deslizamiento relativo de las partes es descrito por expresiones no lineales. El conjunto del aislador consiste en planchas curvas de acero inoxidable pulido, con

superficies curvas cóncavas, una articulación central (articulated slider) y un revestimiento de material compuesto de baja fricción. Durante el terremoto, la articulación central se mueve en contacto con la superficie cóncava, generando un movimiento pendular de la superestructura. El periodo de vibración es una función del radio de la curvatura de la superficie cóncava y es independiente de la masa de la superestructura. El amortiguamiento es proporcionado por la fuerza dinámica de fricción, la cual puede ser ajustada en la medida en que se varían las propiedades del material compuesto de baja fricción, generando valores de amortiguamiento que varían entre 10% y 30% del amortiguamiento crítico. (Carlos Genatios, 2016)

Ilustración 16. Aislador de péndulo simple (FPS).



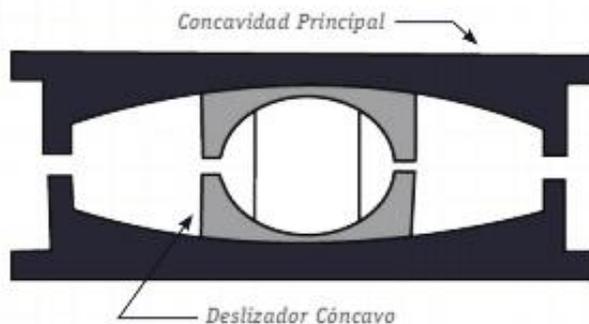
Fuente: cámara chilena de la construcción.

4. Péndulos Friccionales Triples (TFP)

El aislador de triple péndulo de fricción (FPT, Triple Friction Pendulum). Es la última versión de los aisladores de péndulo de fricción que ha desarrollado Earthquake Protection System (EPS). El aislador consta de un deslizador rígido (Rigid Slider) y de cuatro placas con superficies cóncavas (dos placas internas y dos placas externas). Realizando estudios se determinó que el movimiento del aislador FPT estándar se divide en 5 fases, en donde cada fase es el resultado del deslizamiento en diferentes superficies cóncavas. Por ejemplo, en la primera fase de movimiento, el deslizamiento se da

únicamente en las superficies cóncavas, permaneciendo con movimiento nulo en las superficies. (Fenz D. & Constantinou M., 2008, p.1012)

Ilustración 17. Aislador de triple péndulo TFP.



Fuente: cámara chilena de la construcción.

Ilustración 18. Aislador de triple péndulo TFP, render.



Fuente: cámara chilena de la construcción.

Los aisladores sísmicos, por la sencillez de sus mecanismos de funcionamiento y por la efectividad de su desempeño, son una alternativa confiable a considerar en el diseño sísmo resistente y en los proyectos de readecuación sísmica, vista la necesidad de reducir daños en edificaciones, garantizar la seguridad de las vidas humanas, disminuir la ocurrencia de pérdidas económicas y contribuir con la resiliencia de las ciudades. (Carlos Genatios, 2016)

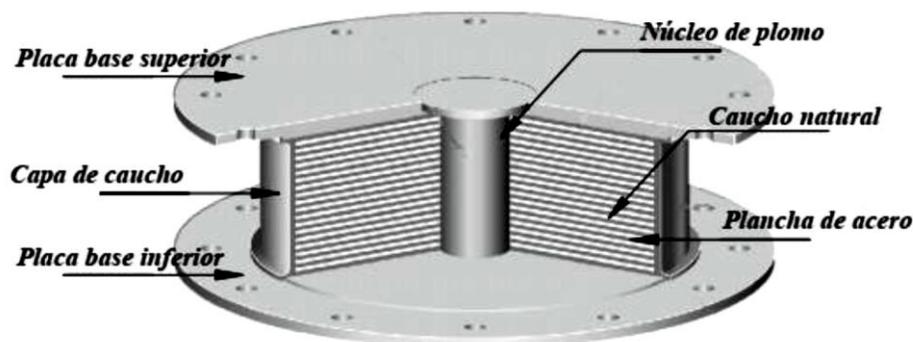
El uso de los aisladores y disipadores permite resolver un conjunto importante de problemas asociados a la ingeniería sísmo resistente. Han demostrado su eficacia para diseños de estructuras con altos requerimientos de desempeño (como, por ejemplo, los niveles de desempeño que deben tener los hospitales, en los cuales deben minimizarse

los daños estructurales y no estructurales a fin de que permanezcan operativos y en servicio después de eventos sísmicos importantes). (Carlos Genatios, 2016)

v. Aisladores Tipo LRB

El aislador elastomérico con núcleo de plomo LRB consiste en capas alternas de material elastomérico y láminas de acero vulcanizado con un núcleo de plomo, está diseñado para soportar el peso de la estructura y proporcionar elasticidad más allá del límite de fluencia. El elastómero consigue aislar y re-centrar el aislador tras un sismo. El núcleo de plomo experimenta una deformación plástica bajo acciones de carga cortantes, disipando energía en forma de calor. (Mageba-Group, 2020)

Ilustración 19. Aisladores de goma con núcleo de plomo LRB.



Fuente: cámara chilena de la construcción.

1. Propiedades

El aislador proporciona un alto nivel de amortiguamiento, de hasta el 30 %, debido a la gran capacidad de absorción del núcleo. Al estar las placas de acero totalmente incrustadas en el elastómero, éstas se encuentran selladas y por lo tanto protegidas contra la corrosión. Los dispositivos se fabrican con el elastómero vulcanizado a las placas de conexión superior e inferior. Los aisladores también pueden suministrarse con placas de anclaje adicionales, permitiendo mayor facilidad de reemplazo en operaciones de mantenimiento. (Mageba-Group, 2020)

- Ventajas: (Carlos Genatios, 2016)

El plomo tiene alta rigidez horizontal antes de alcanzar su fluencia y presenta un comportamiento perfectamente plástico después de su fluencia.

El plomo es un material donde el proceso de recuperación ocurre simultáneamente a temperatura ambiente, por lo que logra recuperar sus propiedades mecánicas luego de una acción inelástica.

Las propiedades mecánicas del núcleo de plomo no presentan cambios significativos durante el periodo de vida útil de las estructuras (50años).

Con el fin de limitar también el movimiento relativo y disipar energía, los aisladores deben generar altos valores de amortiguamiento. Para ello se incluyen núcleos de plomo que admiten grandes deformaciones y pueden producir un alto amortiguamiento, el cual varía en función del diámetro del núcleo de plomo.

El incremento del período fundamental de la estructura genera reducciones en las aceleraciones espectrales, lo cual reduce las fuerzas a las cuales está sometido el conjunto estructura-aisladores. Esto reduce las aceleraciones en la base de la estructura y en los pisos de la edificación

En términos generales, la presencia del sistema de aisladores permite la reducción de los daños en la estructura, así como la reducción de los daños no estructurales. Las zonas de mayor daño quedan concentradas en los aisladores, por lo que resulta más fácil la inspección y reparación de la estructura, la cual puede inclusive lograrse con la reparación o sustitución de aisladores

Una de las mayores ventajas del uso de aisladores sísmicos es que la operatividad de las estructuras puede recuperarse inmediatamente después de la ocurrencia de un terremoto, en la medida en que se logran los objetivos de desempeño previstos.

- Desventajas: (Mageba-Group, 2020)
 - ✓ Las altas temperaturas ambientales afectan su rigidez horizontal
 - ✓ El aumento de la carga axial produce que su rigidez horizontal disminuya.
 - ✓ Sus propiedades dependen de la historia de carga. Con el incremento de ciclos la rigidez del núcleo de plomo y el amortiguamiento decrecen.

- ✓ El plomo se puede moldear o extruir entre las placas de goma y acero cuando se somete a muchos ciclos.
- ✓ Son sensibles ante el fuego
- Características generales:
 - ✓ El módulo de elasticidad de corte se encuentra en el rango de 85 a 100 psi al 100% de deformación por corte.
 - ✓ La curva de histerización depende del desplazamiento horizontal.
 - ✓ Poseen alta rigidez inicial, ya que el esfuerzo de fluencia del plomo alcanza valores que varían alrededor de 105 Kg/cm².
 - ✓ El esfuerzo de fluencia se reduce con ciclos repetidos debido al aumento de temperatura.
 - ✓ El núcleo de plomo abarca del 15 al 33% del diámetro total del aislador habitualmente.

2. Sistema de anclaje

Los dispositivos LRB están equipados con placas de anclaje para facilitar la conexión a las estructuras de hormigón superior e inferior. Alternativamente, los aisladores pueden prepararse para su conexión a estructuras metálicas. (Mageba-Group, 2020)

3. Protección del dispositivo

Se aplica sistemas de protección anticorrosión de acuerdo con la norma EN ISO 12944 y según la ubicación, las condiciones ambientales y el grado de protección requerido. Bajo petición, también se puede proporcionar sistemas de protección contra la corrosión de acuerdo a otros estándares. (Mageba-Group, 2020)

4. Aplicaciones

Los aisladores elastoméricos con núcleo de plomo presentan amplias aplicaciones en estructuras. Esto se debe a su simplicidad y a la combinación de aislamiento y disipación de energía en un dispositivo único y compacto. En cuanto a protección antisísmica, resulta crucial minimizar la transferencia de energía a la superestructura y limitar los desplazamientos horizontales. En condiciones normales de funcionamiento, los

aisladores elastoméricos con núcleo de plomo de mageba actúan como aisladores elastoméricos convencionales. Por ello, en aquellas estructuras con espacio limitado para aisladores y dispositivos de protección antisísmica ambas funciones pueden combinarse en un solo dispositivo. (Mageba-Group, 2020)

El uso de aisladores elastoméricos con núcleo de plomo es uno de los métodos de aislamiento más utilizados, habiendo demostrado su efectividad en numerosos terremotos. El sistema ha sido mejorado y simplificado durante las pasadas décadas y permite al ingeniero estructural realizar una simulación de la respuesta del dispositivo de manera sencilla, mediante el uso de modelos bilineares. (Mageba-Group, 2020)

5. Sistemas pasivos

Los sistemas pasivos son los más utilizados en la actualidad, y es por esto que constituyen el objetivo fundamental del presente trabajo. Entre los de control pasivo se clasifican los de aislamiento sísmico en la base y los disipadores de energía. Los aisladores sísmicos buscan, como su nombre lo indica, impedir que los movimientos sísmicos del terreno se transfieran a la estructura. En cambio, los disipadores de energía son diseñados para disipar la energía introducida en el sistema estructural por las fuerzas dinámicas externas debidas a sismo o viento. Estos dispositivos permiten aumentar el nivel de amortiguamiento de la estructura. Existen varios tipos de disipadores de energía: de amortiguamiento viscoso y visco elástico y dispositivos de amortiguamiento por fricción y cedencia. Una diferencia importante entre los dispositivos viscosos y visco elásticos, si se comparan con los de fricción y cedencia es la fuerza máxima que cada uno desarrollará durante el terremoto. Para los del primer tipo, esta fuerza vendrá determinada por los desplazamientos y velocidades a lo largo de los dispositivos. Para los de fricción y cedencia, las fuerzas máximas serán iguales a las fuerzas de fricción o cedencia de diseño del dispositivo (más el endurecimiento adicional que pueda existir). Las fuerzas máximas son más fácilmente controlables con este último tipo de dispositivos (Carlos Genatios, 2016)

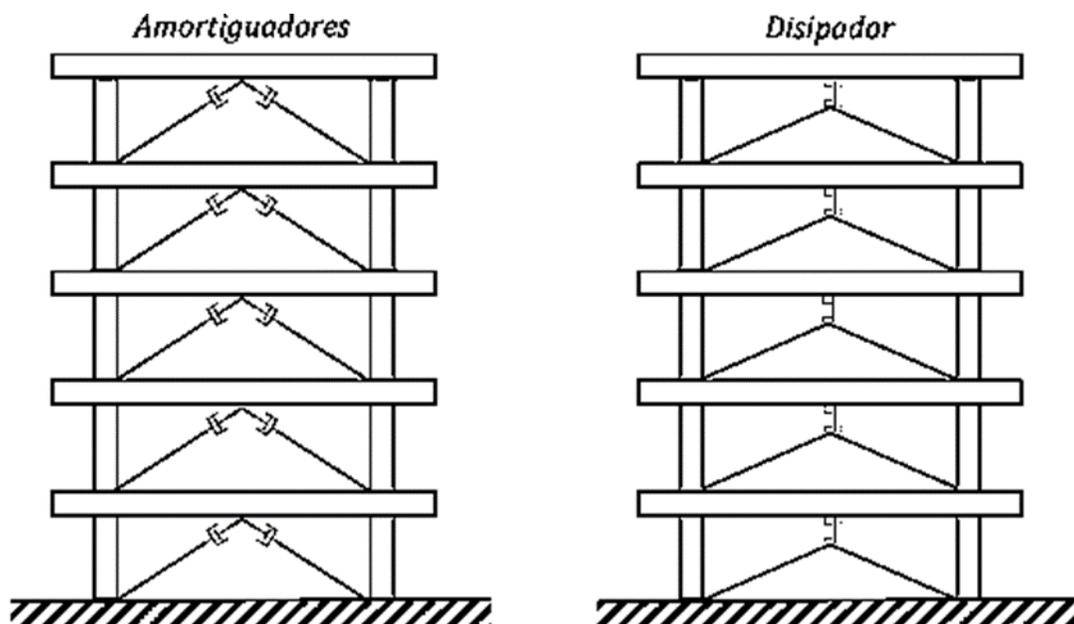
Un tercer tipo de dispositivos de disipación de energía, son los amortiguadores de masa sintonizada, que se ubican en puntos estratégicos de las estructuras para reducir la respuesta estructural. (Carlos Genatios, 2016)

6. Sistemas activos de control de respuesta

Los sistemas activos son complejos, ya que requieren de la instalación de sensores para procesar y medir las variables de control, a fin de regular la respuesta del dispositivo en caso de ocurrencia de sismo. Usualmente, se colocan acelerómetros para medir las aceleraciones en puntos estratégicos de la estructura y para echar a andar los mecanismos de control. (Carlos Genatios, 2016)

Un ejemplo de sistema activo son los amortiguadores de masa activa (llamados AMD por sus siglas en inglés: Active Mass Damper). Este sistema se basa en cuerpos de masa conocida que se ubican usualmente en el techo de la edificación. Según la lectura de los sensores que deben colocarse para medir la excitación sísmica, un actuador hará oscilar esta masa de manera de compensar las vibraciones inducidas por el sismo. (Carlos Genatios, 2016)

Ilustración 20: Sistema pasivos de control de respuesta.



Fuente: Carlos Genatios, uso de aisladores y disipadores en estructuras.

Ilustración 21: ventajas y desventajas de los sistemas.

Dispositivo	Ventajas	Desventajas
Amortiguadores histeréticos metálicos	<ul style="list-style-type: none"> · Comportamiento histerético estable · Confiables a largo plazo · No son sensibles a cambios de temperatura ambientales · Son materiales tradicionales en la construcción, familiares para los ingenieros civiles 	<ul style="list-style-type: none"> · Deben ser reemplazados si son solicitados por un sismo · La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo. · Se requieren análisis no lineales
Amortiguadores de fricción	<ul style="list-style-type: none"> · Disipan grandes cantidades de energía por ciclo de histéresis · No son sensibles a cambios de temperatura ambientales 	<ul style="list-style-type: none"> · Las condiciones de la superficie de rozamiento pueden cambiar con el tiempo. · Se requieren análisis no lineales · La estructura puede quedar con desplazamientos residuales después de un sismo
Amortiguadores de fluidos viscosos	<ul style="list-style-type: none"> · Comportamiento lineal (facilidades de modelado) · Sus propiedades son constantes en altos rangos de variación de frecuencia y temperatura · Se han comercializado por su alta confiabilidad · Mínima fuerza de restauración 	<ul style="list-style-type: none"> · Dificultades de instalación. · Requieren revisiones periódicas para detectar posibles fugas del fluido viscoso
Amortiguadores viscoelásticos	<ul style="list-style-type: none"> · Polímeros de comportamiento lineal (facilidades de modelado) · Se activan para bajos niveles de desplazamiento · Comportamiento elástico (vuelven a su forma original) 	<ul style="list-style-type: none"> · Limitada capacidad de deformación · Su comportamiento depende del nivel de deformación, de la temperatura y la frecuencia. · Requieren revisiones periódicas para verificar posible deterioro del material viscoelástico.
Amortiguadores de Masa Sintonizada	<ul style="list-style-type: none"> · Ubicación generalmente en el último piso Facilidad de instalación y de mantenimiento. · Adecuado para estructuras regulares donde domine el primer modo de vibración 	<ul style="list-style-type: none"> · Sensibilidad a errores en la frecuencia natural de la estructura y/o la relación de amortiguamiento · Gran espacio requerido para su instalación

Fuente: Carlos genatios, uso de aisladores y disipadores en estructuras.

vi. Cálculo manual de las características del sistema de aislación según el ASCE 7-10.

1. Propiedades mecánicas del aislador

Las características mecánicas de los soportes elastoméricos con refuerzo de acero en láminas han sido estudiadas por décadas, mientras los análisis exactos usando técnicas no lineales son bastantes difíciles, predicciones simples basadas en la teoría elástica han sido desarrolladas por muchos investigadores, y verificadas por laboratorios de prueba y más recientemente por el análisis de método de elementos finitos.

La característica mecánica más importante de estos aisladores es la rigidez horizontal representada por kH y está dada por la siguiente ecuación. (Rotondo, 2013)

2. Rigidez horizontal

$$k_h = \frac{GA}{t_r}$$

Ec. 1 (Rotondo, 2013)

Donde

G = Modulo de cortante del elastómero

A = Área de la sección transversal completa

t_r = Espesor total del caucho

3. Deformación por cortante

$$\gamma = \frac{D}{t_r}$$

Ec. 2 (Rotondo, 2013)

Donde

D = Desplazamiento máximo

t_r = Espesor total del caucho

4. Rigidez vertical

Otra propiedad importante del aislador que debe ser analizada para el diseño es el comportamiento de pandeo del aislador. Para poder realizar este análisis, la respuesta del aislador comprimido por el momento de flexión es necesaria. Llamado como “rigidez de flexión” puede determinarse a través de una extensión del mismo análisis que se hace para determinar la rigidez vertical. (Rotondo, 2013)

La rigidez vertical de un aislador de caucho esta dado por la formula

$$k_v = \frac{E_c A}{t_r} \quad \text{Ec. 3 (Rotondo, 2013)}$$

Donde

A = Área de la sección transversal del aislador (debe tomarse el área de las placas metálicas)

t_r = Espesor total de caucho en el aislador

EC = Modulo de compresión instantánea del compuesto de caucho – acero bajo el nivel especifico de carga vertical.

El valor de EC para una sola capa de caucho está controlado por el factor de forma S el cual puede definirse como

$$S = \frac{\text{Area cargada}}{\text{Area libre de carga}}$$

S , es una medida adimensional de la relación de aspecto de una sola capa del elastómero. (Rotondo, 2013)

5. Fuerza característica

La fuerza característica “ Q ” de los aisladores con núcleo de plomo es controlada principalmente por la fuerza cortante del núcleo de plomo. El cortante de fluencia ocurre en el núcleo de plomo a bajos niveles de esfuerzo cortante. Sin embargo, el

comportamiento histerético del aislador es bastante estable inclusive cuando éste es sometido a muchos ciclos de carga. (Rotondo, 2013)

$$Q = A_1 f_{y1} \quad \text{Ec. 4 (Rotondo, 2013)}$$

Donde

A_1 = Área de plomo

F_{y1} = esfuerzo de fluencia

6. Rigidez post-fluencia

$$k_p = \frac{A_b G f_L}{t} \quad \text{Ec. 5 (Rotondo, 2013)}$$

Donde

A_b = es el área de caucho

t = el grosor total del caucho

$f_L = 1.5$

G = módulo de cortante tangente del caucho

7. Rigidez estática

La rigidez estática se encuentra en un rango de valores de 6.5 a 10 veces el valor de la rigidez post fluencia. Siendo la ecuación:

$$k_e = 6.5 k_p \quad \text{Ec. 6 (Rotondo, 2013)}$$

Donde

K_p = rigidez post- fluencia

8. Desplazamiento de fluencia

$$D_y = \frac{Q}{(6.5 - 1)K_p}$$

Ec. 7 (Rotondo, 2013)

9. Amortiguamiento efectivo

$$\beta_{eff} = \frac{2Q(D - D_y)}{\pi k_{eff} D^2}$$

Ec. 8 (Rotondo, 2013)

Donde

Q: fuerza característica

D: desplazamiento máximo

D_y: desplazamiento de fluencia

K_{eff}: rigidez efectiva

10. Frecuencia natural

$$\omega = \sqrt{\frac{k_{eff}g}{w}}$$

Ec. 9 (Rotondo, 2013)

Donde

g: gravedad

w: peso de la estructura

11. periodo efectivo

$$T = \frac{2\pi}{\omega}$$

Ec. 10 (Rotondo, 2013)

Donde

ω: frecuencia natural

vii. Condiciones ambientales

Las condiciones ambientales que pueden afectar negativamente el rendimiento del sistema de aislamiento deben ser investigadas a fondo. Los requisitos específicos para las consideraciones ambientales en los aisladores se incluyen en la nueva sección 17.2.8. A diferencia de los materiales convencionales, cuyas propiedades no varían sustancialmente con el tiempo, los materiales típicos utilizados en los aisladores sísmicos están sujetos a efectos de envejecimiento significativos sobre la vida útil de la estructura del edificio. Debido a que el protocolo de prueba de la Sección 17.8 no da cuenta de los efectos del envejecimiento, la contaminación, scragging (degradación temporal de las propiedades mecánicas con ciclos repetidos), la temperatura, efectos de la velocidad, y el desgaste, el diseñador debe tener en cuenta estos efectos por análisis explícito. El enfoque para acomodar estos efectos, introducido en las especificaciones AASHTO (1999), es usar factores de modificación de propiedades como se especifica en la Sec. 17.2.8.4.

1. Fuerzas de viento

El desplazamiento lateral sobre la altura de la zona de aislamiento resultante de las cargas de viento debe limitarse a un valor similar a la requerida para otros pisos de la superestructura

2. Resistente al fuego

El fuego puede afectar negativamente el rendimiento lateral del sistema de aislamiento, el sistema debe estar protegido con el fin de mantener la resistencia a la gravedad y la estabilidad necesaria para los demás elementos de la superestructura soportados por el sistema de aislamiento.

3. Fuerza lateral restauradora

El requisito de fuerza restauradora pretende limitar los desplazamientos residuales en el sistema de aislamiento como resultado de cualquier evento de terremoto para que la estructura puede soportar adecuadamente réplicas y terremotos futuros.

4. Restricción de desplazamiento

El uso de una restricción de desplazamiento para limitar los desplazamientos más allá del desplazamiento de diseño no se recomienda. Cuando se utiliza un sistema de

restricción de desplazamiento, se requiere un análisis cronológico de respuesta no lineal de la estructura aislada para el nivel MCE.

viii. Amortiguador de masa sintonizada

La implementación de sistemas de aislamiento entre pisos como un sistema de protección contra daños por terremotos es un fenómeno bastante reciente. Estos sistemas proporcionan un medio para proteger la integridad estructural de un edificio y son una opción de modernización más factible que el aislamiento de la base, particularmente en entornos urbanos densos (Wang, 2012)

La instalación de la capa de aislamiento en el techo de un edificio puede permitir la construcción de pisos adicionales por encima de la estructura original sin aumentar significativamente la cizalladura de la base. El aislamiento entre pisos como una opción de modernización evita los riesgos y costos asociados con la excavación de cimientos (es decir, para instalar el aislamiento de la base o aumentar la capacidad de corte de la base). Además, debido a que los pisos adicionales están aislados de la estructura original, se pueden construir con materiales de construcción más rentables, geometría diferente o uso previsto. El uso de materiales distintos del material de construcción original para una adición generalmente crea un comportamiento dinámico complejo. La separación de una adición mediante el aislamiento entre pisos crea un sistema en el que el comportamiento dinámico se puede modelar de manera relativamente más simple. Además, se están desarrollando métodos de construcción de modernización mínimamente destructivos para los sistemas de aislamiento entre pisos (Ryan, 2010)

Se han utilizado pruebas de simulación híbrida en tiempo real de masa vibratoria para verificar simulaciones numéricas y desarrollar sistemas de control suplementarios para la capa de aislamiento. (Zhang, 2017)

En los países del Oriente se pueden encontrar ejemplos de construcciones aisladas entre pisos para mitigar la respuesta a terremotos en edificios de media y gran altura. En

Japón, el primer edificio Iidabashi, el edificio “Koraku 2-Chome” y el “edificio Shidome Sumitomo” son ejemplos de edificios funcionales aislados entre pisos (Sueoka, 2004)

El primer edificio Iidabashi en Tokio, Japón, se utiliza como línea de base para crear los tres modelos estructurales para su evaluación en diferentes escenarios de carga. Se evaluará la amortiguación suplementaria agregada a la capa de aislamiento para mejorar aún más el rendimiento del sistema ante terremotos. (Sueoka, 2004)

El aislamiento entre pisos es similar al aislamiento de la base en que una capa de baja rigidez separa la estructura que se encuentra por encima del contenido que se encuentra debajo. Sin embargo, para el aislamiento entre pisos, existen uno o más pisos de la estructura debajo de la capa de aislamiento (la subestructura). Al reducir la rigidez en la capa de aislamiento, se reduce la frecuencia natural fundamental de la estructura total, y la estructura sobre la capa de aislamiento (la superestructura) actúa de manera similar a una estructura de base aislada, experimentando aceleraciones significativamente más bajas que un edificio construido convencionalmente de la misma altura y peso. (Tan, 2008)

La principal aplicación del aislamiento entre pisos ha sido reducir la aceleración de los pisos por encima de la capa de aislamiento cuando una estructura experimenta un movimiento del suelo por un terremoto. La capa de aislamiento absorbe eficazmente la energía de la entrada del terremoto. “Filtra” el movimiento del suelo separando la superestructura de la subestructura, permitiendo solo la aceleración absoluta del piso de abajo, no el movimiento del suelo en sí, para excitar la superestructura. (Tan, 2008)

La deformación de la capa de aislamiento es evidente para al menos los primeros modos de amortiguación. Además, la deformación y el cizallamiento de la capa de aislamiento aumentan a medida que aumenta la altura del lugar de instalación. Debido al desplazamiento excesivo en esta ubicación, la instalación de amortiguadores es una práctica común para cumplir con los límites de deformación establecidos por los códigos de construcción y los fabricantes de aisladores, y para reducir la amenaza de colisión con edificios cercanos. (Wang, 2012)

Se utiliza un amortiguador de masa sintonizado (TMD) para aumentar la amortiguación de la estructura (Housner, 1997)

La función de un TMD es principalmente reducir la aceleración de un edificio y disipar las vibraciones más rápido que un sistema no controlado para evitar daños estructurales. Un TMD se usa con mayor frecuencia en el contexto de reducir las vibraciones relacionadas con el viento; sin embargo, un gran inconveniente de estos dispositivos es que tienen grandes desplazamientos, lo que puede hacer que colisionen con su entorno. Los TMD tradicionales son masas vibratorias encapsuladas en la parte superior de un edificio y sintonizadas para que coincidan con la frecuencia natural fundamental del edificio. Como alternativa a la adición de masa TMD a una estructura, se puede emplear la masa existente. (Liu, 2008)

1. Aislamiento de masa Parcial(PMI).

Un estudio reciente de la Universidad de New Hampshire (EEUU) concluyó que, al aislar un porcentaje de la masa total del edificio, creando así un sistema de aislamiento de masa parcial (PMI), combina eficazmente los beneficios de un TMD y un sistema de aislamiento de base para el diseño sísmico, que es especialmente útil en el contexto de edificios de gran altura. Al aislar porciones de la masa de un edificio, se pueden lograr respuestas dinámicas más deseables. (Anajafi, 2018)

La idea de PMI se puede extender a los sistemas de aislamiento entre pisos, creando una superestructura que está sintonizada con la frecuencia natural de la subestructura. Este sistema tiene el potencial de disipar la energía de manera eficaz y reducir las demandas de cizallamiento de la base en la base del edificio. Al aislar porciones de la masa de un edificio, se pueden lograr respuestas dinámicas más deseables. (Anajafi, 2018)

Investigadores de la Universidad de Roma exploraron el concepto de utilizar los pisos superiores de un sistema de aislamiento entre pisos como un TMD no convencional. Presentan un método de diseño basado en energía para el aislamiento entre pisos y comparan su desempeño bajo excitación sísmica. Al analizar un modelo de cinco grados de libertad, pudieron concluir que la deriva entre pisos de cada nivel, a excepción de la capa de aislamiento, junto con la aceleración absoluta de cada piso disminuyó en

aproximadamente un 45-50% en promedio. Sin embargo, se observó que el rendimiento sísmico del sistema depende de varios parámetros, incluida la ubicación vertical de la capa de aislamiento, la frecuencia del movimiento del suelo de entrada y qué parámetro de respuesta se compara. (Reggio, 2015)

El aislamiento entre pisos se puede utilizar como un sistema de protección multirriesgo. Un sistema aislado entre pisos diseñado para la protección contra grandes respuestas debido a la excitación sísmica también se desempeña bien bajo carga de viento y tiene beneficios sobre la modernización convencional en ciertos casos. (Reggio, 2015)

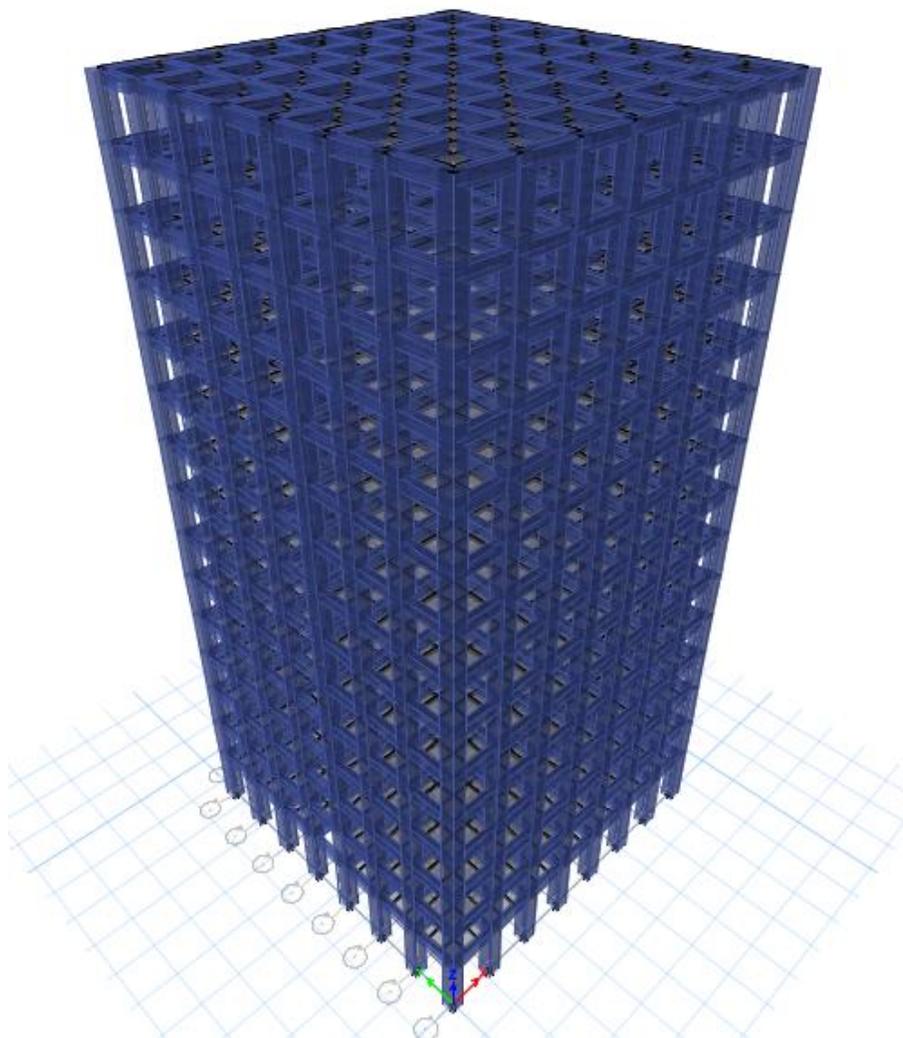
CAPITULO III.
ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA
CONVENCIONAL.

CAPÍTULO III: Análisis estático de la estructura convencional

i. Caracterización de la estructura

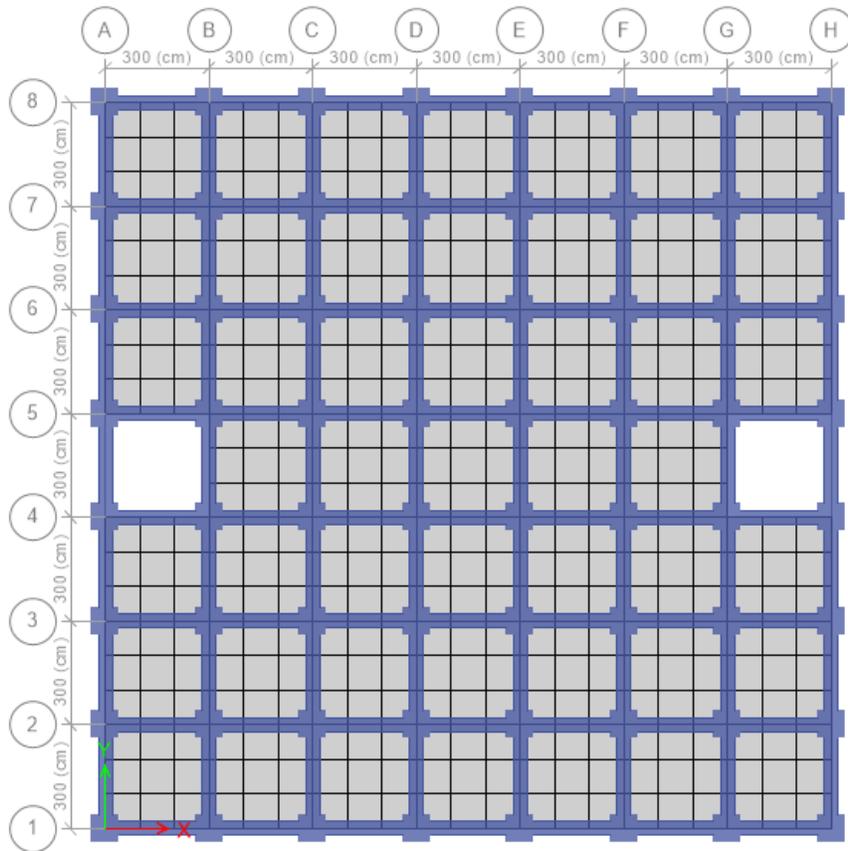
La estructura del edificio en cuestión está formada por marcos de concreto reforzado y losas solidas del mismo material, éste tiene dimensiones en planta de 21 metros por 21 metros y una altura máxima de 46 metros, consta de quince pisos, el primero con una altura de 4 metro y una altura típica de tres metros para el resto de los niveles. El edificio está idealizado en la zona urbana de Managua (ver anexo B, Ilustración 53. Macro localización e Ilustración 54. Micro localización). El edificio es de uso domiciliar, apartamentos con planta arquitectónica, como se observa en la Ilustración 55.

Ilustración 22. Modelo 3D de la estructura.



Fuente: elaboración propia, Programa ETABS-2018.

Ilustración 23. Planta estructural del edificio.



Fuente: Programa ETABS-2018.

ii. Determinación de las cargas actuantes en la estructura

El edificio está conformado por tres tipos diferentes de columnas y vigas, se realiza entonces el cálculo en tres secciones y luego se ubican en orden descendente en una tabla, así obteniendo el peso por cada nivel. Las cargas vivas se toman con respecto a la tabla 1 (cargas vivas unitarias mínimas) del RNC-07.

Tabla 1. Dimensiones de los elementos nivel 1-15.

Piso típico 1 al 15				
(m)	b	h	t	No.
Columnas	0.8	0.8		64
Vigas	0.4	0.6		36
Losa	21	21	0.2	
M2	3	3		24
M2 N1	3	4		24

Fuente: elaboración propia.

Tabla 2: Altura de las columnas.

Altura de columnas	
Nivel	(m)
N1	4
2 al 15	3

Fuente: elaboración propia

Tabla 3: Cargas del piso 1-15.

Cargas piso 1 al 15	
Col. N1	393.22 Ton
Col.	294.91 Ton
Vigas	84.67 Ton
Losa	211.68 Ton
M2 N1	43.20 Ton
M2	32.40 Ton

Fuente: elaboración propia

Tabla 4: Cargas vivas y muertas por cada nivel.

Cargas por niveles				
Nivel	Carga (Ton)	CM (Kg/m ²)	CV (Kg/m ²)	CR (Kg/m ²)
Az	623.664	1414.20	100	40
14	623.664	1414.20	200	80
13	623.664	1414.20	200	80
12	623.664	1414.20	200	80
11	623.664	1414.20	200	80
10	623.664	1414.20	200	80
9	623.664	1414.20	200	80
8	623.664	1414.20	200	80
7	623.664	1414.20	200	80
6	623.664	1414.20	200	80
5	623.664	1414.20	200	80
4	623.664	1414.20	200	80
3	623.664	1414.20	200	80
2	623.664	1414.20	200	80
1	732.768	1661.61	200	80
	9464.06			

Fuente: elaboración propia

CAPITULO IV
ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA
CONVENCIONAL.

CAPÍTULO IV: Análisis dinámico de la estructura convencional

i. Análisis de la estructura

Previamente modelada la estructura, el análisis modal-espectral se ha realizado en ETABS V18, como sigue:

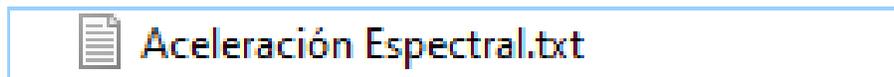
1. Espectro de respuesta. Se define el espectro de respuesta, para definirlo, se toma el calculado en Excel y se exporta a un archivo en formato .txt.

Tabla 5: Isoaceleracion.

Periodo (T)	Aceleracion(a)	S	
0	0.45	a0	1.5
0.1	1.215	d	0.3
0.2	1.215	Ta	0.81
0.3	1.215	Tb	0.1
0.4	1.215	Tc	0.6
0.5	1.215		2
0.6	1.215		
.	.		
.	.		

Fuente: Elaboración propia

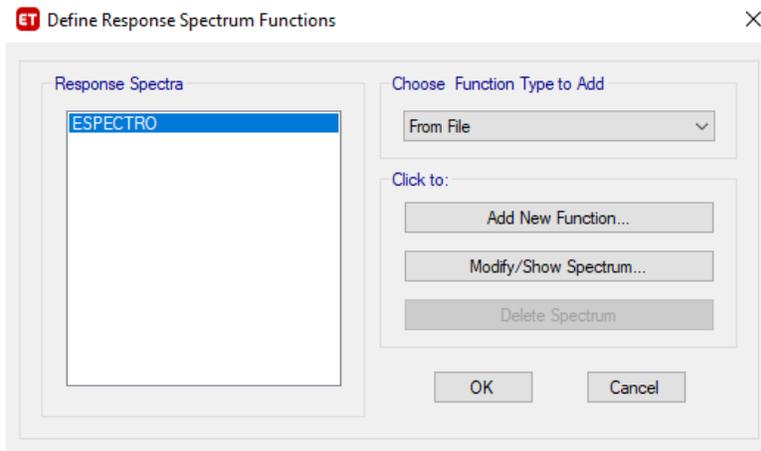
Ilustración 24: Archivo de aceleraciones espectrales en txt.



Fuente: elaboración propia.

Se ingresa al programa desde el menú Define > Functions > Spectrum Response > Choose Function Type to Add > User Defined.

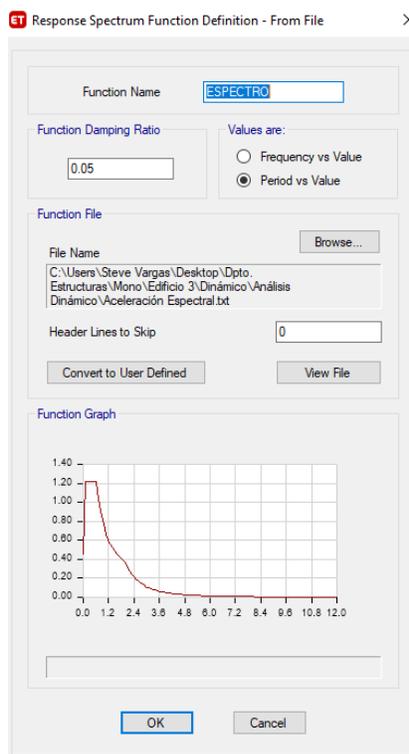
Ilustración 25. Espectro de respuesta.



Fuente: Programa ETABS 2018

Se da “click” en <<Add New Function...>> y se abre la siguiente ventana. En esta ventana se da “click” en Browse > Buscar la ubicación del archivo “Aceleración Espectral.txt” > “Doble click”. > OK.

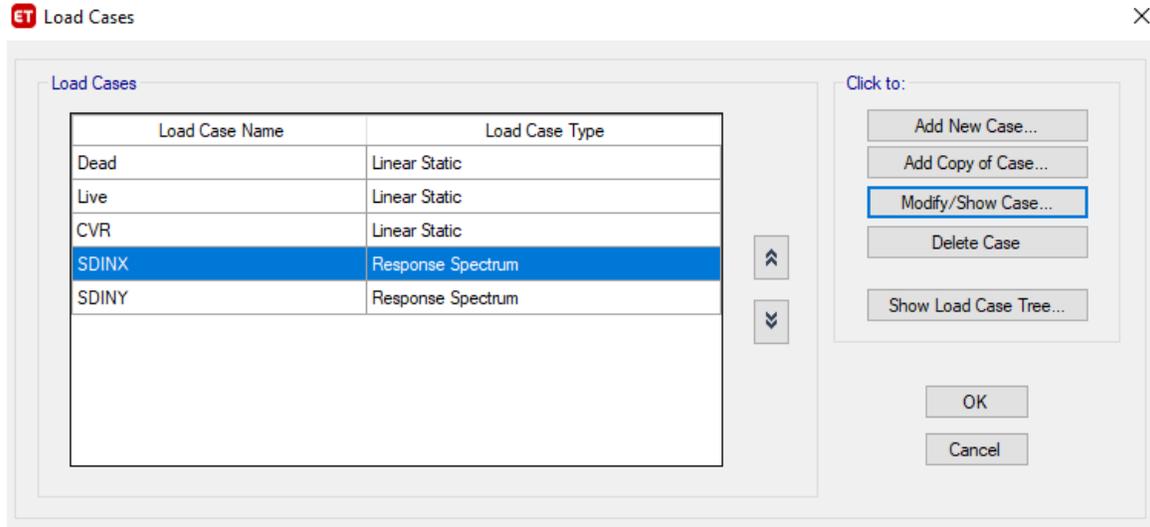
Ilustración 26. Definición del espectro de respuesta.



Fuente: Programa ETABS 2018.

2. Casos de carga. Luego se procede a definir los casos de carga, sismo dinámico en el eje “X” y sismo dinámico en el eje “Y”.

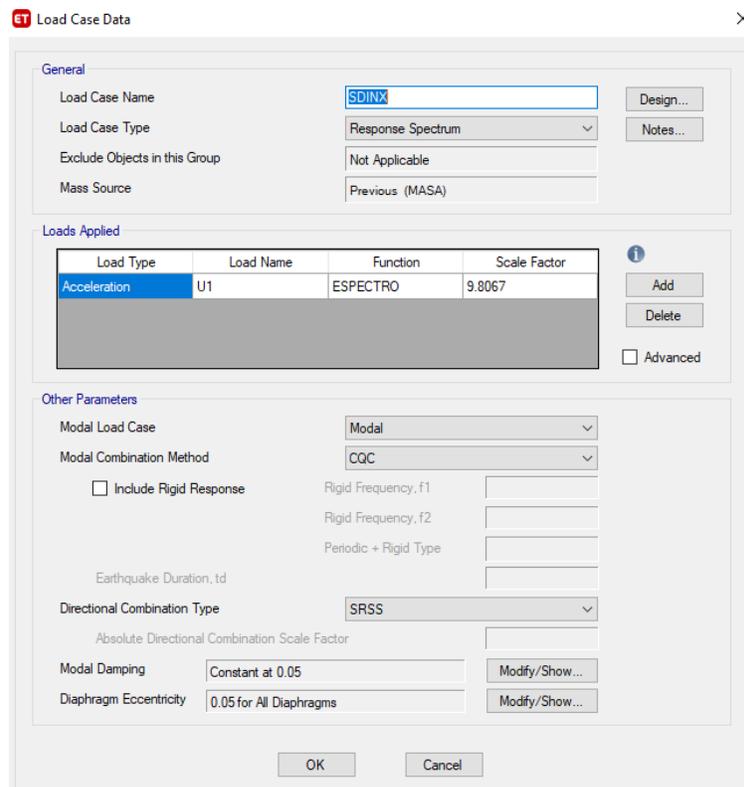
Ilustración 27. Casos de carga.



Fuente: Programa ETABS 2018

Se configura la ventana de la siguiente manera:

Ilustración 28. Definición de los casos de carga.

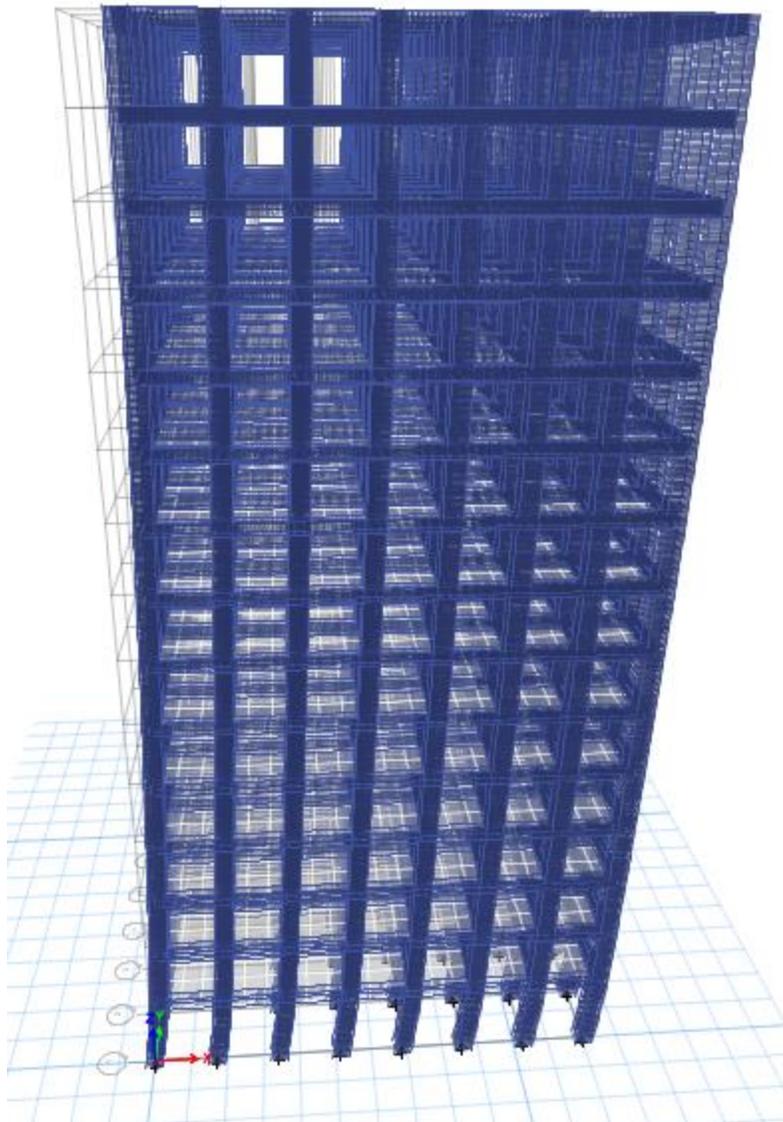


Fuente: Programa ETABS 2018

Se procede a correr el modelo, se extraen y se procesan los resultados.

3. Deformada de la estructura. Lo primero que nos muestra el programa al correr el modelo, es la deformación que sufre la estructura con el impacto sísmico.

Ilustración 29. Deformada de la estructura.



Fuente: Programa ETABS 2018

4. Desplazamientos. Se extraen los desplazamientos del centro de masa, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Diaphragm Center Of Mass Displacements.

Tabla 6. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma.						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					cm	cm
X						
Story15	D15	SDINX	LinRespSpec	Max	32.8823	2.357E-08
Story14	D14	SDINX	LinRespSpec	Max	32.2671	1.482E-08
Story13	D13	SDINX	LinRespSpec	Max	31.459	2.599E-08
Story12	D12	SDINX	LinRespSpec	Max	30.4427	1.101E-08
Story11	D11	SDINX	LinRespSpec	Max	29.2261	2.648E-08
Story10	D10	SDINX	LinRespSpec	Max	27.8225	1.958E-08
Story9	D9	SDINX	LinRespSpec	Max	26.247	2.271E-08
Story8	D8	SDINX	LinRespSpec	Max	24.5139	1.923E-08
Story7	D7	SDINX	LinRespSpec	Max	22.6371	2.522E-08
Story6	D6	SDINX	LinRespSpec	Max	20.6293	1.782E-08
Story5	D5	SDINX	LinRespSpec	Max	18.5016	2.974E-08
Story4	D4	SDINX	LinRespSpec	Max	16.2607	1.315E-08
Story3	D3	SDINX	LinRespSpec	Max	13.8943	3.496E-08
Story2	D2	SDINX	LinRespSpec	Max	11.3119	1.242E-08
Story1	D1	SDINX	LinRespSpec	Max	8.0875	2.862E-08

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 7. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma.						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					cm	cm
Y						
Story15	D15	SDNY	LinRespSpec	Max	1.517E-08	32.916
Story14	D14	SDNY	LinRespSpec	Max	6.095E-09	32.2963
Story13	D13	SDNY	LinRespSpec	Max	1.164E-08	31.4829
Story12	D12	SDNY	LinRespSpec	Max	8.646E-09	30.4613
Story11	D11	SDNY	LinRespSpec	Max	1.459E-08	29.2394
Story10	D10	SDNY	LinRespSpec	Max	1.72E-08	27.8309
Story9	D9	SDNY	LinRespSpec	Max	7.914E-09	26.2506
Story8	D8	SDNY	LinRespSpec	Max	1.636E-08	24.5133
Story7	D7	SDNY	LinRespSpec	Max	9.276E-09	22.6327
Story6	D6	SDNY	LinRespSpec	Max	1.835E-08	20.6216
Story5	D5	SDNY	LinRespSpec	Max	1.601E-08	18.4913
Story4	D4	SDNY	LinRespSpec	Max	1.095E-08	16.2486
Story3	D3	SDNY	LinRespSpec	Max	2.412E-08	13.8814
Story2	D2	SDNY	LinRespSpec	Max	9.179E-09	11.2998
Story1	D1	SDNY	LinRespSpec	Max	1.871E-08	8.0788

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

5. **Proporciones de masa participativa modal.** Las relaciones de masa modal se extraen desde el menú Display > Show Tables > Analysis results > Modal Information > Structure Output > Modal Participating Mass Ratios.

Tabla 8. Razón de masa participativa modal.

Razón de masa participativa modal						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	1.41	0	0.8936	0	0.8936
Modal	2	1.41	8.94E-01	0	0.894	0.8936
Modal	3	1.244	0	0	0.894	0.8936
Modal	4	0.455	0	8.04E-02	0.894	0.9741
Modal	5	0.454	8.01E-02	0	0.9741	0.9741
Modal	6	0.397	0	0	0.9741	0.9741
Modal	7	0.246	0	0.0154	0.9741	0.9894
Modal	8	0.246	0.0153	0	0.9894	0.9894
Modal	9	0.222	0	0.00E+00	0.9894	0.9894
Modal	10	0.163	0	0.0052	0.9894	0.9946
Modal	11	0.163	0.0052	0	0.9946	0.9946
Modal	12	0.148	0	0	0.9946	0.9946
			1	1		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

6. Masas por cada nivel. Las sumatoria de masas por cada nivel se extraen desde el menú Display > Show Tables > Model Definition > Otters Definitions > Mass Data > Mass Summary by Story.

Tabla 9. Sumatoria de masas por piso.

Sumatoria de masas por piso		
Piso	UX	UY
	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Story15	123168.23	123168.23
Story14	134918.07	134918.07
Story13	134918.07	134918.07
Story12	134918.07	134918.07
Story11	134918.07	134918.07
Story10	134918.07	134918.07
Story9	134918.07	134918.07
Story8	134918.07	134918.07
Story7	134918.07	134918.07
Story6	134918.07	134918.07
Story5	134918.07	134918.07
Story4	134918.07	134918.07
Story3	134918.07	134918.07
Story2	134918.07	134918.07
Story1	149562.27	149562.27
Base	20071.57	20071.57

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

7. Cortantes de entrepiso. Se extraen los cortantes de entrepiso, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Story Stiffness.

Cortantes máximos en el eje "X"

Tabla 10. Cortantes de entrepiso "X".

Cortantes de entrepiso "X"			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en X
			kgf
Story15	SDINX	LinRespSpec	1027601.87
Story14	SDINX	LinRespSpec	2076852.12
Story13	SDINX	LinRespSpec	3028874.63
Story12	SDINX	LinRespSpec	3878873.26
Story11	SDINX	LinRespSpec	4634807.08
Story10	SDINX	LinRespSpec	5308420.88
Story9	SDINX	LinRespSpec	5911498.45
Story8	SDINX	LinRespSpec	6457361.56
Story7	SDINX	LinRespSpec	6960910.15
Story6	SDINX	LinRespSpec	7434660.28
Story5	SDINX	LinRespSpec	7885418.26
Story4	SDINX	LinRespSpec	8315059.21
Story3	SDINX	LinRespSpec	8721228.84
Story2	SDINX	LinRespSpec	9091063.28
Story1	SDINX	LinRespSpec	9416110.36

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

Cortantes máximos en el eje "Y"

Tabla 11. Cortantes de entrepiso "Y".

Cortantes de entrepiso "Y"			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en Y
			kgf
Story15	SDNY	LinRespSpec	1028329.75
Story14	SDNY	LinRespSpec	2078077.19
Story13	SDNY	LinRespSpec	3030206.6
Story12	SDNY	LinRespSpec	3879929.27
Story11	SDNY	LinRespSpec	4635274.51
Story10	SDNY	LinRespSpec	5308077.09
Story9	SDNY	LinRespSpec	5910216.17
Story8	SDNY	LinRespSpec	6455105.42
Story7	SDNY	LinRespSpec	6957726.81
Story6	SDNY	LinRespSpec	7430663.24
Story5	SDNY	LinRespSpec	7880764.89
Story4	SDNY	LinRespSpec	8309924.61
Story3	SDNY	LinRespSpec	8715784.4
Story2	SDNY	LinRespSpec	9085476.94
Story1	SDNY	LinRespSpec	9410516.14

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

8. Cortantes basales. Estos se extraen, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Story Stiffness.

Tabla 12. Cortante basal "X".

Cortante basal máximo "X"				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante	Cortante
			kgf	Tonnef
Base	SDINX	LinRespSpec	9416110.362	9416.110362

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

Tabla 13. Cortante basal "Y".

Cortante basal máximo "Y"				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante	Cortante
			kgf	Tonnef
Base	SDINY	LinRespSpec	9410516.142	9410.516142

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

9. Distorciones de entrepiso. Las derivas máximas las extraemos del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Diaphragm Max Over Avg Drifts.

Tabla 14. Derivas "X".

Derivas "X"				Derivas
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "X"	
			m	
Story15	SDINX	LinRespSpec	0.0067	OK
Story14	SDINX	LinRespSpec	0.0089	OK
Story13	SDINX	LinRespSpec	0.0112	OK
Story12	SDINX	LinRespSpec	0.0134	OK
Story11	SDINX	LinRespSpec	0.0153	OK
Story10	SDINX	LinRespSpec	0.0170	OK
Story9	SDINX	LinRespSpec	0.0185	OK
Story8	SDINX	LinRespSpec	0.0198	OK
Story7	SDINX	LinRespSpec	0.0209	OK
Story6	SDINX	LinRespSpec	0.0219	OK
Story5	SDINX	LinRespSpec	0.0228	OK
Story4	SDINX	LinRespSpec	0.0239	OK
Story3	SDINX	LinRespSpec	0.0260	OK
Story2	SDINX	LinRespSpec	0.0327	Revisar
Story1	SDINX	LinRespSpec	0.0811	Revisar

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

Tabla 15. Derivas "Y".

Derivas "Y"				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "Y"	
			m	Derivas
Story15	SDNY	LinRespSpec	0.0068	OK
Story14	SDNY	LinRespSpec	0.0089	OK
Story13	SDNY	LinRespSpec	0.0113	OK
Story12	SDNY	LinRespSpec	0.0134	OK
Story11	SDNY	LinRespSpec	0.0154	OK
Story10	SDNY	LinRespSpec	0.0171	OK
Story9	SDNY	LinRespSpec	0.0185	OK
Story8	SDNY	LinRespSpec	0.0198	OK
Story7	SDNY	LinRespSpec	0.0209	OK
Story6	SDNY	LinRespSpec	0.0219	OK
Story5	SDNY	LinRespSpec	0.0228	OK
Story4	SDNY	LinRespSpec	0.0239	OK
Story3	SDNY	LinRespSpec	0.0260	OK
Story2	SDNY	LinRespSpec	0.0327	Revisar
Story1	SDNY	LinRespSpec	0.0810	Revisar

Fuente: elaboración propia, programa ETABS 2018.

CAPITULO IV.
AISLADORES.

CAPÍTULO IV: Aisladores

Dimensionamiento de los aisladores tipo LRB

1. Cargas totales. Lo primero es extraer las cargas totales para el diseño.

Tabla 16. Carga total considerada para el diseño de los aisladores.

Sumatoria de masas por piso		
Piso	UX	UY
	kgf-s ² /m	kgf-s ² /m
Story15	123168.23	123168.23
Story14	134918.07	134918.07
Story13	134918.07	134918.07
Story12	134918.07	134918.07
Story11	134918.07	134918.07
Story10	134918.07	134918.07
Story9	134918.07	134918.07
Story8	134918.07	134918.07
Story7	134918.07	134918.07
Story6	134918.07	134918.07
Story5	134918.07	134918.07
Story4	134918.07	134918.07
Story3	134918.07	134918.07
Story2	134918.07	134918.07
Story1	149562.27	149562.27
Base	20071.57	20071.57

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

2. Carga axial máxima

Se selecciona el piso que se va a aislar, en menú de lista que se muestra en la Ilustración, esto brindará la carga vertical máxima “P_{máx.}” que soportará cada aislador.

Ilustración 30. Carga axial máxima.

PRE-DISEÑO DE UN AISLADOR		
PISO=	9	Ton
PESO DEL PISO=	9148.443	
NUMERO DE AISLADORES=	64	
PESO POR AISLADOR =	142.9444	Ton

Fuente: elaboración propia. Excel.

3. Pre-diseño del aislador

Ya conocida la carga vertical máxima que portará cada aislador, éste se puede pre dimensionar siguiendo la columna “Carga Axial P_{max} (kg)”, de la siguiente tabla.

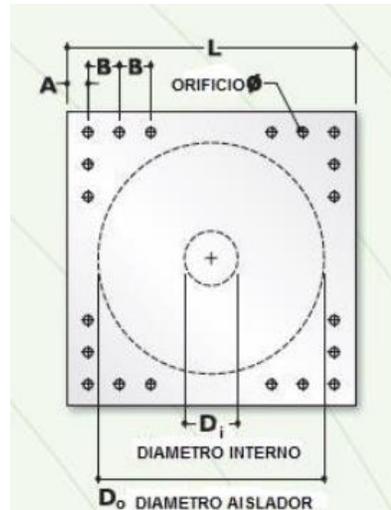
En este caso (ver Ilustración 30) la carga axial es de 9148.443 Ton = 91484430 Kg, por lo que cabe en el rango de la última fila.

Tabla 17. Propiedades en función del diámetro del aislador.

Tabla. - Propiedades, Desplazamiento y Carga axial en función del diámetro del aislador (PRE-DISEÑO)						
Do (mm)	Propiedades del aislador			Despl. Máx. qmax (mm)	Carga Axial Pmax (kg)	Carga Axial Pmax (Ton)
	Kd (Tn/m)	Qd (kg)	Kv (Tn/m)			
305	20 - 40	0 - 6500	> 5000	150	45000	45
355	20 - 40	0 - 6500	> 10000	150	70000	70
405	30 - 50	0 - 11000	> 10000	200	90000	90
455	30 - 70	0 - 11000	> 10000	250	115000	115
520	40 - 70	0 - 18000	> 20000	300	135000	135
570	50 - 90	1 - 18000	> 50000	360	180000	180

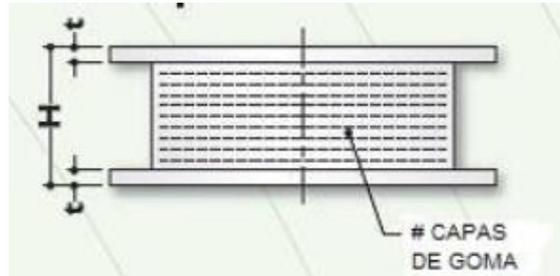
Fuente: "Base Teórica Del Aislamiento Sísmico", 2014.

Ilustración 31. Dimensiones del aislador, vista en planta.



Fuente: "Base Teórica Del Aislamiento Sísmico", 2014.

Ilustración 32. Dimensiones del aislador, vista en elevación.



Fuente: "Base Teórica Del Aislamiento Sísmico", 2014.

4. Dimensionamiento

Se realiza el cálculo de las dimensiones de las placas de montaje, del aislador y la cantidad de capas de goma con respecto a la Tabla 18.

Tabla 18. Datos para dimensionar el aislador y placas de montaje.

Dimensiones Del Aislador Y Placas De Montaje									
Tamaño Del Aislador				Dimensiones De Las Placas De Montaje					
Do (mm)	H (mm)	# CAPAS DE GOMA	Di (mm)	L (mm)	t (mm)	Número de orificios	Ø del orificio (mm)	A (mm)	B (mm)
305	125 - 280	4 - 14	0 - 100	355	25	4	27	50	-
355	150 - 305	5 - 16	0 - 100	405	25	4	27	50	-
405	175 - 330	6 - 20	0 - 125	455	25	4	27	50	-
455	175 - 355	6 - 20	0 - 125	510	25	4	27	50	-
520	205 - 380	8 - 24	0 - 180	570	25	8	27	50	50
570	205 - 380	8 - 24	0 - 180	620	25	8	27	50	50

Fuente: "Base Teórica Del Aislamiento Sísmico", 2014.

5. Dimensiones del aislador y placas de montaje

Tabla 19. Dimensiones.

Dimensiones		
Do	570.00 mm	
Di	150.00 mm	
Capas de goma	25.00 und	
tr	0.50 cm	
ts	0.20 cm	
L	620.00 mm	
t	25.00 mm	2.50 cm
Núm. de pernos	8.00 und	16.00 und
Ø pernos	27.00 mm	
Altura total H	29.25 cm	
Tr = Σ tr	12.5 cm	
H	22.3 cm	

Fuente: elaboración propia. Excel

6. Cálculo de las propiedades dinámicas del aislador

Con las dimensiones calculadas se procede a encontrar las propiedades dinámicas del aislador, en este caso se introducen las dimensiones en el Matlab para ello.

Ilustración 33. Script de Matlab

```
Aislador LRB.m x +
1  %DISEÑO DE UNA ESTRUCTURA CON AISLADORES ELASTOMERICOS
2  %DIAGRAMA DE HISTERISIS DE UN AISLADOR CON NUCLEO DE PLOMO
3  %DE ACUERDO A LA NORMA AASHTO 2010
4  %Dr. ROBERTO AGUIAR
5  %10 DE ABRIL 2014
6  %PARA SISMO DE DISEÑO "DE", ESPECTRO DE NORMA DE PERU 1997, LIMITE INFERIOR "LB"
7  %-----
8  % Ejem_1
9  %.....
10 % z=0.45; Tipo de suelo S2
11 %.....
12 - Do=30.5;% Diámetro exterior de aislador elastomérico con núcleo plomo (cm)
13 - Di=9;% Diámetro interior de aislador elastomérico con núcleo plomo (cm)
14 - G=5.95;% Módulo de Corte de goma (kg/cm2) para material LB
15 %G=8.05;% Módulo de Corte de goma (kg/cm2) para material UB
16 - Glead=85;% Tensión de fluencia del Plomo (kg/cm2) Tao py. Material LB
17 %Glead=115;% Tensión de fluencia del Plomo (kg/cm2) Tao py. Material UB
18 - Tr=5;% Altura solo de Goma (cm)
19 - wt=1567491.4;% Peso total que gravita sobre sistema de aislación en (kg)
20 - N=49;% Número total de aisladores
21 - z=0.45;% Zona de mayor peligrosidad sismica
22 - icods=2; % Para perfil de suelo tipo 2
23 - icod=1;% Número de la figura de histéresis
24 - fac=1.0;% Factor que vale 1 para sismo de diseño
25 % 1.5 Para Sismo Máximo Considerado (2500 años de período de
26 % retorno)
27 %fac=1.5;
28 - [Qd, Fy, ke, kd, kef, Tef, betaef, q]=histeresis_peru(Do, Di, G, Glead, Tr, wt, N, z, icods, fac)
29 % Tener en cuenta dos cosas: 1.- Reporta rigidez en kg/cm
30 % 2.- Reporta para el numero total de aisladores
31 % Para tener rigidez en un aislador se debe dividir para N.
```

Fuente: "Respuesta No Lineal Del Sistema De Aislación, 2013"

7. Propiedades en Matlab

Una vez ingresados los datos, se ejecuta. Al lado derecho (configuración estándar) de la pantalla se muestra los resultados como se ve en la Ilustración.

Ilustración 34. Resultados del Matlab.

```
1.4488e+05  
  
kd =  
  
3.8893e+04  
  
kef =  
  
6.0404e+04  
  
Tef =  
  
1.0224  
  
betaef =  
  
0.1807  
  
q =  
  
12.3177
```

Fuente: elaboración propia.

8. Propiedades dinámicas del aislador

Se extraen los resultados del Matlab y se exportan a Excel, para terminar con el diseño de estos.

La lista de resultados se muestra en la parte izquierda de Matlab (configuración estándar), como se ve en la siguiente ilustración.

Ilustración 35. Propiedades dinámicas del aislador, Matlab.

betaef	0.1807
Di	9
Do	30.5000
fac	1
Fy	3.6220e+05
G	5.9500
Glead	85
icod	1
icods	2
kd	3.8893e+04
ke	1.4488e+05
kef	6.0404e+04
N	49
q	12.3177
Qd	2.6497e+05
Tef	1.0224
Tr	5
wt	1.5675e+06
z	0.4500

Fuente: elaboración propia.

9. Propiedades de los materiales

En la siguiente tabla se muestran las propiedades de los materiales de los aisladores.

Tabla 20. Propiedades de los materiales de los aisladores.

Propiedades De Los Materiales		
Descripción	Límite inferior LB	Límite superior UB
Módulo De Corte Efectivo De Goma, G	5.95 Kgf/cm ²	8.05 Kgf/cm ²
Módulo De Corte Efectivo De Goma, K	2000.00 Mpa	2000.00 Mpa
Módulo De Corte Del Plomo, Gp	127.50 Mpa	172.50 Mpa
Esfuerzo De Corte Del Plomo, Tpy	85.00 Kgf/cm ²	115.00 Kgf/cm ²

Fuente: "Base Teórica Del Aislamiento Sísmico", 2014.

10. Datos previos al ETABS V18

Los datos finales a introducir en ETABS se muestran en la siguiente tabla:

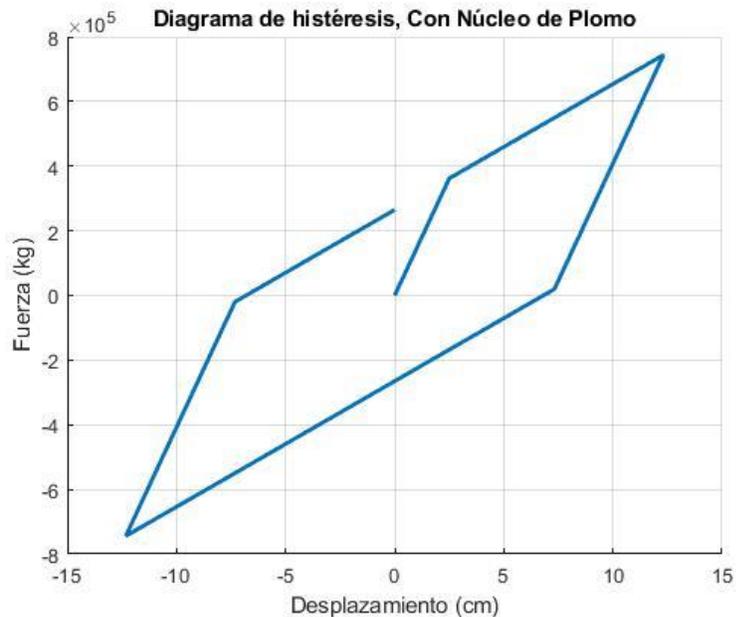
Tabla 21. Datos previos al ETABS.

Propiedades Dinámicas		
Propiedades Dinámicas	Parámetros Del Diseño	
	DATOS	LB
q (cm)	12.3177	12.318
A plomo (cm ²)	10.00 cm	78.540
A (cm ²)	40.50 cm	1288.249
Qd (Tn)	264970	264.970
Kd (Tn/m)	38893	79.373
ke (Tn/m)	144880	295.673
Fy (Tn)	362200	7.392
Kef (Tn/m)	60404	123.273
Beta efec (%)	0.1807	18.070
B		5.853
T efec (seg)	1.0224	1.022
RATIO		0.268449752

Fuente elaboración propia. Programa ETABS 2018

En este caso se puede observar que los aisladores tienen un comportamiento histerético de fuerza-deformación, así como se muestra en la ilustración siguiente:

Ilustración 36. Diagrama de histéresis del aislador.



CAPITULO V.
ANÁLISIS DINÁMICO DE LA ESTRUCTURA
CON SISTEMA DE AISLACIÓN.

CAPÍTULO V: Análisis dinámico de la estructura con sistema de aislación

i. Asignación de los aisladores a la estructura.

La definición de los aisladores se hace desde el menú Define > Section Properties > Link /Support Properties > Add New Property. Se configura la ventana como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 37. Asignación de los aisladores a la estructura.

ET Link Property Data

General

Link Property Name: AISLADORES Link Type: Rubber Isolator

Link Property Notes: Modify/Show Notes... P-Delta Parameters: Modify/Show...

Total Mass and Weight

Mass: 0 tonf-s²/m Rotational Inertia 1: 0 tonf-m-s²

Weight: 0 tonf Rotational Inertia 2: 0 tonf-m-s²

Rotational Inertia 3: 0 tonf-m-s²

Factors for Line and Area Springs

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property: 1 m

Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property: 1 m²

Directional Properties

Direction	Fixed	NonLinear	Properties	Direction	Fixed	NonLinear	Properties
<input checked="" type="checkbox"/> U1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for U1...	<input type="checkbox"/> R1	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R1...
<input checked="" type="checkbox"/> U2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U2...	<input type="checkbox"/> R2	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R2...
<input checked="" type="checkbox"/> U3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	Modify/Show for U3...	<input type="checkbox"/> R3	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Modify/Show for R3...

Fix All Clear All

Stiffness Options

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases: Effective Stiffness from Zero, Else Nonlinear

Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping: Initial Stiffness (K0)

Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor: 1

OK Cancel

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Se da “click” en el menú Diectional Propierties > Propierties > U1. Se configura la ventana desplegada como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 38. Propiedades en la dirección U1.

Identification	
Property Name	AISLADORES
Direction	U1
Type	Rubber Isolator
NonLinear	No

Linear Properties	
Effective Stiffness	45000 tonf/m
Effective Damping	0 tonf-s/m

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Se da “click” en el menú Diectional Propierties > Propierties > U2. Se configura la ventana desplegada como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 39. Propiedades en la dirección U2.

Identification	
Property Name	AISLADORES
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	79.373 tonf/m
Effective Damping	5.853 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.1232 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	295.673 tonf/m
Yield Strength	7.392 tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.26845

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Se da “click” en el menú Diectional Propierties > Propierties > U3. Se configura la ventana desplegada igual que U2, como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 40. Propiedades en la dirección U3.

Identification	
Property Name	AISLADORES
Direction	U2
Type	Rubber Isolator
NonLinear	Yes

Linear Properties	
Effective Stiffness	79.373 tonf/m
Effective Damping	5.853 tonf-s/m

Shear Deformation Location	
Distance from End-J	0.1232 m

Nonlinear Properties	
Stiffness	295.673 tonf/m
Yield Strength	7.392 tonf
Post Yield Stiffness Ratio	0.26845

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Para asignar los aisladores se debe asignar un diafragma de puntos donde van a ir los aisladores, esto se hace por debajo de la planta número 10. Luego se seleccionan los puntos para asignar los aisladores, se asignan como elementos joint y luego como un resorte (spring).

Ilustración 41. Asignación de los aisladores.

Springs	
ELASTOMÉRICOS	
None	

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

La ventana se configura como se muestra en la siguiente ilustración:

Ilustración 42. Asignación de los aisladores.

ET Point Spring Property Data X

General Data

Property Name: ELASTOMÉRICOS

Display Color: Change...

Property Notes: Modify/Show Notes...

Spring Stiffness Options

User Specified/Link Properties Based on Soil Profile and Footing Dimensions

Simple Spring Stiffness in Global Directions

Translation X: 0 tonf/m

Translation Y: 0 tonf/m

Translation Z: 0 tonf/m

Rotation about X-Axis: 0 tonf-m/rad

Rotation about Y-Axis: 0 tonf-m/rad

Rotation about Z-Axis: 0 tonf-m/rad

Single Joint Links at Point

Link Property	Axial Direction	Axis 2 Angle
AISLADORES	+Z	0

Add

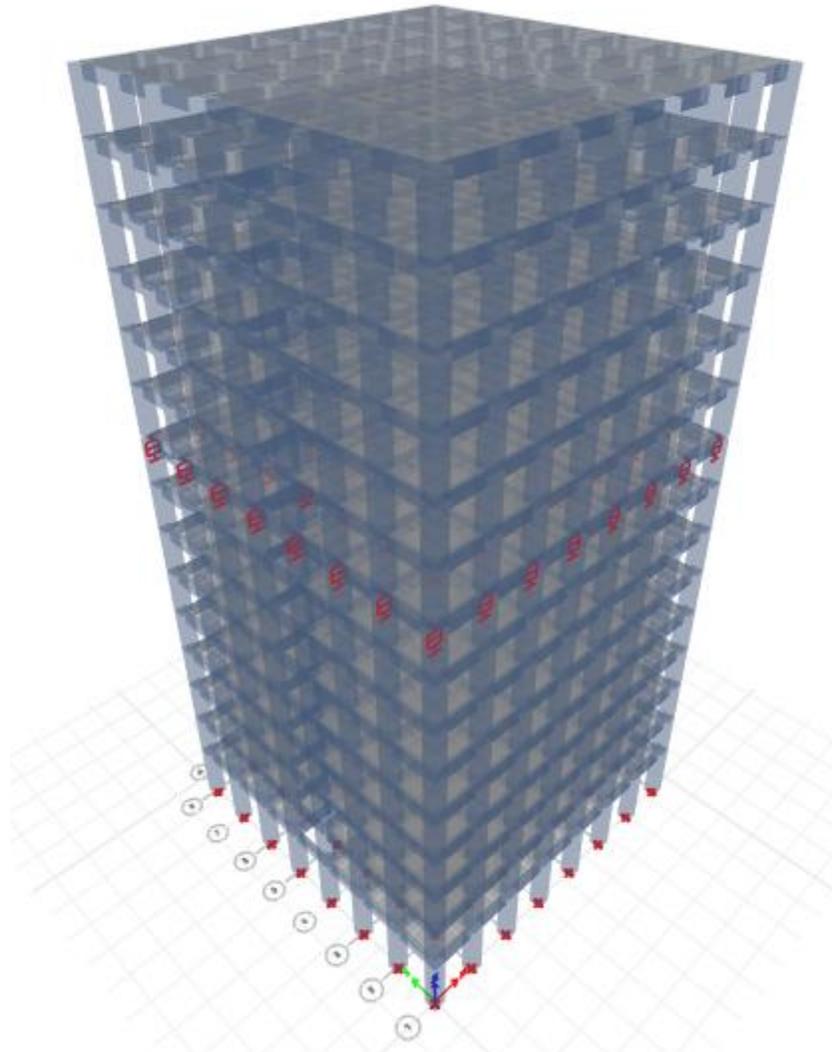
Delete

OK Cancel

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Una vez asignados los aisladores, la estructura queda de la siguiente manera, como se puede observar en la siguiente ilustración:

Ilustración 43. Estructura con los aisladores asignados.



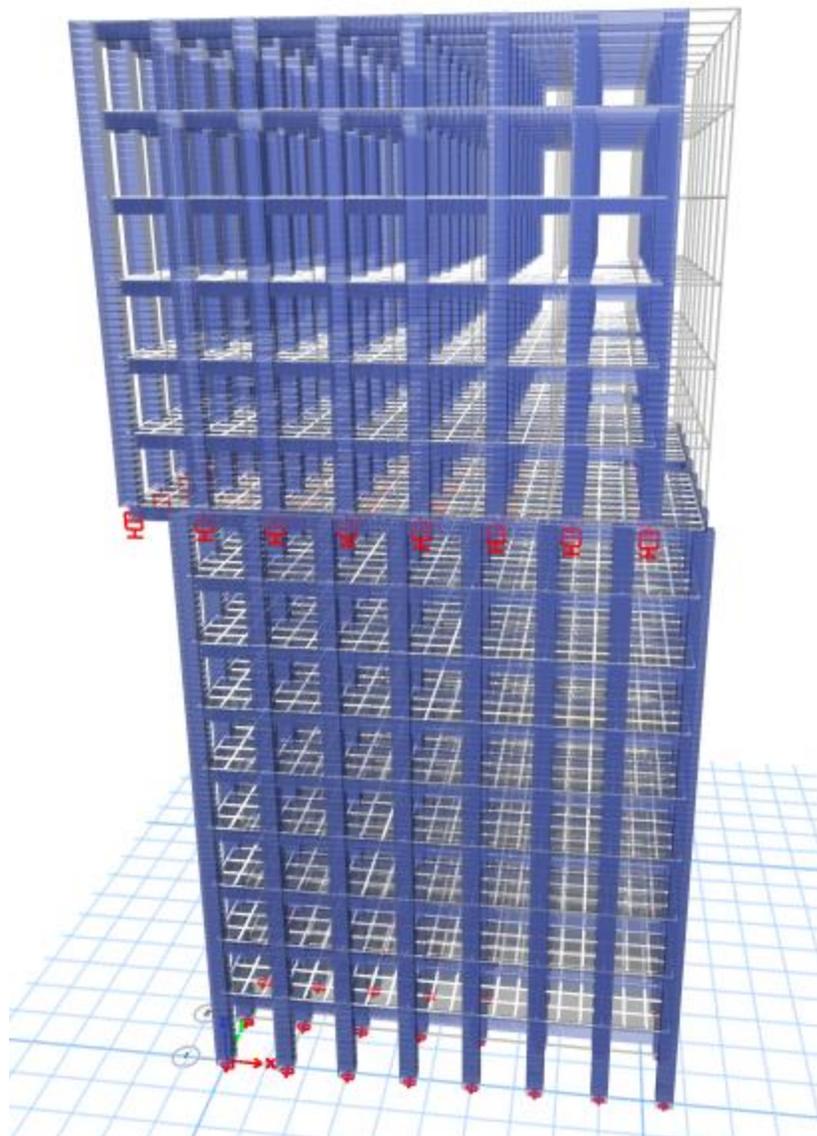
Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

ii. Análisis

Se procede a correr el modelo, se extraen y se procesan los resultados.

1. Deformada de la estructura. Una vez asignados los aisladores, lo primero que nos muestra el programa al correr el modelo, es la deformación que sufre la estructura con el impacto sísmico.

Ilustración 44. Deformada de la estructura con aislación.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

2. **Desplazamientos.** Se extraen los desplazamientos del centro de masa, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Joint Output > Displacements > Joint Displacements > Diaphragm Center Of Mass Displacements.

Se muestra el desplazamiento máximo que actúa en cada nivel en ambas direcciones (X, Y) ya con el sistema de aislación, se observa una reducción de desplazamiento considerable en cada estructura aislada con respecto a la estructura convencional.

Tabla 22. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 9no piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 9						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					m	m
X						
Story15	D15	SDINX	LinRespSpec	Max	0.199617	3.336E-10
Story14	D14	SDINX	LinRespSpec	Max	0.199245	1.913E-10
Story13	D13	SDINX	LinRespSpec	Max	0.198589	3.788E-10
Story12	D12	SDINX	LinRespSpec	Max	0.197646	1.557E-11
Story11	D11	SDINX	LinRespSpec	Max	0.196538	3.636E-10
Story10	D10	SDINX	LinRespSpec	Max	0.195766	2.175E-10
Story9	D9	SDINX	LinRespSpec	Max	0.197411	2.611E-10
Story8	D8	SDINX	LinRespSpec	Max	0.151038	2.127E-10
Story7	D7	SDINX	LinRespSpec	Max	0.143485	2.27E-10
Story6	D6	SDINX	LinRespSpec	Max	0.131607	3.55E-10
Story5	D5	SDINX	LinRespSpec	Max	0.115652	5.24E-12
Story4	D4	SDINX	LinRespSpec	Max	0.096134	3.678E-10
Story3	D3	SDINX	LinRespSpec	Max	0.073714	2.626E-10
Story2	D2	SDINX	LinRespSpec	Max	0.049277	1.642E-10
Story1	D1	SDINX	LinRespSpec	Max	0.024326	3.328E-10

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Tabla 23. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 8vo piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 8						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					m	m
X						
Story15	D15	SDNX	LinRespSpec	Max	0.189727	4.134E-11
Story14	D14	SDNX	LinRespSpec	Max	0.189365	2.483E-11
Story13	D13	SDNX	LinRespSpec	Max	0.188762	4.102E-11
Story12	D12	SDNX	LinRespSpec	Max	0.187897	2.122E-11
Story11	D11	SDNX	LinRespSpec	Max	0.186796	2.82E-11
Story10	D10	SDNX	LinRespSpec	Max	0.185578	4.604E-11
Story9	D9	SDNX	LinRespSpec	Max	0.184721	3.052E-11
Story8	D8	SDNX	LinRespSpec	Max	0.186184	4.526E-11
Story7	D7	SDNX	LinRespSpec	Max	0.12379	4.801E-11
Story6	D6	SDNX	LinRespSpec	Max	0.116248	4.129E-11
Story5	D5	SDNX	LinRespSpec	Max	0.104188	9.293E-11
Story4	D4	SDNX	LinRespSpec	Max	0.087964	6.088E-11
Story3	D3	SDNX	LinRespSpec	Max	0.06826	1.466E-11
Story2	D2	SDNX	LinRespSpec	Max	0.046035	5.441E-11
Story1	D1	SDNX	LinRespSpec	Max	0.022862	5.631E-11

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 24. Desplazamientos en "X" del centro de masa, diafragma. Aislado 7mo piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 7						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					m	m
X						
Story15	D15	SDINX	LinRespSpec	Max	0.181274	1.432E-10
Story14	D14	SDINX	LinRespSpec	Max	0.180913	5.434E-11
Story13	D13	SDINX	LinRespSpec	Max	0.180347	1.699E-10
Story12	D12	SDINX	LinRespSpec	Max	0.179554	1.072E-10
Story11	D11	SDINX	LinRespSpec	Max	0.178537	1.133E-10
Story10	D10	SDINX	LinRespSpec	Max	0.177326	1.766E-10
Story9	D9	SDINX	LinRespSpec	Max	0.176037	1.532E-10
Story8	D8	SDINX	LinRespSpec	Max	0.175122	7.908E-11
Story7	D7	SDINX	LinRespSpec	Max	0.094419	5.6E-10
Story6	D6	SDINX	LinRespSpec	Max	0.09138	1.866E-10
Story5	D5	SDINX	LinRespSpec	Max	0.084303	4.751E-10
Story4	D4	SDINX	LinRespSpec	Max	0.072864	6.93E-10
Story3	D3	SDINX	LinRespSpec	Max	0.057564	3.892E-10
Story2	D2	SDINX	LinRespSpec	Max	0.039333	2.85E-10
Story1	D1	SDINX	LinRespSpec	Max	0.019707	4.925E-10

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 25. Desplazamientos en “Y” del centro de masa, diafragma. Aislado 9no piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 9						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					m	m
Y						
Story15	D15	SDNY	LinRespSpec	Max	7.234E-10	0.199619
Story14	D14	SDNY	LinRespSpec	Max	3.931E-10	0.199247
Story13	D13	SDNY	LinRespSpec	Max	8.024E-10	0.198591
Story12	D12	SDNY	LinRespSpec	Max	4.345E-11	0.19765
Story11	D11	SDNY	LinRespSpec	Max	7.808E-10	0.196543
Story10	D10	SDNY	LinRespSpec	Max	4.735E-10	0.195772
Story9	D9	SDNY	LinRespSpec	Max	5.928E-10	0.197414
Story8	D8	SDNY	LinRespSpec	Max	8.467E-11	0.151109
Story7	D7	SDNY	LinRespSpec	Max	1.241E-10	0.143521
Story6	D6	SDNY	LinRespSpec	Max	8.821E-11	0.131613
Story5	D5	SDNY	LinRespSpec	Max	5.603E-11	0.115634
Story4	D4	SDNY	LinRespSpec	Max	1.979E-10	0.096102
Story3	D3	SDNY	LinRespSpec	Max	2.036E-10	0.073677
Story2	D2	SDNY	LinRespSpec	Max	8.252E-11	0.049246
Story1	D1	SDNY	LinRespSpec	Max	2.912E-11	0.02431

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 26. Desplazamientos en “Y” del centro de masa, diafragma. Aislado 8vo piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 8						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					m	m
Y						
Story15	D15	SDNY	LinRespSpec	Max	2.294E-10	0.189732
Story14	D14	SDNY	LinRespSpec	Max	6.647E-11	0.18937
Story13	D13	SDNY	LinRespSpec	Max	2.5E-10	0.188766
Story12	D12	SDNY	LinRespSpec	Max	1.442E-10	0.187901
Story11	D11	SDNY	LinRespSpec	Max	1.315E-10	0.1868
Story10	D10	SDNY	LinRespSpec	Max	2.545E-10	0.185582
Story9	D9	SDNY	LinRespSpec	Max	8.929E-11	0.184725
Story8	D8	SDNY	LinRespSpec	Max	1.955E-10	0.186184
Story7	D7	SDNY	LinRespSpec	Max	8.705E-11	0.123843
Story6	D6	SDNY	LinRespSpec	Max	5.898E-11	0.116272
Story5	D5	SDNY	LinRespSpec	Max	1.277E-10	0.104188
Story4	D4	SDNY	LinRespSpec	Max	7.754E-11	0.087948
Story3	D3	SDNY	LinRespSpec	Max	3.583E-11	0.068237
Story2	D2	SDNY	LinRespSpec	Max	8.266E-11	0.046014
Story1	D1	SDNY	LinRespSpec	Max	7.623E-11	0.022851

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 27. Desplazamientos en "Y" del centro de masa, diafragma. Aislado 7mo piso.

Desplazamientos del centro de masa, diafragma. Aislado piso 7						
Piso	Diafragma	Caso	Caso Tipo	Paso Tipo	UX	UY
					M	m
Y						
Story15	D15	SDNY	LinRespSpec	Max	2.016E-10	0.181282
Story14	D14	SDNY	LinRespSpec	Max	3.283E-11	0.18092
Story13	D13	SDNY	LinRespSpec	Max	1.946E-10	0.180352
Story12	D12	SDNY	LinRespSpec	Max	1.624E-10	0.179557
Story11	D11	SDNY	LinRespSpec	Max	4.136E-11	0.17854
Story10	D10	SDNY	LinRespSpec	Max	1.764E-10	0.177329
Story9	D9	SDNY	LinRespSpec	Max	1.67E-10	0.176039
Story8	D8	SDNY	LinRespSpec	Max	2.21E-11	0.175124
Story7	D7	SDNY	LinRespSpec	Max	1.294E-09	0.094412
Story6	D6	SDNY	LinRespSpec	Max	6.719E-10	0.09137
Story5	D5	SDNY	LinRespSpec	Max	5.519E-10	0.084299
Story4	D4	SDNY	LinRespSpec	Max	1.159E-09	0.072835
Story3	D3	SDNY	LinRespSpec	Max	4.769E-10	0.057468
Story2	D2	SDNY	LinRespSpec	Max	6.956E-10	0.039187
Story1	D1	SDNY	LinRespSpec	Max	9.709E-10	0.019592

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

3. **Proporciones de masa participativa modal.** Las relaciones de masa modal se extraen desde el menú.

En las siguientes tablas se logra identificar los niveles donde la masa participativa comienza a actuar, en todas las estructura se alcanza más del 90% de masa participativa en los segundos modos de vibración.

Tabla 28. Razón de masa participativa modal aislado 9no piso.

Razón de masa participativa modal Aislado piso 9						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	2.823	0.4608	0	0.4608	0
Modal	2	2.823	0.00E+00	0.4608	0.4608	0.4608
Modal	3	2.587	0	0	0.4608	0.4608
Modal	4	0.646	0	4.49E-01	0.4608	0.9102
Modal	5	0.646	4.50E-01	0	0.9103	0.9102
Modal	6	0.578	0	0	0.9103	0.9102
Modal	7	0.283	0	0.00001458	0.9103	0.9102
Modal	8	0.282	0.0000146	0	0.9103	0.9102
Modal	9	0.238	0	0.00E+00	0.9103	0.9102
Modal	10	0.205	0	0.0564	0.9103	0.9666
Modal	11	0.205	0.0563	0	0.9666	0.9666
Modal	12	0.184	0	0	0.9666	0.9666
			0.967	0.967		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 29. Razón de masa participativa modal aislado 8vo piso.

Razón de masa participativa modal. Aislado piso 8						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	3.021	0.5261	0	0.5261	0
Modal	2	3.021	0	0.5261	0.5261	0.5261
Modal	3	2.768	0	0	0.5261	0.5261
Modal	4	0.566	0	0.398	0.5261	0.9241
Modal	5	0.566	0.3981	0	0.9242	0.9241
Modal	6	0.509	0	0	0.9242	0.9241
Modal	7	0.328	0	0.00003888	0.9242	0.9241
Modal	8	0.328	0.00003885	0	0.9242	0.9241
Modal	9	0.273	0	0	0.9242	0.9241
Modal	10	0.178	0	0.0494	0.9242	0.9735
Modal	11	0.178	0.0493	0	0.9735	0.9735
Modal	12	0.16	0	0	0.9735	0.9735
			0.974	0.974		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 30. Razón de masa participativa modal aislado 7mo piso.

Razón de masa participativa modal. Aislado piso 7						
Caso	Modo	Periodo	UX	UY	SumUX	SumUY
		sec				
Modal	1	3.209	0.5914	0	0.5914	0
Modal	2	3.209	0	0.5914	0.5914	0.5914
Modal	3	2.94	0	0	0.5914	0.5914
Modal	4	0.488	0	0.3464	0.5914	0.9378
Modal	5	0.488	0.3464	0	0.9378	0.9378
Modal	6	0.439	0	0	0.9378	0.9378
Modal	7	0.375	0	0.0001	0.9378	0.9379
Modal	8	0.374	0.0001	0	0.9379	0.9379
Modal	9	0.308	0	0	0.9379	0.9379
Modal	10	0.158	0	0	0.9379	0.9379
Modal	11	0.158	0	0	0.9379	0.9379
Modal	12	0.152	0.0423	0	0.9802	0.9379
			0.980	0.938		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

1. Masas por cada nivel. Las sumatoria de masas por cada nivel se extraen desde el menú Display > Show Tables > Model Definition > Otters Definitions > Mass Data > Mass Summary by Story.

Tabla 31. Sumatoria de masas por piso.

Sumatoria de masas por piso		
Piso	UX	UY
	tonf-s ² /m	tonf-s ² /m
Story15	123.16823	123.16823
Story14	134.91807	134.91807
Story13	134.91807	134.91807
Story12	134.91807	134.91807
Story11	134.91807	134.91807
Story10	134.91807	134.91807
Story9	172.3071	172.3071
Story8	135.98296	135.98296
Story7	134.91807	134.91807
Story6	134.91807	134.91807
Story5	134.91807	134.91807
Story4	134.91807	134.91807
Story3	134.91807	134.91807
Story2	134.91807	134.91807
Story1	149.56227	149.56227
Base	20.07157	20.07157

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

2. **Cortantes de entrepiso.** Se extraen los cortantes de entrepiso, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Story Stiffness.

Cortantes máximos en el eje “X”

se muestra la fuerza cortante actuando en cada uno de los niveles de cada estructura aislada.

Tabla 32. Cortantes de entrepiso "X" aislado 9no piso.

Cortantes de entrepiso "X" Aislado piso 9			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en X
			kgf
Story15	SDINX	LinRespSpec	122344.73
Story14	SDINX	LinRespSpec	255840.62
Story13	SDINX	LinRespSpec	388589.66
Story12	SDINX	LinRespSpec	520460.58
Story11	SDINX	LinRespSpec	651484.74
Story10	SDINX	LinRespSpec	782048.46
Story9	SDINX	LinRespSpec	0
Story8	SDINX	LinRespSpec	2346917.3
Story7	SDINX	LinRespSpec	4217781.19
Story6	SDINX	LinRespSpec	5859788.14
Story5	SDINX	LinRespSpec	7262121.26
Story4	SDINX	LinRespSpec	8437319.19
Story3	SDINX	LinRespSpec	9380654.74
Story2	SDINX	LinRespSpec	10051918.4
Story1	SDINX	LinRespSpec	10439649.6

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 33. Cortantes de entrepiso "X" aislado 8vo piso.

Cortantes de entrepiso "X" Aislado piso 8			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en X
			kgf
Story15	SDINX	LinRespSpec	102645.66
Story14	SDINX	LinRespSpec	214244.58
Story13	SDINX	LinRespSpec	324745.22
Story12	SDINX	LinRespSpec	434051.84
Story11	SDINX	LinRespSpec	542268.98
Story10	SDINX	LinRespSpec	649672.05
Story9	SDINX	LinRespSpec	756795.62
Story8	SDINX	LinRespSpec	0
Story7	SDINX	LinRespSpec	2479876.11
Story6	SDINX	LinRespSpec	4429072.89
Story5	SDINX	LinRespSpec	6106034.34
Story4	SDINX	LinRespSpec	7501501.26
Story3	SDINX	LinRespSpec	8615825.55
Story2	SDINX	LinRespSpec	9412141.95
Story1	SDINX	LinRespSpec	9876297.62

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 34. Cortantes de entrepiso "X" aislado 7mo piso.

Cortantes de entrepiso "X" Aislado piso 7			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en X
			kgf
Story15	SDINX	LinRespSpec	88939.65
Story14	SDINX	LinRespSpec	185045.04
Story13	SDINX	LinRespSpec	279482.11
Story12	SDINX	LinRespSpec	372137.53
Story11	SDINX	LinRespSpec	463195.74
Story10	SDINX	LinRespSpec	553071.37
Story9	SDINX	LinRespSpec	642309.77
Story8	SDINX	LinRespSpec	731604.63
Story7	SDINX	LinRespSpec	0
Story6	SDINX	LinRespSpec	2463331.02
Story5	SDINX	LinRespSpec	4348748.58
Story4	SDINX	LinRespSpec	5915066.29
Story3	SDINX	LinRespSpec	7159813.71
Story2	SDINX	LinRespSpec	8058811.85
Story1	SDINX	LinRespSpec	8593309.62

Fuente: elaboración propia.

Cortantes máximos en el eje "Y"

Tabla 35. Cortantes de entrepiso "Y" aislado 9no piso.

Cortantes de entrepiso "Y" Aislado piso 9			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en Y
			kgf
Story15	SDNY	LinRespSpec	122358.8
Story14	SDNY	LinRespSpec	255870.18
Story13	SDNY	LinRespSpec	388635.41
Story12	SDNY	LinRespSpec	520523.66
Story11	SDNY	LinRespSpec	651566.13
Story10	SDNY	LinRespSpec	782148.42
Story9	SDNY	LinRespSpec	0
Story8	SDNY	LinRespSpec	2347372.24
Story7	SDNY	LinRespSpec	4217934.31
Story6	SDNY	LinRespSpec	5859211.79
Story5	SDNY	LinRespSpec	7260615.17
Story4	SDNY	LinRespSpec	8434893.41
Story3	SDNY	LinRespSpec	9377473.7
Story2	SDNY	LinRespSpec	10048235.5
Story1	SDNY	LinRespSpec	10435735.2

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 36: Cortantes de entrepiso "Y" aislado 8vo piso.

Cortantes de entrepiso "Y" Aislado piso 8			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en Y
			kgf
Story15	SDNY	LinRespSpec	102661.25
Story14	SDNY	LinRespSpec	214275.34
Story13	SDNY	LinRespSpec	324789.83
Story12	SDNY	LinRespSpec	434109.95
Story11	SDNY	LinRespSpec	542340.75
Story10	SDNY	LinRespSpec	649757.71
Story9	SDNY	LinRespSpec	756895.1
Story8	SDNY	LinRespSpec	0
Story7	SDNY	LinRespSpec	2480618.16
Story6	SDNY	LinRespSpec	4429769.03
Story5	SDNY	LinRespSpec	6106288.97
Story4	SDNY	LinRespSpec	7501150.98
Story3	SDNY	LinRespSpec	8614904.35
Story2	SDNY	LinRespSpec	9410819.2
Story1	SDNY	LinRespSpec	9874801.35

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 37. Cortantes de entrepiso "Y" aislado 7mo piso.

Cortantes de entrepiso "Y" Aislado piso 7			
Nivel	Caso	Caso Tipo	Corte en Y
			kgf
Story15	SDNY	LinRespSpec	88961.12
Story14	SDNY	LinRespSpec	185085.03
Story13	SDNY	LinRespSpec	279536.08
Story12	SDNY	LinRespSpec	372202.44
Story11	SDNY	LinRespSpec	463269.83
Story10	SDNY	LinRespSpec	553153.75
Story9	SDNY	LinRespSpec	642400.25
Story8	SDNY	LinRespSpec	731703.5
Story7	SDNY	LinRespSpec	0
Story6	SDNY	LinRespSpec	2351620.84
Story5	SDNY	LinRespSpec	4239917.68
Story4	SDNY	LinRespSpec	5871415.32
Story3	SDNY	LinRespSpec	7158699.12
Story2	SDNY	LinRespSpec	8036474.6
Story1	SDNY	LinRespSpec	8522977.63

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

3. Cortantes basales. Estos se extraen, en ambos ejes, a partir del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Story Stiffness.

Tabla 38. Cortante basal "X" aislado 9no piso.

Cortante basal máximo "X" Aislado piso 9				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDINX	LinRespSpec	10439649.6	10439.6496

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 39. Cortante basal "X" aislado 8vo piso.

Cortante basal máximo "X" Aislado piso 8				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDINX	LinRespSpec	9876297.62	9876.29762

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 40. Cortante basal "X" aislado 7mo piso.

Cortante basal máximo "X" Aislado piso 7				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDINX	LinRespSpec	8593309.62	8593.30962

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 41. Cortante basal "Y" aislado 9no piso.

Cortante basal máximo "Y" Aislado piso 9				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDNY	LinRespSpec	10435735.2	10435.7352

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 42. Cortante basal "Y" aislado 8vo piso.

Cortante basal máximo "Y" Aislado piso 8				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDNY	LinRespSpec	9874801.35	9874.80135

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Tabla 43. Cortante basal "Y" aislado 7mo piso.

Cortante basal máximo "Y" Aislado piso 7				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Cortante kgf	Cortante Tonnes
Base	SDNY	LinRespSpec	8522977.63	8522.97763

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

4. **Distorsiones de entrepiso.** Las derivas máximas las extraemos del menú Display > Show Tables > Analysis results > Structure Output > Diaphragm Max Over Avg Drifts.

En las siguientes tablas se logran extraer las derivas que actúan en cada uno de los pisos de las estructuras que fueron expuestas a aislación de tres diferentes niveles tanto en el eje "X" como en el eje "Y", considerando que en cada piso donde fue sometido la aislación, la parte superior de la estructura aislada queda inmóvil al momento de un perturbación sísmica, ya que se presenta el desacople de la estructura.

Tabla 44. Derivas "X" aislado 9no piso.

Derivas "X" Aislado piso 9				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "X"	
			m	
Story15	SDINX	LinRespSpec	0.00013	OK
Story14	SDINX	LinRespSpec	0.000229	OK
Story13	SDINX	LinRespSpec	0.000328	OK
Story12	SDINX	LinRespSpec	0.000385	OK
Story11	SDINX	LinRespSpec	0.000265	OK
Story10	SDINX	LinRespSpec	0.000594	OK
Story9	SDINX	LinRespSpec	0.084704	REVISAR DERIVA
Story8	SDINX	LinRespSpec	0.002683	OK
Story7	SDINX	LinRespSpec	0.004224	OK
Story6	SDINX	LinRespSpec	0.005645	OK
Story5	SDINX	LinRespSpec	0.00686	OK
Story4	SDINX	LinRespSpec	0.007839	OK
Story3	SDINX	LinRespSpec	0.008519	OK
Story2	SDINX	LinRespSpec	0.008691	OK
Story1	SDINX	LinRespSpec	0.006355	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 45. Derivas "X" aislado 8vo piso.

Derivas "X" Aislado piso 8				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "X"	
			m	
Story15	SDINX	LinRespSpec	0.000127	OK
Story14	SDINX	LinRespSpec	0.000212	OK
Story13	SDINX	LinRespSpec	0.000303	OK
Story12	SDINX	LinRespSpec	0.000385	OK
Story11	SDINX	LinRespSpec	0.000425	OK
Story10	SDINX	LinRespSpec	0.000296	OK
Story9	SDINX	LinRespSpec	0.00053	OK
Story8	SDINX	LinRespSpec	0.076645	REVISAR DERIVA
Story7	SDINX	LinRespSpec	0.002673	OK
Story6	SDINX	LinRespSpec	0.00427	OK
Story5	SDINX	LinRespSpec	0.005711	OK
Story4	SDINX	LinRespSpec	0.006896	OK
Story3	SDINX	LinRespSpec	0.007751	OK
Story2	SDINX	LinRespSpec	0.008072	OK
Story1	SDINX	LinRespSpec	0.005972	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 46. Derivas "X" aislado 7mo piso.

Derivas "X" Aislado piso 7				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "X"	
			m	
Story15	SDINX	LinRespSpec	0.00013	OK
Story14	SDINX	LinRespSpec	0.000203	OK
Story13	SDINX	LinRespSpec	0.000283	OK
Story12	SDINX	LinRespSpec	0.000360	OK
Story11	SDINX	LinRespSpec	0.000427	OK
Story10	SDINX	LinRespSpec	0.000452	OK
Story9	SDINX	LinRespSpec	0.000318	OK
Story8	SDINX	LinRespSpec	0.000484	OK
Story7	SDINX	LinRespSpec	0.069144	REVISAR DERIVA
Story6	SDINX	LinRespSpec	0.002507	OK
Story5	SDINX	LinRespSpec	0.004039	OK
Story4	SDINX	LinRespSpec	0.005367	OK
Story3	SDINX	LinRespSpec	0.006363	OK
Story2	SDINX	LinRespSpec	0.006837	OK
Story1	SDINX	LinRespSpec	0.005147	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 47. Derivas "Y" aislado 9no piso.

Derivas "Y" Aislado piso 9				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "Y"	
			m	
Story15	SDINY	LinRespSpec	0.00013	OK
Story14	SDINY	LinRespSpec	0.000228	OK
Story13	SDINY	LinRespSpec	0.000328	OK
Story12	SDINY	LinRespSpec	0.000385	OK
Story11	SDINY	LinRespSpec	0.000264	OK
Story10	SDINY	LinRespSpec	0.000593	OK
Story9	SDINY	LinRespSpec	0.084704	REVISAR DERIVA
Story8	SDINY	LinRespSpec	0.002695	OK
Story7	SDINY	LinRespSpec	0.004234	OK
Story6	SDINY	LinRespSpec	0.005653	OK
Story5	SDINY	LinRespSpec	0.006865	OK
Story4	SDINY	LinRespSpec	0.00784	OK
Story3	SDINY	LinRespSpec	0.00784	OK
Story2	SDINY	LinRespSpec	0.008686	OK
Story1	SDINY	LinRespSpec	0.006351	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 48. Derivas "Y" aislado 8vo piso.

Derivas "Y" Aislado piso 8				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "Y"	
			m	
Story15	SDINY	LinRespSpec	0.000128	OK
Story14	SDINY	LinRespSpec	0.000212	OK
Story13	SDINY	LinRespSpec	0.000303	OK
Story12	SDINY	LinRespSpec	0.000385	OK
Story11	SDINY	LinRespSpec	0.000425	OK
Story10	SDINY	LinRespSpec	0.000296	OK
Story9	SDINY	LinRespSpec	0.000529	OK
Story8	SDINY	LinRespSpec	0.076655	REVISAR DERIVA
Story7	SDINY	LinRespSpec	0.002682	OK
Story6	SDINY	LinRespSpec	0.004278	OK
Story5	SDINY	LinRespSpec	0.005716	OK
Story4	SDINY	LinRespSpec	0.006899	OK
Story3	SDINY	LinRespSpec	0.00775	OK
Story2	SDINY	LinRespSpec	0.008068	OK
Story1	SDINY	LinRespSpec	0.005969	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Tabla 49: Derivas "Y" aislado 7mo piso.

Derivas "Y" Aislado piso 7				
Nivel	Caso	Caso Tipo	Deriva "Y"	
			m	
Story15	SDINY	LinRespSpec	0.00013	OK
Story14	SDINY	LinRespSpec	0.000203	OK
Story13	SDINY	LinRespSpec	0.000283	OK
Story12	SDINY	LinRespSpec	0.000361	OK
Story11	SDINY	LinRespSpec	0.000427	OK
Story10	SDINY	LinRespSpec	0.000452	OK
Story9	SDINY	LinRespSpec	0.000318	OK
Story8	SDINY	LinRespSpec	0.000483	OK
Story7	SDINY	LinRespSpec	0.069220	REVISAR DERIVA
Story6	SDINY	LinRespSpec	0.002448	OK
Story5	SDINY	LinRespSpec	0.003981	OK
Story4	SDINY	LinRespSpec	0.005343	OK
Story3	SDINY	LinRespSpec	0.006362	OK
Story2	SDINY	LinRespSpec	0.006822	OK
Story1	SDINY	LinRespSpec	0.005117	OK

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

CAPITULO VI.
COMPARACIÓN DE RESULTADOS

CAPÍTULO VI: Comparación de resultados.

1. Periodos

Se puede observar que los periodos aumentan al utilizar el sistema de aislación, esto debido a que el último nivel actúa como un freno de masa que hace que la amplitud del movimiento sea mayor, por lo tanto, aumenta el periodo de oscilación de la estructura.

Tabla 50. Periodos de la estructura convencional vs aislada.

Periodos		
Modal	Convencional	Aislado
1	1.41	3.209
2	1.41	3.209
3	1.244	2.94
4	0.455	0.488
5	0.454	0.488
6	0.397	0.439
7	0.246	0.375
8	0.246	0.374
9	0.222	0.308
10	0.163	0.158
11	0.163	0.158
12	0.148	0.152

56%

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

2. Frecuencias

Como se muestra en la siguiente tabla, el comportamiento de la frecuencia es inversamente proporcional al periodo, así entonces, ésta disminuye al aislar un piso superior.

Tabla 51. Frecuencias de la estructura convencional vs aislada.

Frecuencias		
Modal	Convencional	Aislado
1	0.709	0.312
2	0.71	0.312
3	0.805	0.34
4	2.199	2.051
5	2.201	2.051
6	2.523	2.277
7	4.073	2.667
8	4.074	2.671
9	4.517	3.245
10	6.13	6.328
11	6.131	6.329
12	6.768	6.599

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

3. Masa participativa

Puede observarse que las participaciones en masa modal de los dos segundos modos en traslación para cada dirección contribuyen en más del 90% de la masa del edificio para el convencional y en los segundos modos para el aislado; es notable la gran participación del primer modo con un valor superior al 59 % de la masa total, en el edificio aislado. Se nota que incluyendo los 30 modos en la respuesta se llega al 100 % de la masa de la estructura.

Tabla 52. Comparación de masa participativa modal.

Porcentaje de masa participativa		
Modal	Convencional	Aislado
1	0	0.5914
2	8.94E-01	0
3	0	0
4	0	0
5	8.01E-02	0.3464
6	0	0
7	0	0
8	0.0153	0.0001
9	0	0
10	0	0
11	0.0052	0
12	0	0.0423
	0.9946	0.9802

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

4. Desplazamientos

Se puede observar que los desplazamientos del edificio con sistema de aislación disminuyen hasta en un 70% de los desplazamientos de la estructura convencional. Y en promedio se presenta una disminución que va desde un 48.8%.

Tabla 53. Comparación de desplazamientos "X" del edificio convencional vs aislado.

Desplazamientos Max. "X"			Disminución
Nivel	Convencional	Aislado	
15	0.32882	0.18127	44.87%
14	0.32267	0.18091	43.93%
13	0.31459	0.18035	42.67%
12	0.30443	0.17955	41.02%
11	0.29226	0.17854	38.91%
10	0.27823	0.17733	36.27%
9	0.26247	0.17604	32.93%
8	0.24514	0.17512	28.56%
7	0.22637	0.09442	58.29%
6	0.20629	0.09138	55.70%
5	0.18502	0.08430	54.43%
4	0.16261	0.07286	55.19%
3	0.13894	0.05756	58.57%
2	0.11312	0.03933	65.23%
1	0.08088	0.01971	75.63%

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

En el eje "Y" se torna satisfactorio el resultado ya que, en promedio, la disminución de los desplazamientos de la estructura aislada con respecto a la estructura convencional, es de un 48.8%, teniendo así el edificio unas deformaciones bastante menores.

Tabla 54. Comparación de desplazamientos “Y” del edificio convencional vs aislado.

Desplazamientos Max. “Y”			
Nivel	Convencional	Aislado	Disminución
15	0.32916	0.18127	44.93%
14	0.32296	0.18091	43.98%
13	0.31483	0.18035	42.72%
12	0.30461	0.17955	41.06%
11	0.29239	0.17854	38.94%
10	0.27831	0.17733	36.28%
9	0.26251	0.17604	32.94%
8	0.24513	0.17512	28.56%
7	0.22633	0.09442	58.28%
6	0.20622	0.09138	55.69%
5	0.18491	0.08430	54.41%
4	0.16249	0.07286	55.16%
3	0.13881	0.05756	58.53%
2	0.11300	0.03933	65.19%
1	0.08079	0.01971	75.61%

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

5. Derivas

Se observa una importante disminución en las derivas de entrepiso, entre el edificio convencional y el edificio aislado, con una disminución de hasta el 98% y un promedio del 100%. Entre el octavo y séptimo nivel se muestra un porcentaje que excede el 231% esto debido a que es el lugar dónde se encuentran ubicados los aisladores.

Tabla 55. Comparación de derivas "X", convencional vs aislado.

Derivas "X"			Colapso	Comparación	Derivas de Servicio	
Nivel	Convencional	Aislado	Límite: 0.03	%		Límite: 0.004
15	0.0067	0.00013	Ok	98%	4.96E-05	Ok
14	0.0089	0.000203	Ok	98%	7.82667E-05	Ok
13	0.0112	0.000283	Ok	97%	0.00011	Ok
12	0.0134	0.00036	Ok	97%	0.0001412	Ok
11	0.0153	0.000427	Ok	97%	0.000168133	Ok
10	0.017	0.000452	Ok	97%	0.0001788	Ok
9	0.0185	0.000318	Ok	98%	0.0001252	Ok
8	0.0198	0.000484	Ok	98%	0.0001928	Ok
7	0.0209	0.069144	Revisar Deriva	-231%	0.012540667	Revisar Deriva
6	0.0219	0.002507	Ok	89%	0.000980933	Ok
5	0.0228	0.004039	Ok	82%	0.00159	Ok
4	0.0239	0.005367	Ok	78%	0.0021288	Ok
3	0.026	0.006363	Ok	76%	0.0025376	Ok
2	0.0327	0.006837	Ok	79%	0.0027328	Ok
1	0.0811	0.005147	Ok	94%	0.0020586	Ok
				100%		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Por su parte en el eje "Y", se tiene una disminución en promedio del 98%, lo que indica que la estructura con sistema de aislación ha experimentado apenas un 2 % de la deriva del sistema convencional.

Tabla 56. Comparación de derivas "Y", convencional vs aislado.

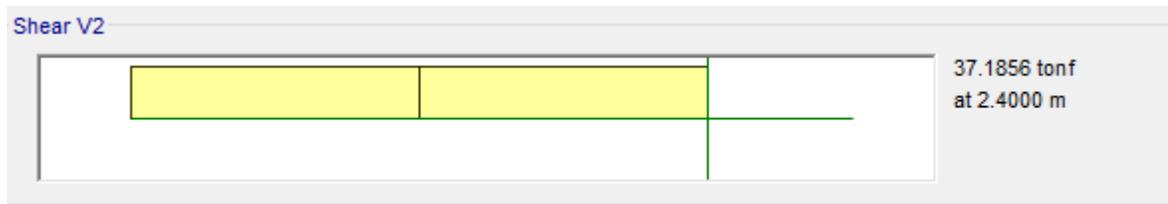
Derivas "Y"			Colapso	Comparación	Derivas de Servicio	
Nivel	Convencional	Aislado	Límite: 0.03	%		Límite: 0.004
15	0.0068	0.00013	Ok	98%	4.97333E-05	Ok
14	0.0089	0.000204	Ok	98%	7.84E-05	Ok
13	0.0113	0.000284	Ok	97%	0.000110133	Ok
12	0.0134	0.000361	Ok	97%	0.000141333	Ok
11	0.0154	0.000428	Ok	97%	0.000168133	Ok
10	0.0171	0.000454	Ok	97%	0.0001788	Ok
9	0.0185	0.000324	Ok	98%	0.0001252	Ok
8	0.0198	0.000473	Ok	98%	0.0001928	Ok
7	0.0209	0.065423	Revisar Deriva	-213%	0.0125732	Revisar Deriva
6	0.0219	0.003981	Ok	82%	0.0009792	Ok
5	0.0228	0.005343	Ok	77%	0.001592267	Ok
4	0.0239	0.006362	Ok	73%	0.002137067	Ok
3	0.026	0.006362	Ok	76%	0.001428267	Ok
2	0.0327	0.005117	Ok	84%	0.003844533	Ok
1	0.081	0.00386	Ok	95%	0.0020466	Ok
				98%		

Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

6. Demanda en columna típica

Al realizar una comparación entre una columna (col 62, ver Ilustración 75) del edificio convencional y esta misma columna en el edificio con el sistema de aislación; como se muestra en las ilustraciones posteriores, se ve una reducción en la demanda de cortante máximo de 37.18 toneladas a 5.81 toneladas, lo que representa una disminución de un 84.37% aproximadamente.

Ilustración 45. Demanda de cortante, col. típica, estructura convencional.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018

Ilustración 46. Demanda de cortante, col. típica, estructura aislada.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

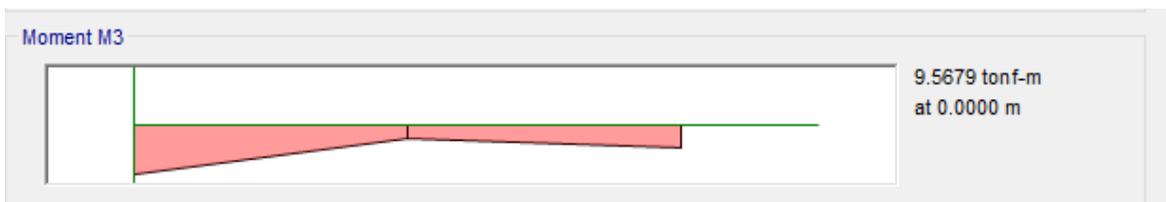
En cuanto al momento, se tiene una demanda 47.94 toneladas del edificio convencional versus 9.56 toneladas del aislado, lo que representa el 80.05% de disminución aproximadamente.

Ilustración 47. Demanda de momento, col. típica, estructura convencional.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Ilustración 48. Demanda de momento, col. típica, estructura aislada.

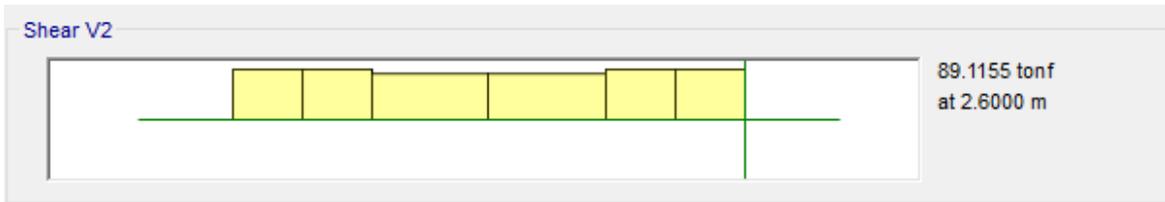


Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

7. Demanda en viga típica

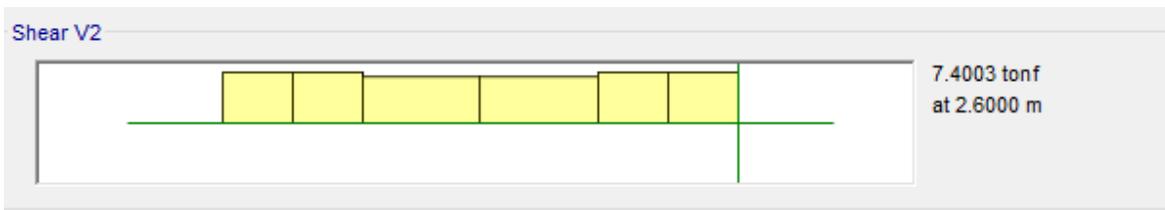
Se realiza la misma comparación entre una viga (viga 82, ver ilustración 52) del edificio convencional y esta misma viga en el edificio con el sistema de aislación; como se muestra en las ilustraciones siguientes, se ve una reducción en la demanda de cortante máximo de 89.11 toneladas a 7.4 toneladas, lo que representa una disminución de un 91.69% aproximadamente.

Ilustración 49. Demanda de cortante, viga típica, estructura convencional.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Ilustración 50. Demanda de cortante, viga típica, estructura aislada.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Con respecto al momento, se tiene una demanda 98.81 toneladas del edificio convencional versus 8.20 toneladas del aislado, lo que representa un 91.70% de disminución aproximadamente.

Ilustración 51. Demanda de momento, viga típica, estructura convencional.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

Ilustración 52. Demanda de momento, viga típica, estructura aislada.



Fuente: elaboración propia. Programa ETABS 2018.

CAPITULO VII.
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CAPITULO VII: Conclusiones y Recomendaciones

1. Conclusiones

El sistema de aislación de pisos superiores posee bondades que ayudan a la estructura a sufrir menos deformaciones, con ello se preserva la integridad de los elementos estructurales que la conforman y su vida útil.

Se realizó un proceso iterativo de aislación en el edificio para observar el mejor comportamiento de los parámetros de cortante, desplazamiento y derivas con respecto al edificio convencional, presentando el mejor comportamiento la aislación en el nivel 7. Las demás aislaciones en los pisos 9 y 8 cumplen lo deseado que es reducir cortantes, desplazamientos y derivas, pero de todos los mejores resultados los presenta el nivel 7.

Los cálculos realizados, brindan los resultados siguientes:

La estructura convencional presenta un periodo de 1.41 segundos, este periodo se ve aumentado al aislar el séptimo nivel, este nivel al tener un grado de libertad alto sobre la horizontal, queda estático al ser abordado por un evento sísmico, cuando el aislador llega a su desplazamiento límite (ver ilustración 44), la masa del último piso al séptimo frena al resto de los pisos inferiores, por lo tanto, la amplitud de oscilación se ve disminuida. Es conocido que el periodo, al ser mayor, la estructura incursiona en rangos más de aceleración (ver Ilustración 58), en este caso el aumento del periodo de la estructura aislada con respecto al de la estructura convencional es de un (ver Tabla 50).

El comportamiento de la frecuencia al ser inversamente proporcional al periodo, ésta disminuye en el edificio con sistema de aislación (ver Tabla 51), lo que se presta una vibración menor, la cual característicamente presenta menos afectaciones a las estructuras de mediana y gran altura.

El análisis dinámico del edificio convencional brindó los desplazamientos de éste al ser golpeado por la fuerza sísmica, estos desplazamientos alcanzaron un valor, en el último nivel, de 0.32 m, aproximadamente 32 centímetros, al contrastar este valor

con el desplazamiento máximo obtenido del análisis dinámico de la estructura con el sistema de aislación, se tiene una diferencia de 14 cm de desplazamiento, aproximadamente un 44% de disminución.

Los requerimientos de la normativa nacional disponen un límite de deformación entre cada nivel, en el caso del edificio convencional este límite es excedido (ver Tabla 14) para la condición de servicio y de hecho para la condición de colapso, también; por su parte esta condición se cumple ampliamente en el caso del edificio con sistema de aislación, la disminución de las derivas del edificio aislado con respecto al edificio convencional es de aproximadamente un 98% en el último nivel para el eje "X" y de aproximadamente un 98% para el eje "Y". Entre todos los niveles el promedio de la disminución se presentó en un 100% para el eje "X" y de un 98% para el eje "Y" (ver Tabla 55 y Tabla 56). Este dato muestra una favorable diferencia entre el sistema de aislación de pisos superiores y el sistema convencional.

Tomando como referencia los resultados obtenidos, al haber una menor distorsión de los entrepisos, los elementos estructurales, como las vigas y las columnas, mantienen un significativo porcentaje de su capacidad portante. Con esta importante disminución en los desplazamientos, en las distorsiones de los entrepisos y en las demandas de los elementos se puede afirmar que el sistema tiene una alta eficiencia al preservar la vida de las edificaciones. Este sistema representa una ayuda significativa a estructuras de mediana altura, se hipotetiza que probablemente en estructuras de baja o gran altura el sistema reduzca o incluso pierda su efectividad. Como bien es sabido las afectaciones que tengan las edificaciones con respecto de su altura esta proporcionalmente ligado al dominio de las frecuencias. Las frecuencias altas tienden a afectar en mayor número a estructuras de baja altura y las frecuencias bajas tienden a afectar a estructuras de mediana a gran altura.

2. Recomendaciones

En base a los resultados obtenidos en la presente investigación monográfica se pone a consideración del lector y la comunidad educativa las siguientes recomendaciones, cuya implementación son vitales para comprender y realizar un mejor estudio sobre este tema.

- Podemos destacar que se ha expuesto teóricamente la hipótesis de un sistema de freno de masa (TMD), lo cual se comprueba en las conclusiones, pero para aplicar esta hipótesis a futuras estructuras se debe tomar en cuenta el periodo de la parte superior eh inferior de la estructura aislada para así evitar el proceso iterativo de aislación en diferentes niveles.
- Analizar con mayor detenimiento el proceso de análisis y diseño de los aisladores y la ubicación de ellos con respecto a la geometría de la estructura, ya que se podría reducir el número de aisladores a utilizar.
- Se invita a incorporar un sistema de aislación combinada de aislación basal y amortiguadores ya que presentan resultados bastante satisfactorios y es un sistema bastante utilizado en otros países.
- Apegarse a las normativas que incluyen el análisis y diseños de este tipo de sistemas, como la elaborada por la sociedad americana de ingenieros civiles ASCE 7-10

BIBLIOGRAFIA

- Anajafi, H. y. (2018). *Comparacion del rendimiento sismico de una tecnica de aislamiento de masa parcial con TMD convencional y sistema de aislamiento de base bajo excitaciones de banda ancha y banda estrecha.*
- ASCE, A. s.-1. (2017). *Minimum design loads for buildings and other structures.*
- Basualdo, R. S. (s.f.). *Fundamentos Del Análisis Dinámico De Estructuras.* Lima, Perú: CISMID-FIC-UNI.
- Carlos Genatios, M. L. (2016). *Introducción Al Uso De Aisladores Y Disipadores En Estructuras.* Caracas: Corporación Andina de Fomento .
- Carlos Pichardo, F. M. (2015). *Elaboración De Un Software Para El Diseño Los Aisladores Sísmicos.* Managua, Nicaragua.
- Chávez., S. I. (s.f.). *Análisis Sísmico Moderno Ética Aplicada.* . México.
- Chopra, A. K. (2014). *Dinámica de estructuras.* Naucalpan de Juárez, México: Pearson Education, Inc.
- Engineers, A. S. (2010). *Minimum Design Loads for Building and Other Structures.* Reston, Virginia: American Society of Civil Engineers.
- Housner, G. B. (1997). Control estructural: pasado, presente y futuro. *Revista de mecanica de ingenieria.*
- Katsuhide Murakami, H. K. (1998). *Diseño de un edificio con sistema de aislamiento sismico en la mitad del piso.*
- Liu, M. C. (2008). Vibracion inducida por el viento de un edificio de gran altura con un amortiguamiento de masa sintonizada que incluye la interaccion suelo-estructura. *Revista de ingenieria eolica y aerodinamica industrial.*
- Mageba-Group. (2020). *Aislador con Núcleo de Plomo LASTO®LRB.* New York, NY: Mageba LLC.
- Mallin, J. (s.f.). *The great Managua Earthquake.* Managua: INETER.
- MTI, D. G. (2007). *Reglamento Nacional De La Construcción.* Managua: Ministerio de Transporte e Infraestructura.
- Óscar M. González Cuevas, F. R.-V. (2005). *Aspectos Fundamentales Del Concreto Reforzado.* México, DF: Limusa.
- Reboredo, A. B. (1996). *El Análisis Dinámico De Construcciones Sismo Resistentes, Conceptos Básicos Y Limitaciones.*
- Reggio, A. y. (2015). *Diseño sismico optimo basado en energia de Tuned Mass Damper(TMD), convencional implementado a travez de pisos aislados.*

- Rotondo, p. L. (2013). *Base Teorica de aislamiento sismico*. Perú: Universidad de Berkeley – California.
- Rugel, G. E. (2020). *Metodología Alternativa Para Diseño De Sistemas De Aislación Sísmica Basado En Optimización De Desempeño Sísmico, Tesis Magister*. Santiago, Chile: Gabriel Eduardo Gómez Rugel. Universidad De Chile.
- Ryan, K. y. (2010). *Analisis y diseño de sistemas de aislamiento entre pisos con dispositivos no lineales*.
- Sueoka, T. T. (2004). La aplicacion del diseño de control de respuesta utilizando un sistema de aislamiento de pisos intermedios en edificios de gran altura. *13va. Conferencia mundial de ingenieria sismica*.
- Tan, P. Z. (2008). Estudio optimo de diseño y mecanismo de control sobre sistema de aislamiento de historias. *14va conferencia mundial de ingenieria sismica*.
- Wang, S. C. (2012). *Comportamiento de una estructura de edificio probado con sistemas de aislamiento de piso medio y base*.
- Yasuhiro Tsuneki, S. T. (2009). *Sistema estructural aislado de piso medio de edificio de gran altura*.
- Zhang, R. y. (2017). *Validacion del rendimiento del aislamiento entre historias mediante la tabla de shake simulacion hibrida en tiempo real*.

GLOSARIO

Aislador. Elemento estructural del sistema de aislación que es horizontalmente flexible y verticalmente rígido y que permite grandes deformaciones laterales bajo sollicitación sísmica.

ASCE 7-10. Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures. Cargas Mínimas de Diseño para Edificios y Otras Estructuras.

ASCE. American Society of Civil Engineers. Sociedad Americana de Ingenieros Civiles.

Col. Abreviación de “columna”.

CQC. Complete Quadratic Combination. Método de la combinación cuadrática completa

Distorsión. Se conoce como distorsión de entrepiso al cociente entre la diferencia de desplazamientos laterales de dos niveles consecutivos de la estructura entre la altura de dicho entrepiso.

Ductilidad. Es la propiedad que tiene un material de soportar grandes deformaciones sin fallar bajo altos esfuerzos de tensión.

Elastomérico. Son aquellos tipos de compuestos que muestran un comportamiento elástico. La principal característica de los elastómeros es su alta elongación o elasticidad y flexibilidad.

ETABS. Integrated Building Design Software. Software integrado para diseño de edificaciones.

HDR. High Damping Rubber. Aislador elastomérico de alto amortiguamiento.

Energía Histerética. Energía basada en la ductilidad de los miembros estructurales.

LDR. Low Damping Rubber. Aislador elastomérico de bajo amortiguamiento.

LRB. Lead Rubber Bearing. Aislador elastomérico con núcleo de plomo.

MTI. Ministerio de Transporte e Infraestructura.

RNC – 07. Reglamento Nacional de Construcción, publicado por el Ministerio de Transporte e Infraestructura (MTI) en enero del año 2007 para la República de Nicaragua.

CAPÍTULO VIII: Anexos

Anexo A: Ilustraciones de caracterización

Macro localización de la estructura

Ilustración 53. Macro localización de la estructura.



Fuente: INTUR.

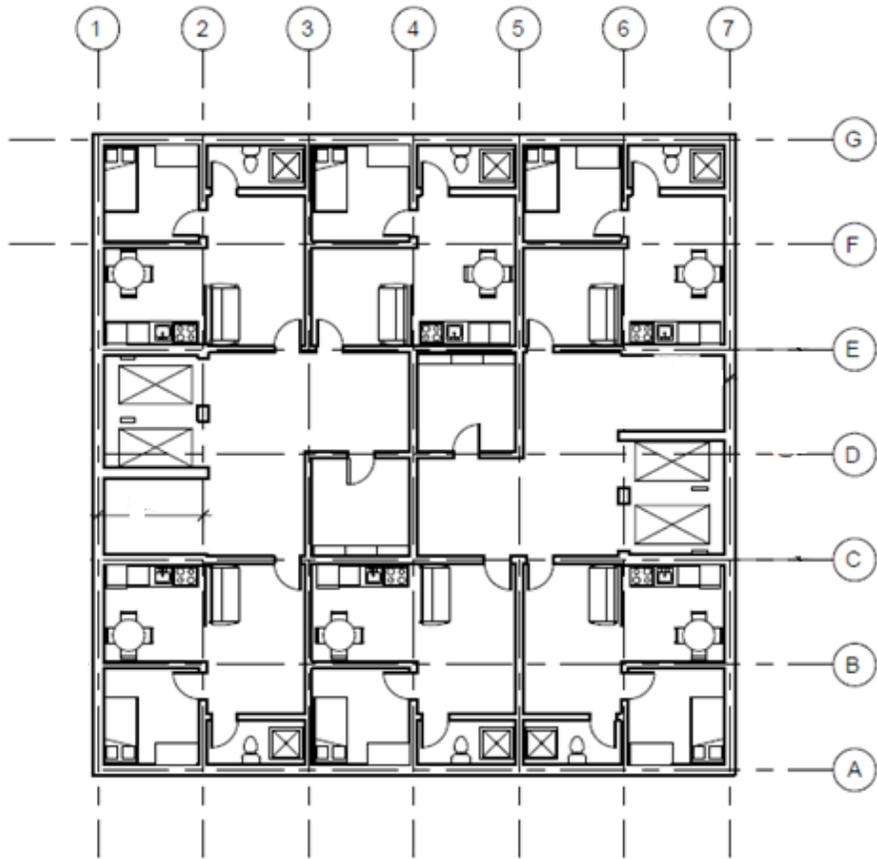
Micro localización de la estructura

Ilustración 54. Micro localización de la estructura.



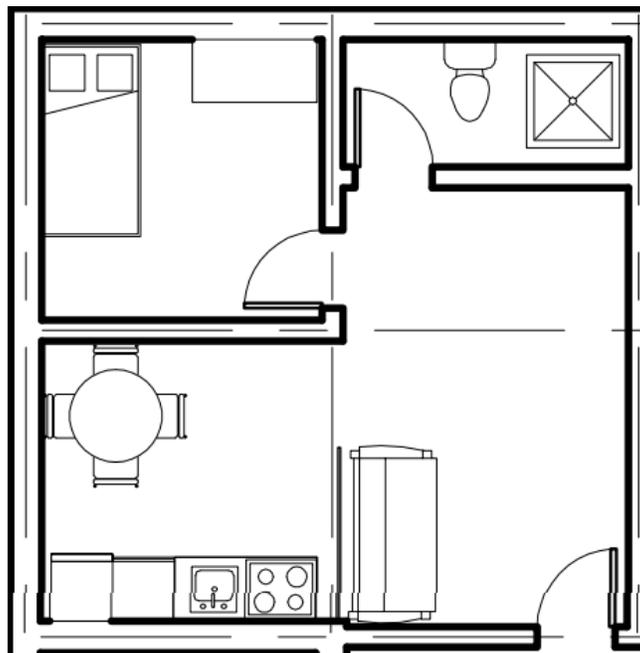
Fuente: Google Maps.

Ilustración 55. Distribución arquitectónica, planta típica.



Fuente: elaboración propia. Programa REVIT

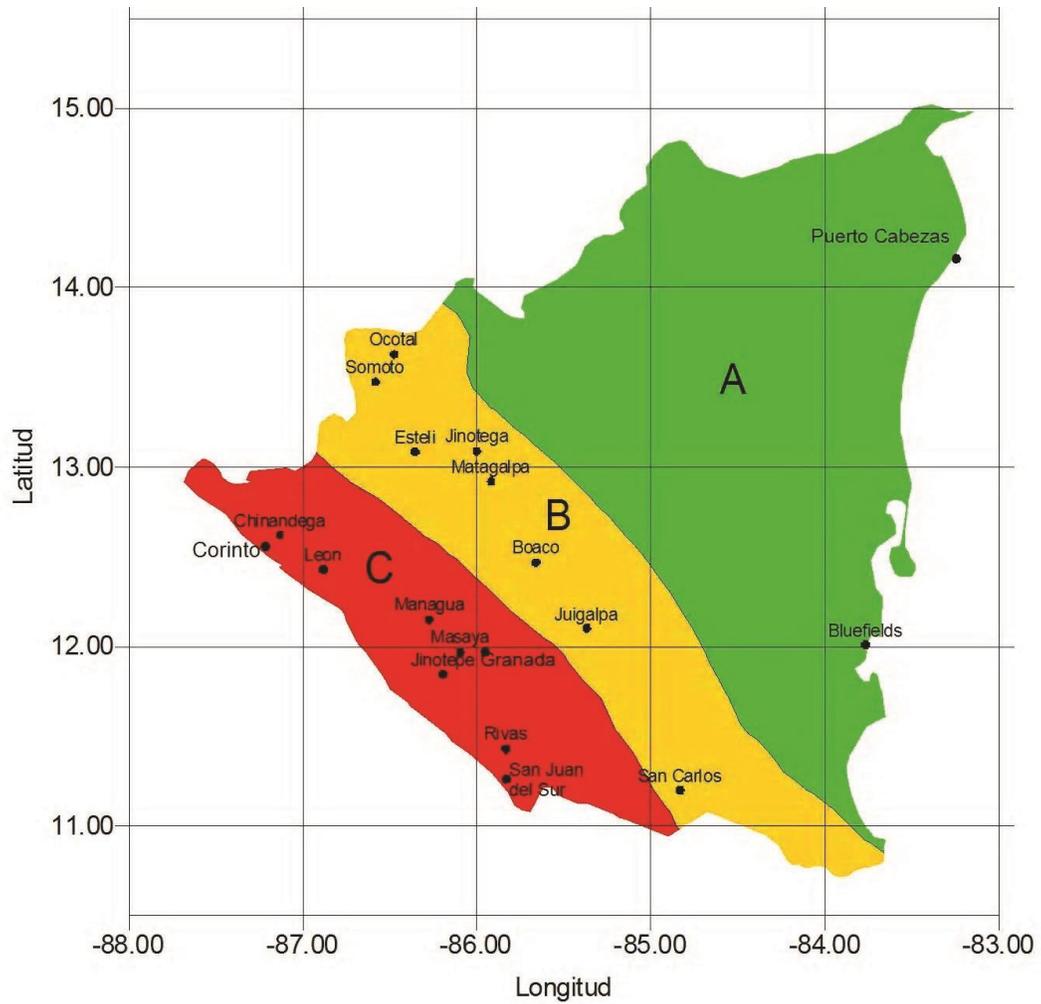
Ilustración 56. Distribución arquitectónica, habitación típica.



Fuente: elaboración propia. Programa REVIT

Anexo B: Ilustraciones y tablas

Ilustración 57. Zonificación sísmica de Nicaragua.



Fuente: RNC-07.

Tabla 57. Coeficiente de isoaceleraciones a_0 .

a_0			
Zona Sísmica	Grupo al que pertenece la estructura		
	A	B	C
A		0.1	0.1
B		0.2	0.2
C		0.3	0.3

Fuente: RNC-07.

Tabla 58. Cargas vivas unitarias mínimas (kg/m²).

Tabla 1. Cargas vivas unitarias mínimas (kg/m²).			
DESTINO	MÁXIMA (CV)	INCIDENTAL (CVR)	Notas
Residencial (casas, apartamentos, cuartos de hoteles, internados de escuelas, cuarteles, cárceles, correccionales)	200	80	-1
Salones de clase: Escuelas primarias	250	150	
Secundaria y universidad	250	200	
Hospitales (salas y cuartos), Asilos, Centros de Salud y Clínicas	200	100	
Salas de Operación	400	150	
Oficinas: Despachos	250	100	-2
Salas de Archivo	500	250	
Bibliotecas: Salones de Lectura	300	150	
Salón de Libros	600	400	

Lugares de Reunión: Salones de Baile, gimnasios, restaurantes, museos y Salas de juegos	400	250	
Auditorios, Cines, Templos: Sillas Fijas	350	250	
Sillas móviles	500	250	
Teatros: Vestíbulos	200	80	
Piso del escenario	700	350	
Graderías y tribunas	500	250	
Lugares de Comunicación para peatones (Pasillos, escaleras, rampas y pasajes de acceso libre al público);	500	250	-3
Estadios y lugares para espectáculo provisto de gradas (desprovisto de bancas o butacas)	500	350	
Laboratorios	250	125	
Comercio: Ligero	350	300	-4
Semi-pesado	450	400	-4
Pesado	550	500	-4
Fábrica y Talleres: Ligero	400	350	-4
Semi-pesado	500	450	-4
Pesado	700	600	-4
Bodegas: Ligero	450	400	-4
Semi-pesado	550	475	-4
Pesado	650	550	-4
Techos de losas con pendiente no mayor de 5%	100	40	-5
Techos de losas con pendiente mayor de 5%	50	20	

Garajes y estacionamientos (para automóviles exclusivamente, altura controlada a 2.40 m)	250	150	-6
Andamios y cimbra para concreto	150	100	
Volados en vía pública (marquesinas, balcones y similares)	400	200	

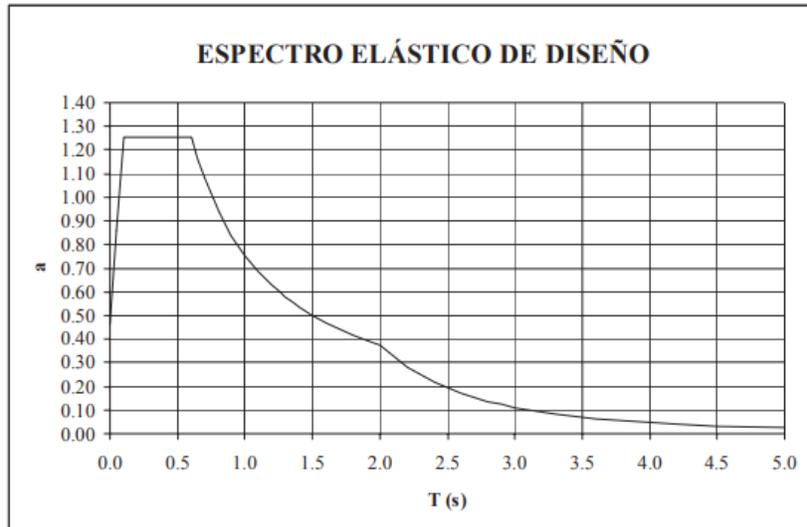
Fuente: RNC-07.

Tabla 59. Factores de amplificación por tipo de suelo.

Tabla 2 Factores de amplificación por tipo de suelo, S.			
Zona Sísmica	Tipo de suelo		
	I	II	III
A	1	1.8	2.4
B	1	1.7	2.2
C	1	1.5	2

Fuente: RNC-07.

Ilustración 58. Espectro elástico.



Espectro elástico de diseño

Fuente: RNC-07.

Ilustración 59. Ecuación del espectro elástico.

$$a = \begin{cases} S \left[a_0 + (d - a_0) \frac{T}{T_a} \right] & \text{si } T < T_a \\ Sd & \text{si } T_a \leq T \leq T_b \\ Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) & \text{si } T_b \leq T \leq T_c \\ Sd \left(\frac{T_b}{T} \right) \left(\frac{T_c}{T} \right)^2 & \text{si } T > T_c \end{cases}$$

en donde

$d = 2.7 a_0$

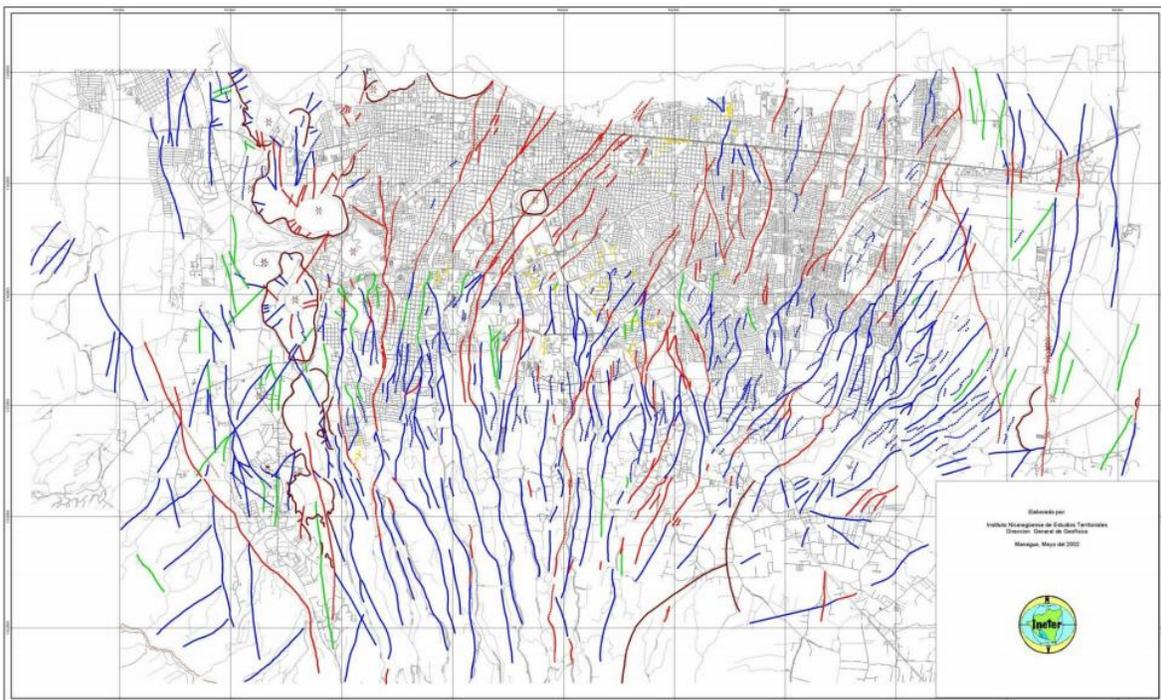
$T_a = 0.1 \text{ s}$

$T_b = 0.6 \text{ s}$

$T_c = 2 \text{ s}$

Fuente: RNC-07.

Ilustración 60. Mapa de fallas geológicas de Managua.



Fuente: INETER.

Ilustración 61. Leyenda de fallas geológicas de Managua.

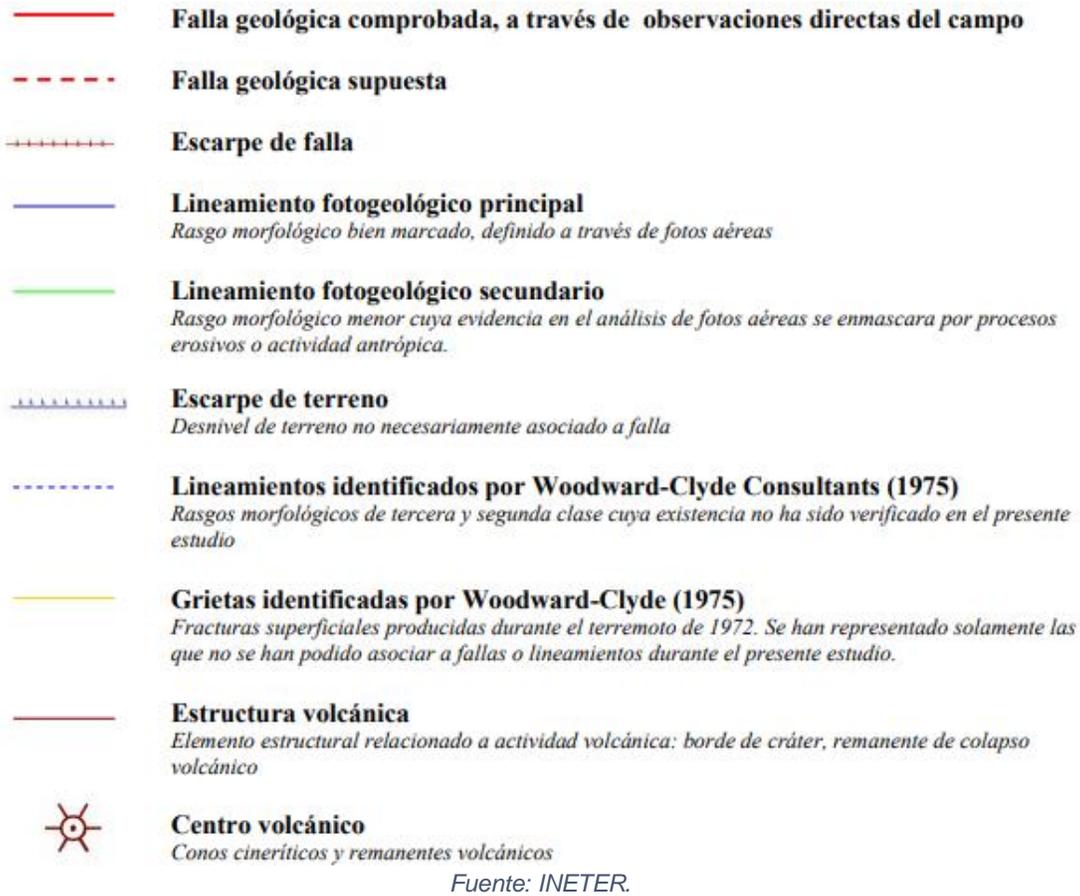
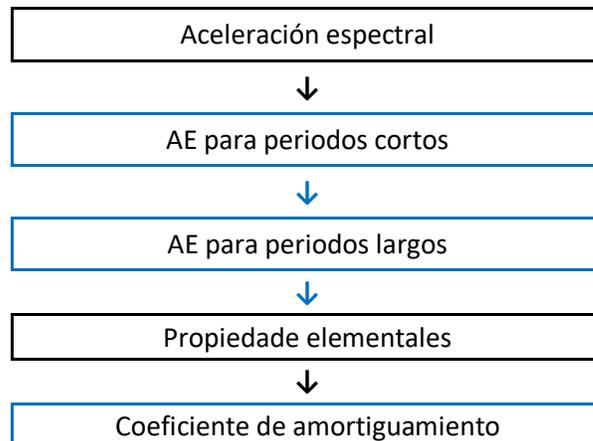
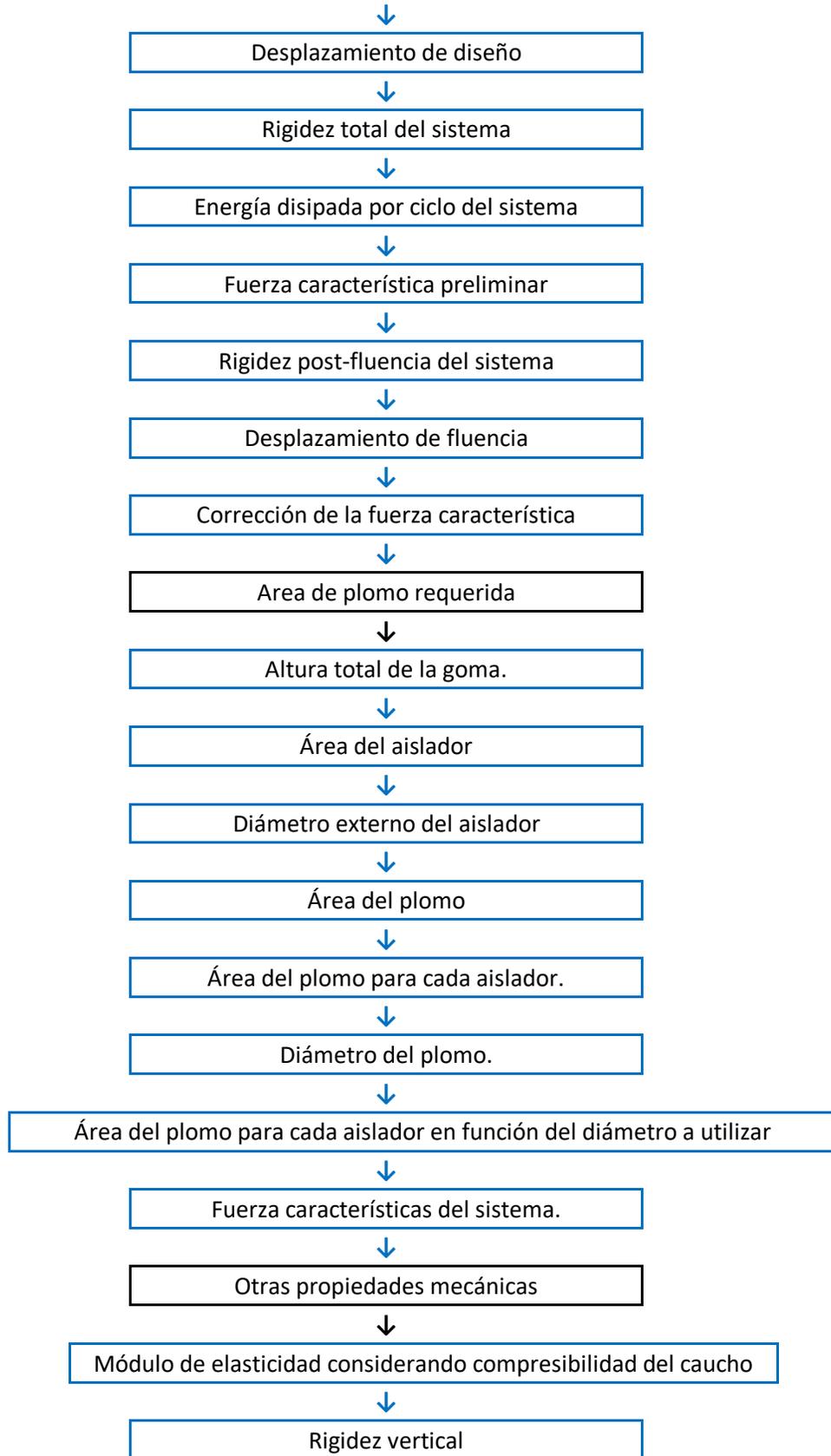
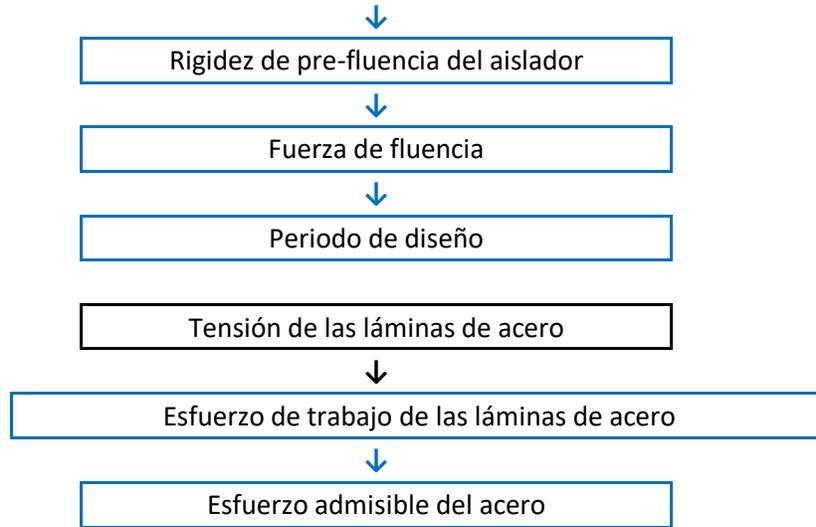


Ilustración 62. Flujograma de cálculo secuencial de las propiedades del aislador.

Flujograma de cálculo secuencial de las propiedades del aislador







Fuente: elaboración propia.

Anexo C: Cálculos manuales

Cálculo manual de las cargas del edificio

Cargas del piso 1 al 15

$$Col. N^{\circ}1 = 64 * 4m * 0.80m * 0.80m * 2.4 \frac{ton}{m^3} = 393.216ton$$

$$Col. N^{\circ}2 \text{ al } 15 = 64 * 3m * 0.80m * 0.80m * 2.4 \frac{ton}{m^3} = 294.912ton$$

$$Vigas = 49 * 3m * 0.60m * 0.40m * 2.4 \frac{ton}{m^3} = 84.672ton$$

$$Losa = 21m * 21m * 0.20m * 2.4 \frac{ton}{m^3} = 211.68ton$$

$$Muro M2 N^{\circ}1 = \frac{3m * 4m * 24 * 150kg/m^2}{1000kg/1ton} = 43.20ton$$

$$Muro M2 N^{\circ}2 \text{ al } 15 = \frac{3m * 3m * 24 * 150kg/m^2}{1000kg/1ton} = 32.40ton$$

Cálculos de las cargas por niveles

$$Piso N^{\circ}2 \text{ al } 15 = 294.912ton + 84.672ton + 211.68ton + 32.40ton = 623.664ton$$

$$Piso N^{\circ}1 = 393.216ton + 84.672ton + 211.68ton + 43.20ton = 732.768ton$$

$$CARGA TOTAL DEL EDIFICIO= 9464.064 Toneladas$$

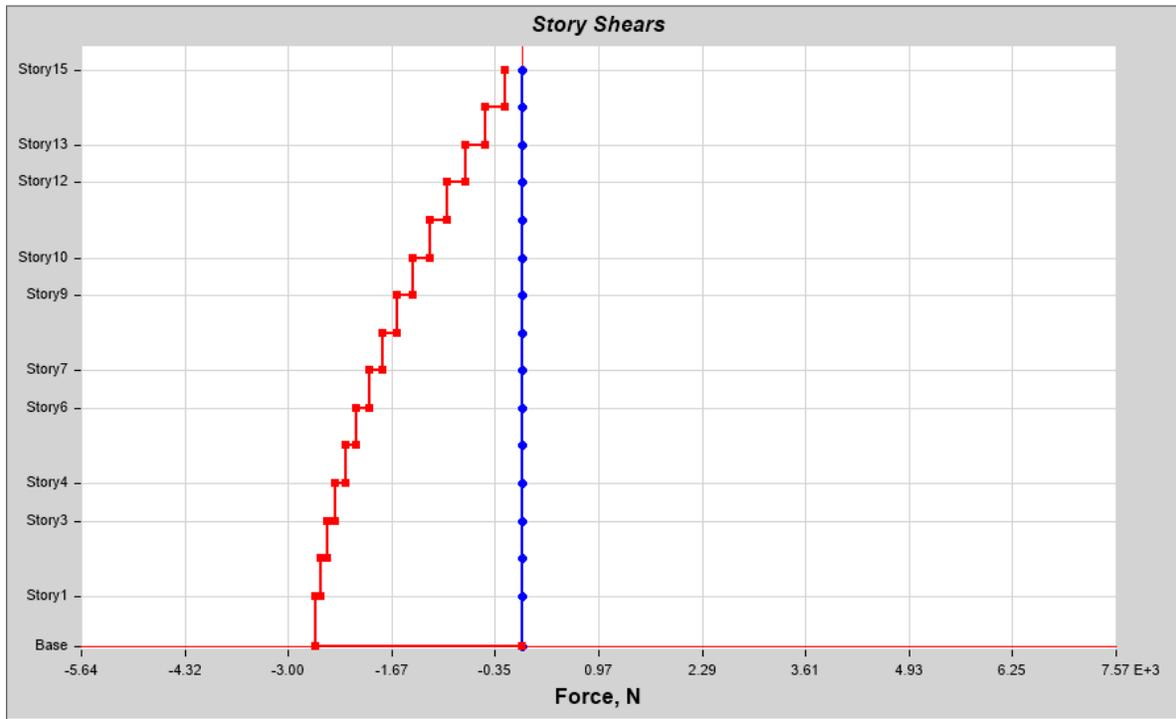
Cálculos de las cargas muertas por nivel

$$CM N^{\circ} 2 \text{ al } 15 = \frac{623.664ton * \frac{1000kg}{1ton}}{21m * 21m} = \frac{1414.204kg}{m^2}$$

$$CM N^{\circ} 1 = \frac{732.768ton * \frac{1000kg}{1ton}}{21m * 21m} = \frac{1661.605kg}{m^2}$$

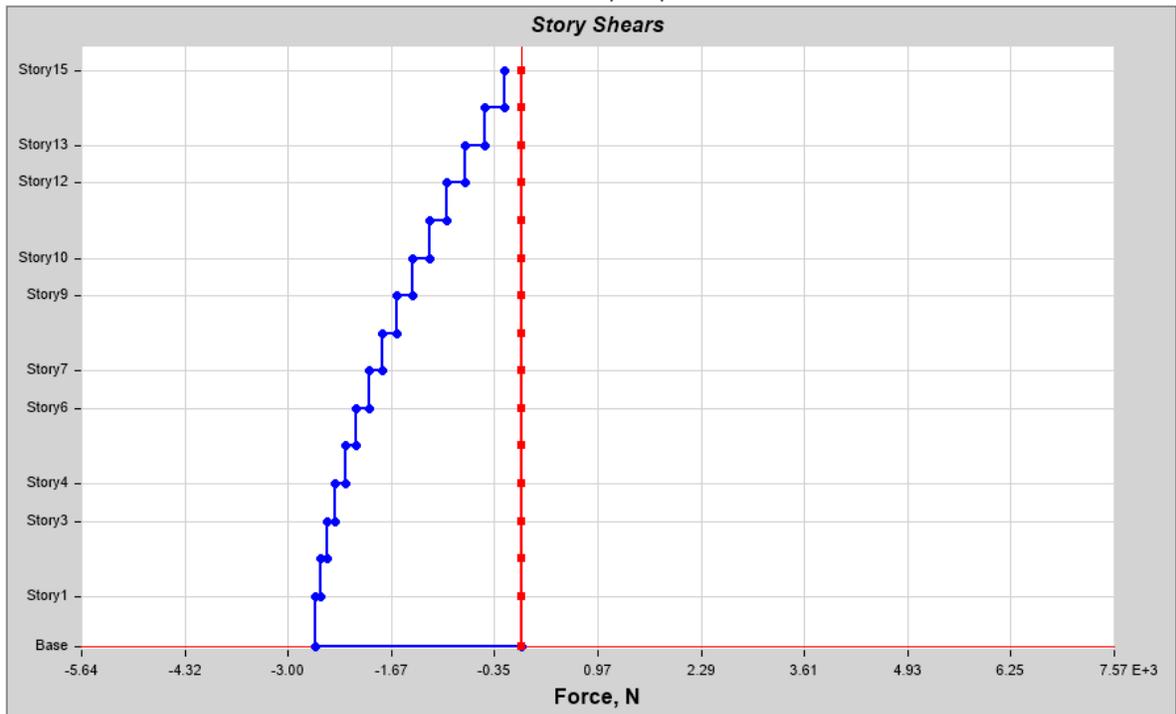
Anexo D: Ilustración de resultados

Ilustración 63. Cortantes de entrepiso para el modo 1, est. conv.



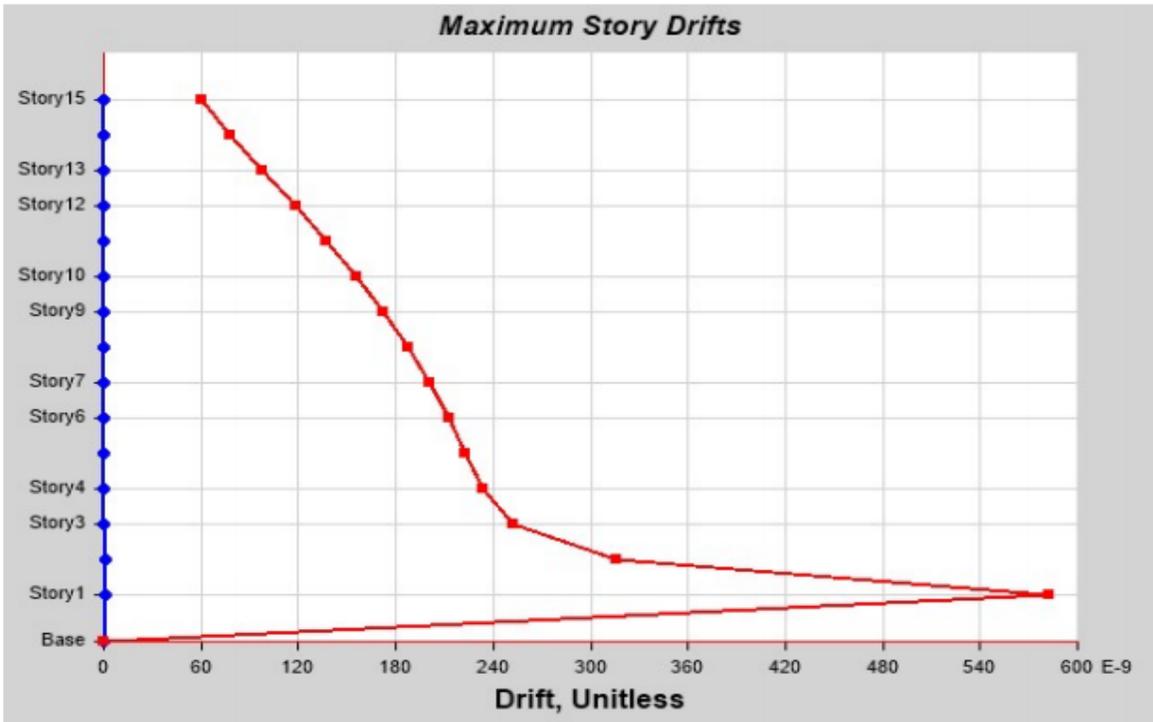
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 64. Cortantes de entrepiso para el modo 2 est. conv.



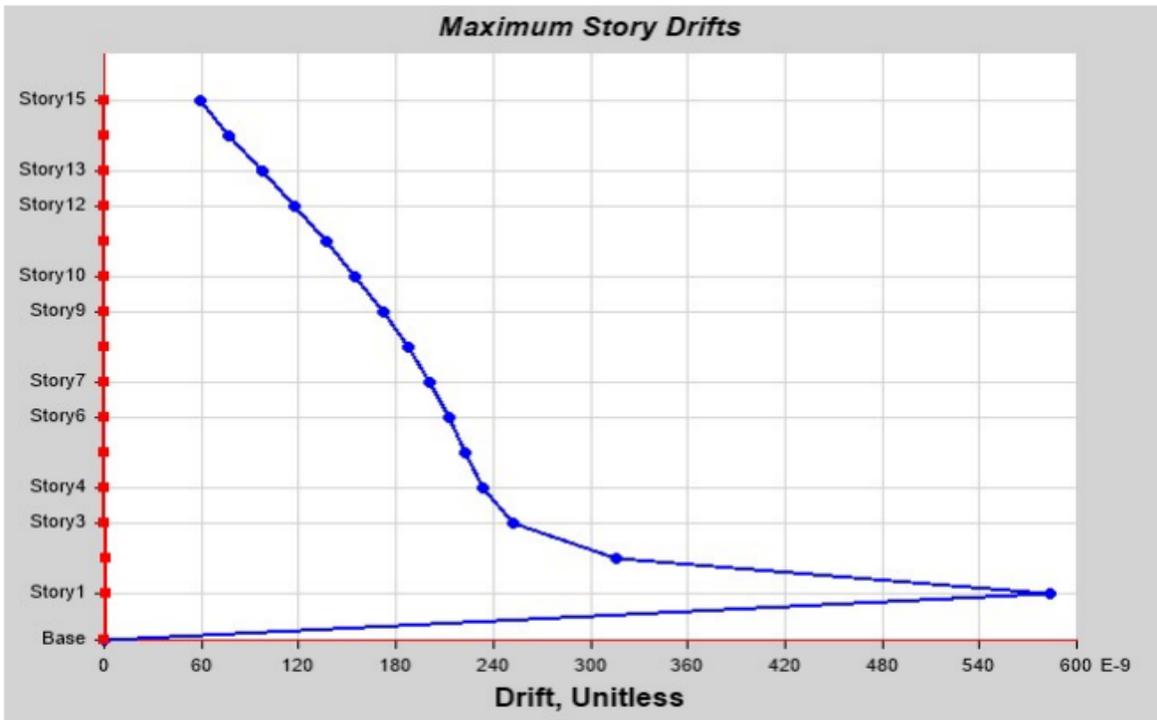
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 65. Derivas máximas eje "X", est. conv.



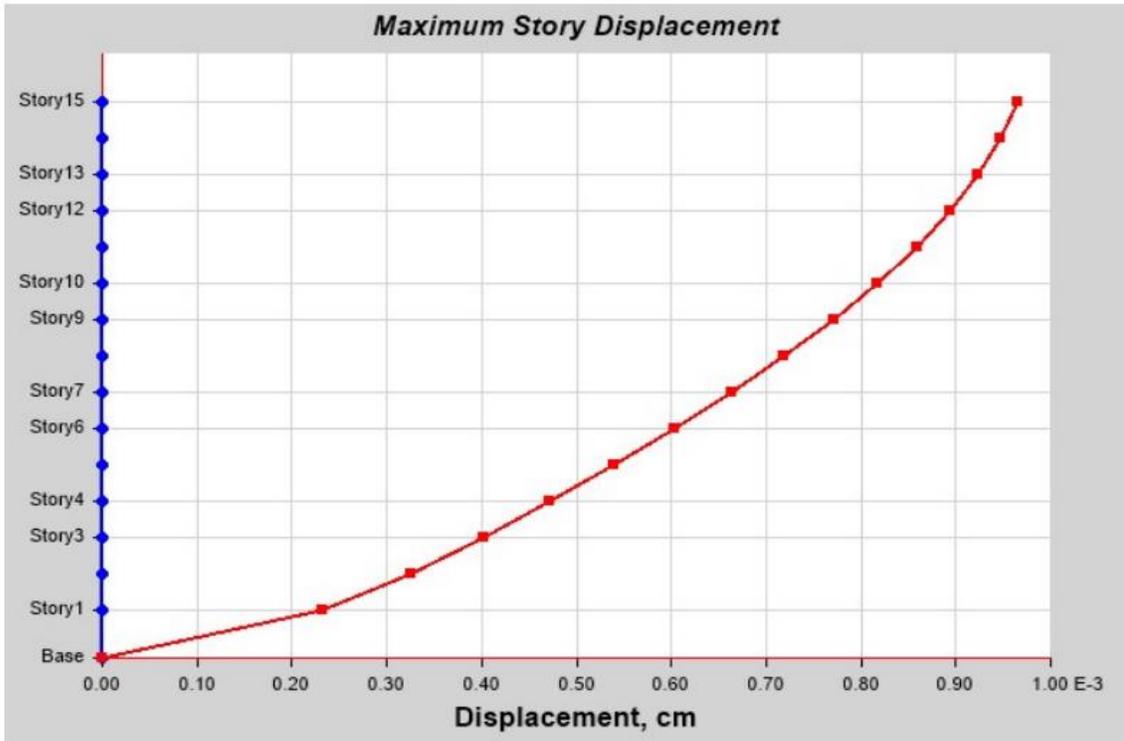
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 66. Derivas máximas eje "Y", est. conv.



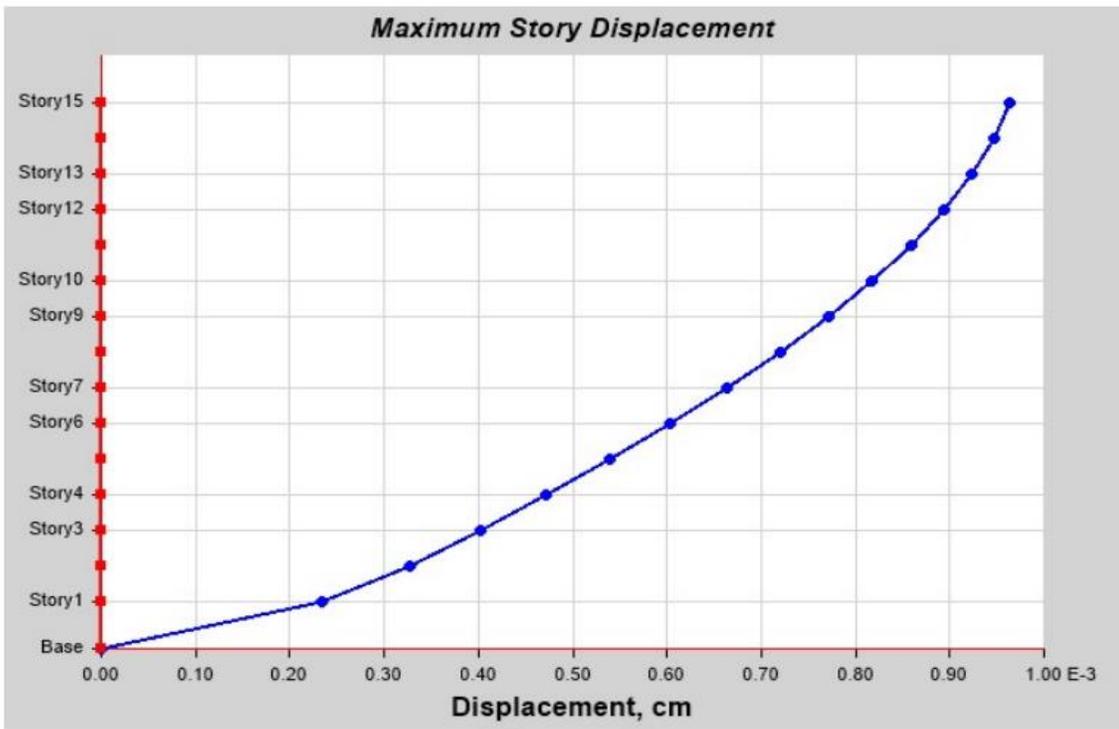
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 67. Desplazamiento máximo de la estructura conv. "X".



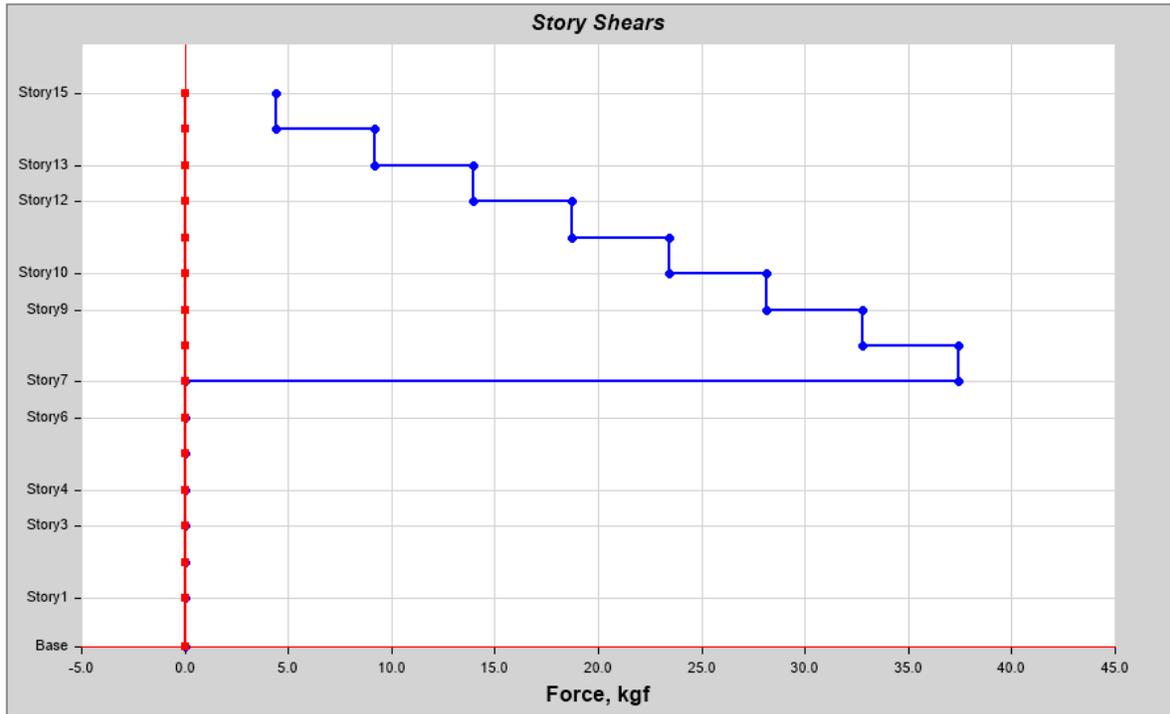
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 68. Desplazamiento máximo de la estructura conv. "Y".



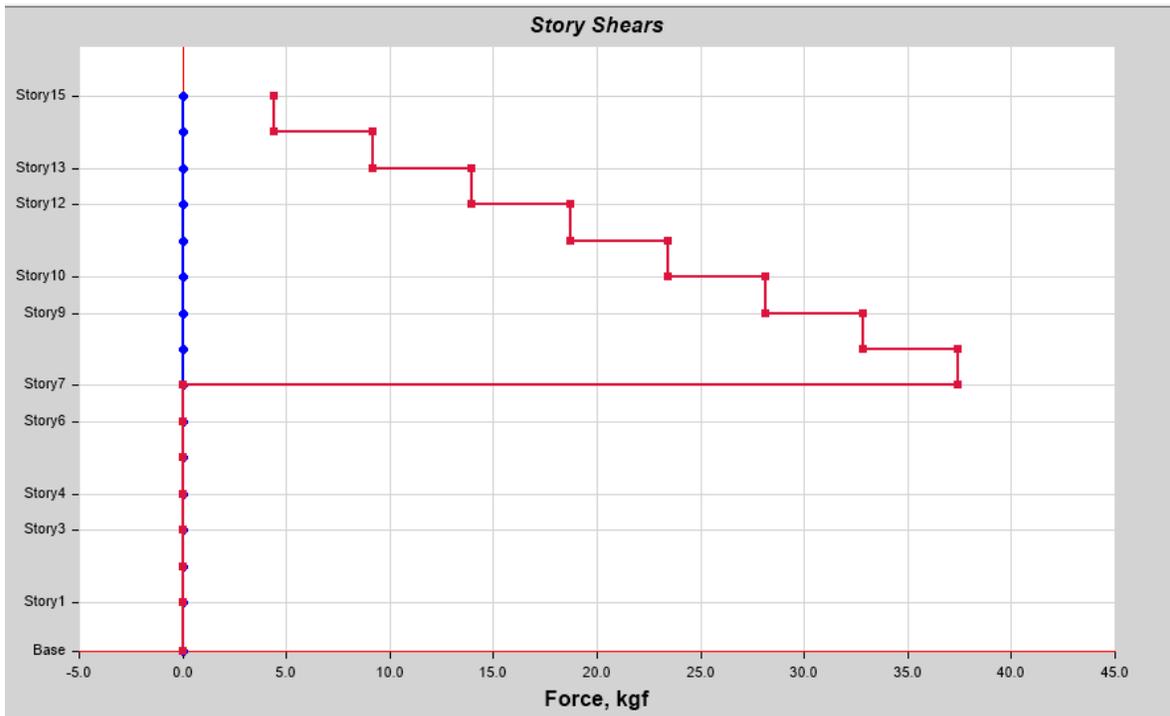
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 69. Cortantes de entrepiso para el modo 1, est. aislada.



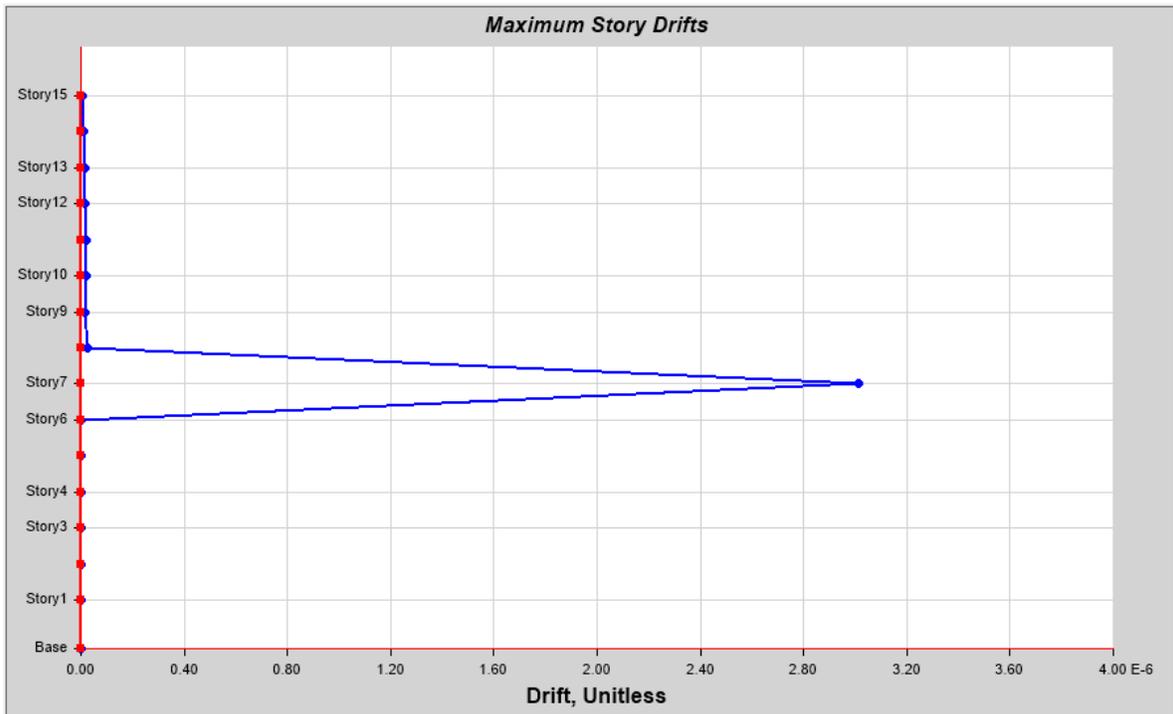
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 70. Cortantes de entrepiso para el modo 2 est. aislada.



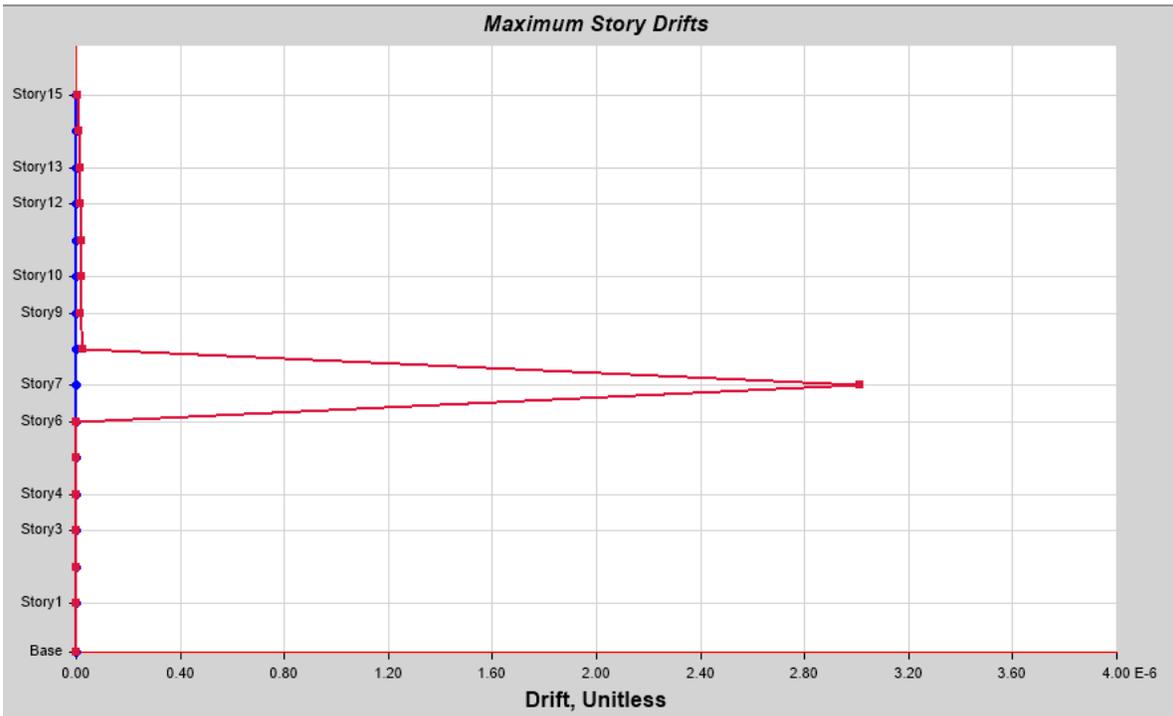
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 71. Derivas máximas eje "X", est. aislada.



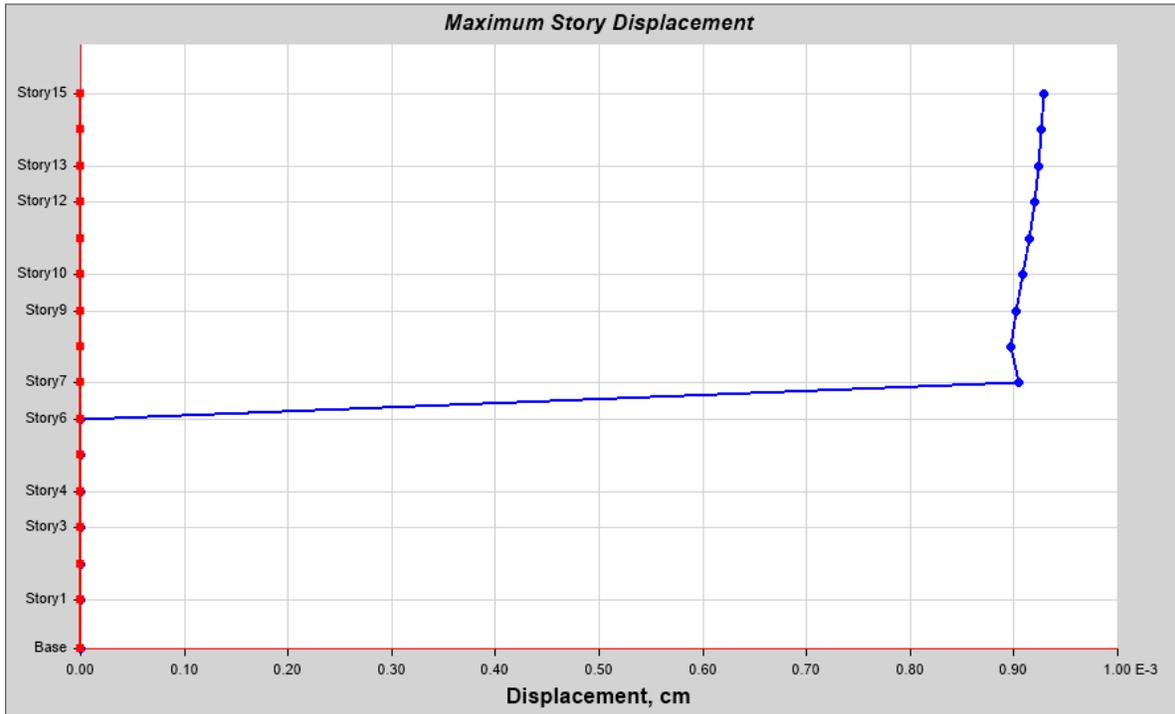
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 72. Derivas máximas eje "Y", est. aislada.



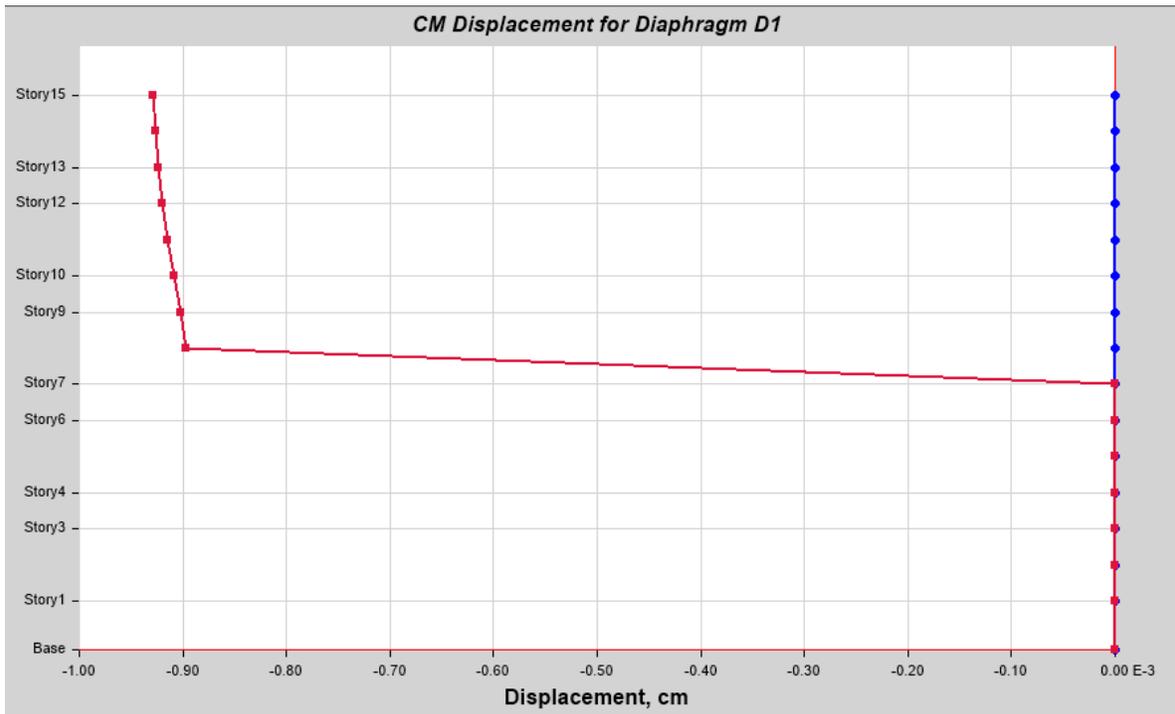
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 73. Desplazamiento máximo de la estructura aislada "X".



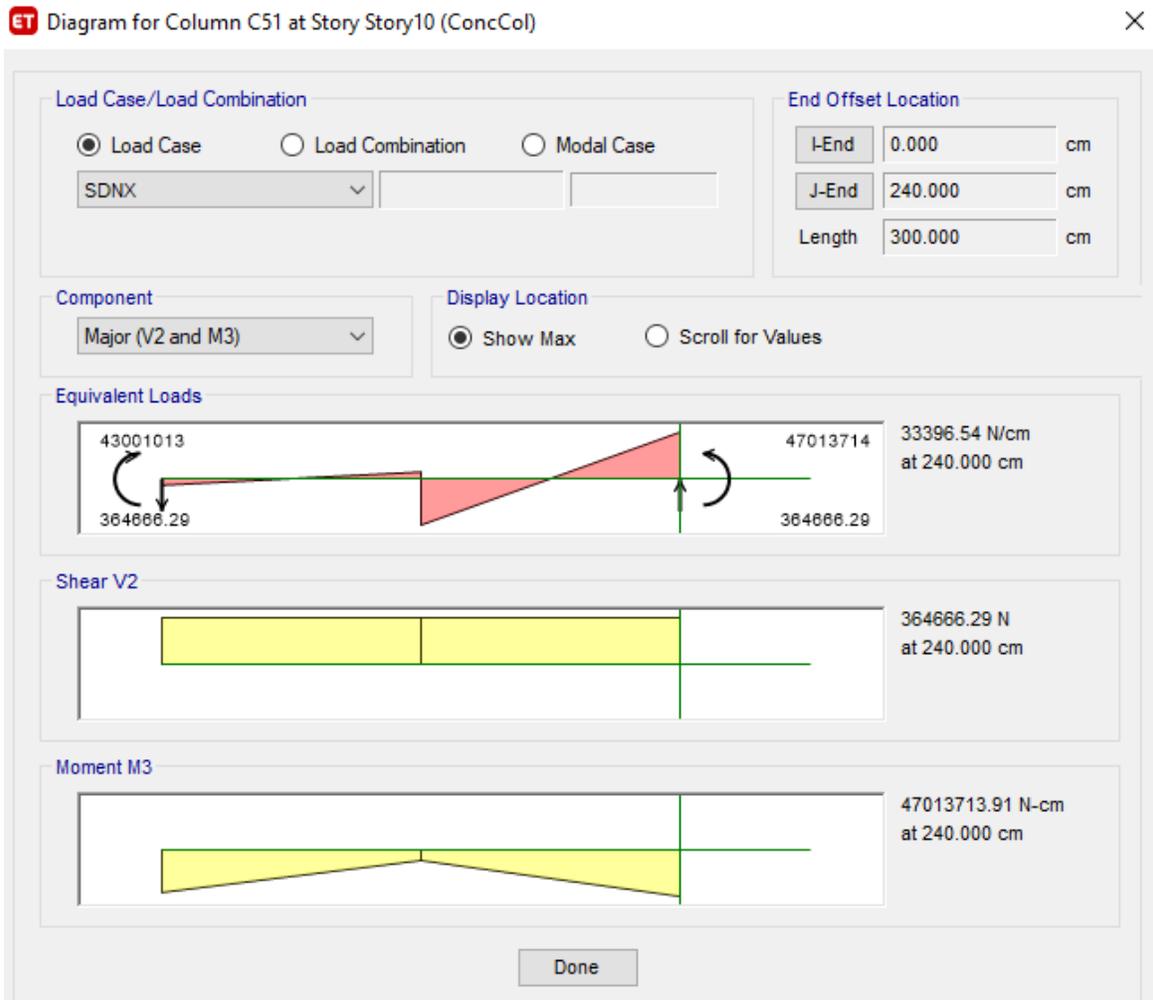
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 74. Desplazamiento máximo de la estructura aislada "Y".



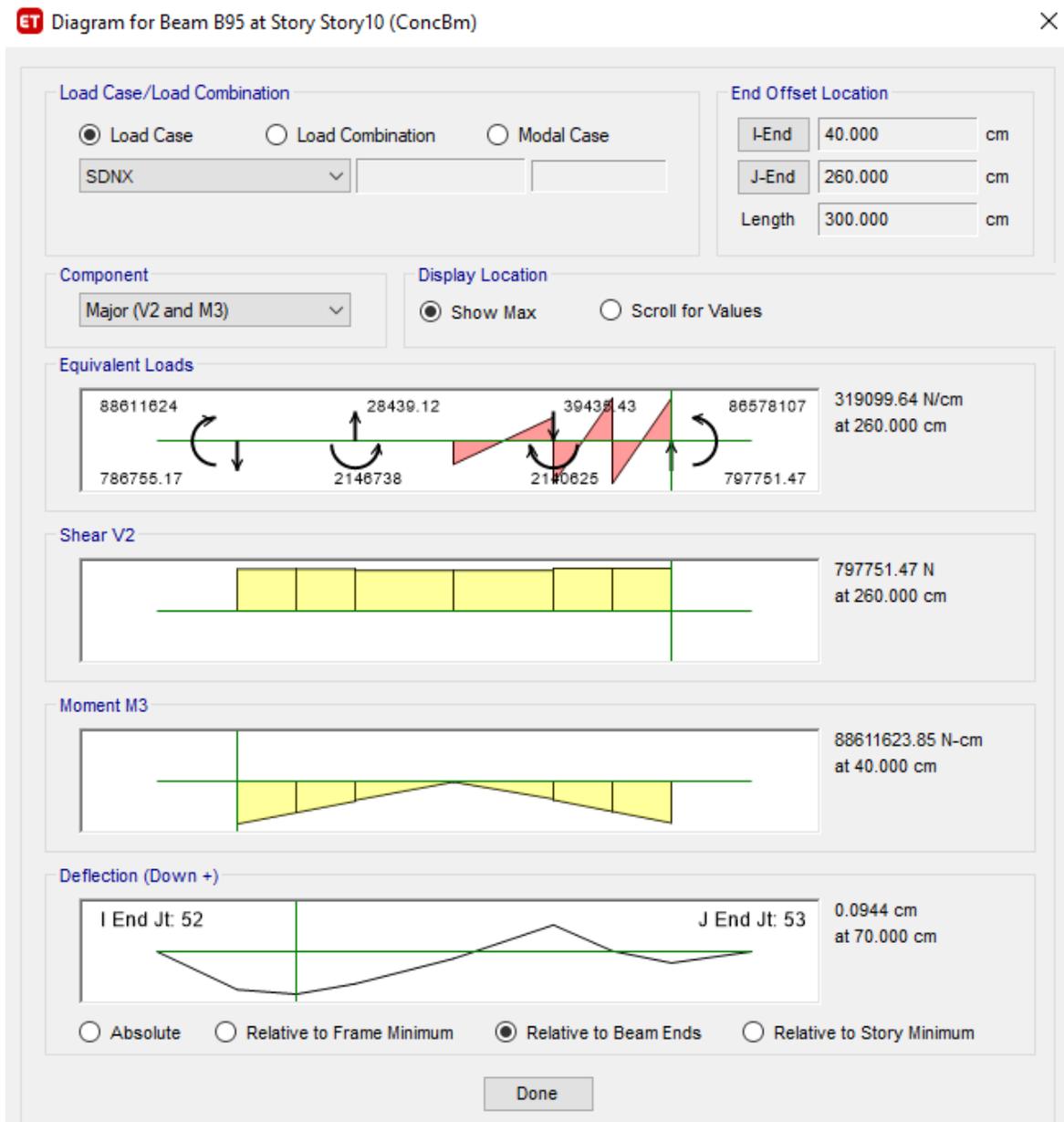
Fuente: elaboración propia, ETABS v18.

Ilustración 75. Diagramas col. típica de piso superior, estructura conv.



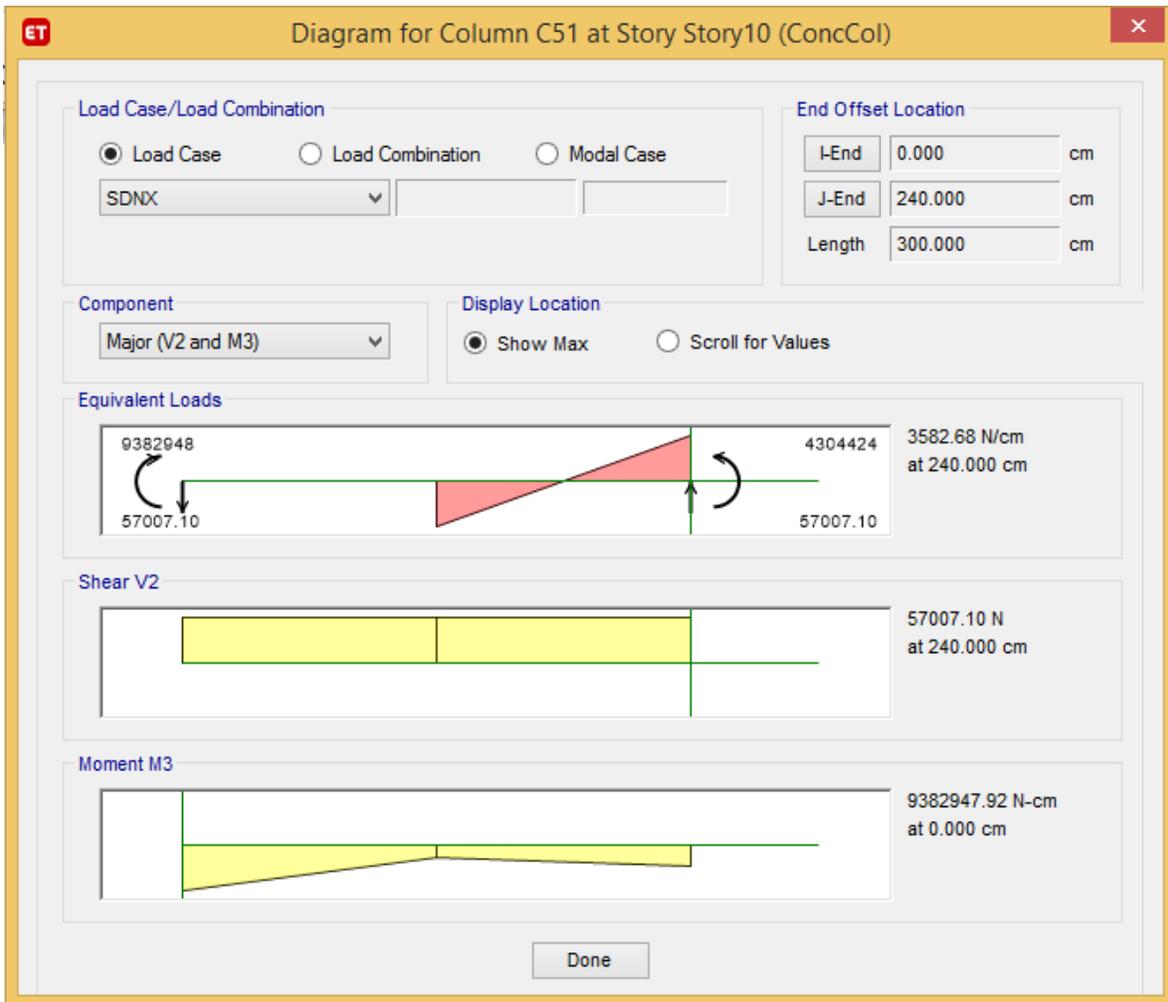
Fuente: elaboración propia, ETABS.

Ilustración 76. Diagramas, viga típica de piso superior, estructura conv.



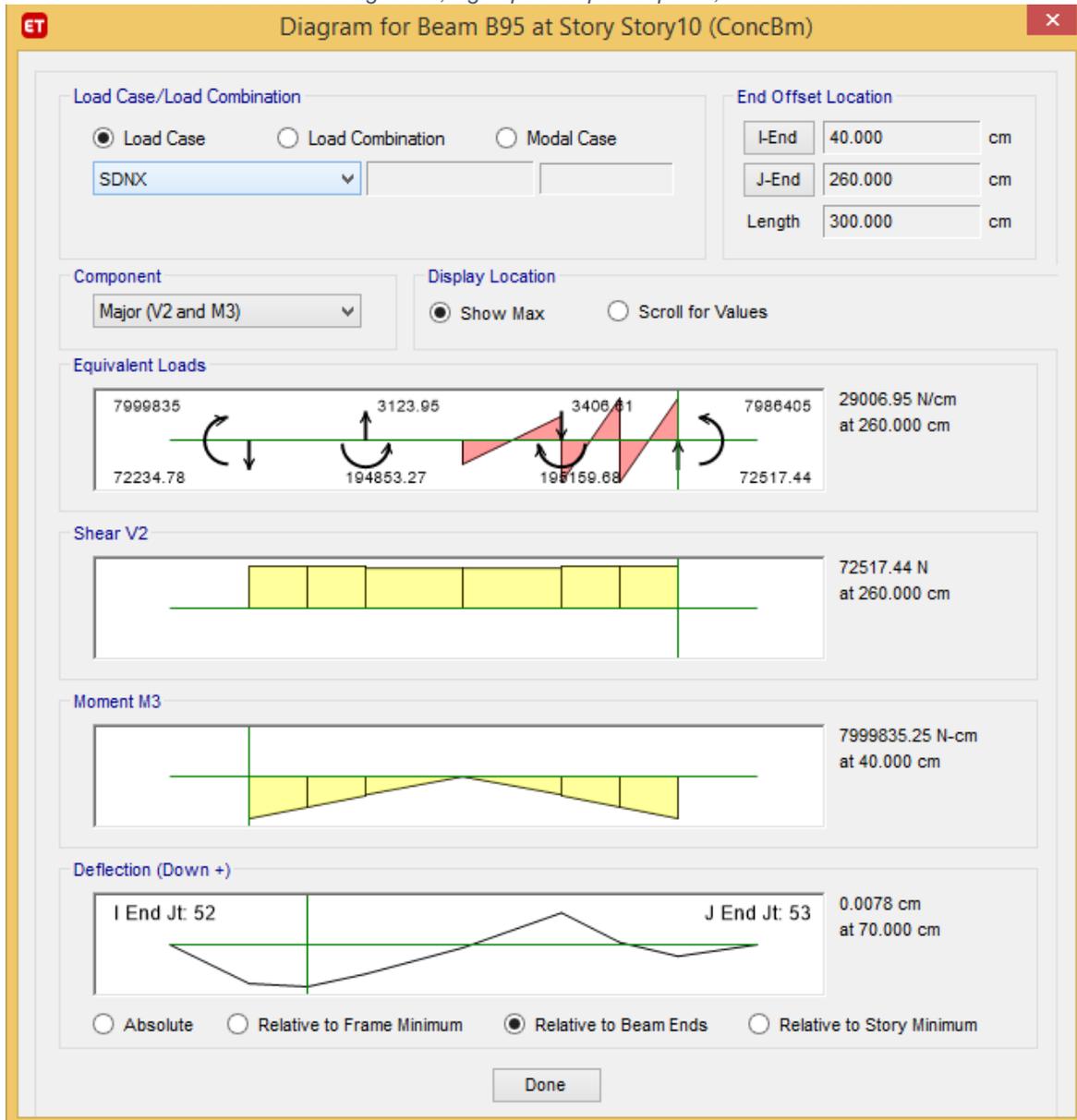
Fuente: elaboración propia, ETABS.

Ilustración 77. Diagramas, col. típica de piso superior, estructura aislada.



Fuente: elaboración propia, ETABS.

Ilustración 78. Diagramas, viga típica de piso superior, estructura aislada.



Fuente: elaboración propia, ETABS.