



**USO DE AISLADORES ELASTOMÉRICOS EN COLOMBIA Y SU IMPACTO EN  
UNA EDIFICACIÓN DE GRUPO DE USO IV**

**GUSTAVO ADOLFO CASTILLA HERNÁNDEZ  
CARLOS ANDRÉS ARROYO AGAMEZ**

**Monografía presentada para optar al título de  
Especialista en Análisis y Diseño de Estructuras**

**Asesor  
JUAN FERNANDO VELÁSQUEZ BEDOYA  
Magíster (MSc) en Ingeniería Sísmica.**

**Universidad de Antioquia  
Corporación Académica Ambiental  
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras  
Medellín, Antioquia, Colombia  
2022**

<b>Cita</b>	(Castilla Hernández & Arroyo Agamez, 2022)
<b>Referencia</b>	Castilla Hernández, G., & Arroyo Agamez, C. (2022). <i>Uso De Aisladores Elastoméricos En Colombia Y Su Impacto En Una Edificación De Grupo De Uso IV</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
<b>Estilo APA 7 (2020)</b>	



Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras, Cohorte X.



Biblioteca Carlos Gaviria Díaz

**Repositorio Institucional:** <http://bibliotecadigital.udea.edu.co>

Universidad de Antioquia - [www.udea.edu.co](http://www.udea.edu.co)

**Rector:** John Jairo Arboleda Céspedes.

**Decano/Director:** Jesús Francisco Vargas Bonilla.

**Jefe departamento:** Nombres y Apellidos.

El contenido de esta obra corresponde al derecho de expresión de los autores y no compromete el pensamiento institucional de la Universidad de Antioquia ni desata su responsabilidad frente a terceros. Los autores asumen la responsabilidad por los derechos de autor y conexos.

### **Dedicatoria**

Dedicado a nuestras familias, que a pesar de las dificultades del camino, siempre nos apoyaron en busca de la excelencia.

### **Agradecimientos**

Con especial agradecimiento al Ingeniero Juan Fernando Velásquez Bedoya, que en su labor de docente inculcó el pensamiento crítico y las ganas de superarnos en cada uno de nosotros.

## TABLA DE CONTENIDO

MOTIVACIÓN .....	10
OBJETIVOS .....	11
Objetivo General .....	11
Objetivos Específicos.....	11
CRONOGRAMA.....	12
MARCO TEÓRICO.....	13
ESTADO DEL ARTE.....	15
MARCO METODOLÓGICO .....	18
Objetivo.....	18
1. Descripción del Proyecto.....	18
2. Definición de ejes.....	20
3. Predimensionamiento de elementos estructurales.....	21
3.1. Predimensionamiento de Vigas.....	21
3.2. Columnas .....	24
3.3. Muros.....	26
4. Geometría.....	27
5. Requisitos generales del diseño Sismo Resistente.....	27
5.1. Zona de Amenaza Sísmica:.....	27
5.2. Coeficientes $A_a$ y $A_v$ : .....	28
5.3. Definición del tipo de perfil de Suelo y Coeficientes $F_a$ y $F_v$ : .....	28
5.4. Coeficiente de importancia:.....	29
5.5. Espectro de diseño.....	29
5.6. Coeficientes de disipación de energía (R).....	32
5.7. Resultados de Fuerza Horizontal .....	34
6. Combinaciones de carga.....	34
7. Evaluación de la Deriva Máxima $\Delta_{m\acute{a}x}$ . A.6.3 .....	35
8. Cálculo de las características del aislador (Diseño).....	37
8.1. Definición del periodo objetivo: .....	37
8.2. Definición del amortiguamiento de los aisladores LRB .....	37
8.3. Definición del coeficiente de amortiguamiento $B_m$ .....	37
8.4. Definición del desplazamiento traslacional $D_M$ .....	38
8.5. Definición del desplazamiento total .....	38

8.6.	Cálculo del peso total por aislador .....	38
8.7.	Calculo de la rigidez efectiva .....	39
8.8.	Calculo de la energía disipada por ciclo histerético .....	39
8.9.	Fuerza Característica del aislador mediante parámetros y cálculos iterativos.....	39
8.10.	Calculo del área y diámetro de plomo necesarios .....	40
8.11.	Cálculo de la altura el aislador de goma Hr .....	42
8.12.	Cálculo de la altura total del aislador H.....	42
8.13.	Cálculo del área de la goma A .....	42
8.14.	Diámetro total del aislador D.....	43
8.15.	Módulo de corte de la goma G.....	43
8.16.	Factor de forma S.....	43
8.17.	Rigidez del aislador con núcleo de plomo Kp.....	43
8.18.	Rigidez post-fluencia (no lineal) del aislador con núcleo de plomo.....	44
8.19.	Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo K1p.....	44
8.20.	Fuerza de fluencia del aislador Fy .....	44
8.21.	Cálculo de la Rigidez vertical Kv .....	44
8.22.	Cálculo de la fluencia vertical.....	45
8.23.	Cálculo de la deformación de corte por deformación. ....	45
8.24.	Cálculo de la deformación de corte por compresión .....	45
8.25.	Cálculo de la deformación a la rotación $\gamma_r$ . ....	46
8.26.	Cálculo de la deformación máxima.....	46
8.27.	Cálculo del área reducida $A_R$ .....	46
8.28.	Definición del peso crítico y cálculo de la capacidad axial .....	47
8.29.	Verificación del pandeo.....	48
8.30.	Verificación de la Rigidez efectiva lateral Keff .....	48
9.	Evaluación de las condiciones de las características del aislador comercial. ....	49
9.1.	Cálculo del área y diámetro de plomo necesarios. ....	49
9.2.	Cálculo de la altura total del aislador .....	50
9.3.	Cálculo del área solo de la goma.....	50
9.4.	Diámetro total del aislador .....	50
9.5.	Módulo de corte de la goma G, comercial. ....	50
9.6.	Factor de forma S.....	51
9.7.	Rigidez del aislador con núcleo de plomo Kp .....	51
9.8.	Rigidez post-fluencia (no lineal) del aislador con núcleo de plomo .....	51

9.9.	Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo .....	51
9.10.	Fuerza de fluencia del aislador $F_y$ .....	51
9.11.	Cálculo de la Rigidez vertical $K_v$ .....	52
9.12.	Cálculo de la fluencia vertical $f_v$ .....	52
9.13.	Cálculo de la deformación de corte por deformación $\gamma D$ .....	52
9.14.	Cálculo de la deformación de corte por compresión .....	52
9.15.	Cálculo de la deformación a la rotación. ....	53
9.16.	Cálculo de la deformación máxima .....	53
9.17.	Cálculo del área reducida $A_R$ .....	53
9.18.	Definición del peso crítico y cálculo de la capacidad axial .....	53
9.19.	Verificación del pandeo .....	54
9.20.	Verificación de la Rigidez efectiva lateral $K_{eff}$ .....	55
10.	DATOS DE INGRESO .....	55
10.1.	Modificación del espectro de derivas .....	55
10.2.	Adición de nivel de piso de aislación .....	57
10.3.	Asignación de diafragmas .....	57
10.4.	Asignación de propiedades de aislación a elementos link .....	58
10.5.	Asignación de elementos link a la estructura .....	61
11.	RESULTADOS .....	63
11.1.	Cantidad de aisladores a utilizar .....	63
11.2.	Precio comercial de los aisladores .....	63
11.3.	Periodos con aisladores .....	63
11.4.	Periodos sin aisladores .....	64
11.5.	Desplazamientos máximos en la base con aisladores .....	64
11.6.	Desplazamientos máximos por piso sin aisladores .....	68
11.7.	Derivas con aisladores .....	70
11.8.	Derivas sin aisladores .....	71
11.9.	Cortantes por nivel de piso con aisladores .....	73
11.10.	Cortante por nivel de piso sin aisladores .....	74
11.11.	Reacciones en la base con aisladores .....	75
11.12.	Reacciones en la base sin aisladores .....	78
12.	CONCLUSIONES .....	92
	BIBLIOGRAFÍA .....	96
	ANEXOS 97	

## LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Arquitectura piso 1 .....	19
Ilustración 2. Arquitectura piso 2 típico .....	19
Ilustración 3. Arquitectura Cubierta.....	20
Ilustración 4. Distribución de ejes .....	20
Ilustración 5. Eje largo .....	23
Ilustración 6. Eje Corto.....	23
Ilustración 7. Espectro de Diseño .....	31
Ilustración 8. Combinaciones Titulo B.2.4.2.....	35
Ilustración 9. Combinaciones ETABS .....	35
Ilustración 10. Derivas en X .....	36
Ilustración 11. Derivas en Y .....	36
Ilustración 12. Amortiguamiento efectivo .....	37
Ilustración 13. Edificación con aisladores .....	55
Ilustración 14. Modificación espectro de derivas Sx .....	56
Ilustración 15. Modificación espectro de derivas Sy .....	56
Ilustración 16. Adición de un nivel, equivalente a la altura del aislador sísmico seleccionado .....	57
Ilustración 17. Diafragma rígido en los aisladores. ....	57
Ilustración 18. Crear aislador sísmico.....	58
Ilustración 19. Nombrar el aislador sísmico a configurar .....	59
Ilustración 20. Propiedades en U1 .....	60
Ilustración 21. Propiedades en U2.....	60
Ilustración 22. Propiedades en U3.....	61
Ilustración 23. Vista en elevación .....	61
Ilustración 24. seleccionar el comando dibujar links. ....	62
Ilustración 25. seleccionar el aislador creado. ....	62
Ilustración 26. Dibujar el aislador en columnas y muros.....	63
Ilustración 27. Desplazamientos con Aisladores en X .....	67
Ilustración 28. Desplazamientos con Aisladores en Y .....	67
Ilustración 29. Derivas en X .....	70
Ilustración 30. Derivas en Y .....	70
Ilustración 31. Derivas en x.....	71
Ilustración 32. Derivas en Y .....	72
Ilustración 33. cortante en x con aisladores.....	73
Ilustración 34. Cortante en Y con Aisladores .....	73
Ilustración 35. Cortante en X sin Aisladores. ....	74
Ilustración 36. Cortante en Y sin Aisladores .....	74
Ilustración 37. Desplazamientos con aisladores .....	87
Ilustración 38. Desplazamiento en X con Aisladores .....	88
Ilustración 39. Desplazamiento en Y con aisladores .....	89
Ilustración 40. 3D Hospital con aisladores.....	90
Ilustración 41. Ubicación de aisladores detalle 3D. ....	91

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Cronograma de actividades.....	12
Tabla 2. Espesor mínimo de losas y vigas .....	21
Tabla 3. Criterios mínimos a cumplir en el diseño de vigas.....	21
Tabla 4. Espesor mínimo de Vigas .....	22
Tabla 5. Cargas Vivas NSR 10.....	24
Tabla 6. Cargas Muertas NSR 10.....	24
Tabla 7. Dimensionamiento de Columnas .....	25
Tabla 8. Verificación de Muros .....	26
Tabla 9. Valores de $S_a$ , $S_v$ , $S_d$ , para espectro de diseño .....	31
Tabla 10. Calculo del Periodo Fundamental.....	32
Tabla 11. Periodo Fundamenta promedio y Cortante.....	33
Tabla 12. Coeficientes de disipación de energía para diseño .....	33
Tabla 13. Ajuste de Fuerza horizontal Equivalente .....	34
Tabla 14. coeficiente de amortiguamiento $B_m$ .....	38
Tabla 15. Desplazamiento traslacional $D_M$ .....	38
Tabla 16. Desplazamiento Total $D_{TM}$ .....	38
Tabla 17. Peso por aislador.....	38
Tabla 18. Rigidez efectiva.....	39
Tabla 19. Fuerza característica del Aislador.....	39
Tabla 20. Área de Plomo y diámetro de Plomo .....	40
Tabla 21. Altura del aislador de Goma Hr.....	42
Tabla 22. Altura del Aislador H .....	42
Tabla 23. Área del aislador (Solo goma) A. ....	42
Tabla 24. Diámetro Aislador D.....	43
Tabla 25. Módulo de corte de la Goma G. ....	43
Tabla 26. Factor de forma S .....	43
Tabla 27. Rigidez del aislador con un núcleo de plomo. ....	43
Tabla 28. Rigidez post-fluencia (no lineal) $K_{2p}$ . ....	44
Tabla 29. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo. ....	44
Tabla 30. Fuerza de fluencia del aislador $F_y$ .....	44
Tabla 31. Rigidez vertical $K_v$ .....	45
Tabla 32. Fluencia vertical $K_v$ .....	45
Tabla 33. Deformación de corte por deformación.....	45
Tabla 34. Rangos del módulo de corte G. ....	46
Tabla 35. Deformación a la rotación. ....	46
Tabla 36. Deformación Máxima. ....	46
Tabla 37. Área reducida $A_R$ .....	47
Tabla 38. P Critico. ....	47
Tabla 39. Chequeo de Pandeo .....	48
Tabla 40. Verificación de rigidez efectiva $K_{eff}$ .....	48
Tabla 41. Selección de diámetro del aislador comercial.....	49
Tabla 42. Comparación entre desplazamientos total del aislador seleccionado y lo calculado. .....	49
Tabla 43. Capas de caucho del aislador seleccionado n.....	49
Tabla 44. Definición de altura del Aislador comercial. ....	50
Tabla 45. Área del aislador de Goma comercial .....	50
Tabla 46. Diámetro del aislador de goma comercial.....	50
Tabla 47. Módulo de corte G, aislador seleccionado.....	50
Tabla 48. Factor de forma S, aislador seleccionado.....	51
Tabla 49. Rigidez del aislador con núcleo de plomo $K_p$ .....	51

Tabla 50. Rigidez post-fluencia (no lineal).....	51
Tabla 51. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo .....	51
Tabla 52. Fuerza de fluencia del aislador $F_y$ .....	51
Tabla 53. Rigidez vertical $K_v$ .....	52
Tabla 54. Fluencia vertical $f_v$ .....	52
Tabla 55. Deformación de corte por deformación.....	52
Tabla 56. Deformación de corte por compresión .....	52
Tabla 57. Deformación a la rotación .....	53
Tabla 58. Deformación máxima .....	53
Tabla 59. Área reducida $A_R$ .....	53
Tabla 60. Peso Crítico y verificar la capacidad axial .....	54
Tabla 61. Verificación de Pandeo. ....	54
Tabla 62. Chequeo de rigidez efectiva .....	55
Tabla 63. Periodo con Aisladores .....	63
Tabla 64. Periodo sin Aisladores. ....	64
Tabla 65. Desplazamientos en la Base con aisladores .....	64
Tabla 66. Desplazamientos en la base sin aisladores .....	68
Tabla 67. derivas con aisladores .....	71
Tabla 68. Derivas sin Aisladores .....	72
Tabla 69. Reacciones en la base con Aisladores .....	75
Tabla 70. Reacciones en la base sin aisladores.....	78

## MOTIVACIÓN

Al dar inicio a un nivel superior de educación profesional como lo es la Especialización en análisis y diseño de estructuras de la Universidad de Antioquia en el periodo 2022 - 1, algunos de los cursos que ayudan a visualizar las necesidades y futuras solicitudes que se deben tener en cuenta a la hora de diseñar y construir edificaciones que cumplan con las condiciones adecuadas de funcionamiento y preservación tanto de la Seguridad de las personas como del bien material, son Ingeniería Sísmica y Dinámica estructural, cursos en los cuales se hace referencia a los parámetros a tener en cuenta para realizar diseños estructurales basados en las Normas actuales del país, Norma sismo resistente NSR-10, es allí donde al mencionar los periodos de las estructuras, los porcentajes de amortiguamiento, el uso de coeficientes de disipación de energía R, coeficiente de importancia y los diferentes coeficientes de reducción de capacidad de disipación, entre otros parámetros, que se llega al cálculo de las cortante basal Vs y a las solicitudes de la estructura, los cuales en algunas ocasiones pueden llegar a ser considerablemente altos de acuerdo a los parámetros mencionados con anterioridad. Al avanzar de forma clara y concisa en dichos cursos, se hace referencia a los Aisladores Sísmicos, lo que genera interés a nivel académico.

Después de indagar sobre la aplicabilidad en Colombia de los diseños de edificaciones que contengan aisladores sísmicos de base, se ha llegado a un punto en el cual no se encuentra claramente reglamentada esta opción de construcción en el país, debido a que la norma que rige actualmente no considera estudios propios del país y muy por el contrario, recomienda el uso de normativas que son basadas en condiciones particulares de otros países, que al ser de sitios geográficos y geomorfológicos diferentes, pueden tener un impacto negativo en los diseños, generando que tanto los costos de diseño como su aplicabilidad se vean comprometidas.

A la luz de esta información, se ha decidido hacer una revisión de la literatura existente sobre el tema, a fin de entender cuáles son las consideraciones o parámetros fundamentales a tener en cuenta para la aplicabilidad de los diseños estructurales con aisladores sísmicos en Colombia según los autores apoyados en las normas vigentes. Por consiguiente, recopilar la mayor cantidad de información que permita discernir en torno a la economía y pertinencia del uso de este tipo de tecnologías en algunas regiones del país.

# OBJETIVOS

## Objetivo General

Revisar la literatura relacionada sobre diseño de estructuras con aisladores sísmicos elastoméricos en Colombia y generar un caso estudio particular con el fin de comparar la aplicación de esta tecnología en una edificación de grupo de uso IV en Colombia.

## Objetivos Específicos

- Recopilar información sobre aplicabilidad o diseño de estructuras con aisladores sísmicos en Latino América.
- Revisar la normativa colombiana en cuanto al diseño y construcción con aisladores sísmicos.
- Comparar con la norma Americana ASCE - 7 los parámetros que difieren en cuanto a diseño dadas las condiciones de Colombia.
- Evaluar la pertinencia de la aplicación de estos sistemas en Colombia, junto con sus beneficios y obstáculos.
- Modelar una edificación de grupo de uso IV mediante el uso de programas computacionales con la inclusión de aisladores.
- Cotejar los datos del modelo analítico usando disipadores versus un modelo idéntico pero sin el uso de disipadores.
- Valorar el impacto económico en una edificación de la implementación de disipadores vs el modelo tradicional de construcción

## CRONOGRAMA.

ACTIVIDAD	SEPTIEMBRE				OCTUBRE				NOVIEMBRE			
	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4	S1	S2	S3	S4
Recopilación y análisis de información.												
Modelado edificación SIN Aisladores (ETABS).												
Modelado edificación CON Aisladores (ETABS).												
Evaluación de costos.												
Comparación de costos edificación con Aisladores Vs Convencional.												
Conclusiones y recomendaciones.												
Entrega final.												

*Tabla 1. Cronograma de actividades.*

## MARCO TEÓRICO.

Gracias a los avances de la ciencia en el marco del aislamiento sísmico se ha podido llegar a estudios detallados en los cuales se toman diferentes variables para poder comprender y contrarrestar las acciones de los movimientos sísmicos junto con las fuerzas que causan en las estructuras. Debido a esto, se han hecho estudios para diseñar diferentes tipos de mecanismos que actúen cuando hay presencia del sismo como son los sistemas de activos y los sistemas pasivos de respuesta sísmica que se diferencian esencialmente en el modo de respuesta ante un evento, los costos asociados a ellos y sobre todo la accesibilidad a este tipo de elementos.

Por un lado, los sistemas pasivos son aquellos que actúan bien sea aislando la base de la estructura por medio de mecanismos elastoméricos o por la disipación de energía por medio del amortiguamiento basados en pistones con fluidos de alta viscosidad.

De otra parte, los sistemas activos están compuestos en su mayoría por sensores, mecanismos de respuesta, ordenadores y en algunos casos actuadores que en conjunto logran disipar la energía del sismo que actúa en la estructura Genatios, Carlos & Lafuente, M. (2020). Garantizando de esa manera que el edificio no sufra daños moderados o severos al igual que los sistemas pasivos, pero mejorando su rendimiento y respuesta ante el evento, dando cumplimiento de los objetivos de desempeño previstos por los diseñadores.

Con base en estudios hechos en diferentes países, se definen los parámetros más importantes a tener en cuenta para el cálculo y aplicación de los diseños con aisladores sísmicos, tales como lo son:

**El periodo fundamental de la estructura:** dicho periodo en edificaciones de baja a mediana altura, hasta los 20 pisos aproximadamente es inferior a los dos segundos. Pero en estructuras aisladas en la base puede llegar a ser de entre dos y cuatro segundos.

**El factor amortiguamiento:** en las edificaciones de hasta 20 pisos puede llegar a ser del cinco por ciento del crítico, pero una vez aislada la base de la estructura, este puede llegar a oscilar entre el cinco al cincuenta por ciento del valor crítico.

**Coefficiente de disipación de energía:** para edificaciones de base fija las normas exigen que la estructura ingrese en el rango inelástico con el fin de que la energía se disipe lo que implica daño asociado y de acuerdo a esto es que las normativas como la colombiana consideren unos factores o coeficientes de disipación de energía que varían entre 1 y 7 dependiendo de la importancia de la estructura. Pero al aislar la base de una estructura estos valores deben cambiar, debido a que la mayor parte de la energía se disipa en los elementos de aislamiento situados entre la sub y la súper estructura.

El coeficiente de disipación de energía presentado en las normas ASCE 7 – 10 y la ASCE 7 – 16 difiere en la estructura de base fija y la estructura sísmicamente aislada en las edificaciones de grupo de uso I, Figura 1. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019).

Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica y de grupo de uso IV, Figura 2. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica. Ahora, los autores hacen una propuesta para la futura norma de Latinoamérica concibiendo que todas las estructuras desde el grupo de uso I hasta el grupo de uso IV usen un factor R de 2 cuando están sísmicamente aisladas de la base.

**Parámetros de diseño obtenidos en edificaciones de grupo de uso I**

Parámetro	Base fija	Estructura aislada		Propuesta
		ASCE 7-10	ASCE 7-16	
R	7	2	2	2
I	1	1	1	1
D <sub>sa</sub> (m)	-	0.155	0.218	0.123
V <sub>s</sub> (kN)	1750	321	345	247
V <sub>s,DISEÑO</sub> (kN)	250	160	172	124

Figura 1. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica

**Parámetros de diseño obtenidos en edificaciones de grupo de uso IV**

Parámetro	Base fija	Estructura aislada		Propuesta
		ASCE 7-10	ASCE 7-16	
R	7	2	2	2
I	1.5	1	1	1.5
D <sub>sa</sub> (m)	-	0.155	0.218	0.191
V <sub>s</sub> (kN)	2626	321	345	333
V <sub>s,DISEÑO</sub> (kN)	375	160	172	166

Figura 2. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Propuesta para las futuras normas de aislamiento sísmico en Latinoamérica.

De donde D<sub>sa</sub> es el desplazamiento máximo del sistema de aislamiento, V<sub>s</sub> es el cortante elástico y V<sub>s</sub> Diseño es el cortante elástico dividido por R.

## ESTADO DEL ARTE.

Actualmente en Latinoamérica se tienen normativas para el uso de disipadores y aisladores sísmicos, como lo es el caso de Chile, México y Perú. Pero a su vez hay países que están incursionando en estos temas como Ecuador y Colombia. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco (2019). Los cuales al estar situados en el anillo circum pacífico presentan un alto riesgo de sufrir un sismo severo, llegando a estar expuestas las edificaciones que no cuentan con un diseño que contemple el aislamiento de base, teniendo en cuenta que la disipación de energía en las estructuras se traduce como daño en los elementos estructurales e indirectamente en los no estructurales que muchas veces después de un sismo de moderada o gran magnitud quedan con reparaciones que son muy costosas o incluso con daños irreparables.

Debido a que en el país no existen normas establecidas con estudios de la zona para la aplicación de diseños y construcciones con aisladores sísmicos de base, la norma colombiana remite a los diseñadores a aplicar los lineamientos del FEMA 450 o del ASCE – 7 en su versión 05, gracias a esto se han podido aplicar este tipo de diseños a estructuras llegando de esta manera a tener alrededor de 20 edificaciones aisladas sísmicamente en el país. No obstante, los códigos guías se han ido actualizando a versiones más recientes que incluyen solicitaciones y periodos de retorno de sismos muy altos, que aplicados en Colombia generarían un sobre costo en los diseños.

Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Evalúan los posibles efectos de la aplicación de las actualizaciones de las normas en el entorno colombiano llegando a las conclusiones de que usar la norma ASCE – 7 en su versión más reciente o usar la norma chilena sería un error en cuanto a economía en las edificaciones a causa de que el cortante basal calculado por métodos de análisis dinámicos no lineales no debe ser menor que el calculado por métodos estáticos equivalentes. Además, hacen la aclaración de que el desempeño ante solicitaciones sísmicas de las estructuras aisladas sísmicamente debe ser mucho mayor que el que presentan las edificaciones de base fija en el caso de exposición a sismos moderados y fuertes, tal como se presenta en la Figura 3. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). ASCE standard 7-16 (2016).

Medida del desempeño	Sismo		
	Frecuente	Moderado	Fuerte
Seguridad a la vida: no se espera pérdida de vidas o serias lesiones	<i>f, a</i>	<i>f, a</i>	<i>f, a</i>
Daño estructural: no se espera daño estructural significativo	<i>f, a</i>	<i>f, a</i>	<i>a</i>
Daño no estructural: no se espera daño significativo a los elementos no estructurales ni al contenido	<i>f, a</i>	<i>a</i>	<i>a</i>

Figura 3. Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). ASCE standard 7-16 (2016)

De donde se tiene que las edificaciones aisladas sísmicamente (a), deben contemplar que no se presente daño significativo a elementos tanto estructurales como no estructurales en el caso de presentarse un sismo fuerte y es por ello que ante este nivel de complejidad se deben hacer unos estudios y cálculos precisos, con el fin de que el rendimiento de la estructura sea el esperado. No obstante, la tabla de la figura 1 está contemplada para edificaciones de grupo de uso IV, que en Colombia figuran como indispensables lo que causa que la aplicación en las categorías de uso I, II y III se vea limitada tanto por factores técnicos como económicos.

ASCE 7 – 05. Utilizada en Colombia presenta que la estructura aislada sísmicamente debe tener un grado de disipación de energía igual al de una de base fija. Pero en su versión más reciente ASCE 7 - 16 hay excepciones, debido a que se permite el uso de estructuras de arriostramiento incluidas las conexiones de los mismos, que presentan una capacidad de disipación mínima de energía como sistema principal de resistencia ante fuerzas sísmicas en zonas de amenaza sísmica tanto intermedia como alta siempre y cuando se cumplan ciertos requisitos básicos de seguridad. De acuerdo con este lineamiento se puede asignar un coeficiente de disipación de energía  $R=1.00$ , lo que conlleva a un menor detallado estructural.

Dada la utilización de un factor de disipación de energía menor y un detallado mínimo en la estructura, se haría mucho más atractiva la utilización de disipadores sísmicos en edificaciones para el futuro en el país. Teniendo en cuenta que las normativas que son recomendadas por la norma colombiana se encuentran en actualización constante, teniendo estudios propios de cada zona y aplicable a la misma de manera objetiva. Pero hay que tener cuidado en la aplicación de las mismas normas y sus actualizaciones en el país.

Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco (2018). En sus investigaciones, propuesta para la futura norma de aislamiento sísmico de edificaciones en Colombia, hacen la recomendación de que se deben iniciar los estudios propios de Colombia en torno a la sismicidad del país, contemplando de que los estudios hechos en Estados Unidos (USA) de una u otra manera son solo aplicables en su entorno geográfico y sísmico particular, a pesar de que ambos países se encuentran en el anillo circum pacífico, la incidencia de los sismos en los elementos de aislación son diferentes. Aunque cabe resaltar que estudios de este tipo se están llevando a cabo en la universidad de la Salle incluyendo en ellos los factores R, el detallado estructural y el comportamiento de los elementos no estructurales.

(Piscal C. &.-A., 2016) hacen referencia a los parámetros bajo los cuales se basan los diseños estructurales actuales, “Metodologías de análisis propugnadas”, donde exponen y comparan las metodologías y análisis de diseños estructurales de edificaciones con base fija con la metodología de diseño de Aisladores sísmicos, concluyendo que existe gran similitud entre las metodologías de Fuerza Horizontal Equivalente FHR, análisis dinámico lineal AME y análisis dinámico no línea, teniendo presente que se modifican algunos parámetros, entre los cuales están los valores del coeficiente de disipación de Energía R, Porcentaje de amortiguamiento, periodos de retorno de los sismos, coeficientes de importancia I, derivas máximas, entre otros.

Genatios, Carlos & Lafuente, M. (2020), plantean las teorías sobre el uso de aisladores y sus diferencias con los disipadores, haciendo un estudio claro tanto de las ventajas como de las desventajas de usar este tipo de elementos en estructuras. Haciendo un énfasis en que los cálculos deben ser correctos y tener en cuenta las variables que se pueden producir por un mal diseños, tal como es el mal funcionamiento del aislador por fuerzas axiales de tensión en el caso de los materiales elastoméricos o el mal funcionamiento por no tener el espacio suficiente para generar las oscilaciones llevando esto a que se transmitan fuerzas de corte a la súper estructura.

## MARCO METODOLÓGICO

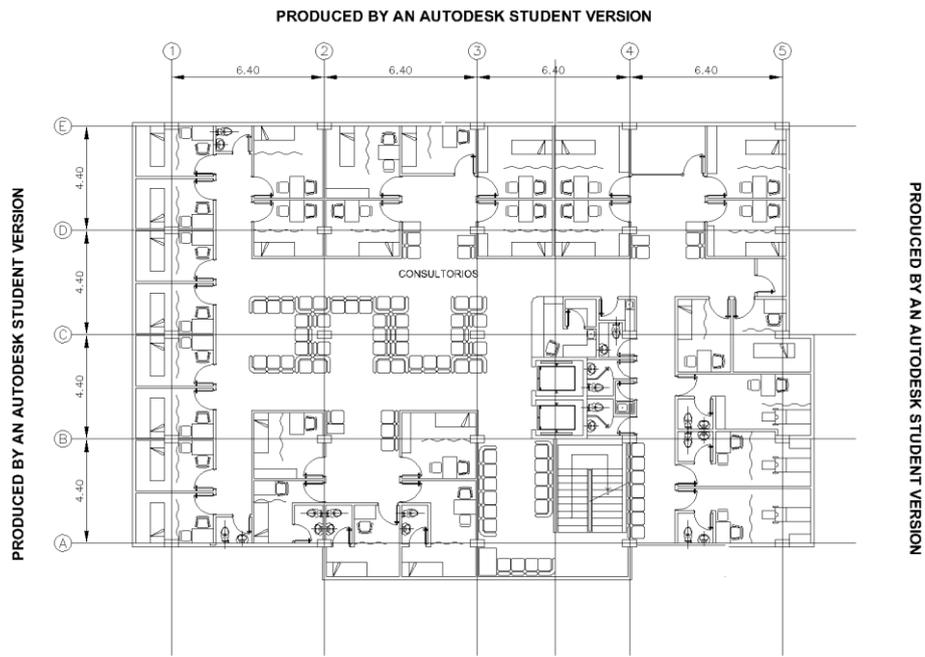
### Objetivo:

Mediante el uso del Programa ETABS y el uso de hojas de cálculo, se realiza el análisis estructural de muros, columnas y vigas, verificando el cumplimiento de derivas, aplicación de efectos P – Delta y verificación de irregularidades en la estructura.

A continuación, se describen los cálculos en los cuales se basó el pre-dimensionamiento de elementos estructurales para un edificio Hospitalario, localizado en la Ciudad de Pereira – Risaralda, Colombia.

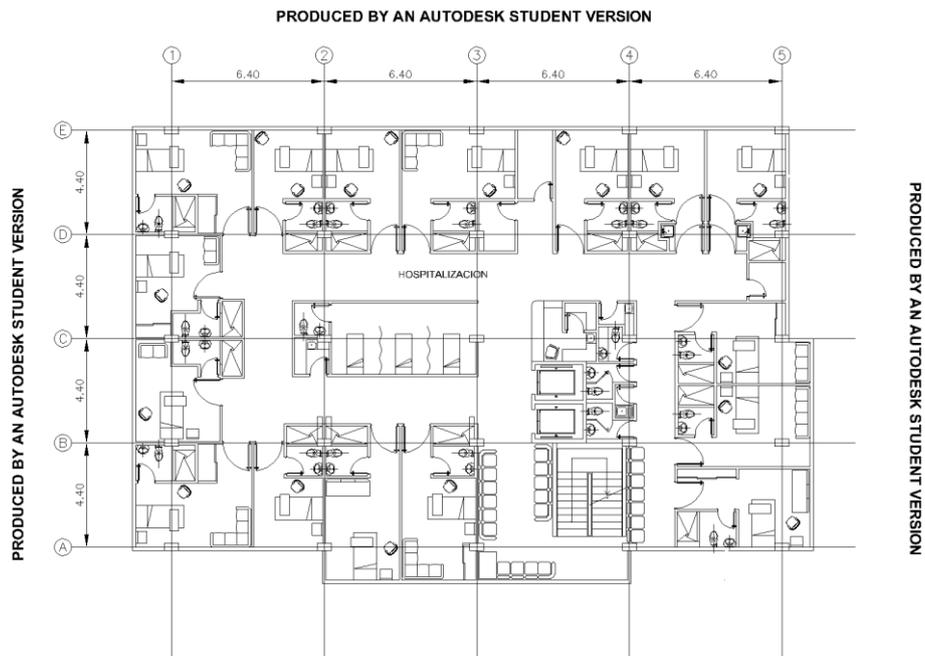
### 1. Descripción del Proyecto

Nombre del Proyecto:	HOSPITAL
Dirección:	PEREIRA
Ciudad:	RISARALDA
Número de Pisos:	7 Pisos
Número de Sótanos:	0
Altura máxima:	21.7 m
Área en Planta:	491 m <sup>2</sup>
Circulación mínima	1.2 m
Tipo de Suelo	D
<a href="#">Sistema estructural:</a>	Combinado
Tipo de Placas:	Placa aligerada en 2 Direcciones
Tipo de Cubierta:	Terraza
<a href="#">Grupo de Uso:</a>	IV
Coeficiente de Importancia:	1.5
Zona de Amenaza Sísmica:	Alta
<a href="#">Capacidad de Disipación de energía:</a>	DES
Grado de desempeño de los elementos no estructurales (ENE):	Bueno
Tipo de Cimentación:	Zapatatas
Programa de Diseño:	ETABS V.19.1.0



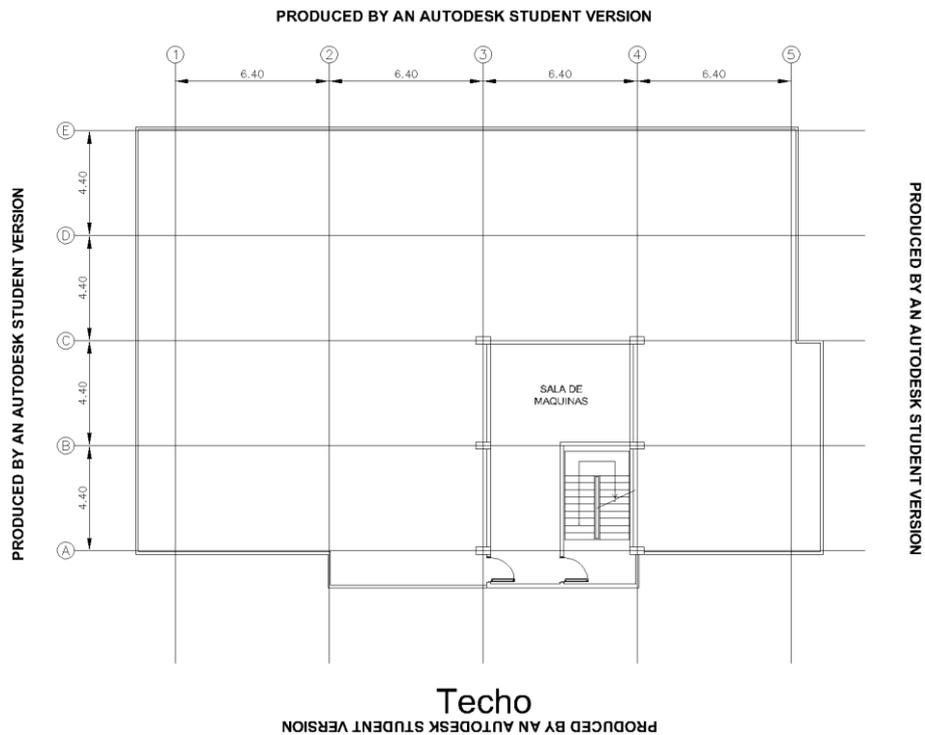
### 1er Piso

PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION  
*Ilustración 1. Arquitectura piso 1*



### 2do Piso

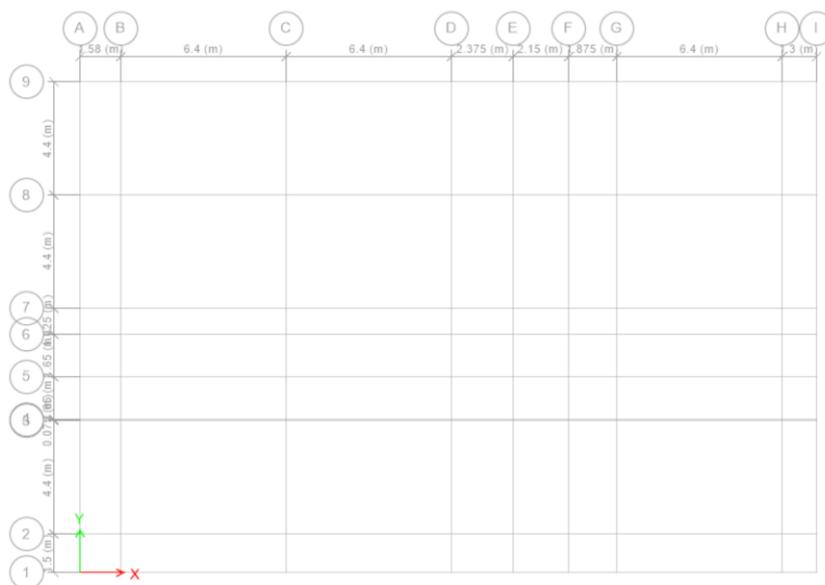
PRODUCED BY AN AUTODESK STUDENT VERSION  
*Ilustración 2. Arquitectura piso 2 típico*



*Ilustración 3. Arquitectura Cubierta*

## 2. Definición de ejes.

Para definir una solución adecuada a la arquitectura y espacios libres propuestos en el modelo arquitectónico, se realiza la distribución de ejes estructurales, los cuales cuentan con una luz máxima de 6.40 metros para el eje más crítico. Los ejes A, I, 1 y 9, son ejes perimetrales.



*Ilustración 4. Distribución de ejes*

### 3. Predimensionamiento de elementos estructurales.

Para calcular las dimensiones mínimas de cada uno de los elementos estructurales del sistema combinado, se realiza el uso de las ecuaciones y procesos establecidos en la NSR 10, título B y C.

#### 3.1. Predimensionamiento de Vigas.

Con el fin de evitar el cálculo de deflexiones en elementos tipo viga, se realiza el uso de la tabla CR.9.5, la cual define el espesor mínimo de vigas y losas, de acuerdo a la longitud entre ejes.

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

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

Tabla 2. Espesor mínimo de losas y vigas

### Dimensionamiento preliminar de elementos de concreto reforzado – Vigas

Parámetro	Vigas (rectangulares)	
	DMO	DES
Dimensiones mínimas	$b_b \geq 200 \text{ mm}^*$ Recomendaciones: $h_b \geq \ell/18$ (vigas continuas) $h_b \geq \ell_n/5.5$ (vigas en voladizo) <i>Nota: verificar deflexiones</i>	$b_b \geq 250 \text{ mm}^*$ ; $b_b \geq 0.3h_b^*$ $b_b \leq c_2 + \min(c_2, 0.75c_1)^*$ Recomendaciones: $h_b \geq \ell/18$ (vigas continuas) $h_b \geq \ell_n/5.5$ (vigas en voladizo) <i>Nota: verificar deflexiones</i>
Relación de forma	Se recomienda lo mismo que para DES	$b_w/h_b \geq 0.3^*$
Relación de carga axial	Se recomienda lo mismo que para DES	$\frac{P_u}{A_g f'_c} \leq 0.05^*$
Luz libre	Se recomienda lo mismo que para DES	$\ell_n \geq 4h_b^*$
Excentricidad con respecto a la columna que da apoyo	Menor que el 25% del ancho del apoyo medido en la dirección perpendicular a la dirección del eje longitudinal de la viga*	Se recomienda lo mismo que para DMO
Relación de forma con respecto a columna que da apoyo	Se recomienda $0.75b_c \leq b_b \leq b_c$	$b_w$ no debe exceder el ancho del elemento de apoyo $b_c$ más una distancia a cada lado del elemento de apoyo que sea igual al menor de entre $b_c$ y $0.75h_c^*$ Se recomienda $0.75b_c \leq b_b \leq b_c$
Resistencia especificada a la compresión	$f'_c \geq 21 \text{ MPa}$ ; $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$	$f'_c \geq 21 \text{ MPa}$ ; $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$

Nota: \* Requisitos obligatorios según NSR-10

Tabla 3. Criterios mínimos a cumplir en el diseño de vigas

En el Proyecto se analizaron las luces más largas y los diferentes tipos de apoyo, dando como resultado las siguientes dimensiones:

Espesor mínimo, h					
		Simplemente apoyados	Con un Extremo continuo	Ambos extremos continuos	En Voladizo
Elementos	Elementos que soportan o estén ligados a divisiones u otro tipo de elementos susceptibles de dañarse debido a deflexiones grandes				
Losas macizas en una dirección	L/14	L/16	L/19	L/7	
	L = 0.00	L = 6.40	L = 6.40	L = 1.50	
	0.00 m	0.40 m	0.34 m	0.21 m	
	<b>h = 0.60 m</b>	<b>h = 0.50 m</b>	<b>h = 0.45 m</b>	<b>h = 0.00 m</b>	
Vigas o losas nervadas en una dirección	L/11	L/12	L/14	L/5	
	L = 0.00	L = 6.40	L = 6.40	L = 1.50	
	0.00 m	0.53 m	0.46 m	0.30 m	
	<b>h = 0.00 m</b>	<b>h = 0.55 m</b>	<b>h = 0.50 m</b>	<b>h = 0.30 m</b>	<i>h = 0.55 m</i>
	bc = 0.00	bc = 0.27	bc = 0.23	bc = 0.15	
	<b>bc = 0.40</b>	<b>bc = 0.45</b>	<b>bc = 0.45</b>	<b>bc = 0.25</b>	<i>h = 0.45 m</i>

Tabla 4. Espesor mínimo de Vigas

De acuerdo a lo presentado en la Tabla 2, la altura mínima para la viga crítica del modelo estructural es de 55 cm, con un ancho de 45 cm.

Verificando que se cumpla la condición de Luz libre entre la longitud más corta de viga, la cual se encuentra entre los ejes 8-9 = 4.40 metros:

$$Ln \geq 4h \rightarrow 4.4m \geq 4 * 0.55 = 2.20, \text{ Se cumple la condición.}$$

Relación de forma, se debe cumplir que  $\frac{b}{h} \geq 0.3 = \frac{0.45}{0.55} = 0.82 \text{ Ok}$

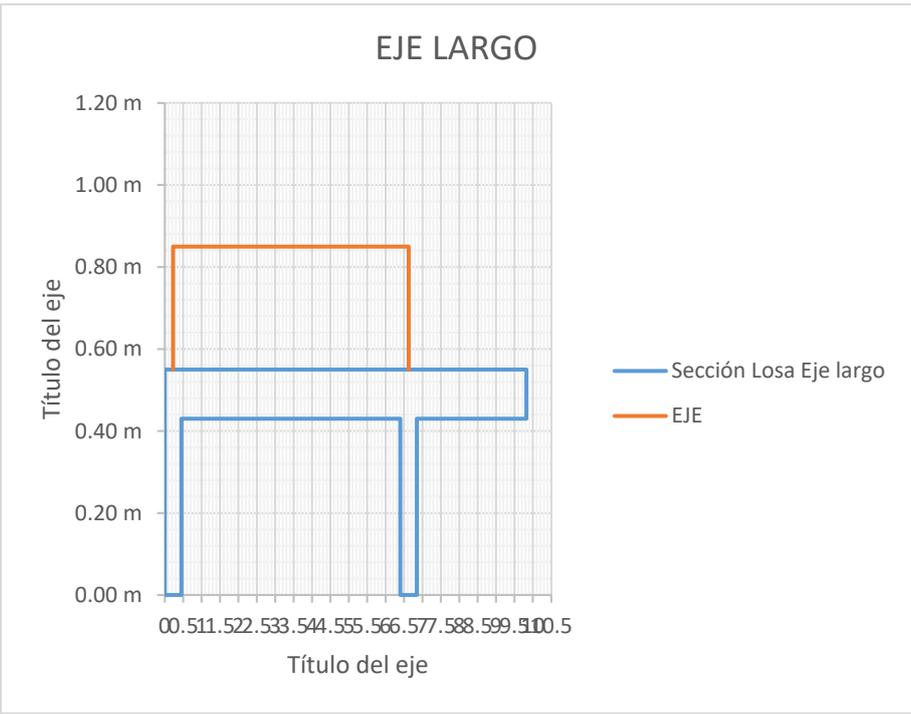
Con el fin de verificar el espesor mínimo necesario para una losa Maciza que asemeje a la losa aligerada en 2 direcciones, se realiza el siguiente procedimiento, para el cual se hace uso de los teoremas de Steiner para cálculo de momentos de inercia.

Luz de viga  
desfavorable

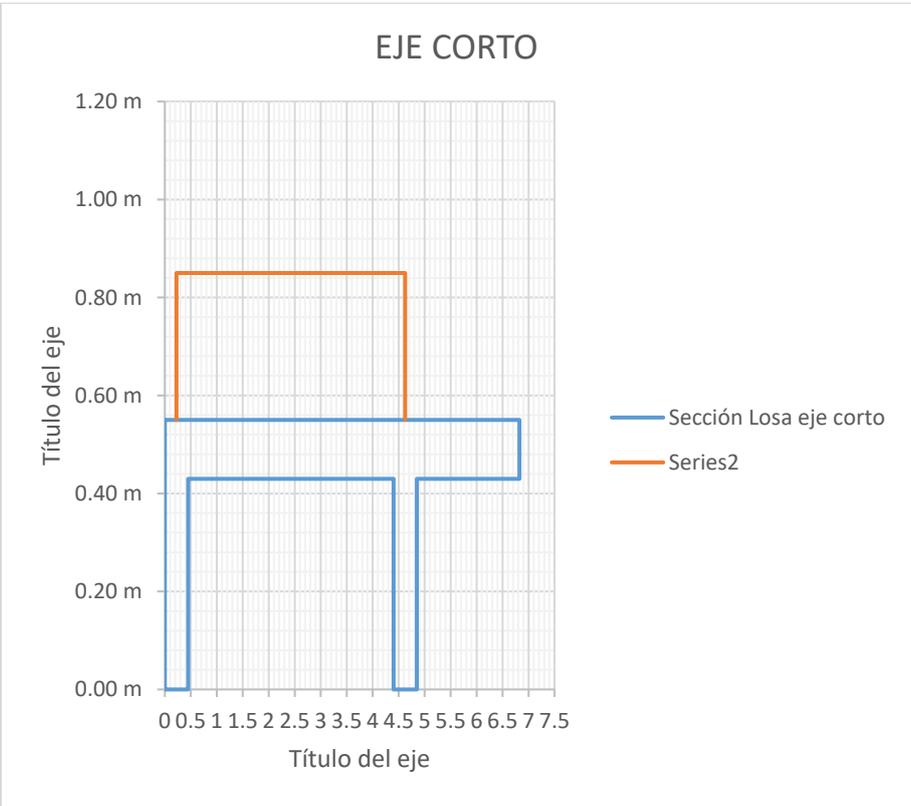
<b>L largo</b>	6.40 m
<b>L corto</b>	4.20 m

<b>h = perímetro/180</b>	<b>0.120 m</b>
------------------------------	----------------

<b>h viga</b>	0.55 m
<b>b viga</b>	0.45 m
<b>Losa</b>	0.120 m



*Ilustración 5. Eje largo*



*Ilustración 6. Eje Corto*

### 3.2. Columnas

Para el cálculo de las columnas se debe tener en cuenta las tablas del Título B de la NSR 10, donde se especifican los valores para las cargas Muertas y Vivas de acuerdo al uso de la edificación.

Ocupación o uso		Carga uniforme (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Carga uniforme (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta
<b>Reunión</b>	Balcones	5.0	500
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Silletería fija (fijada al piso)	3.0	300
	Gimnasios	5.0	500
	Vestibulos	5.0	500
	Silletería móvil	5.0	500
	Áreas recreativas	5.0	500
	Plataformas	5.0	500
	Escenarios	7.5	750
<b>Oficinas</b>	Corredores y escaleras	3.0	300
	Oficinas	2.0	200
	Restaurantes	5.0	500
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Bibliotecas		
	Salones de lectura	2.0	200
<b>Fábricas</b>	Estanterías	7.0	700
	Industrias livianas	5.0	500
<b>Institucional</b>	Industrias pesadas	10.0	1000
	Cuartos de cirugía, laboratorios	4.0	400
<b>Comercio</b>	Cuartos privados	2.0	200
	Corredores y escaleras	5.0	500
	Minorista	5.0	500
<b>Residencial</b>	Mayorista	6.0	600
	Balcones	5.0	500
	Cuartos privados y sus corredores	1.8	180
<b>Almacenamiento</b>	Escaleras	3.0	300
	Liviano	6.0	600
<b>Garajes</b>	Pesado	12.0	1200
	Garajes para automóviles de pasajeros	2.5	250
	Garajes para vehículos de carga de hasta 2,000 kg de capacidad.	5.0	500
<b>Colliseos y Estadios</b>	Graderías	5.0	500
	Escaleras	5.0	500

Tabla B.4.2.1-1 NSR-10 (AIS, 2012)

Tabla 5. Cargas Vivas NSR 10

Ocupación	Fachada y particiones (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kN/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Fachada y particiones (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	Afinado de piso y cubierta (kgf/m <sup>2</sup> ) m <sup>2</sup> de área en planta	
<b>Reunión</b>	Edificaciones con un salón de reunión para menos de 100 personas y sin escenarios.	1.0	1.8	100	180
<b>Oficinas</b>	Particiones móviles de altura total	1.0	1.8	100	180
	Particiones fijas de mampostería	2.0	1.8	200	180
<b>Educativos</b>	Salones de clase	2.0	1.5	200	150
<b>Fábricas</b>	Industrias livianas	0.8	1.6	80	160
<b>Institucional</b>	Internados con atención a los residentes	2.0	1.6	200	160
	Prisiones, cárceles, reformatorios y centros de detención	2.5	1.8	250	180
	Guarderías.	2.0	1.6	200	160
<b>Comercio</b>	Exhibición y venta de mercancías.	1.5	1.4	150	140
<b>Residencial</b>	Fachada y particiones de mampostería.	3.0	1.6	300	160
	Fachada y particiones livianas.	2.0	1.4	200	140
<b>Almacenamiento</b>	Almacenamiento de materiales livianos.	1.5	1.5	150	150
<b>Garajes</b>	Garajes para vehículos con capacidad de hasta 2000 kg	0.2	1.0	20	100

Tabla B.3.4.3-1 NSR-10 (AIS, 2012)

Tabla 6. Cargas Muertas NSR 10

Definiendo las cargas de uso y los niveles para la columna crítica del proyecto C21. Se realiza la siguiente tabla:

**DISEÑO COLUMNA**

Columna/muro	<b>b (m)</b>	<b>h (m)</b>
<b>CRITICA</b>	0.45 m	0.90 m
OK, Sección de Columna aceptable		
	$P/(f'cAg) \leq 0.35$	0.30

<b>DATOS CUBIERTA</b>	
Perimetro Muro Cubierta	94.50 m

Densidad Ladrillo Kg/m3	1850
Espesor	0.12 m
Altura	1.00 m

<b>W CONCRETO (Kg/m3)</b>	2400
<b>KN/m3</b>	23.53596

<b>A<sub>r</sub> (m<sup>2</sup>)</b>	<b>A<sub>Af</sub> (m<sup>2</sup>)</b>
491.00 m <sup>2</sup>	23.98 m <sup>2</sup>
373.8949124	13.9

<b>L Viga Aferente (m)</b>	13.30 m
----------------------------	---------

<b>Área</b>	5.99 m <sup>2</sup>
	5745.6



<b>Área Tanque (m2)</b>	7.04	
<b>10000 L</b>	1420.455	(Kg/m2)
<b>Area Aferente</b>	0	
<b>Carga</b>	0	(Kg/m2)

Nivel de piso	Altura de piso	Carga viva	Peso propio losa	Carga muerta sobre impuesta			Carga muerta otros	Carga muerta total
				Acabados	Particiones	Instalaciones		
<b>N</b>	<b>h<sub>p</sub> (m)</b>	<b>Q<sub>L</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>pp.losa</sub> (Kg/m2)</b>	<b>Q<sub>acab</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>part</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>inst</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>o, otros</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>	<b>Q<sub>o</sub> (Kg/m<sup>2</sup>)</b>
Terraza	3.1	180	360	160	42.7271	15	1420.455	1998.18
6	3.1	373.8949124	360	160	200	20	0	740.00
5	3.1	373.8949124	360	160	200	20	0	740.00
4	3.1	373.8949124	360	160	200	20		740.00
3	3.1	373.8949124	360	160	200	20		740.00
2	3.1	373.8949124	360	160	200	20		740.00
1	3.1	373.8949124	360	160	200	20		740.00
Base	21.7	2423.369475						6438.18

	Carga servicio	Área aferente columna/muro	Columna/muro	Peso propio vigas (en Aaferente)	Carga axial (aplicada)	Fuerza axial (acumulada)
	Q <sub>s</sub> (Kg/m <sup>2</sup> ) = 1.2D + 1.6L	Asf.col (m <sup>2</sup> )	1.2*PP col (Kg)	1.2*PP vigas (Kg)	N <sub>s</sub> col (Kg)	P <sub>s</sub> col (Kg)
Terraza	2685.82	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	74916.47	74916.47 Kg
6	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	121066.87 Kg
5	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	167217.27 Kg
4	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	213367.67 Kg
3	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	259518.07 Kg
2	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	305668.47 Kg
1	1486.23	23.98 m <sup>2</sup>	3615.84	6894.72	46150.40	351818.87 Kg
Base	11603.21				0.00	351818.87 Kg
	<b>23206.42 Kg/m2</b>		<b>25310.88 Kg</b>	<b>48263.04 Kg</b>		<b>351818.87 Kg</b>
						351.82 Ton

<b>Dimensionamiento preliminar</b>	
<b>Fuerza axial (acumulada)</b>	
1.2PD + 1.6PL (KN)	
351818.87 Kg	
3451343.16 N	
f'c (Mpa)	28
$P/(f'cAg) \leq 0.35$	0.30
OK, Sección de Columna aceptable	

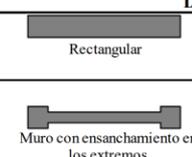
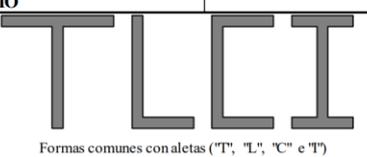
Tabla 7. Dimensionamiento de Columnas

De acuerdo a las secciones definidas de 45 cm x 90 cm la columna tiene una relación  $\frac{Pu}{Ag \cdot f'c} = 0.30$  lo cual es menor a 0.35.

### 3.3. Muros.

Para definir el espesor de los muros se empleó siguiente tabla

#### Dimensionamiento preliminar de elementos de concreto reforzado – Muros

Parámetro	Recomendaciones	
	DMO	DES
Forma (sección transversal) <i>¡Evitar secciones complejas!</i>	 Rectangular Muro con ensanchamiento en los extremos	 Formas comunes con aletas ("T", "L", "C" e "T")
Espesor mínimo del alma	Se recomienda el máximo de: $t_w \geq 150 \text{ mm}$ ; $t_w \geq h_n/16$ ; $t_w \geq l_w/25$ $t_w \geq 350 \text{ mm}$ (cuando hay vigas de acople)	Se recomienda el máximo de: $t_w \geq 200 \text{ mm}$ ; $t_w \geq h_n/16$ ; $t_w \geq l_w/25$ $t_w \geq 350 \text{ mm}$ (cuando hay vigas de acople)
Elementos de borde (EB) <i>(no siempre es necesario incluir elementos de borde)</i>	Se recomienda: $t_{EB} \geq 250 \text{ mm}$ ( $t_{EB} \geq 350 \text{ mm}$ cuando hay vigas de acople) $l_{EB} \geq 300 \text{ mm}$ (depende de la profundidad del eje neutro)	Se recomienda: $t_{EB} \geq 300 \text{ mm}$ ( $t_{EB} \geq 350 \text{ mm}$ cuando hay vigas de acople) $l_{EB} \geq 300 \text{ mm}$ (depende de la profundidad del eje neutro)
Relación de aspecto (al menos, para muros principales)	Se recomienda $4 \leq \frac{h_w}{l_w} \leq 6$ (quizás $4 \leq \frac{h_w}{l_w} \leq 8$ )	Se recomienda $4 \leq \frac{h_w}{l_w} \leq 6$ (quizás $4 \leq \frac{h_w}{l_w} \leq 8$ )
Ralación de carga axial $P = 1.2D + 1.6L$	Se recomienda $\frac{P}{A_g f'_c} \leq 0.35$ ( $\frac{P_u}{A_g f'_c} \leq 0.35$ )	Se recomienda $\frac{P}{A_g f'_c} \leq 0.30$ ( $\frac{P_u}{A_g f'_c} \leq 0.30$ )
<b>Para sistemas de muros</b> Área total de secciones de muros paralelos a cada dirección principal, $A_{w,i}$ , con respecto a área total en planta del piso, $A_T$	Se recomienda $\frac{A_{w,i}}{A_T} \geq 0.030$	Se recomienda $\frac{A_{w,i}}{A_T} \geq 0.035$
Resistencia especificada a la compresión	$f'_c \geq 28 \text{ MPa}$ ; $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$	$f'_c \geq 28 \text{ MPa}$ ; $E_c = 4700\sqrt{f'_c}$

SECCIÓN DE MUROS			
<b>h entre piso</b>	3.10 m	<b><math>l_w</math></b>	6.40 m

Se recomienda el máximo de:		
$t_w \geq 200 \text{ mm}$	200.00 mm	<b>256.00 mm</b>
$t_w \geq h_n/16$	193.75 mm	
$t_w \geq l_w/25$	256.00 mm	

OK		
Columna/muro	$t_w$ (m)	$L_w$ (m)
<b>MURO</b>	0.30 m	6.40 m
OK, Sección de Columna aceptable		
$P/(f'cAg) \leq 0.30$	0.07	

Tabla 8. Verificación de Muros

Tomando un espesor de muros de 30 cm para el modelo.

#### 4. Geometría.

El proyecto está conformado por un sistema estructural combinado (pórticos en concreto y muros), los cuales resisten las fuerzas sísmicas horizontales y verticales, cuenta con una altura libre 2.55 metros y una altura piso a piso de 3.10 metros.

La edificación es una estructura de cinco niveles de columnas de 45cm x 90cm, las vigas de la estructura principal son de 45cm x 55cm, Muros de 30 cm.

#### 5. Requisitos generales del diseño Sismo Resistente

##### 5.1. Zona de Amenaza Sísmica:

En la Tabla A.2.3-2 del Reglamento NSR – 10, la edificación del proyecto se encuentra en zona de amenaza sísmica Alta

**Tabla A.2.3-2**  
**Valor de  $A_a$  y de  $A_v$  para las ciudades capitales de departamento**

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

## 5.2. Coeficientes Aa y Av:

Los coeficientes de aceleración horizontal y de velocidad horizontal pico efectiva fueron seleccionados de la tabla A.2.3-2 y de las figuras A.2.3-2 y A.2.3-3 de la NSR – 10.

- Aceleración horizontal pico efectiva Aa: 0.25
- Aceleración Vertical pico efectiva Av: 0.25

## 5.3. Definición del tipo de perfil de Suelo y Coeficientes Fa y Fv:

De acuerdo al estudio geotécnico realizado para edificación y a la tabla A.2.4-1 y A.24-3, el perfil de Suelo es Tipo D.

**A.2.4.4 — DEFINICIÓN DEL TIPO DE PERFIL DE SUELO** — El procedimiento que se emplea para definir el tipo de perfil de suelo se basa en los valores de los parámetros del suelo de los 30 metros superiores del perfil, medidos en el sitio que se describieron en A.2.4.3. La clasificación se da en la tabla A.2.4-1.

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

Tipo de perfil	Descripción	Definición
<b>A</b>	Perfil de roca competente	$\bar{v}_s \geq 1500$ m/s
<b>B</b>	Perfil de roca de rigidez media	$1500 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 760$ m/s
<b>C</b>	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 360$ m/s
	perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$\bar{N} \geq 50$ , o $\bar{s}_u \geq 100$ kPa ( $\approx 1$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>D</b>	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > \bar{v}_s \geq 180$ m/s
	perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > \bar{N} \geq 15$ , o $100 \text{ kPa} (\approx 1 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u \geq 50$ kPa ( $\approx 0.5$ kgf/cm <sup>2</sup> )
<b>E</b>	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$180 \text{ m/s} > \bar{v}_s$
	perfil que contiene un espesor total <b>H</b> mayor de 3 m de arcillas blandas	<b>IP</b> > 20 <b>w</b> $\geq 40\%$ $50 \text{ kPa} (\approx 0.50 \text{ kgf/cm}^2) > \bar{s}_u$
<b>F</b>	Los perfiles de suelo tipo <b>F</b> requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista de acuerdo con el procedimiento de A.2.10. Se contemplan las siguientes subclases: <b>F<sub>1</sub></b> — Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como: suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc. <b>F<sub>2</sub></b> — Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas ( <b>H</b> > 3 m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas). <b>F<sub>3</sub></b> — Arcillas de muy alta plasticidad ( <b>H</b> > 7.5 m con Índice de Plasticidad <b>IP</b> > 75) <b>F<sub>4</sub></b> — Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda ( <b>H</b> > 36 m)	

Tabla A.2.4-3 Valores del coeficiente Fa, para la zona de periodos cortos del espectro						
Tiop de perfil	Intensidad de los Movimientos Sísmicos					
	Aa <= 0.1	Aa = 0.20	Aa = 0.25	Aa = 0.3	Aa = 0.40	Aa >= 0.50
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.8
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
C	1.20	1.20	1.15	1.10	1.00	1
D	1.60	1.40	1.30	1.20	1.10	1
E	2.50	1.70	1.45	1.20	0.90	0.9
F	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota

**Nota:** Para el perfil tipo F debe realizarse una investigación geotécnica particular para el lugar específico y debe llevarse

Tabla A.2.4-4 Valores del coeficiente Fv, para la zona de periodos cortos del espectro						
Tiop de perfil	Intensidad de los Movimientos Sísmicos					
	Aa <= 0.1	Aa = 0.20	Aa = 0.25	Aa = 0.3	Aa = 0.40	Aa >= 0.50
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.8
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1
C	1.70	1.60	1.55	1.50	1.40	1.3
D	2.40	2.00	1.90	1.80	1.60	1.5
E	3.50	3.20	3.00	2.80	2.40	2.4
F	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota	Ver Nota

Para definir los valores de Fa y Fv, se emplean las tablas A2.4-3 y a.24-4

- Coeficiente de amplificación del suelo para periodos cortos Fa: 1.30
- Coeficiente de amplificación del suelo para periodos cortos Fv: 1.90

#### 5.4. Coeficiente de importancia:

Según la Tabla A.2.5-1 de la NSR-10, este considera la importancia para la atención y recuperación de las personas después de la ocurrencia de un sismo.

Mediante esta tabla, se determina una importancia (I = 1.50), Estructura pertenecientes al Grupo I, Grupo de Ocupación Normal.

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

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

#### 5.5. Espectro de diseño

La forma del espectro elástico de aceleraciones, Sa expresada como fracción de la gravedad, para un coeficiente de cinco por ciento (5%) del amortiguamiento crítico, que se debe utilizar en el diseño, se da en la figura A.2.6-1.

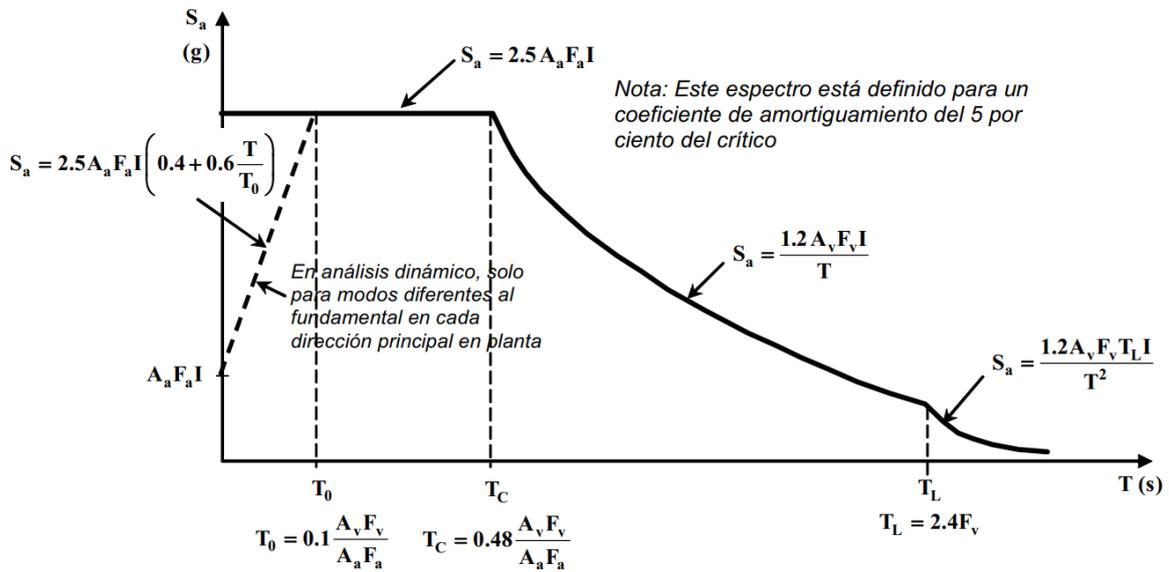


Figura A.2.6-1 — Espectro Elástico de Aceleraciones de Diseño como fracción de g

Aplicando las ecuaciones del Figura A.26-1

<b>I (Factor de importancia)</b>	1.50		
<b>Perfil suelo</b>	D		
<b>Aa</b>	0.25		
<b>Av</b>	0.25	<b>Ae</b>	0.20
<b>Fa</b>	1.30		
<b>Fv</b>	1.90		
<b>T0</b>	0.146	<b>F0</b>	6.84
<b>Tc</b>	0.702	<b>Fc</b>	1.43
<b>TL</b>	4.560	<b>FL</b>	0.22

ESPECTRO DE DISEÑO				
f (Hz)	T (s)	Sa (g)	Sv (m/s)	Sdy (m)
50.00	0.020	1.219	0.04	0.0001
8.33	0.120	1.219	0.23	0.0039
3.13	0.320	1.219	0.61	0.0310
1.92	0.520	1.219	0.99	0.0817
1.39	0.720	1.188	1.33	0.1539
1.09	0.920	0.929	1.33	0.1967
0.89	1.120	0.763	1.33	0.2394
0.76	1.320	0.648	1.33	0.2822
0.66	1.520	0.563	1.33	0.3249
0.58	1.720	0.497	1.33	0.3677
0.52	1.920	0.445	1.33	0.4104

ESPECTRO DE DISEÑO				
f (Hz)	T (s)	Sa (g)	Sv (m/s)	Sdy (m)
0.47	2.120	0.403	1.33	0.4532
0.43	2.320	0.369	1.33	0.4959
0.40	2.520	0.339	1.33	0.5387
0.37	2.720	0.314	1.33	0.5814
0.34	2.920	0.293	1.33	0.6242
0.32	3.120	0.274	1.33	0.6669
0.30	3.320	0.258	1.33	0.7097
0.28	3.520	0.243	1.33	0.7524
0.27	3.720	0.230	1.33	0.7952
0.26	3.920	0.218	1.33	0.8379
0.24	4.120	0.208	1.33	0.8807
0.23	4.320	0.198	1.33	0.9234
0.22	4.520	0.189	1.33	0.9662
0.21	4.720	0.175	1.29	0.9747
0.20	4.920	0.161	1.23	0.9747
∞	0.00	0.49	0.00	0.0000
20.53	0.05	0.73	0.06	0.0004
10.26	0.10	0.98	0.15	0.0023
6.84	0.15	1.22	0.28	0.0065

Tabla 9. Valores de Sa, Sv, Sd, para espectro de diseño

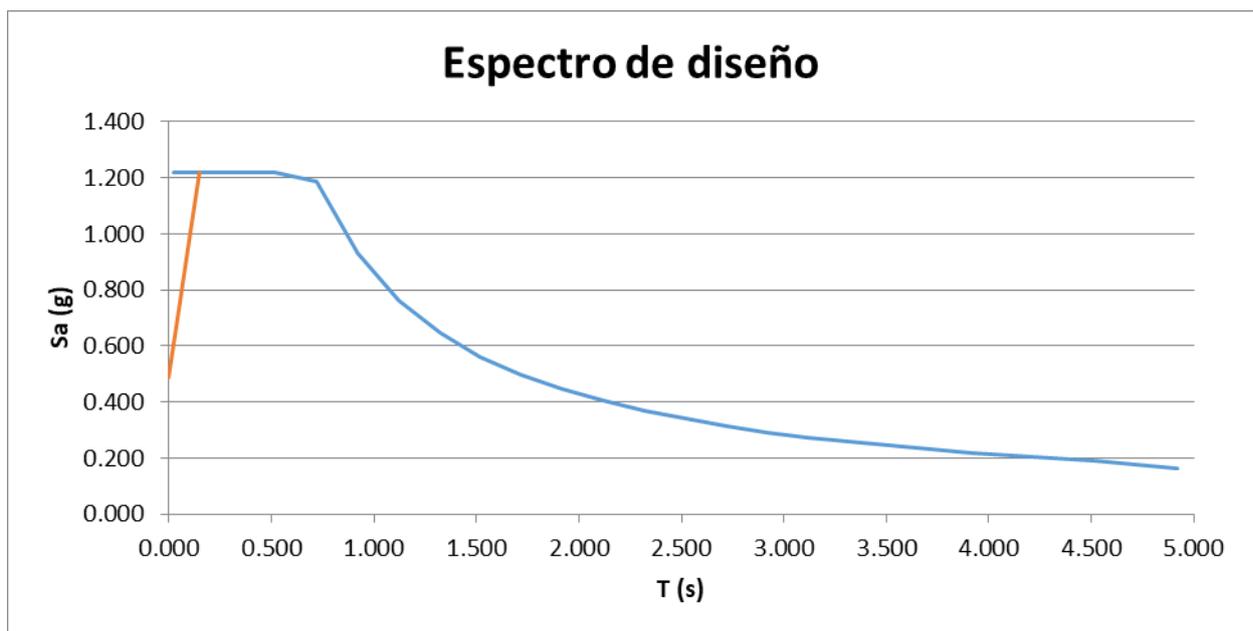


Ilustración 7. Espectro de Diseño

## 5.6. Coeficientes de disipación de energía (R)

Cuando una estructura se clasifique como irregular, el valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía R que se utilice en el diseño sísmico de la edificación, debe reducirse multiplicándolo por  $\Phi_p$ , debido a irregularidades en planta, por  $\Phi_a$  debido a irregularidades en altura, y por  $\Phi_r$  debido a ausencia de redundancia, como indica la ecuación A.3.3-1.

El valor del coeficiente de capacidad de disipación de energía para ser empleado en el diseño, corresponde al coeficiente de disipación de energía básico,  $R_0$ , multiplicado por los coeficientes de reducción de capacidad de disipación de energía por irregularidades en altura, en planta, y por ausencia de redundancia en el sistema estructural de resistencia sísmica.

$$(R = \phi_a \phi_p \phi_r R_0)$$

PORTICOS CALCULO PERIODO FUNDAMENTAL $T_a$ Y CORTANTE BASAL $V_s$	
Ct	0.047
$\alpha$	0.9
h	21.7
Ta	0.75
Cu	1.18
CuTa	0.88
K	1.192

$T_a = C_t * h^\alpha$   
 $C_u = 1.75 - 1.2 * A_v * F_v$   
 Periodo Máximo

MUROS CALCULO PERIODO FUNDAMENTAL $T_a$ Y CORTANTE BASAL $V_s$	
Ct	0.049
$\alpha$	0.75
h	21.7
Ta	0.49
Cu	1.18
CuTa	0.58
K	1.041

$T_a = C_t * h^\alpha$   
 $C_u = 1.75 - 1.2 * A_v * F_v$   
 Periodo Máximo

Tabla 10. Calculo del Periodo Fundamental

Debido a que la estructura es combinada con pórticos y muros, se hace el uso de  $CuTa$  promedio.

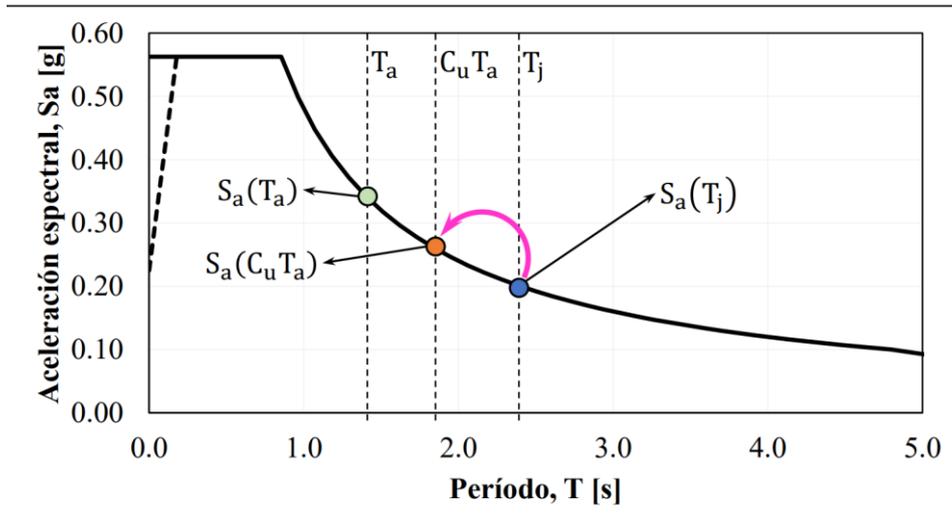
Para el cálculo de la Cortante Basal mínimo se verifica lo siguiente:

Si  $T_j \geq CuTa$ , utilizar  $T = CuTa$  para calcular  $V_s$ .

- Si  $T_a \leq T_j < CuTa$ , utilizar  $T = T_j$  para calcular  $V_s$ .

- Si  $T_j < T_a$ , utilizar  $T = T_a$  para para calcular  $V_s$ .

**Para análisis dinámicos elásticos (A.5.4.5, NSR-10)**



Vx		Vy	
Ta	0.62	Ta	0.62
CuTa	0.73	CuTa	0.73
Tj	0.762	Tj	0.675

T a usar	<b>0.733</b>	T a usar	<b>0.675</b>
Sa	1.219	Sa	1.219
<b>Vs mín = W *Sa * (Tj)</b>		<b>Vs mín = W *Sa * (Tj)</b>	
<b>Vs min (KN)=</b>	38741.73	<b>Vs min (KN)=</b>	35675.61

Tabla 11. Periodo Fundamenta promedio y Cortante

<b>Coefficiente de disipación de energía básico, R0</b>	5
<b>Coefficiente de sobrerresistencia <math>\Omega 0</math></b>	2.5

<b><math>\Phi_p</math></b>	0.8
<b><math>\Phi_a</math></b>	1
<b><math>\Phi_r</math></b>	1

<b>R</b>	4
----------	---

Tabla 12. Coeficientes de disipación de energía para diseño

## 5.7. Resultados de Fuerza Horizontal

De acuerdo a los resultados obtenidos mediante el Programa ETABS, se obtienen los valores de las reacciones de acuerdo al Sismo generado. Con estos resultados se realiza el ajuste de fuerza horizontal equivalente, para lo cual se obtiene un ajuste de 1.04 para HHEX y de 1.13 para FHEy.

TABLE: Base Reactions											
Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ	X	Y	Z
			kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m	m	m	m
Ex (Dinamico)	LinRespSpec	Max	40750.0219	22600.3097	0	343826.376	630440.503	589817.7194	0	0	0
Ey (Dinamico)	LinRespSpec	Max	22600.3138	37494.7458	0	576621.266	345317.1971	687854.1784	0	0	0
Sx	LinStatic		-48564.1784	0.0001	0	-7.00E-04	-739033.145	478148.2631	0	0	0
Sy	LinStatic		-1.00E-04	-48564.175	0	739033.081	-0.0014	-708234.846	0	0	0
CCmuerta	Combination		2.03E-05	-6.93E-06	43366.359	425854.585	-625974.488	-3.00E-04	0	0	0

### Fuerza horizontal Equivalente

Factor regularidad	0.8	
Sa (Modelo)	1.219	
Vb (Cortante Basal) SaWg	52852.75 KN	
Vbd (cortante basal dinamico)	42282.20 KN	
Factor de ajuste de la Gravedad X	10.18	
Factor de ajuste de la Gravedad Y	11.06	
FHEX	1.038	1.04
FHEy	1.128	1.13
w	43366.36 KN	

Tabla 13. Ajuste de Fuerza horizontal Equivalente

Para el ajuste se tiene una Cortante basal dinámica de 42282.20 KN, y mediante las ecuaciones de la Tabla 10 la cortante basal mínima de 38741.73 KN.

A continuación, se presentan los valores de cortante arrojados por el programa ETABS V.19

Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ
			kN	kN	kN
Sx	LinStatic		-48564.1784	0.0001	0
Sy	LinStatic		-0.0001	-48564.175	0
Ex (Dinamico) * 1.04	LinRespSpec	Max	42380.3704	23504.5139	0
Ey (Dinamico) * 1.13	LinRespSpec	Max	25538.5509	42369.389	0

## 6. Combinaciones de carga.

El diseño de las estructuras, sus componentes y cimentaciones debe hacerse de tal forma que sus resistencias de diseño igualen o excedan los efectos producidos por las cargas mayoradas, como se estipula en B.2.4.2

$1.4(D+F)$	(B.2.4-1)
$1.2(D+F+T)+1.6(L+H)+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$	(B.2.4-2)
$1.2D+1.6(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)+(L \text{ ó } 0.8W)$	(B.2.4-3)
$1.2D+1.6W+1.0L+0.5(L_r \text{ ó } G \text{ ó } L_e)$	(B.2.4-4)
$1.2D+1.0E+1.0L$	(B.2.4-5)
$0.9D+1.6W+1.6H$	(B.2.4-6)
$0.9D+1.0E+1.6H$	(B.2.4-7)

Ilustración 8. Combinaciones Título B.2.4.2

A continuación, se presentan las combinas del modelo en ETABS

$$\begin{aligned}
 U1 &= 1.4D \\
 U2 &= 1.2D + 1.6L \\
 U3 &= 1.2D + 1.0L \\
 U4 &= 1.2D + 1.0L \\
 U5 &= 1.2D + 1.0L \\
 U6 &= 1.2D + 1.0L \\
 U7 &= 0.9D + 1Ex + 0.3Ey \\
 U8 &= 0.9D + 0.3Ex + 1.0Ey \\
 U9 &= 0.9D + 1.0Ex - 0.30Ey \\
 U10 &= 0.9D - 0.3Ex + 1.0Ey
 \end{aligned}$$

Ilustración 9. Combinaciones ETABS

## 7. Evaluación de la Deriva Máxima $\Delta_{\max}$ . A.6.3

Límites de Deriva: La deriva máxima para cualquier piso determinada de acuerdo con el procedimiento de A.6.3.1, no puede exceder los límites establecidos en la tabla A.6.4-1, en la cual la deriva máxima se expresa como un porcentaje de la altura de piso  $h_{pi}$  :

Tabla A.6.4-1  
Derivas máximas como porcentaje de  $h_{pi}$

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

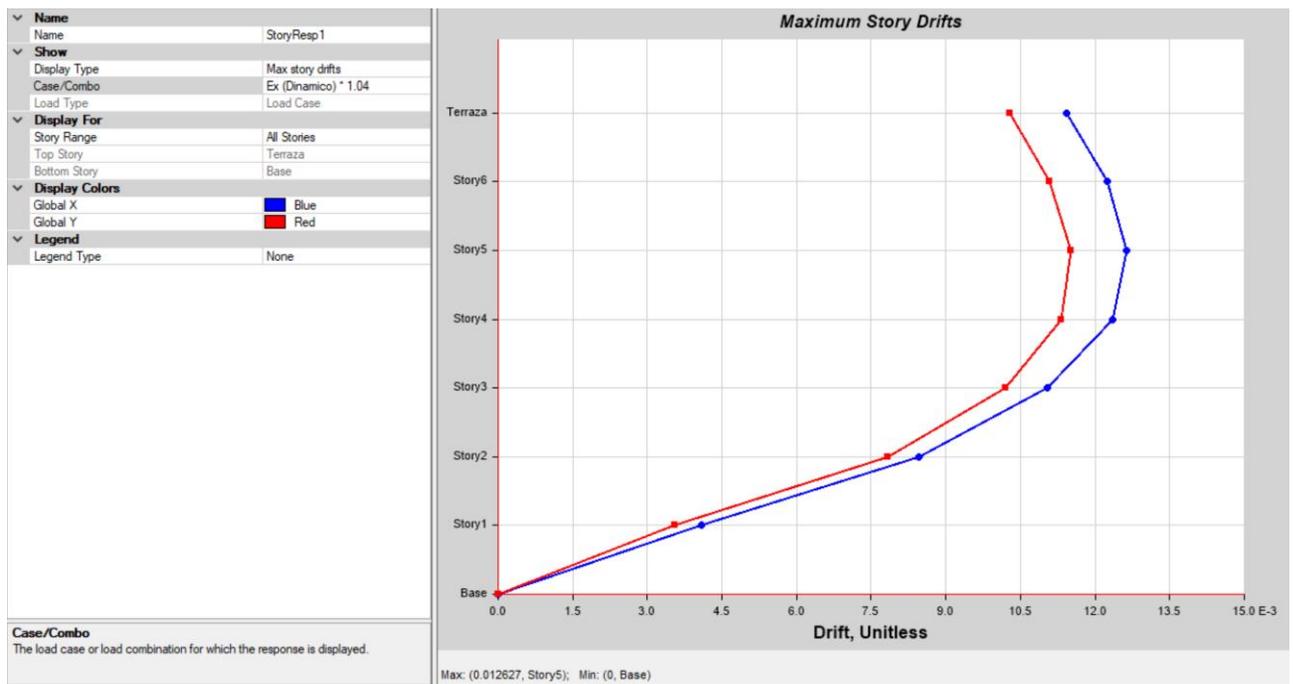


Ilustración 10. Derivas en X

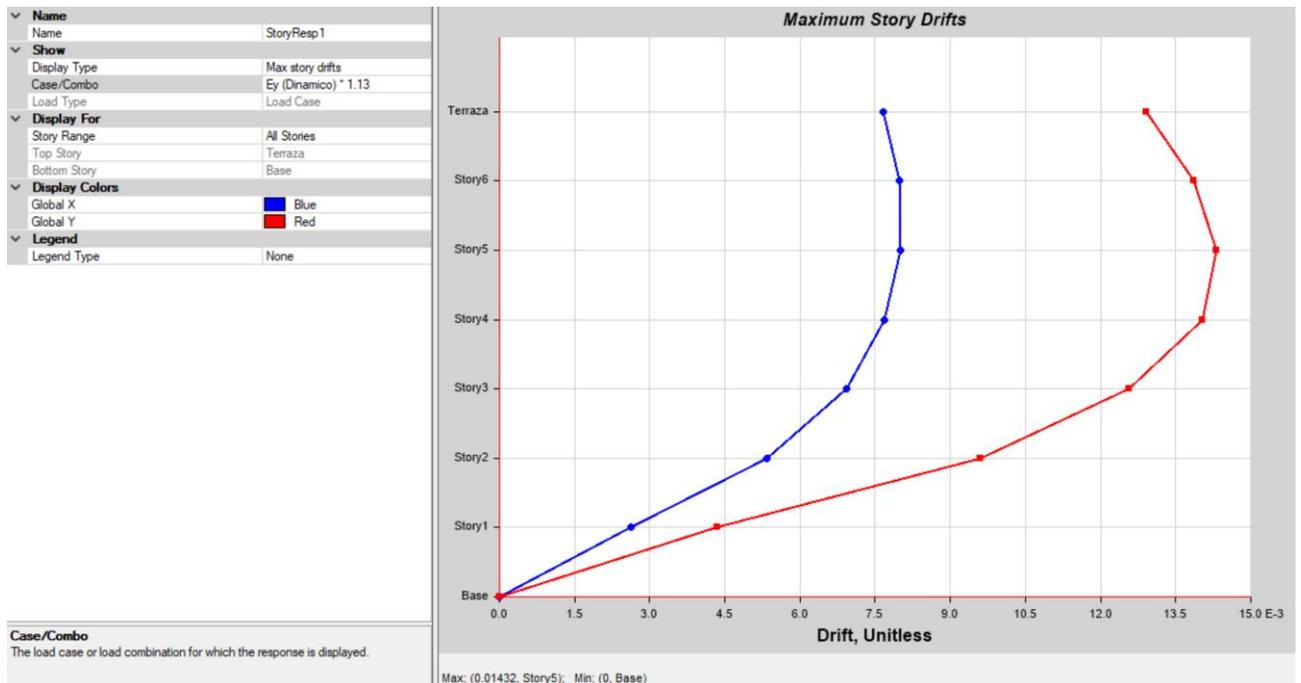


Ilustración 11. Derivas en Y

**A.6.4.1.1** — Cuando se utilicen secciones fisuradas, tanto en concreto reforzado, como en mampostería y en el caso de estructuras mixtas con acero, las derivas pueden multiplicarse por 0.7 antes de hacer la comparación con los límites dados en la tabla A.6.4-1.

## 8. Cálculo de las características del aislador (Diseño).

A continuación, se presenta el Método para determinar las características de un aislador elastomérico con Núcleo de Plomo (LRB) y su verificación, factores necesarios para el diseño del mismo.

### 8.1. Definición del periodo objetivo:

$$T_{obj} \geq 3 T_{base}$$

#### 1) Periodo objetivo

$T_{base}$	0.65 s
$T_{obj}$	2.00 s
Sa base	0.29
Sa amplificado $Sa^*1.5$	0.43

### 8.2. Definición del amortiguamiento de los aisladores LRB

Basados en la Tabla 17.5-1 ASCE, se define el Amortiguamiento efectivo del Modelo  $\beta_{eff}$ .

Table 17.5-1 Damping Coefficient,  $B_D$  or  $B_M$

Effective Damping, $\beta_D$ or $\beta_M$ (percentage of critical) <sup>a,b</sup>	$B_D$ or $B_M$ Factor
$\leq 2$	0.8
5	1.0
10	1.2
20	1.5
30	1.7
40	1.9
$\geq 50$	2.0

<sup>a</sup>The damping coefficient shall be based on the effective damping of the isolation system determined in accordance with the requirements of Section 17.8.5.2.

<sup>b</sup>The damping coefficient shall be based on linear interpolation for effective damping values other than those given.

*Ilustración 12. Amortiguamiento efectivo*

#### 2) Amortiguamiento de los aisladores LRB: $\beta_D = 15\%-25\%$

Amortiguamiento ASCE Tabla 17.5		2%-50%
Rango	15%-25%	
Usar	$\beta_D = \beta_{eff}$	20%

### 8.3. Definición del coeficiente de amortiguamiento $B_m$

De la ilustración anterior, tabla 17.5-1 de la ASCE, se define un coeficiente  $B_m$  para el coeficiente de amortiguamiento seleccionado.

Tabla 14. Coeficiente de amortiguamiento  $B_M$ .

**3) Coeficiente de amortiguamiento  $B_M$ :**

Coeficiente de Amortiguamiento	$B_M$	1.5
--------------------------------	-------	-----

**8.4. Definición del desplazamiento traslacional  $D_M$**

Para el cálculo del desplazamiento traslacional, se emplea la siguiente ecuación.

$$D_M = \frac{S_a \times T^2 \times g}{4 \times \pi^2 \times \beta M}$$

Tabla 15. Desplazamiento traslacional  $D_M$ .

**4) Desplazamiento Traslacional  $D_M$**

$D_M$	0.283 m
Sa: pseudo aceleración	0.43
T: periodo objetivo	2.00 s
g: gravedad	9.81

**8.5. Definición del desplazamiento total**

Para el cálculo del desplazamiento total, se multiplica por 1.15 el desplazamiento traslacional  $D_M$ .

$$D_{TM} = 1.15 \times D_M$$

Tabla 16. Desplazamiento Total  $D_{TM}$

**5) Desplazamiento Total  $D_{TM}$**

$D_{TM}$	0.33 m
----------	--------

**8.6. Cálculo del peso total por aislador**

Para definir el peso por aislador, se debe seleccionar el peso total de la estructura por medio del análisis de base fija, luego de esto se define el número de aisladores y se calcula el peso por aislador.

$$W = \frac{\text{peso de la estructura}}{\text{\# de aisladores}}$$

Tabla 17. Peso por aislador.

**6) W: Peso de la Estructura dividido entre la cantidad de aisladores**

# de Aisladores	35.00
Peso Estructura (Ton)	4422.14 Ton
W (Ton/Aislador)	126.35 Ton

### 8.7. Calculo de la rigidez efectiva

Después de calcular el peso por aislador, se procede a calcular la rigidez efectiva  $K_{eff}$ .

$$K_{eff} = \frac{4 \times \pi^2 \times W}{T^2 \times g}$$

Tabla 18. Rigidez efectiva.

#### 7) Rigidez Efectiva

Keff (ton/m)	127.11 Ton/m
--------------	--------------

### 8.8. Calculo de la energía disipada por ciclo histerético

$$WD = 2 \times \pi \times K_{eff} \times DM^2 \times \beta D$$

#### 8) Energía disipada en cada ciclo histeretico

WD (ton*m)	12.82
------------	-------

### 8.9. Fuerza Característica del aislador mediante parámetros y cálculos iterativos

Tabla 19. Fuerza característica del Aislador

#### 9) Fuerza característica Q

Opción 1: Metodo de iteración directo en excel						
9) $Q = W_D / [4x(D_M - D_Y)]$	Desplazamiento Traslacional $D_M$	10) Rigiez Elastica $\alpha \cdot K_2$	$K_1 =$	Factor de amplificación	11) Rigidez post-fluencia $K_2 = K_{eff} - Q/D_m$	12) Desplazamiento de Fluencia $D_y = Q / (K_1 - K_2)$
Q	$D_M$	K1		$\alpha$	K2	$D_y$

11.98	0.283279 m	848.40	10.00	84.84	0.015684 m
<b>Opción 2: Suponer un valor inicial Dy = 0, e ir reemplazando</b>				<b>Dy =</b>	<b>0</b>
Desplazamiento de Fluencia Dy = Q/(K1-K2)	<b>Q = W<sub>D</sub>/[4x(D<sub>M</sub>-D<sub>Y</sub>)]</b>	Desplazamiento Traslacional D <sub>M</sub>	Rigidez Elástica = α*K2 K1	Factor de amplificación	Rigidez post-fluencia K2 = Keff-Q/Dm
Dy	Q	D <sub>M</sub>	K1	α	K2
0.01442 m	11.31	0.28	871.80	10.00	87.18
0.01557 m	11.92	0.28	850.39	10.00	85.04
0.01567 m	11.97	0.28	848.57	10.00	84.86
0.01568 m	11.98	0.28	848.41	10.00	84.84
0.01568 m	11.98	0.28	848.40	10.00	84.84
	11.98	0.28	848.40	10.00	84.84

### 8.10. Cálculo del área y diámetro de plomo necesarios

Tabla 20. Área de Plomo y diámetro de Plomo

<b>13) Área de Plomo</b>	
<b>Ap</b>	$Ap = \frac{Q}{Ty}$
0.01 m <sup>2</sup> 117.52 cm <sup>2</sup>	
<b>Ty: valor de tensión de fluencia del plomo, comúnmente es 1019 ton/m<sup>2</sup></b>	1019.00 Ton/m <sup>2</sup>
<b>14) Diámetro de Plomo Dpb</b>	
Diámetro > 10cm	$Dpb = 2x \sqrt{\frac{Ap}{\pi}}$



12.23 cm

### 8.11. Cálculo de la altura el aislador de goma Hr

Para realizar el cálculo de la altura del aislador de goma Hr, se define un valor de deformación lateral por corte  $\gamma_s$ , el cual puede estar entre un rango Máximo de 250% o 2/3 Diámetro del Aislador.

Tabla 21. Altura del aislador de Goma Hr

15) Altura del Aislador de Goma Hr	
Hr	0.16 m
$\gamma_s$ Deformación lateral por corte	180%

$$Hr = \frac{DM}{\gamma_s}$$

### 8.12. Cálculo de la altura total del aislador H

Tabla 22. Altura del Aislador H

16) Altura Aislador H	
H	0.32 m
tr: Espesor de la Goma	0.006 m
ts: Espesor del acero	0.003 m
n Número de láminas de goma	26.2
h: Altura aislador goma y acero	0.240 m
text, Placas externas de acero	3.80 cm

$$H = h + 2 * text$$

$$n = \frac{Hr}{tr}$$

27.0

### 8.13. Cálculo del área de la goma A

Es necesario definir la carga máxima de un aislador con el diseño de cargas que tiene cada norma de diseño de las estructuras, en este caso NSR-10, donde:  $P_{m\acute{a}x} 1.2D+1.6L$  (Ton)

Tabla 23. Área del aislador (Solo goma) A.

17) Área del aislador (solo goma) A	
Área del Aislador Goma A	0.43 m <sup>2</sup>
	4313.11 cm <sup>2</sup>
$P_{m\acute{a}x}$ , Carga máxima de un aislador con el diseño de cargas que tiene cada norma de diseño de las estructuras	$P_{m\acute{a}x} 1.2D+1.6L$ (Ton)
$\sigma_{AC}$ Tensión admisible de la Goma (ton/m <sup>2</sup> )	900.00 Ton/m <sup>2</sup>

$$A = \frac{P_{m\acute{a}x}}{\sigma_{AC}}$$

388.18 Ton

#### 8.14. Diámetro total del aislador D

Para calcular el diámetro D del aislador, es necesario utilizar los valores del área de Plomo Ap y área de goma A.

Tabla 24. Diámetro Aislador D

18) D Diámetro Aislador $D = 2x \sqrt{\frac{Ap+A}{\pi}}$		
0.751 m	75.11 cm	76.00 cm

#### 8.15. Módulo de corte de la goma G

Tabla 25. Módulo de corte de la Goma G.

19) Modulo de corte de la goma	
$G = \frac{K_{eff} \times Hr}{A}$	46.38 Ton/m <sup>2</sup> 65.97 psi
Keff (ton/m)	127.11 Ton/m
Hr	0.157 m
Área de Goma A	0.43 m <sup>2</sup>

#### 8.16. Factor de forma S.

$$S = \frac{D^2 - Dpb^2}{4 * D * tr}$$

Tabla 26. Factor de forma S

20) Factor de forma	
S	30.85
D	0.760 m
Dpb	0.122 m
tr	0.006 m

#### 8.17. Rigidez del aislador con núcleo de plomo Kp.

La rigidez del aislador de núcleo de plomo Kp es el aumento de la rigidez efectiva por coeficiente de 1.15.

$$Kp = 1.15 \times K_{eff}$$

Tabla 27. Rigidez del aislador con un núcleo de plomo.

21) Rigidez del aislador con un núcleo de plomo Kp	
Kp =	146.18 Ton/m

**8.18. Rigidez post-fluencia (no lineal) del aislador con núcleo de plomo.**

$$K_{2p} = K_p - \frac{Q}{D_M}$$

*Tabla 28. Rigidez post-fluencia (no lineal) K2p.*

<b>22) Rigidez post-fluencia del aislador con núcleo de plomo K2p</b>	
$K_{2p}$	103.91 Ton/m

**8.19. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo K1p**

$$K_{1p} = (6.5 \text{ a } 13) \times K_{2p}$$

*Tabla 29. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo.*

<b>23) Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo</b>	
$K_{1p} =$	1013.09 Ton/m

**8.20. Fuerza de fluencia del aislador Fy**

$$F_y = Q + K_p \times D_y$$

*Tabla 30. Fuerza de fluencia del aislador Fy*

<b>24) Fuerza de fluencia del aislador Fy</b>	
$F_y$	14.27 Ton

**8.21. Cálculo de la Rigidez vertical Kv**

$$K_v = \frac{E_v \cdot A}{H_r} + \frac{E_l \cdot A_p}{H_l} \qquad E_v = \frac{1}{\frac{1}{6 \times G \times S^2} + \frac{4}{3 \times K}}$$

Tabla 31. Rigidez vertical  $K_v$

<b>25) Rigidez vertical <math>K_v</math></b>	
$K_v$ : rigidez vertical	330985.32 Ton/m
$E_v$ : módulo de rigidez vertical	95755.85 Ton/m <sup>2</sup>
$E_l$ : módulo de elasticidad del plomo es	1400000.00 Ton/m <sup>2</sup>
K: módulo de compresibilidad de la goma tiene un valor de	200000.00 Ton/m <sup>2</sup>
$Hl = h$ : altura de goma y acero del aislador	0.240 m

### 8.22. Cálculo de la fluencia vertical.

$$f_v = \frac{\sqrt{\frac{K_v}{KH}}}{T}$$

Tabla 32. Fluencia vertical  $K_v$

<b>26) Fluencia vertical <math>K_v</math></b>	
$f_v =$	25.51 1/seg.
T	2.00 s
$KH = K_{eff}$ : rigidez efectiva	127.11 Ton/m

### 8.23. Cálculo de la deformación de corte por deformación.

Se debe cumplir con la relación de deformación de corte por deformación menor igual a 2.25.

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2.25$$

Tabla 33. Deformación de corte por deformación

<b>27) Deformación de corte por deformación</b>	
$\gamma_D$	2.07
	Ok

### 8.24. Cálculo de la deformación de corte por compresión

Para este cálculo se tienen valores límites para el módulo de corte en la goma G, donde debe estar entre los rangos que se presentan a continuación:

Tabla 34. Rangos del módulo de corte G.

$$G \leq 50 \text{ psi} \rightarrow k = 0.90$$

$$G \leq 70 \text{ psi} \rightarrow k = 0.85$$

$$G \leq 90 \text{ psi} \rightarrow k = 0.75$$

$$G \leq 150 \text{ psi} \rightarrow k = 0.65$$

### 28) Deformación de corte por compresión $\gamma_c$

$\gamma_c$	0.55	$\gamma_c = 6 \times S \times \epsilon_c$	$\gamma_c = 6 \times S \times \epsilon_c$
$\epsilon_c$	0.00		
$E_0$	185.53	$E_0 = f \times G$	$\epsilon_c = \frac{\frac{P_{max}}{A}}{E_0 \times (1 + 2 \times k \times S^2)}$
G	46.38 Ton/m <sup>2</sup>		
k	0.85		
f: factor de fábrica es igual a 4	4		

### 8.25. Cálculo de la deformación a la rotación $\gamma_r$ .

La siguiente tabla y sus cálculos solo son aplicables para aisladores de forma circular.

Tabla 35. Deformación a la rotación.

### 29) Deformación a la rotación

$\gamma_r$	0.653	$\gamma_r = 0.375 \times \left( \frac{D}{tr} \right)^2 \times \frac{\theta}{n}$
D	0.751 m	
tr	0.006 m	
$\theta$	0.003 radianes	
n	27.0	

Solo para aisladores forma circular

### 8.26. Cálculo de la deformación máxima

La deformación máxima no debe exceder el límite máximo

Tabla 36. Deformación Máxima.

### 30) Deformación máxima

Deformación máxima	3.278	$\gamma_D + \gamma_c + \gamma_r \leq 5.00$
	Ok	

### 8.27. Cálculo del área reducida $A_R$

$$A_R = \frac{D^2 \times \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\sqrt{D^2 - D_{TM}^2}}{D} \right) - D_{TM} \times \sqrt{D^2 - D_{TM}^2}}{\pi \times D^2}$$

Tabla 37. Área reducida  $A_R$

31) Área reducida	
$A_R$	17.55 m <sup>2</sup>
Agoma	0.43 m <sup>2</sup>
Diámetro	0.75 m
$D_{TM}$	0.33 m

## 8.28. Definición del peso crítico y cálculo de la capacidad axial

Tabla 38.  $P$  Crítico.

32) Peso Crítico y verificar la capacidad axial	
$P_{\text{critico}}$	129279.18 Ton
$P_{\text{MAX}}$	388.18 Ton
S	30.85
n	27.00
D	0.75 m
AR	17.55 m <sup>2</sup>
G	46.38 Ton/m <sup>2</sup>
tr	0.006 m

$$P_{\text{critico}} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \times G \times S \times \frac{D}{n \times t_r} \times A_R$$

Peso critico debe ser mayor que el peso máximo, se debe porque el mayor desplazamiento, genera un área de apoyo que es el área reducida, lo cuales la fuerza máxima recibida.

$P_{\text{critico}} \geq P_{\text{max}}$	Ok
--	----

## 8.29. Verificación del pandeo

Tabla 39. Chequeo de Pandeo

33) Verificación del Pandeo		
Ps : fuerza de corte efectiva	30.51 Ton	$P_s = (GxA)_{eff} = GxA_s$ $A_s = Ax \frac{Hr}{H}$ $P_E = \frac{\pi^2 x (ExI)_{eff}}{H^2}$ $(ExI)_{eff} = \frac{1}{3} x E_V x I$
As : área de corte efectiva, para un aislador LRB incluye el núcleo de plomo	0.66 m <sup>2</sup>	
PE: Carga de Euler para una columna sin deformación al esfuerzo de corte	85376.33 Ton	
(ExI)eff: rigidez a la inclinación o también conocida como "tilting"	498.26 Ton*m <sup>2</sup>	
Ev	95755.85 Ton/m <sup>2</sup>	Ev : módulo de rigidez vertical
I Inercia del Aislador	0.016 m <sup>4</sup>	$I = \frac{\pi}{4} x ((\frac{De}{2})^4 - (\frac{dp}{2})^4)$
De	0.751 m	Diámetro exterior
dp	0.122 m	Diámetro del Plomo

P <sub>crítico</sub> : carga crítica para un fenómeno de pandeo		
P <sub>crit-pandeo</sub>	1612.95 Ton	$P_{crit-pandeo} = \frac{P_s}{2} x \sqrt{1 + 4x \frac{P_E}{P_s}} - 1$ $\frac{P_{crit-pandeo}}{P_{m\acute{a}x}} \geq F.S \rightarrow F.S > 1$
4.16	Ok	

## 8.30. Verificación de la Rigidez efectiva lateral Keff

Tabla 40. Verificación de rigidez efectiva Keff

34) Verificación de la Rigidez efectiva lateral Keff		
Qd	11.98 Ton	$K_{eff} = \frac{Qd}{Dtm} + Kd$
DTM	0.326 m	
Keff	<b>577.21 Ton/m</b>	

## 9. Evaluación de las condiciones de las características del aislador comercial.

Mediante el uso de un catálogo de aisladores de goma con núcleo de plomo, se realiza el paralelo a los diseños presentados anteriormente, donde se seleccionan las dimensiones de un aislador comercial para ser chequeadas con los parámetros obtenidos, y de esta forma seleccionar el más adecuado.

### 9.1. Cálculo del área y diámetro de plomo necesarios.

Para realizar el diseño del aislador mediante el uso de aisladores comerciales, se hace necesario seleccionar el diámetro del aislador comercial, para luego realizar el uso de las propiedades de este.

Tabla 41. Selección de diámetro del aislador comercial.

Seleccionar Diámetro (mm) del Aislador Comercial		800 mm	
	Min	Máx.	
Área Comercial Máxima	415.48 cm <sup>2</sup>		
	Cumple Área mínima		
Área de Diseño a utilizar	415.48 cm <sup>2</sup>		OK
	Mín.		Máx.
Diámetro del Plomo, DL (mm)	0		230
	Cumple con Diámetro mínimo		
Diámetro del Plomo a utilizar en Diseño	23.00 cm		

Tabla 42. Comparación entre desplazamientos totales del aislador seleccionado y lo calculado.

Desplazamiento Total Calculado DTM	0.33 m	
Desplazamiento Máximo Aislador Seleccionado (m)	0.51 m	OK

Tabla 43. Capas de caucho del aislador seleccionado n

Número de Capas de caucho, N	Min	Máx.
	8	33
Cumple con número mínimo de capas		

## 9.2. Cálculo de la altura total del aislador

Tabla 44. Definición de altura del Aislador comercial.

	Min	Máx.
Altura Aislador, H (mm)	230	510
<b>510 mm</b>		
Cumple con Altura seleccionada		

## 9.3. Cálculo del área solo de la goma

$$\pi * 0.25 * D^2 - Ap = A$$

Tabla 45. Área del aislador de Goma comercial

Área del Aislador de Goma Comercial	4611.07 cm <sup>2</sup>
	0.46 m <sup>2</sup>
Cumple Área mínima	

## 9.4. Diámetro total del aislador

Tabla 46. Diámetro del aislador de goma comercial

	0.800 m
Diámetro (mm) del Aislador Comercial	800 mm
Cumple con Diámetro mínimo	

## 9.5. Módulo de corte de la goma G, comercial.

Tabla 47. Módulo de corte G, aislador seleccionado.

<b>19) Modulo de corte de la goma</b>	
$G = \frac{Keff \times Hr}{A}$	43.38 Ton/m <sup>2</sup>
	61.71 psi
Keff (ton/m)	127.11 Ton/m
Hr	0.157 m
Área de Goma A	0.46 m <sup>2</sup>

## 9.6. Factor de forma S

Tabla 48. Factor de forma S, aislador seleccionado

20) Factor de forma	
S	30.58
D	0.800 m
Dpb	0.230 m
tr	0.006 m

$$S = \frac{D^2 - Dpb^2}{4 * D * tr}$$

## 9.7. Rigidez del aislador con núcleo de plomo Kp

Tabla 49. Rigidez del aislador con núcleo de plomo Kp

21) Rigidez del aislador con un núcleo de plomo	
Kp =	146.18 Ton/m

$$Kp = 1.15 \times K_{eff}$$

## 9.8. Rigidez post-fluencia (no lineal) del aislador con núcleo de plomo

Tabla 50. Rigidez post-fluencia (no lineal).

22) Rigidez post-fluencia del aislador con núcleo de plomo	
K2p	103.91 Ton/m

$$K2p = Kp - \frac{Q}{D_M}$$

## 9.9. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo

Tabla 51. Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo

23) Rigidez elástica del aislador con núcleo de plomo	
K1p =	1013.09 Ton/m

$$K1p = (6.5 \text{ a } 13) \times K2p$$

## 9.10. Fuerza de fluencia del aislador Fy

Tabla 52. Fuerza de fluencia del aislador Fy

24) Fuerza de fluencia del aislador Fy	
Fy	14.27 Ton

$$Fy = Q + Kp \times Dy$$

### 9.11. Cálculo de la Rigidez vertical $K_v$

Tabla 53. Rigidez vertical  $K_v$

25) Rigidez vertical $K_v$	
$K_v$ : rigidez vertical	286605.16 Ton/m
$E_v$ : módulo de rigidez vertical	92805.26 Ton/m <sup>2</sup>
$E_l$ : módulo de elasticidad del plomo es	1400000.00 Ton/m <sup>2</sup>
K: módulo de comprensibilidad de la goma tiene un valor de	200000.00 Ton/m <sup>2</sup>
$Hl = h$ : altura de goma y acero del aislador	0.510 m

### 9.12. Cálculo de la fluencia vertical $f_v$

Tabla 54. Fluencia vertical  $f_v$

26) Fluencia vertical	
$f_v =$	23.74 1/seg.
T	2.00 s
$KH = K_{eff}$ : rigidez efectiva	127.11 Ton/m

$$f_v = \sqrt{\frac{K_v}{KH}} \frac{1}{T}$$

### 9.13. Cálculo de la deformación de corte por deformación $\gamma_D$

Tabla 55. Deformación de corte por deformación

27) Deformación de corte por deformación	
$\gamma_D$	2.07
	Ok

$$\gamma_D = \frac{D_{TM}}{H_r} \leq 2.25$$

### 9.14. Cálculo de la deformación de corte por compresión

Tabla 56. Deformación de corte por compresión

28) Deformación de corte por compresión	
$\gamma_c$	0.56
$\epsilon_c$	0.0030
$E_0$	173.54
G	43.38 Ton/m <sup>2</sup>
k	0.85
f: factor de fábrica es igual a 4	4

61.71 psi

$$\gamma_c = 6 \times S \times \epsilon_c$$

$$E_0 = f \times G$$

$$\epsilon_c = \frac{\frac{P_{max}}{A}}{E_0 \times (1 + 2 \times k \times S^2)}$$

### 9.15. Cálculo de la deformación a la rotación.

Tabla 57. Deformación a la rotación

29) Deformación a la rotación	
$\gamma_r$	0.741
D	0.800 m
tr	0.006 m
$\theta$	0.003 radianes
n	27.0

$$\gamma_r = 0.375 \times \left( \frac{D}{tr} \right)^2 \times \frac{\theta}{n}$$

### 9.16. Cálculo de la deformación máxima

Tabla 58. Deformación máxima

30) Deformación máxima	
Deformación máxima	3.370
	Ok

$$\gamma_D + \gamma_c + \gamma_r \leq 5.00$$

### 9.17. Cálculo del área reducida $A_R$

$$A_R = A \times 2 \times \left( \frac{D^2 \times \text{Sen}^{-1} \left( \frac{\sqrt{D^2 - D_{TM}^2}}{D} \right) - D_{TM} \times \sqrt{D^2 - D_{TM}^2}}{\pi \times D^2} \right)$$

Tabla 59. Área reducida  $A_R$

31) Área reducida	
$A_{r\text{comercial}}$	14.65 m <sup>2</sup>
Agomacomercial	0.46 m <sup>2</sup>
Daislador comercial	0.80 m
Dtmcomercial	0.51 m

### 9.18. Definición del peso crítico y cálculo de la capacidad axial

Peso critico debe ser mayor que el peso máximo, se debe porque el mayor desplazamiento, genera un área de apoyo que es el área reducida, lo cuales la fuerza máxima recibida

$$P_{critico} = \frac{\pi}{\sqrt{8}} \times G \times S \times \frac{D}{n \times t_r} \times A_R$$

Tabla 60. Peso Crítico y verificar la capacidad axial

<b>32) Peso Crítico y verificar la capacidad axial</b>	
P <sub>criticocomercial</sub>	106594.77 Ton
P <sub>MAX</sub>	388.18 Ton
S <sub>comer</sub>	30.58
n	27.00
Daislador comercial	0.80 m
Arcomercial	17.55 m <sup>2</sup>
G <sub>comer</sub>	43.38 Ton/m <sup>2</sup>
tr	0.006 m

### 9.19. Verificación del pandeo.

Tabla 61. Verificación de Pandeo.

<b>33) Verificación del Pandeo</b>		
Ps : fuerza de corte efectiva	28.54 Ton	$P_s = (GxA)_{eff} = GxA_s$ $A_s = Ax \frac{Hl}{Hr}$
As : área de corte efectiva, para un aislador LRB incluye el núcleo de plomo	1.40 m <sup>2</sup>	
P <sub>E</sub> : Carga de Euler para una columna sin deformación al esfuerzo de corte	23440.31 Ton	$P_E = \frac{\pi^2 \times (ExI)_{eff}}{Hl^2}$
(ExI) <sub>eff</sub> : rigidez a la inclinación o también conocida como "tilting"	617.74 Ton*m <sup>2</sup>	$(ExI)_{eff} = \frac{1}{3} \times E_V \times I$
Ev	92805.26 Ton/m <sup>2</sup>	Ev : módulo de rigidez vertical
I Inercia del Aislador	0.020 m <sup>4</sup>	$I = \frac{\pi}{4} \times \left( \left( \frac{De}{2} \right)^4 - \left( \frac{dp}{2} \right)^4 \right)$
De	0.800 m	Diámetro exterior
dp	0.230 m	Diámetro del Plomo
<b>P<sub>critico</sub>: carga critica para un fenómeno de pandeo</b>		
P <sub>crit-pandeo</sub>	816.98 Ton	$P_{crit-pandeo} = \frac{P_s}{2} \times \sqrt{1 + 4x \frac{P_E}{P_s}} - 1$
2.10	Ok	$\frac{P_{crit-pandeo}}{P_{max}} \geq F.S \rightarrow F.S > 1$

## 9.20. Verificación de la Rigidez efectiva lateral $K_{eff}$

Tabla 62. Chequeo de rigidez efectiva

34) Verificación de la Rigidez efectiva lateral $K_{eff}$	
Qd	27.02 Ton
DTM	0.510 m
$K_{eff}$	593.44 Ton/m

## 10. DATOS DE INGRESO

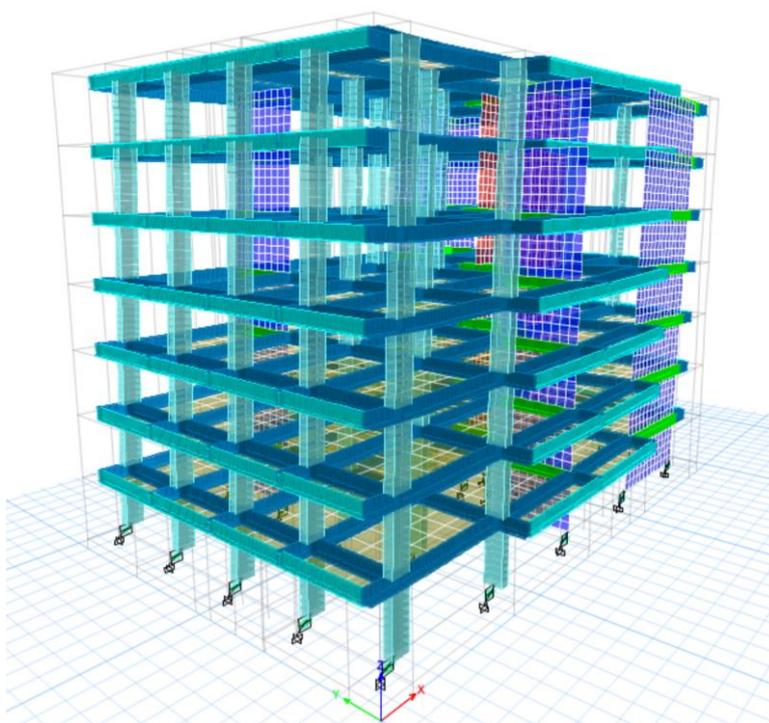


Ilustración 13. Edificación con aisladores

### 10.1. Modificación del espectro de derivas

Como primer paso se debe guardar una copia del modelo de base fija, para luego proceder a realizar los cambios pertinentes de los espectros de deriva.

En este caso se hace necesario aumentar el 50% del espectro, esto se hace multiplicando por 1.5 el  $S_x$  y  $S_y$  del modelo base.

**E** Load Case Data ×

**General**

Load Case Name:  Design...

Load Case Type:  Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

---

**P-Delta/Nonlinear Stiffness**

Use Preset P-Delta Settings  Modify/Show...

Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case:

---

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Sx Deriva	1.5

Add  
Delete

OK    Cancel

*Ilustración 14. Modificación espectro de derivas Sx*

**E** Load Case Data ×

**General**

Load Case Name:  Design...

Load Case Type:  Notes...

Mass Source:

Analysis Model:

---

**P-Delta/Nonlinear Stiffness**

Use Preset P-Delta Settings  Modify/Show...

Use Nonlinear Case (Loads at End of Case NOT Included)

Nonlinear Case:

---

**Loads Applied**

Load Type	Load Name	Scale Factor
Load Pattern	Sy Deriva	1.5

Add  
Delete

OK    Cancel

*Ilustración 15. Modificación espectro de derivas Sy*

## 10.2. Adición de nivel de piso de aislación

Para crear los aisladores sísmicos en el modelo de Etabs, se hace necesario adicionar un nivel con la altura del aislador seleccionado, este nivel debe ir por debajo del nivel base.

Story	Height m	Elevation m
Terraza	3.1	22.21
Story6	3.1	19.11
Story5	3.1	16.01
Story4	3.1	12.91
Story3	3.1	9.81
Story2	3.1	6.71
Story1	3.1	3.61
Base	0.51	0.51
Amortiguador		0

Ilustración 16. Adición de un nivel, equivalente a la altura del aislador sísmico seleccionado

## 10.3. Asignación de diafragmas

Para el análisis de aisladores sísmicos, es necesario adicionar un diafragma rígido a la base que se genera con los aisladores.

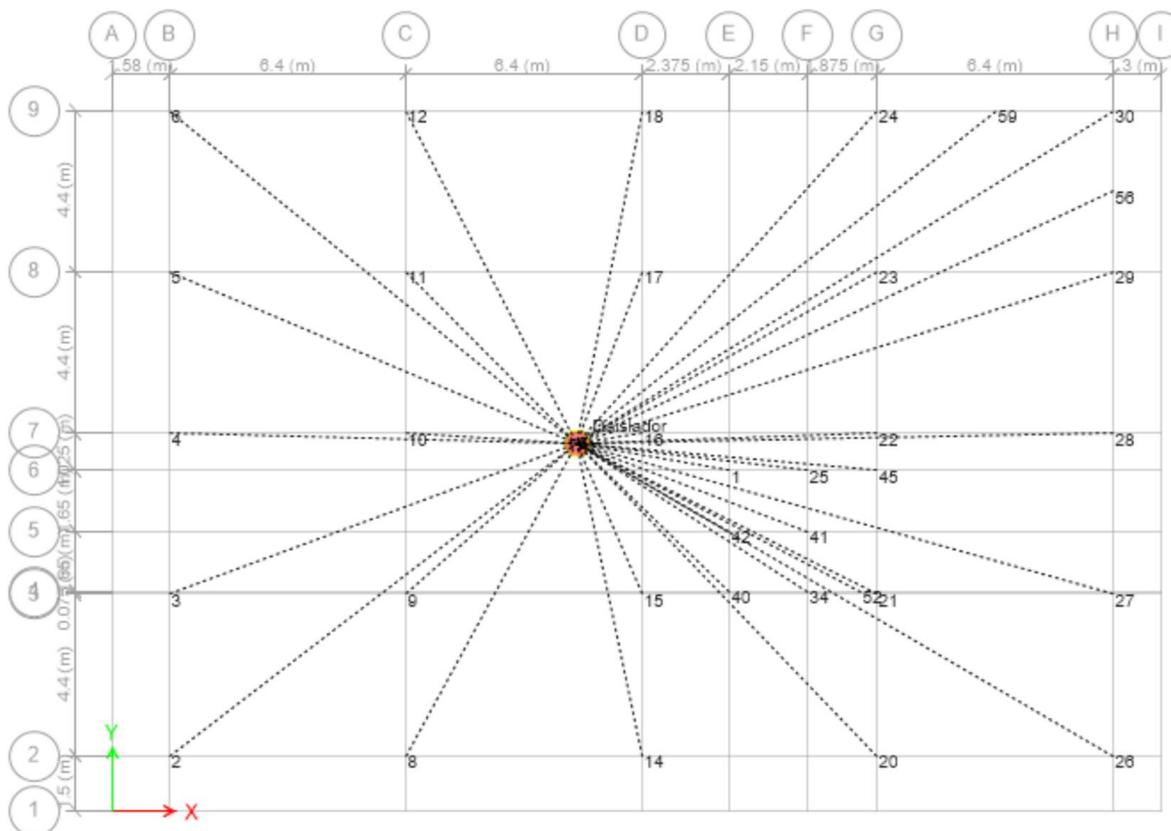


Ilustración 17. Diafragma rígido en los aisladores.

#### 10.4. Asignación de propiedades de aislación a elementos link

Las propiedades de los aisladores tipo Link que se definen en el modelo, deben ir acompañadas de los cálculos realizados con anterioridad, haciendo referencia a los valores de amortiguamiento efectivo, rigidez vertical  $K_v$ , rigidez efectiva  $K_{eff}$ .

A continuación, se presentan los pasos a seguir en el uso del programa Etabs.

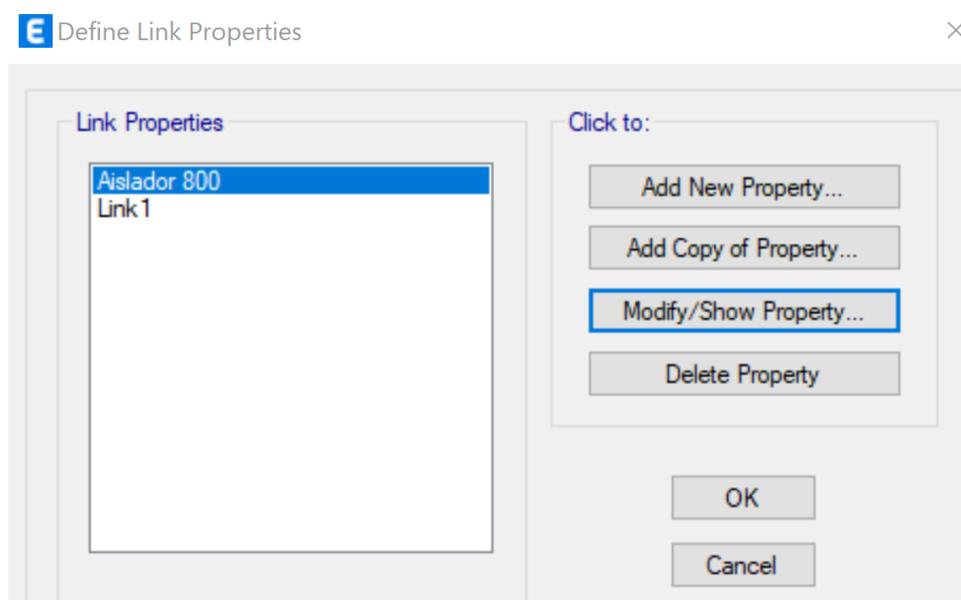
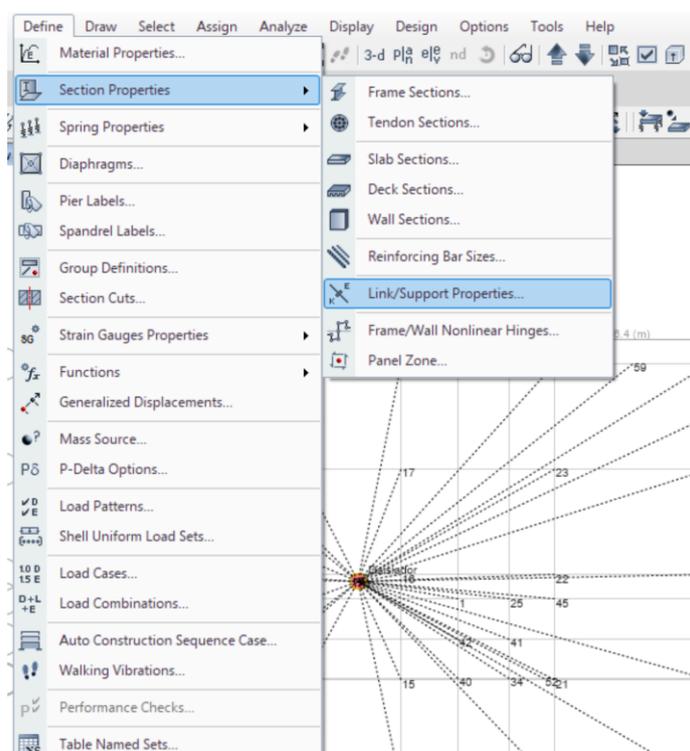


Ilustración 18. Crear aislador sísmico

**E** Link Property Data



**General**

Link Property Name: <input style="width: 80%;" type="text" value="Aislador 800"/>	P-Delta Parameters	<input style="width: 80%;" type="button" value="Modify/Show..."/>
Link Type: <input style="width: 80%;" type="text" value="Rubber Isolator"/>	Acceptance Criteria	<input style="width: 80%;" type="button" value="Modify/Show..."/>
Link Property Notes: <input style="width: 80%;" type="button" value="Modify/Show Notes..."/>	None specified	

**Total Mass and Weight**

Mass	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	ton	Rotational Inertia 1	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	ton-m <sup>2</sup>
Weight	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	kN	Rotational Inertia 2	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	ton-m <sup>2</sup>
			Rotational Inertia 3	<input style="width: 80%;" type="text" value="0"/>	ton-m <sup>2</sup>

**Factors for Line and Area Springs**

Link/Support Property is Defined for This Length When Used in a Line Spring Property	<input style="width: 80%;" type="text" value="1"/>	m
Link/Support Property is Defined for This Area When Used in an Area Spring Property	<input style="width: 80%;" type="text" value="1"/>	m <sup>2</sup>

**Directional Properties**

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

**Stiffness Options**

Stiffness Used for Linear and Modal Load Cases	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Stiffness Used for Stiffness-proportional Viscous Damping	<input style="width: 95%;" type="text"/>
Stiffness-proportional Viscous Damping Coefficient Modification Factor	<input style="width: 80%;" type="text" value="1"/>

*Ilustración 19. Nombrar el aislador sísmico a configurar*

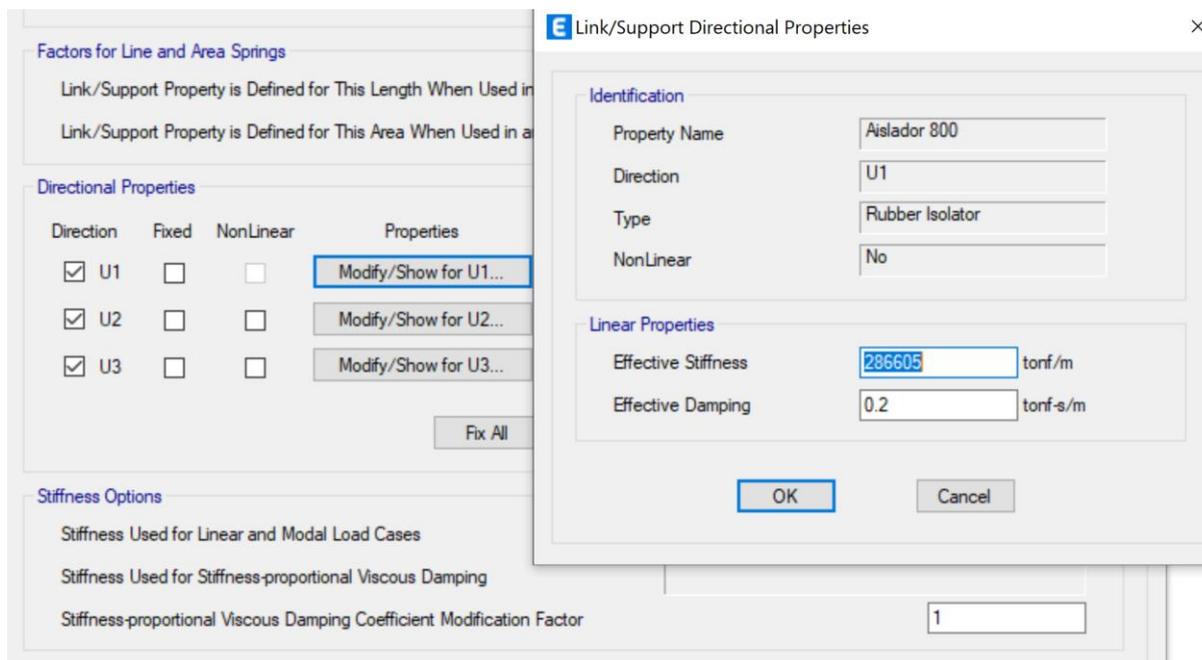


Ilustración 20. Propiedades en U1

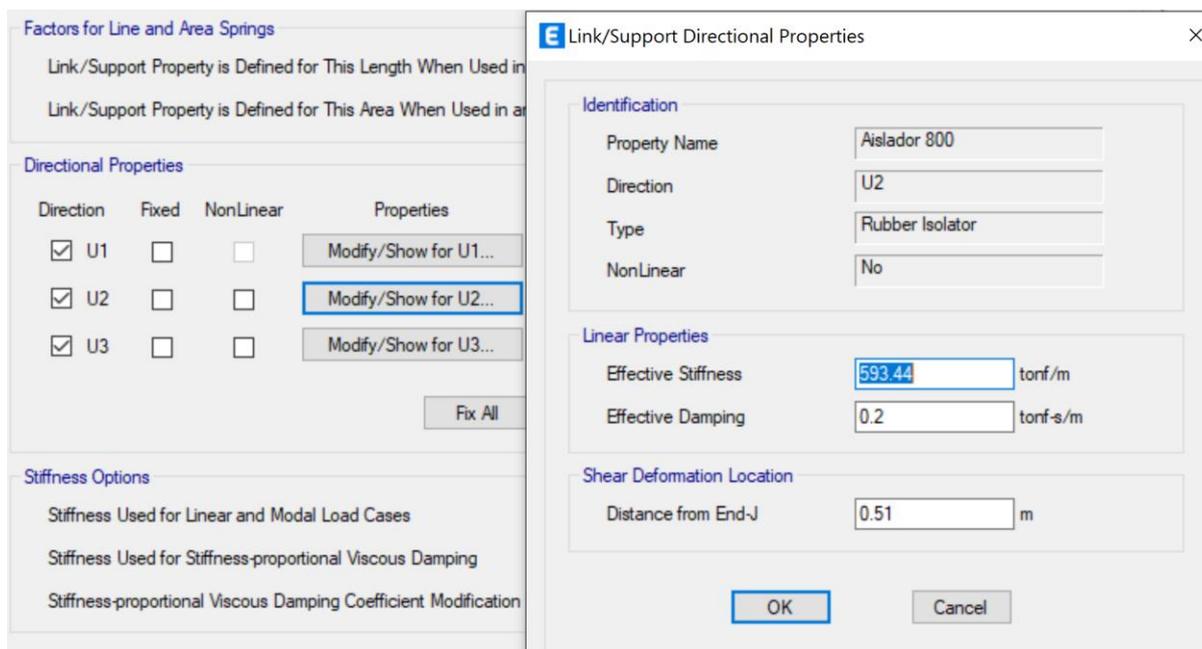


Ilustración 21. Propiedades en U2

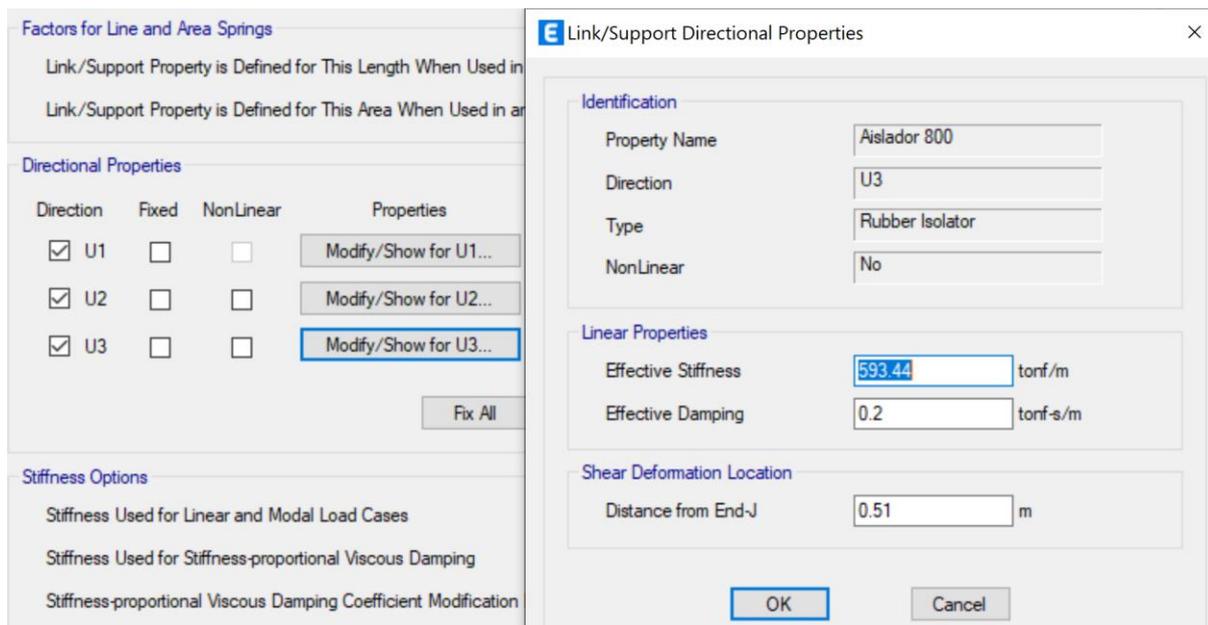


Ilustración 22. Propiedades en U3

### 10.5. Asignación de elementos link a la estructura

Para la asignación de los elementos tipo link, es necesario ir a una vista en elevación, para luego seleccionar dibujar elemento link e ir dibujando a cada columna y/o muro del modelo.

Set Elevation View

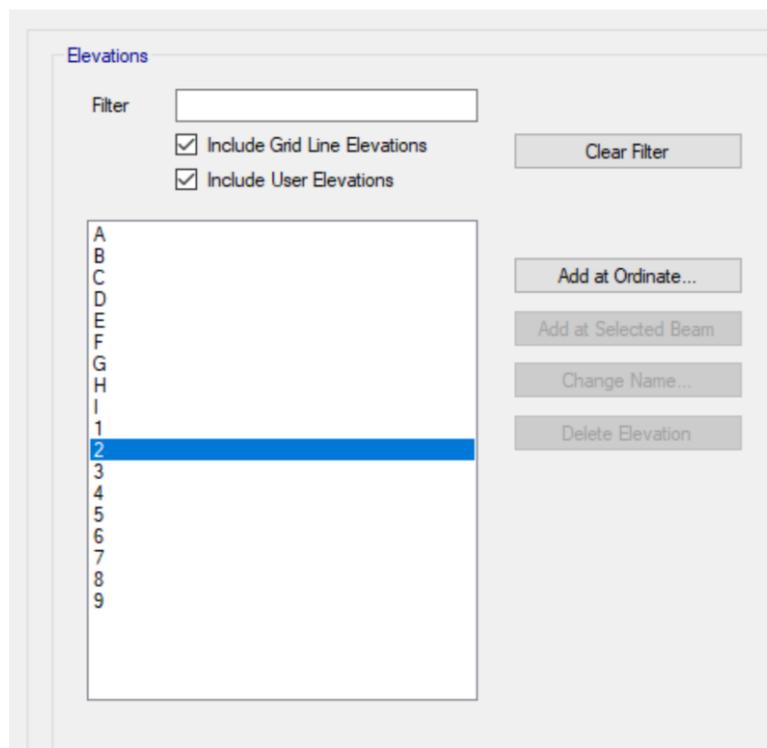


Ilustración 23. Vista en elevación

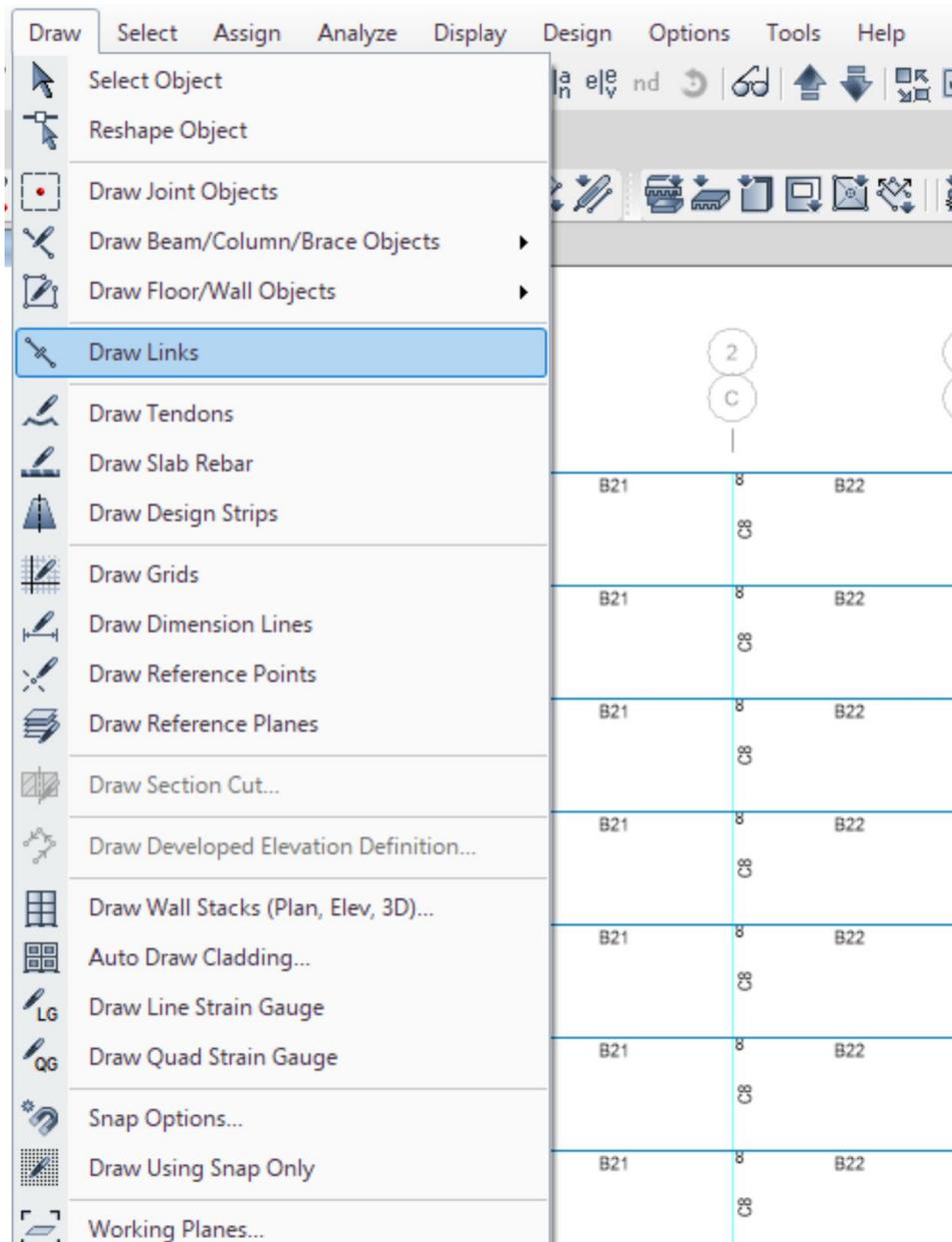


Ilustración 24. seleccionar el comando dibujar links.

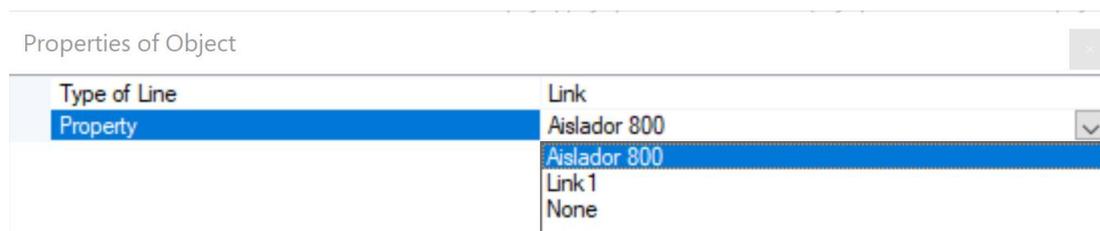


Ilustración 25. seleccionar el aislador creado.

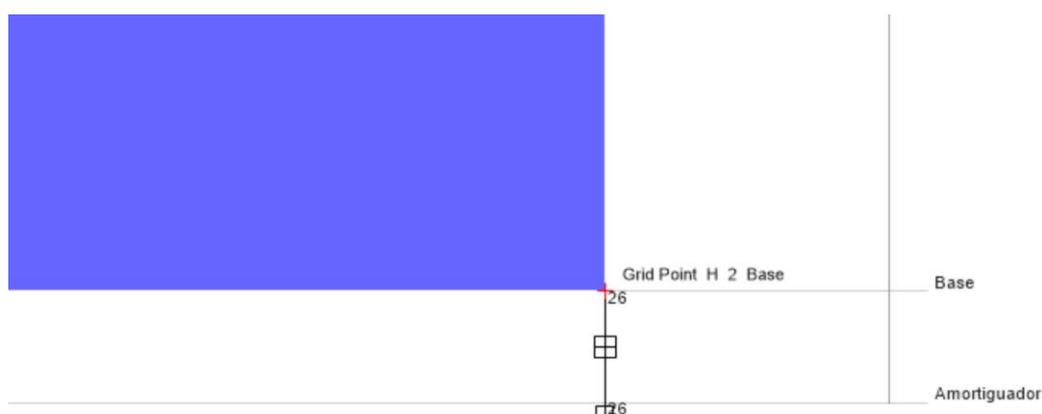


Ilustración 26. Dibujar el aislador en columnas y muros.

## 11. RESULTADOS

### 11.1. Cantidad de aisladores a utilizar

Para el modelo presentado se modelaron 35 aisladores de 800mm de diámetro.

### 11.2. Precio comercial de los aisladores

El costo por metro cuadrado es variable, depende de la geometría del aislador y tipo de aislador, su precio está entre 30 y 50 \$US/m<sup>2</sup> o, alrededor de \$US10000 - \$US15000.

### 11.3. Periodos con aisladores

Tabla 63. Periodo con Aisladores

TABLE: Modal Periods		
Case	Mode	Period
		sec
Modal	1	1.222
Modal	2	1.159
Modal	3	1.027
Modal	4	0.336
Modal	5	0.324
Modal	6	0.271
Modal	7	0.113
Modal	8	0.094
Modal	9	0.081
Modal	10	0.058
Modal	11	0.054
Modal	12	0.052
Modal	13	0.05
Modal	14	0.049
Modal	15	0.049
Modal	16	0.048
Modal	17	0.048

TABLE: Modal Periods		
Case	Mode	Period
		sec
Modal	18	0.047
Modal	19	0.047
Modal	20	0.046
Modal	21	0.045

#### 11.4. Periodos sin aisladores

Tabla 64. Periodo sin Aisladores.

Case	Mode	Period
		sec
Modal	1.00	0.65
Modal	2.00	0.58
Modal	3.00	0.47
Modal	4.00	0.16
Modal	5.00	0.13
Modal	6.00	0.11
Modal	7.00	0.07
Modal	8.00	0.06
Modal	9.00	0.05
Modal	10.00	0.05
Modal	11.00	0.05
Modal	12.00	0.05
Modal	13.00	0.05
Modal	14.00	0.05
Modal	15.00	0.05
Modal	16.00	0.05
Modal	17.00	0.05
Modal	18.00	0.04
Modal	19.00	0.04
Modal	20.00	0.04
Modal	21.00	0.04

#### 11.5. Desplazamientos máximos en la base con aisladores

Tabla 65. Desplazamientos en la Base con aisladores

TABLE: Joint Displacements							
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Ux	Uy	Uz
					m	m	m
Base	2	362	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.032715	0.329242	0.001227

TABLE: Joint Displacements							
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Ux	Uy	Uz
					m	m	m
Base	2	362	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.271624	-0.008143	0.000899
Base	3	370	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015972	0.329242	-0.000038
Base	3	370	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269084	-0.008143	0.000762
Base	4	378	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.000772	0.329242	0.000035
Base	4	378	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266545	-0.008143	0.000777
Base	5	386	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.017515	0.329242	0.000233
Base	5	386	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.264006	-0.008143	0.000658
Base	6	394	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.329242	-0.001468
Base	6	394	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	-0.008143	0.000448
Base	8	141	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.032715	0.304888	0.002097
Base	8	141	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.271624	-0.00445	-0.000202
Base	9	85	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015972	0.304888	-0.000134
Base	9	85	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269084	-0.00445	-0.000363
Base	10	83	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.000772	0.304888	0.000229
Base	10	83	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266545	-0.00445	-0.00014
Base	11	135	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.017515	0.304888	0.007708
Base	11	135	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.264006	-0.00445	0.001055
Base	12	134	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.304888	-0.009806
Base	12	134	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	-0.00445	-0.001317
Base	14	95	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.032715	0.280534	0.009429
Base	14	95	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.271624	-0.000756	0.001587
Base	15	93	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015972	0.280534	-0.005813
Base	15	93	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269084	-0.000756	0.001019
Base	16	110	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.000772	0.280534	-0.001129
Base	16	110	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266545	-0.000756	0.002042
Base	17	77	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.017515	0.280534	-0.000107
Base	17	77	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.264006	-0.000756	0.000238
Base	18	76	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.280534	-0.001779
Base	18	76	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	-0.000756	-0.000134
Base	20	97	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.032715	0.25618	-0.000881
Base	20	97	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.271624	0.002937	0.011344
Base	21	490	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015972	0.25618	0.001563
Base	21	490	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269084	0.002937	-0.002262
Base	22	498	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.000772	0.25618	-0.003746
Base	22	498	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266545	0.002937	-0.005295
Base	23	81	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.017515	0.25618	0.006204
Base	23	81	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.264006	0.002937	0.000512
Base	24	79	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.25618	-0.006803
Base	24	79	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	0.002937	0.001742
Base	26	98	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.032715	0.231826	0.00262

**TABLE: Joint Displacements**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Ux	Uy	Uz
					m	m	m
Base	26	98	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.271624	0.006631	-0.012256
Base	27	530	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015972	0.231826	0.000414
Base	27	530	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269084	0.006631	-0.001906
Base	28	538	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.000772	0.231826	-0.000006
Base	28	538	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266545	0.006631	-0.001062
Base	29	151	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.017515	0.231826	0.002458
Base	29	151	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.264006	0.006631	-0.00273
Base	30	169	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.231826	-0.005138
Base	30	169	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	0.006631	-0.005621
Base	1	15	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.003129	0.271496	-0.002209
Base	1	15	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.267136	0.000615	0.005348
Base	25	16	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.003129	0.263315	-0.00518
Base	25	16	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.267136	0.001855	-0.00009
Base	34	24	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015686	0.263315	0.005868
Base	34	24	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269041	0.001855	-0.000802
Base	40	32	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015686	0.271496	0.002509
Base	40	32	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269041	0.000615	0.004665
Base	41	47	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.009407	0.263315	0.000358
Base	41	47	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.268089	0.001855	-0.000598
Base	42	48	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.009407	0.271496	0.000124
Base	42	48	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.268089	0.000615	0.004971
Base	59	170	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.034258	0.244003	-0.000865
Base	59	170	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.261466	0.004784	0.010597
Base	45	49	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.003129	0.25618	-0.002437
Base	45	49	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.267136	0.002937	-0.004785
Base	52	116	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.015686	0.257893	0.002842
Base	52	116	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.269041	0.002678	-0.003645
Base	56	114	Sy Deriva Aislador	LinStatic	0.025887	0.231826	0.001621
Base	56	114	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.262736	0.006631	-0.005456
Base	67	101	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-0.000285	0.287179	0
Base	67	101	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	0.266705	-0.001764	0

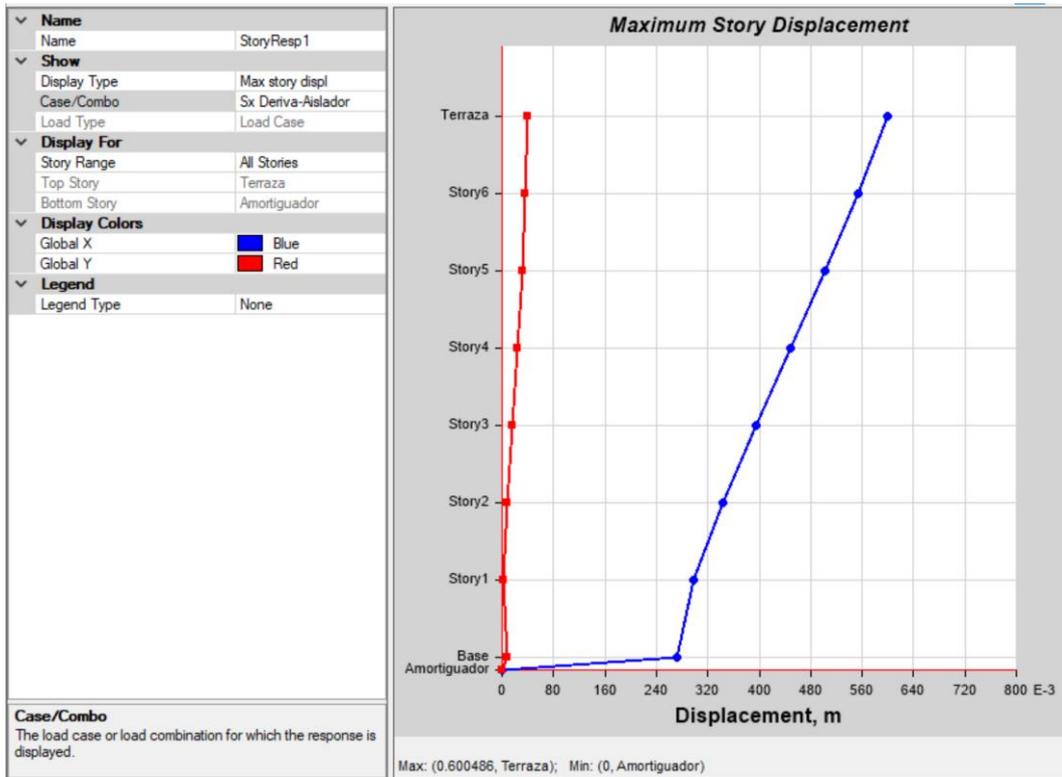


Ilustración 27. Desplazamientos con Aisladores en X

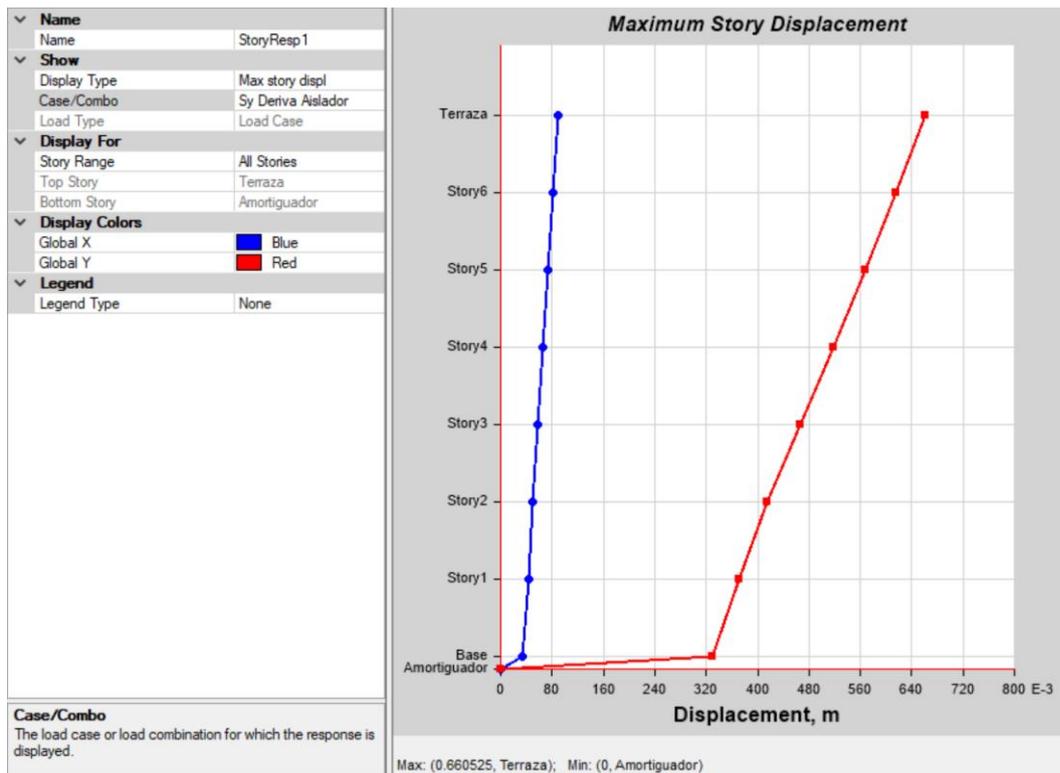


Ilustración 28. Desplazamientos con Aisladores en Y

## 11.6. Desplazamientos máximos por piso sin aisladores

Tabla 66. Desplazamientos en la base sin aisladores

TABLE: Joint Displacements							
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Ux	Uy	Uz
					m	m	m
Base	2	362	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	2	362	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	3	370	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	3	370	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	4	378	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	4	378	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	5	386	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	5	386	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	6	394	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	6	394	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	8	141	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	8	141	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	9	85	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	9	85	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	10	83	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	10	83	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	11	135	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	11	135	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	12	134	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	12	134	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	14	95	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	14	95	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	15	93	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	15	93	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	16	110	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	16	110	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	17	77	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	17	77	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	18	76	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	18	76	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	20	97	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	20	97	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	21	490	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	21	490	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	22	498	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	22	498	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	23	81	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	23	81	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	24	79	Sx	LinStatic	0	0	0

TABLE: Joint Displacements							
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Ux	Uy	Uz
					m	m	m
Base	24	79	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	26	98	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	26	98	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	27	530	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	27	530	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	28	538	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	28	538	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	29	151	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	29	151	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	30	169	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	30	169	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	1	15	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	1	15	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	25	16	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	25	16	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	34	24	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	34	24	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	40	32	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	40	32	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	41	47	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	41	47	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	42	48	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	42	48	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	59	170	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	59	170	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	45	49	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	45	49	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	52	116	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	52	116	Sy	LinStatic	0	0	0
Base	56	114	Sx	LinStatic	0	0	0
Base	56	114	Sy	LinStatic	0	0	0

## 11.7. Derivas con aisladores

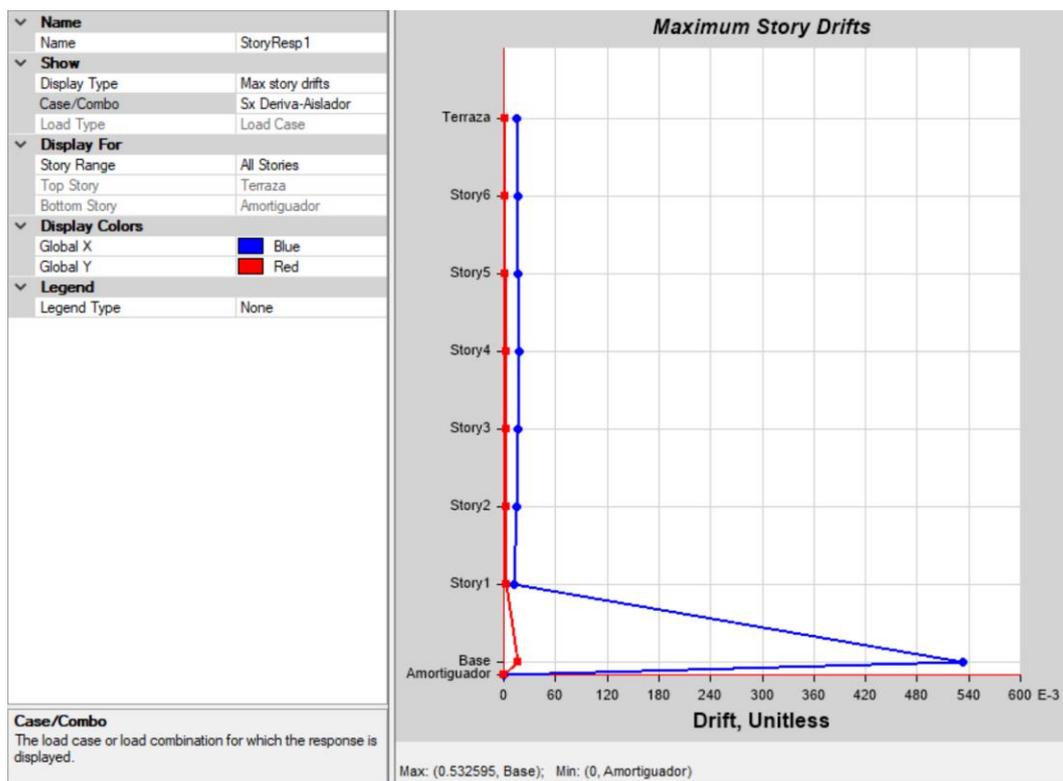


Ilustración 29. Derivas en X

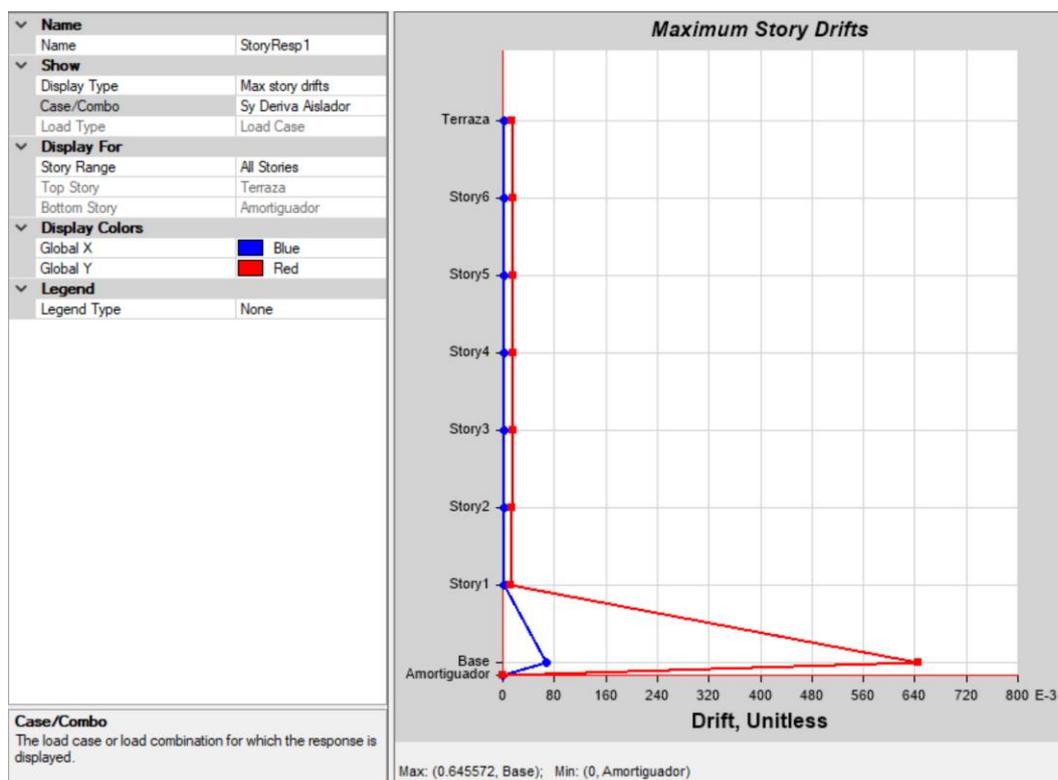


Ilustración 30. Derivas en Y

Tabla 67. Derivas con aisladores

TABLE: Story Drifts				
Story	Output Case	Case Type	Direction	Drift
Terraza	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01425
Terraza	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01529
Story6	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01542
Story6	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01634
Story5	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01634
Story5	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01711
Story4	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01675
Story4	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01736
Story3	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.0163
Story3	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01676
Story2	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01451
Story2	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01485
Story1	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.01105
Story1	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.01163
Base	Sy Deriva Aislador	LinStatic	Y	0.64557
Base	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	X	0.5326

## 11.8. Derivas sin aisladores

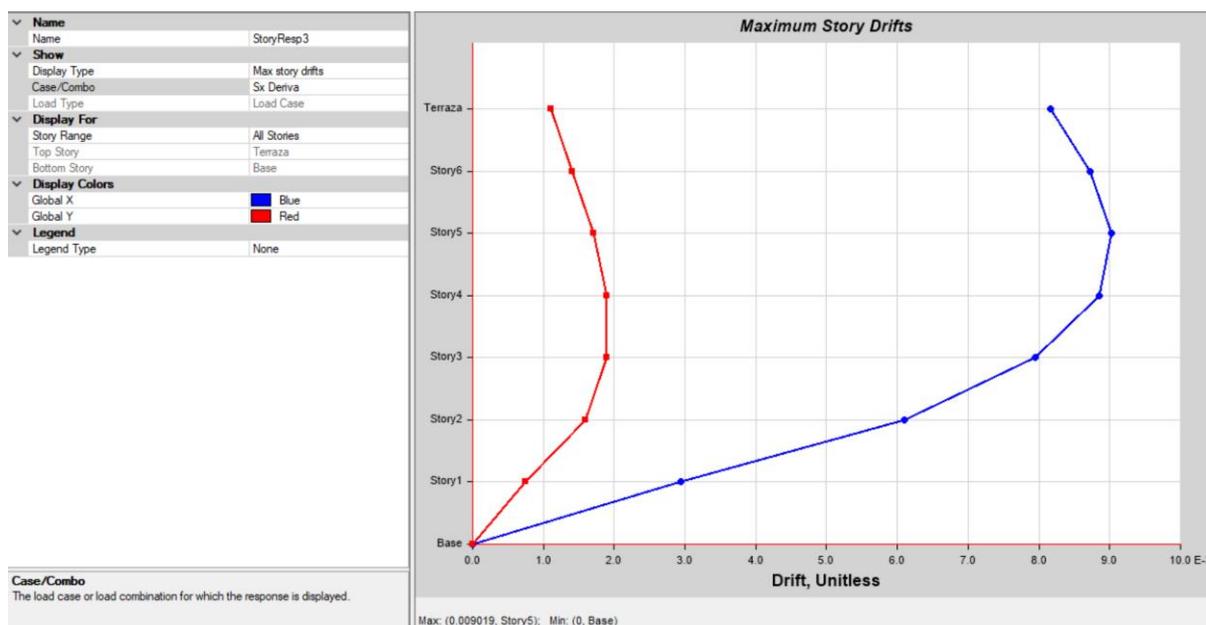


Ilustración 31. Derivas en x

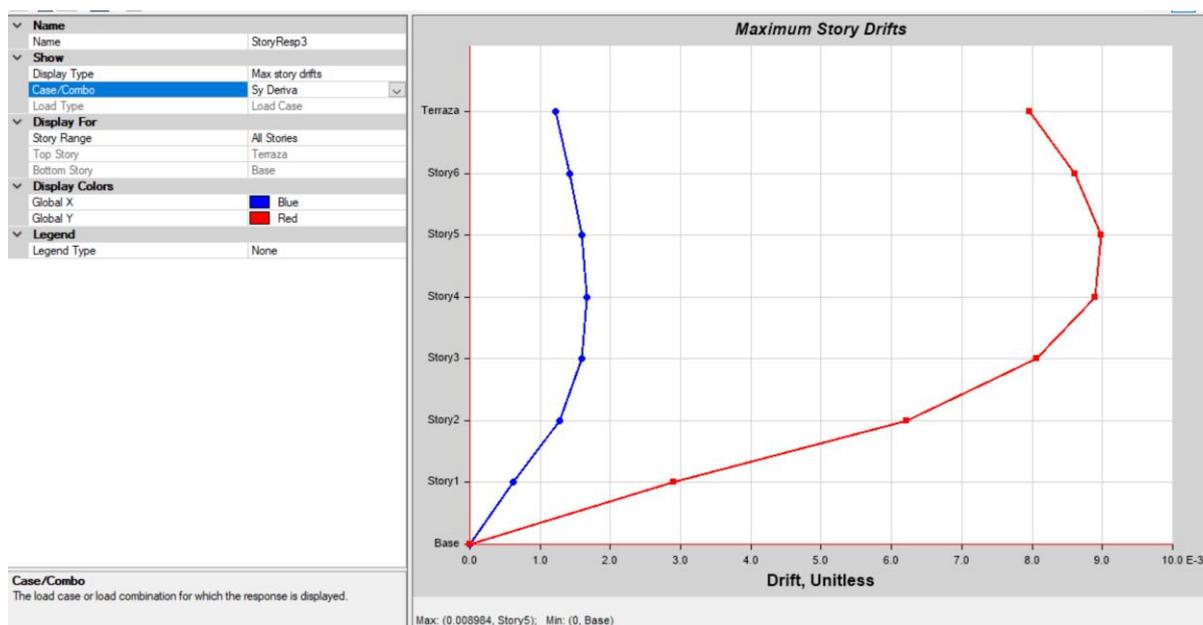


Ilustración 32. Derivas en Y

Tabla 68. Derivas sin Aisladores

TABLE: Story Drifts					
Story	Output Case	Case Type	Step Type	Direction	Drift
Terraza	Sx	LinStatic		X	0.008163
Terraza	Sy	LinStatic		Y	0.007965
Story6	Sx	LinStatic		X	0.008725
Story6	Sy	LinStatic		Y	0.008602
Story5	Sx	LinStatic		X	0.009019
Story5	Sy	LinStatic		Y	0.008984
Story4	Sx	LinStatic		X	0.008846
Story4	Sy	LinStatic		Y	0.008902
Story3	Sx	LinStatic		X	0.007946
Story3	Sy	LinStatic		Y	0.008063
Story2	Sx	LinStatic		X	0.006095
Story2	Sy	LinStatic		Y	0.006207
Story1	Sx	LinStatic		X	0.002946
Story1	Sy	LinStatic		Y	0.002899

## 11.9. Cortantes por nivel de piso con aisladores

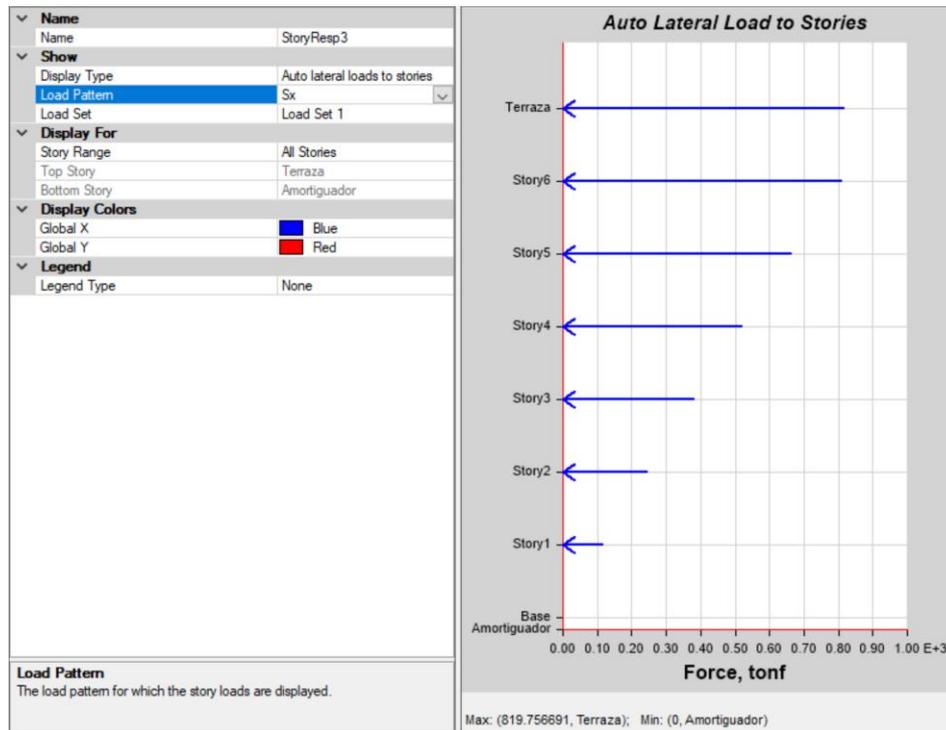


Ilustración 33. Cortante en x con aisladores.

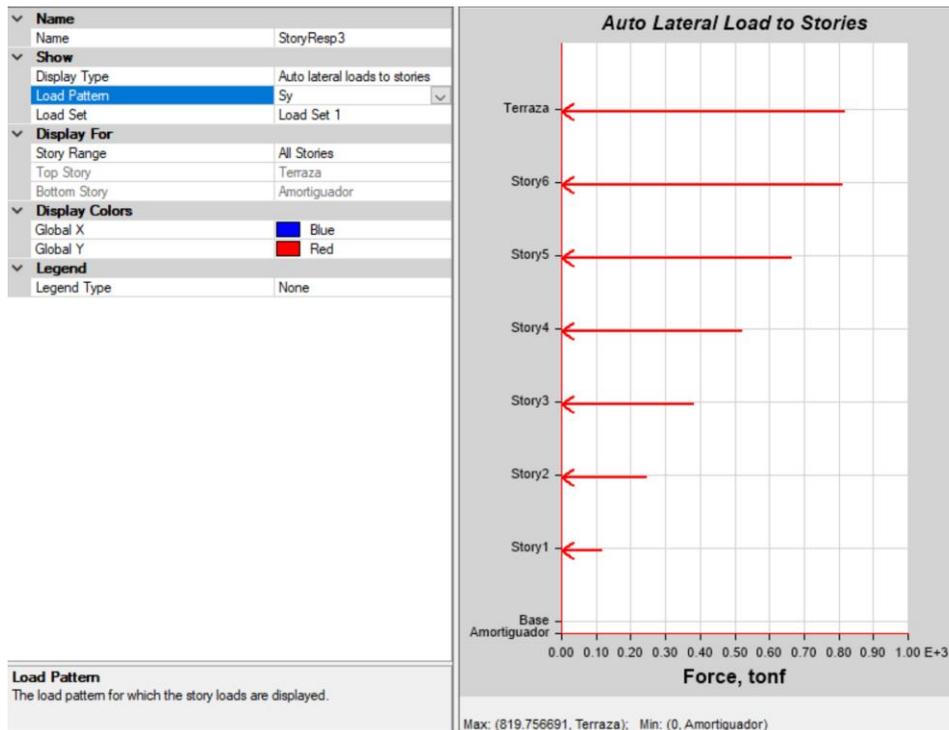


Ilustración 34. Cortante en Y con Aisladores

## 11.10. Cortante por nivel de piso sin aisladores

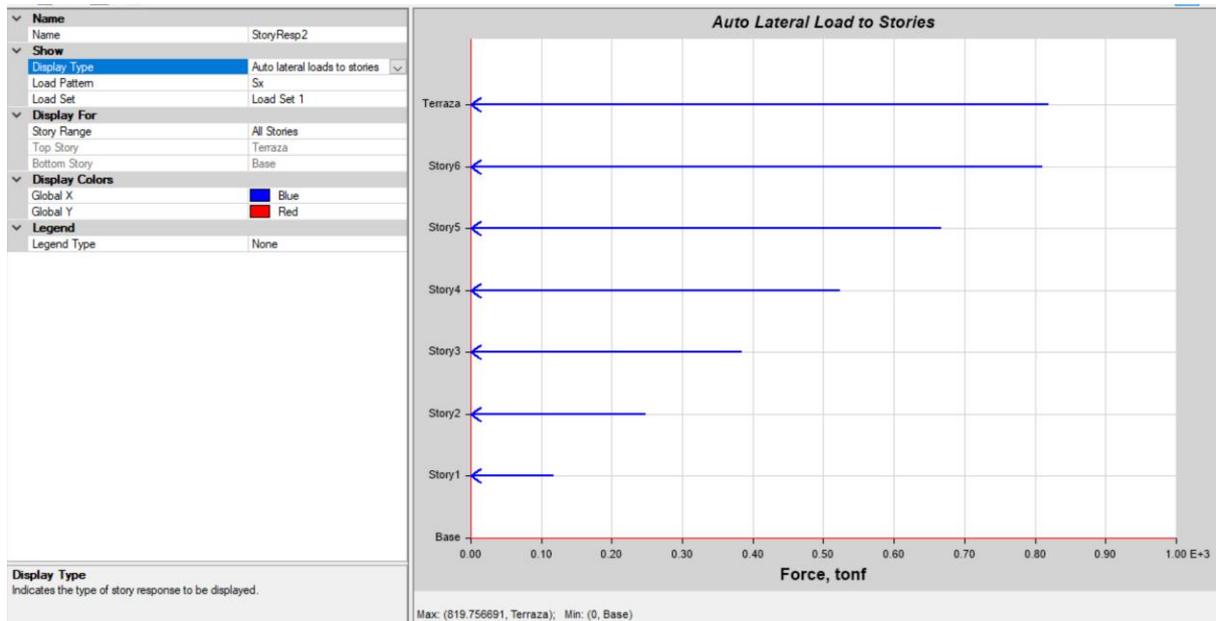


Ilustración 35. Cortante en X sin Aisladores.

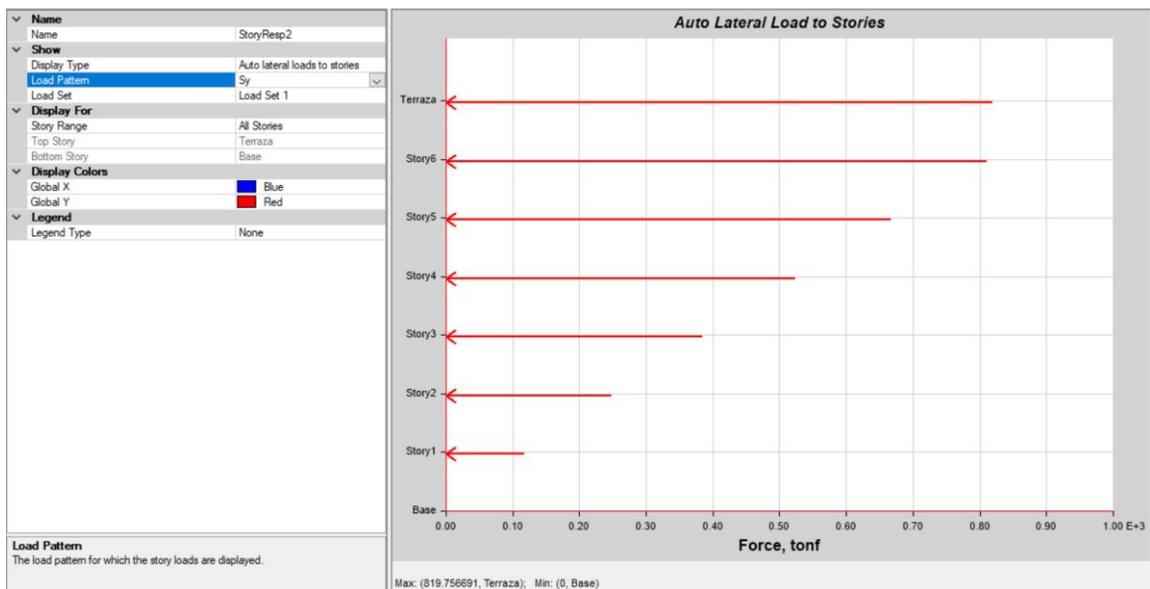


Ilustración 36. Cortante en Y sin Aisladores

### 11.11. Reacciones en la base con aisladores

Tabla 69. Reacciones en la base con Aisladores

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
					kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Amortiguador	2	142	Sy Deriva Aislador	LinStatic	186.06	-1855.32	-3448.63	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	2	142	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1550.97	55.74	-2525.64	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	3	153	Sy Deriva Aislador	LinStatic	91.55	-1852.05	106.35	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	3	153	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1533.89	56.70	-2142.16	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	4	155	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-2.97	-1852.03	-97.75	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	4	155	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1516.81	56.60	-2182.79	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	5	157	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-97.12	-1852.10	-654.30	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	5	157	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1499.85	56.66	-1848.80	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	6	159	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-192.53	-1855.41	4125.64	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	6	159	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1482.93	55.73	-1259.79	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	8	174	Sy Deriva Aislador	LinStatic	184.93	-1739.23	-5893.59	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	8	174	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1531.55	30.59	566.70	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	9	173	Sy Deriva Aislador	LinStatic	89.01	-1737.45	377.85	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	9	173	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1514.55	30.84	1019.56	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	10	172	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-2.63	-1736.73	-642.55	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	10	172	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1496.57	30.91	392.24	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	11	161	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-90.95	-1749.55	-21664.45	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	11	161	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1404.73	23.97	-2964.86	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	12	171	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-179.31	-1761.80	27560.90	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	12	171	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1387.69	22.44	3700.32	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	14	175	Sy Deriva Aislador	LinStatic	173.98	-1624.50	-26502.82	0.00	0.00	0.00

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
					kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Amortiguador	14	175	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1452.80	-3.27	-4461.24	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	15	176	Sy Deriva Aislador	LinStatic	90.74	-1603.59	16337.73	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	15	176	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1434.04	11.69	-2864.74	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	16	177	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-5.17	-1599.75	3172.34	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	16	177	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1492.67	5.58	-5738.27	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	17	178	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-96.21	-1600.51	299.95	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	17	178	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1480.69	5.55	-669.65	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	18	179	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-191.81	-1583.21	4998.86	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	18	179	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1481.96	5.67	377.19	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	20	192	Sy Deriva Aislador	LinStatic	187.85	-1375.26	2474.83	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	20	192	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1587.79	-22.41	-31882.99	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	21	183	Sy Deriva Aislador	LinStatic	90.14	-1448.94	-4393.26	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	21	183	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1532.82	-26.28	6357.92	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	22	184	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-2.43	-1439.78	10529.60	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	22	184	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1516.57	-9.57	14883.17	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	23	185	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-90.70	-1471.06	-17436.69	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	23	185	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1405.50	-21.29	-1439.00	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	24	186	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-177.34	-1474.64	19121.26	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	24	186	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1382.53	-8.36	-4896.06	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	26	193	Sy Deriva Aislador	LinStatic	197.81	-1247.95	-7363.33	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	26	193	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1593.11	-38.24	34447.70	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	27	187	Sy Deriva Aislador	LinStatic	91.56	-1311.87	-1164.74	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	27	187	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1533.80	-42.26	5357.87	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	28	188	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-2.87	-1310.55	18.21	0.00	0.00	0.00

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
					kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Amortiguador	28	188	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1516.30	-45.15	2984.56	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	29	189	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-96.96	-1325.18	-6908.08	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	29	189	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1482.40	-45.81	7674.05	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	30	191	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-200.30	-1326.57	14441.81	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	30	191	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1482.89	-53.61	15797.33	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	1	197	Sy Deriva Aislador	LinStatic	46.09	-1026.98	6208.21	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	1	197	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1524.15	-4.96	-15031.13	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	25	182	Sy Deriva Aislador	LinStatic	17.85	-1476.24	14559.61	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	25	182	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1497.82	-11.15	251.63	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	34	180	Sy Deriva Aislador	LinStatic	91.09	-1478.61	-16493.83	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	34	180	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1514.60	-9.62	2254.64	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	40	194	Sy Deriva Aislador	LinStatic	54.77	-1022.91	-7052.21	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	40	194	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1528.25	-1.32	-13111.48	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	41	181	Sy Deriva Aislador	LinStatic	54.61	-1499.54	-1004.92	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	41	181	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1502.46	-11.75	1681.11	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	42	196	Sy Deriva Aislador	LinStatic	50.61	-1024.33	-348.45	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	42	196	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1525.46	-1.77	-13970.54	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	59	199	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-199.37	-1420.02	2430.20	724.21	-101.68	0.00
Amortiguador	59	199	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1521.65	-27.84	-29784.66	14.20	-776.04	0.00
Amortiguador	45	198	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-10.61	-977.24	6849.97	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	45	198	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1506.35	-9.87	13447.79	0.00	0.00	0.00
Amortiguador	52	195	Sy Deriva Aislador	LinStatic	91.29	-1500.85	-7987.79	765.43	46.56	0.00
Amortiguador	52	195	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1565.73	-15.58	10244.18	7.95	-798.52	0.00
Amortiguador	56	190	Sy Deriva Aislador	LinStatic	-150.65	-1349.15	-4555.93	688.07	-76.83	0.00

TABLE: Joint Reactions										
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
					kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Amortiguador	56	190	Sx Deriva-Aislador	LinStatic	-1529.03	-38.59	15335.84	19.68	-779.81	0.00

### 11.12. Reacciones en la base sin aisladores

Tabla 70. Reacciones en la base sin aisladores.

TABLE: Joint Reactions											
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	2	362	Sx	LinStatic		-173.710	-35.310	-1332.397	81.307	-692.184	0.000
Base	2	362	Sy	LinStatic		21.711	-129.485	-1859.265	308.962	94.643	0.000
Base	3	370	Sx	LinStatic		-192.942	-53.006	-1021.745	98.968	-761.697	0.000
Base	3	370	Sy	LinStatic		2.718	-198.785	91.130	378.123	19.415	0.000
Base	4	378	Sx	LinStatic		-211.454	-51.796	-1072.364	97.761	-830.521	0.000
Base	4	378	Sy	LinStatic		-15.353	-195.974	-64.573	375.318	-54.932	0.000
Base	5	386	Sx	LinStatic		-223.409	-52.677	-937.352	98.640	-893.081	0.000
Base	5	386	Sy	LinStatic		-51.037	-198.368	-447.649	377.707	-146.108	0.000
Base	6	394	Sx	LinStatic		-234.123	-35.168	-493.794	81.166	-954.454	0.000
Base	6	394	Sy	LinStatic		-29.898	-128.702	2172.508	308.180	-182.990	0.000
Base	8	141	Sx	LinStatic		-114.144	-50.495	156.548	158.140	-245.467	0.000
Base	8	141	Sy	LinStatic		1.090	-255.101	-3069.788	879.665	19.563	0.000
Base	9	85	Sx	LinStatic		-119.461	-67.786	543.174	174.662	-263.558	0.000
Base	9	85	Sy	LinStatic		21.970	-362.084	331.372	981.886	26.130	0.000
Base	10	83	Sx	LinStatic		-142.690	-71.145	188.909	177.871	-299.524	0.000

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	10	83	Sy	LinStatic		-10.041	-384.138	-374.257	1002.958	-20.087	0.000
Base	11	135	Sx	LinStatic		-12.645	-238.586	-1101.956	5.629	-23.838	8.466
Base	11	135	Sy	LinStatic		-1.852	-1357.800	-6506.096	31.484	-2.754	1.769
Base	12	134	Sx	LinStatic		-13.619	-252.575	1170.072	5.856	-27.706	-7.785
Base	12	134	Sy	LinStatic		-2.754	-1441.836	6913.084	32.855	-6.438	-1.127
Base	14	95	Sx	LinStatic		-11.235	-134.851	-606.936	2.992	-18.820	7.065
Base	14	95	Sy	LinStatic		0.180	-1296.977	-6193.875	29.487	4.485	0.540
Base	15	93	Sx	LinStatic		-13.406	-27.847	110.004	0.898	-26.861	-5.596
Base	15	93	Sy	LinStatic		-2.943	-1141.356	5459.320	26.637	-6.989	1.583
Base	16	110	Sx	LinStatic		-194.607	-20.936	-2824.626	55.517	-351.337	0.000
Base	16	110	Sy	LinStatic		15.866	-333.527	1656.664	871.574	5.768	0.000
Base	17	77	Sx	LinStatic		-132.653	-17.239	-255.590	51.984	-302.292	0.000
Base	17	77	Sy	LinStatic		-16.049	-307.624	24.037	846.824	-40.353	0.000
Base	18	76	Sx	LinStatic		-292.168	-7.169	289.511	16.032	-1009.916	0.000
Base	18	76	Sy	LinStatic		-62.695	-108.733	2609.465	246.738	-214.327	0.000
Base	20	97	Sx	LinStatic		-1616.198	2.089	-7525.449	-5.233	-36.343	0.148
Base	20	97	Sy	LinStatic		206.633	-6.781	977.858	17.864	4.688	-3.791
Base	21	490	Sx	LinStatic		-257.323	93.260	3585.920	-102.791	-823.213	0.000
Base	21	490	Sy	LinStatic		64.540	-93.497	-2282.111	210.776	78.486	0.000
Base	22	498	Sx	LinStatic		-234.301	-138.661	8955.465	128.667	-852.351	0.000
Base	22	498	Sy	LinStatic		-37.876	-225.354	6370.378	342.369	-76.452	0.000
Base	23	81	Sx	LinStatic		-13.527	34.059	186.580	-0.909	-22.292	9.280
Base	23	81	Sy	LinStatic		-2.561	-1029.653	-4918.408	23.804	-2.583	2.100
Base	24	79	Sx	LinStatic		-16.993	132.974	-646.588	-2.847	-34.900	-6.937

TABLE: Joint Reactions

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	24	79	Sy	LinStatic		-4.485	-1041.404	4983.896	23.843	-9.842	-0.779
Base	26	98	Sx	LinStatic		-1638.378	-0.078	7636.956	-0.055	-36.663	-1.291
Base	26	98	Sy	LinStatic		255.555	-5.084	-1208.555	12.042	5.606	4.354
Base	27	530	Sx	LinStatic		-195.780	3.926	2513.821	-32.230	-764.409	0.000
Base	27	530	Sy	LinStatic		2.796	-97.326	-504.803	193.841	19.490	0.000
Base	28	538	Sx	LinStatic		-228.837	32.792	1390.629	-61.039	-847.130	0.000
Base	28	538	Sy	LinStatic		-19.318	-106.223	75.574	202.721	-58.720	0.000
Base	29	151	Sx	LinStatic		-93.121	125.296	4375.256	-233.581	-262.744	0.000
Base	29	151	Sy	LinStatic		-5.251	-272.196	-4231.398	646.656	-29.404	0.000
Base	30	169	Sx	LinStatic		-893.536	-294.584	5462.124	-1.757	-79.943	26.311
Base	30	169	Sy	LinStatic		-376.996	-443.480	3770.266	36.616	-22.850	-1.978
Base	1	15	Sx	LinStatic		-613.594	-0.182	-2793.902	-0.586	-12.776	-0.182
Base	1	15	Sy	LinStatic		231.666	-4.546	960.781	2.574	4.336	-1.354
Base	25	16	Sx	LinStatic		-318.327	-79.064	392.927	4.092	-22.577	6.095
Base	25	16	Sy	LinStatic		-55.453	-536.958	3626.319	34.055	-2.879	0.973
Base	34	24	Sx	LinStatic		-208.846	91.212	1003.095	-4.378	-16.345	-2.143
Base	34	24	Sy	LinStatic		9.194	-583.865	-4226.640	36.901	0.488	-1.269
Base	40	32	Sx	LinStatic		-512.335	0.265	-2395.663	0.298	-10.588	0.157
Base	40	32	Sy	LinStatic		-298.486	-4.519	-1227.244	1.962	-5.678	-1.544
Base	41	47	Sx	LinStatic		-111.621	-1.491	258.740	1.352	-4.314	-0.991
Base	41	47	Sy	LinStatic		7.202	-30.196	-68.437	46.711	-0.038	-37.142
Base	42	48	Sx	LinStatic		-528.078	-0.647	-2526.548	0.243	-10.729	-0.064
Base	42	48	Sy	LinStatic		-26.214	-18.506	-107.097	1.579	-0.528	-4.581
Base	59	170	Sx	LinStatic		-1627.693	3.342	-7525.793	-0.437	-35.609	2.128

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	59	170	Sy	LinStatic		-92.062	-4.995	-525.536	8.103	-2.582	-5.116
Base	45	49	Sx	LinStatic		-605.461	-0.856	2811.347	0.789	-13.751	-0.037
Base	45	49	Sy	LinStatic		-310.659	-5.088	1303.761	2.563	-6.348	1.687
Base	52	116	Sx	LinStatic		-482.469	0.881	2361.889	-0.858	-11.070	0.043
Base	52	116	Sy	LinStatic		333.192	-6.078	-1523.468	1.830	6.546	2.300
Base	56	114	Sx	LinStatic		-16.139	810.574	3490.438	-16.147	-10.969	12.151
Base	56	114	Sy	LinStatic		-2.349	-440.006	-2128.529	10.277	-1.448	2.673
Base	~6853		Sx	LinStatic		-447.250	-0.573	-3902.508	-1.015	-20.418	-0.998
Base	~6853		Sy	LinStatic		218.282	-9.363	1617.484	5.754	7.204	-2.668
Base	~6866		Sx	LinStatic		-372.681	-0.849	-2630.306	-0.358	-16.728	-1.564
Base	~6866		Sy	LinStatic		182.773	-10.270	1632.438	6.022	5.460	-4.673
Base	~6873		Sx	LinStatic		-324.157	-1.290	-1644.666	-0.342	-14.820	-2.191
Base	~6873		Sy	LinStatic		141.430	-12.182	1757.828	5.032	3.784	-8.515
Base	~6880		Sx	LinStatic		-301.510	-2.225	-714.302	1.054	-15.124	-2.266
Base	~6880		Sy	LinStatic		113.890	-16.717	1980.678	10.095	3.178	-10.297
Base	~6893		Sx	LinStatic		-18.989	-116.442	318.641	3.745	-5.778	12.141
Base	~6893		Sy	LinStatic		-1.750	-660.318	1618.777	27.530	-0.094	2.459
Base	~6900		Sx	LinStatic		-17.454	-114.611	459.062	2.502	-4.364	5.530
Base	~6900		Sy	LinStatic		-1.241	-621.000	917.671	20.608	-0.522	1.967
Base	~6907		Sx	LinStatic		-17.293	-79.153	611.085	4.370	-8.399	2.579
Base	~6907		Sy	LinStatic		0.392	-569.588	226.215	26.113	0.530	1.518
Base	~6914		Sx	LinStatic		-17.314	20.514	662.343	-2.635	-8.494	4.423
Base	~6914		Sy	LinStatic		-0.481	-569.852	-555.698	25.988	-0.233	1.100
Base	~6921		Sx	LinStatic		-16.258	59.378	619.132	-1.277	-3.930	1.803

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~6921		Sy	LinStatic		-0.423	-628.854	-1259.053	20.872	0.221	0.938
Base	~6928		Sx	LinStatic		-16.692	76.775	595.194	-2.759	-4.851	-4.556
Base	~6928		Sy	LinStatic		-0.271	-684.644	-1977.269	28.372	-0.117	0.783
Base	~6941		Sx	LinStatic		-195.593	2.027	-307.836	-0.955	-10.960	2.032
Base	~6941		Sy	LinStatic		-172.257	-17.909	-2327.527	9.827	-5.297	-11.934
Base	~6948		Sx	LinStatic		-221.783	1.214	-1211.222	0.125	-11.544	1.786
Base	~6948		Sy	LinStatic		-203.042	-12.863	-2101.038	5.338	-5.773	-9.915
Base	~6955		Sx	LinStatic		-267.670	0.874	-2152.892	0.095	-12.922	1.183
Base	~6955		Sy	LinStatic		-248.694	-10.593	-1986.787	5.214	-7.683	-5.946
Base	~6962		Sx	LinStatic		-344.673	0.678	-3323.365	0.486	-16.625	0.723
Base	~6962		Sy	LinStatic		-286.942	-9.522	-2020.091	5.009	-9.773	-3.340
Base	~6975		Sx	LinStatic		-143.702	-1.656	-356.504	0.084	-9.293	-1.728
Base	~6975		Sy	LinStatic		-9.632	-48.760	-140.124	3.642	-0.361	-66.158
Base	~6988		Sx	LinStatic		-173.190	-1.401	-1345.986	0.071	-10.193	-1.154
Base	~6988		Sy	LinStatic		-17.335	-43.419	-143.097	3.106	-0.613	-47.711
Base	~6995		Sx	LinStatic		-230.527	-1.274	-2344.118	0.203	-11.878	-0.622
Base	~6995		Sy	LinStatic		-22.318	-39.847	-147.901	3.661	-0.763	-30.652
Base	~7002		Sx	LinStatic		-328.767	-1.224	-3556.369	0.332	-16.181	-0.219
Base	~7002		Sy	LinStatic		-25.070	-37.796	-165.248	3.851	-0.923	-15.360
Base	~7481		Sx	LinStatic		-27.327	-206.763	1604.812	8.956	-64.920	1.064
Base	~7481		Sy	LinStatic		-5.267	-1084.232	9640.416	48.245	-14.017	1.693
Base	~7494		Sx	LinStatic		-25.880	-175.517	1056.177	7.259	-56.968	6.868
Base	~7494		Sy	LinStatic		-4.850	-834.202	6432.929	36.377	-11.569	3.301
Base	~7501		Sx	LinStatic		-25.327	-160.372	635.768	6.846	-55.174	6.159

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~7501		Sy	LinStatic		-4.633	-707.958	3894.469	33.125	-10.747	3.351
Base	~7508		Sx	LinStatic		-24.837	-154.058	246.519	6.466	-51.886	4.676
Base	~7508		Sy	LinStatic		-4.411	-651.610	1508.155	30.320	-9.452	3.169
Base	~7515		Sx	LinStatic		-24.652	-153.666	-132.985	6.526	-51.317	1.628
Base	~7515		Sy	LinStatic		-4.249	-648.782	-830.488	30.658	-8.911	2.619
Base	~7522		Sx	LinStatic		-24.761	-156.548	-522.153	6.659	-52.715	-0.132
Base	~7522		Sy	LinStatic		-4.135	-683.859	-3216.825	31.970	-8.460	2.212
Base	~7529		Sx	LinStatic		-24.986	-169.488	-942.630	7.163	-53.248	-1.400
Base	~7529		Sy	LinStatic		-4.058	-796.628	-5756.299	35.754	-8.062	1.802
Base	~7536		Sx	LinStatic		-26.024	-194.728	-1488.319	8.480	-58.577	2.852
Base	~7536		Sy	LinStatic		-4.088	-1011.135	-8945.935	45.364	-8.004	1.994
Base	~7549		Sx	LinStatic		-874.036	-14.349	2784.137	2.969	-43.424	13.592
Base	~7549		Sy	LinStatic		-124.110	-41.172	2903.527	37.215	-7.787	-17.713
Base	~7562		Sx	LinStatic		-828.691	-0.567	196.088	-3.636	-36.685	11.088
Base	~7562		Sy	LinStatic		-74.404	-22.743	2058.177	25.302	-5.277	-16.298
Base	~7569		Sx	LinStatic		-821.070	3.984	-2183.788	-4.380	-37.100	11.107
Base	~7569		Sy	LinStatic		-40.574	-16.213	1405.239	24.228	-4.189	-10.819
Base	~7576		Sx	LinStatic		-872.829	5.958	-4610.835	-4.418	-39.131	9.535
Base	~7576		Sy	LinStatic		-18.435	-13.074	793.338	23.037	-3.167	-7.973
Base	~7583		Sx	LinStatic		-1009.201	6.767	-7201.350	-4.199	-43.811	7.509
Base	~7583		Sy	LinStatic		-11.062	-11.544	183.604	22.562	-3.222	-5.605
Base	~7590		Sx	LinStatic		-1230.781	7.085	-10549.604	-3.185	-54.309	5.136
Base	~7590		Sy	LinStatic		-16.904	-11.107	-478.180	23.147	-3.157	-5.647
Base	~7603		Sx	LinStatic		-86.726	316.858	4999.019	-12.262	-67.780	50.033

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~7603		Sy	LinStatic		-29.841	-258.246	2090.920	16.392	-20.853	10.543
Base	~7610		Sx	LinStatic		-52.557	454.169	4843.102	-14.771	-45.231	42.915
Base	~7610		Sy	LinStatic		-13.999	-224.081	529.831	13.500	-10.741	9.976
Base	~7617		Sx	LinStatic		-40.698	593.167	4974.366	-20.288	-41.052	29.136
Base	~7617		Sy	LinStatic		-8.400	-222.423	-913.290	13.875	-8.946	6.524
Base	~7624		Sx	LinStatic		-36.033	711.245	5508.122	-25.758	-37.320	21.427
Base	~7624		Sy	LinStatic		-6.035	-259.488	-2552.793	15.396	-6.808	5.088
Base	~7637		Sx	LinStatic		-33.086	97.440	-974.477	-4.017	-77.394	7.231
Base	~7637		Sy	LinStatic		-8.272	-786.176	6907.898	35.126	-19.958	4.441
Base	~7650		Sx	LinStatic		-30.984	63.601	-764.706	-2.558	-65.122	15.426
Base	~7650		Sy	LinStatic		-7.558	-612.744	4546.080	26.803	-15.520	7.058
Base	~7657		Sx	LinStatic		-29.871	42.319	-603.687	-2.041	-61.613	15.318
Base	~7657		Sy	LinStatic		-7.095	-527.220	2675.612	24.565	-13.923	7.266
Base	~7664		Sx	LinStatic		-28.726	27.755	-450.055	-1.463	-55.377	13.772
Base	~7664		Sy	LinStatic		-6.594	-491.849	919.026	22.738	-11.354	6.954
Base	~7671		Sx	LinStatic		-27.947	19.204	-298.406	-1.295	-53.541	9.898
Base	~7671		Sy	LinStatic		-6.188	-493.835	-801.827	23.051	-10.293	5.932
Base	~7678		Sx	LinStatic		-27.529	12.570	-144.029	-1.042	-52.844	6.915
Base	~7678		Sy	LinStatic		-5.867	-524.272	-2558.182	24.225	-9.054	4.921
Base	~7685		Sx	LinStatic		-27.380	10.618	17.819	-1.046	-52.548	3.961
Base	~7685		Sy	LinStatic		-5.651	-611.365	-4429.090	27.075	-8.388	3.734
Base	~7692		Sx	LinStatic		-28.128	14.346	200.841	-1.179	-56.336	6.208
Base	~7692		Sy	LinStatic		-5.592	-774.390	-6791.104	34.455	-7.925	3.138
Base	~7705		Sx	LinStatic		-365.691	-2.308	1254.815	1.175	-17.713	0.381

TABLE: Joint Reactions

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~7705		Sy	LinStatic		-235.095	-16.598	2207.773	10.551	-7.746	9.585
Base	~7712		Sx	LinStatic		-398.128	-1.675	2364.901	0.550	-17.268	0.009
Base	~7712		Sy	LinStatic		-267.369	-12.086	2044.958	4.862	-7.792	7.261
Base	~7719		Sx	LinStatic		-468.080	-1.519	3794.010	1.308	-21.395	-0.416
Base	~7719		Sy	LinStatic		-309.335	-10.594	2110.887	6.590	-10.601	3.047
Base	~7732		Sx	LinStatic		-253.361	2.116	1785.324	-1.360	-13.321	0.120
Base	~7732		Sy	LinStatic		211.764	-18.079	-2654.473	10.252	6.570	8.680
Base	~7739		Sx	LinStatic		-327.214	1.597	3138.286	-1.240	-16.188	0.190
Base	~7739		Sy	LinStatic		280.600	-13.605	-2596.440	5.340	8.791	6.430
Base	~7752		Sx	LinStatic		-26.185	-28.662	58.286	1.560	-59.822	4.864
Base	~7752		Sy	LinStatic		-4.629	-852.910	7438.030	38.554	-10.895	7.551
Base	~7765		Sx	LinStatic		-24.609	-40.972	-102.449	1.950	-50.631	10.819
Base	~7765		Sy	LinStatic		-3.911	-683.007	4677.392	30.821	-6.061	10.097
Base	~7772		Sx	LinStatic		-23.825	-51.766	-231.442	2.132	-48.008	10.354
Base	~7772		Sy	LinStatic		-3.278	-597.583	2475.614	27.859	-3.940	10.863
Base	~7779		Sx	LinStatic		-23.051	-63.326	-348.115	2.554	-43.668	8.896
Base	~7779		Sy	LinStatic		-2.539	-577.115	408.951	27.056	-0.551	10.954
Base	~7786		Sx	LinStatic		-22.577	-72.693	-460.497	2.730	-42.424	5.721
Base	~7786		Sy	LinStatic		-1.848	-587.527	-1615.179	26.974	1.134	10.321
Base	~7793		Sx	LinStatic		-22.396	-84.525	-576.102	3.240	-42.565	3.412
Base	~7793		Sy	LinStatic		-1.197	-644.088	-3680.859	29.673	3.965	9.149
Base	~7800		Sx	LinStatic		-22.401	-98.791	-703.860	3.591	-42.615	1.295
Base	~7800		Sy	LinStatic		-0.701	-761.552	-5880.795	32.736	5.352	7.416
Base	~7807		Sx	LinStatic		-23.117	-119.068	-893.454	4.660	-46.459	3.566

**TABLE: Joint Reactions**

Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~7807		Sy	LinStatic		-0.191	-985.895	-8679.981	43.381	8.232	4.620
Base	~7820		Sx	LinStatic		-1322.567	3.755	-10908.295	-10.604	-53.903	-3.326
Base	~7820		Sy	LinStatic		161.071	-13.208	1406.289	40.441	6.708	4.006
Base	~7833		Sx	LinStatic		-1050.056	3.300	-8145.483	-7.599	-40.965	-5.057
Base	~7833		Sy	LinStatic		124.204	-12.037	1020.398	33.483	5.106	8.877
Base	~7840		Sx	LinStatic		-881.301	2.945	-6119.207	-7.535	-36.206	-5.794
Base	~7840		Sy	LinStatic		100.444	-11.396	728.076	32.053	4.349	9.588
Base	~7847		Sx	LinStatic		-781.296	2.510	-4263.921	-5.006	-31.951	-5.883
Base	~7847		Sy	LinStatic		87.179	-10.704	457.426	27.264	3.861	9.133
Base	~7854		Sx	LinStatic		-729.019	2.148	-2495.990	-5.720	-30.599	-5.706
Base	~7854		Sy	LinStatic		79.310	-10.196	197.524	26.598	3.596	7.299
Base	~7861		Sx	LinStatic		-702.619	1.769	-767.239	-3.688	-29.529	-5.352
Base	~7861		Sy	LinStatic		76.253	-9.801	-58.127	24.130	3.512	5.387
Base	~7868		Sx	LinStatic		-702.008	1.476	950.931	-4.794	-29.436	-4.882
Base	~7868		Sy	LinStatic		77.064	-9.593	-312.948	24.116	3.490	2.767
Base	~7875		Sx	LinStatic		-729.757	1.155	2680.462	-3.206	-30.708	-4.549
Base	~7875		Sy	LinStatic		83.647	-9.523	-569.456	24.125	3.782	0.856
Base	~7882		Sx	LinStatic		-781.502	0.896	4449.999	-4.105	-31.841	-4.045
Base	~7882		Sy	LinStatic		94.851	-9.600	-830.915	24.496	4.020	-1.098
Base	~7889		Sx	LinStatic		-886.393	0.622	6306.694	-2.795	-36.496	-3.743
Base	~7889		Sy	LinStatic		116.370	-9.809	-1103.057	26.513	4.920	-1.817
Base	~7896		Sx	LinStatic		-1057.990	0.421	8333.730	-3.064	-41.016	-3.130
Base	~7896		Sy	LinStatic		149.593	-10.032	-1396.520	26.919	5.763	-1.834
Base	~7903		Sx	LinStatic		-1341.722	0.281	11100.778	-1.867	-54.711	-2.776

TABLE: Joint Reactions											
Story	Label	Unique Name	Output Case	Case Type	Step Type	FX	FY	FZ	MX	MY	MZ
						kN	kN	kN	kN-m	kN-m	kN-m
Base	~7903		Sy	LinStatic		202.722	-10.624	-1795.718	30.066	8.190	1.015

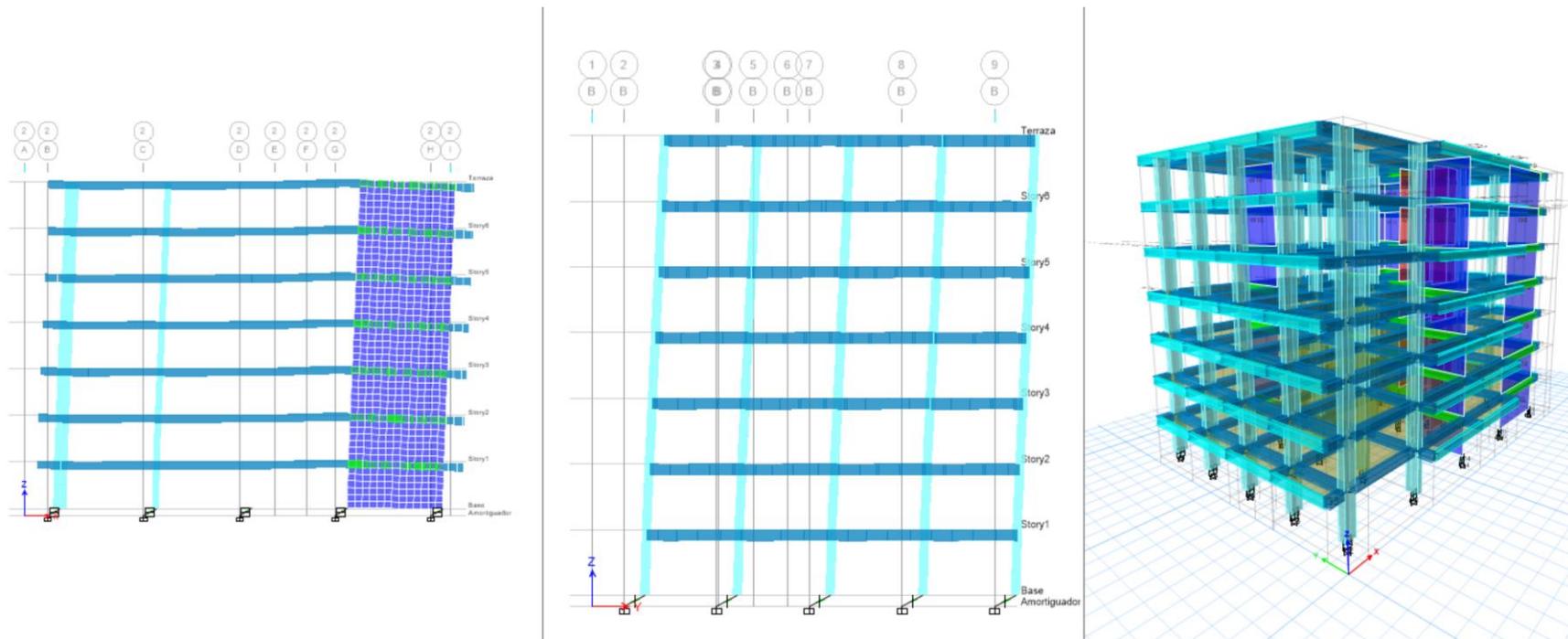


Ilustración 37. Desplazamientos con aisladores

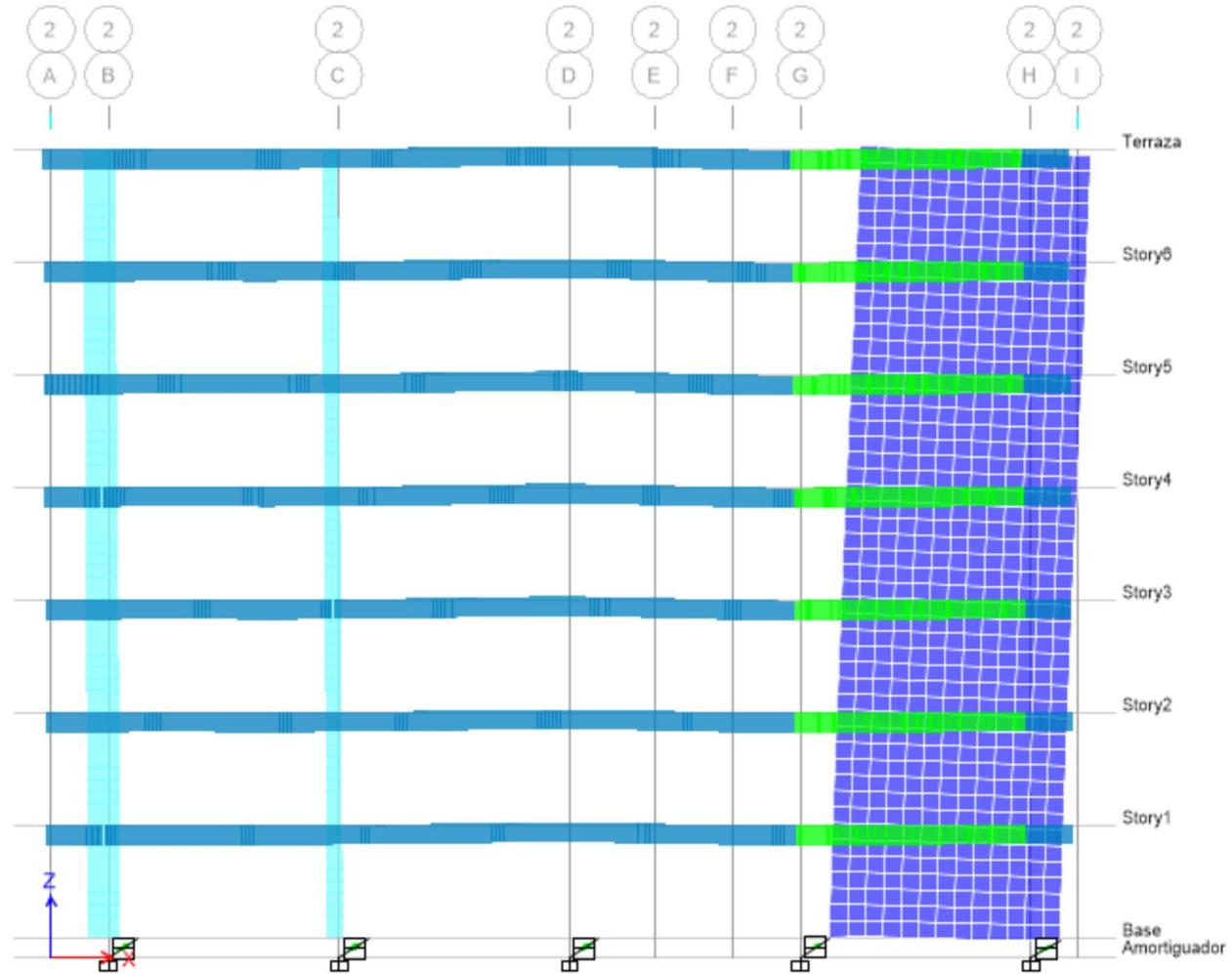


Ilustración 38. Desplazamiento en X con Aisladores

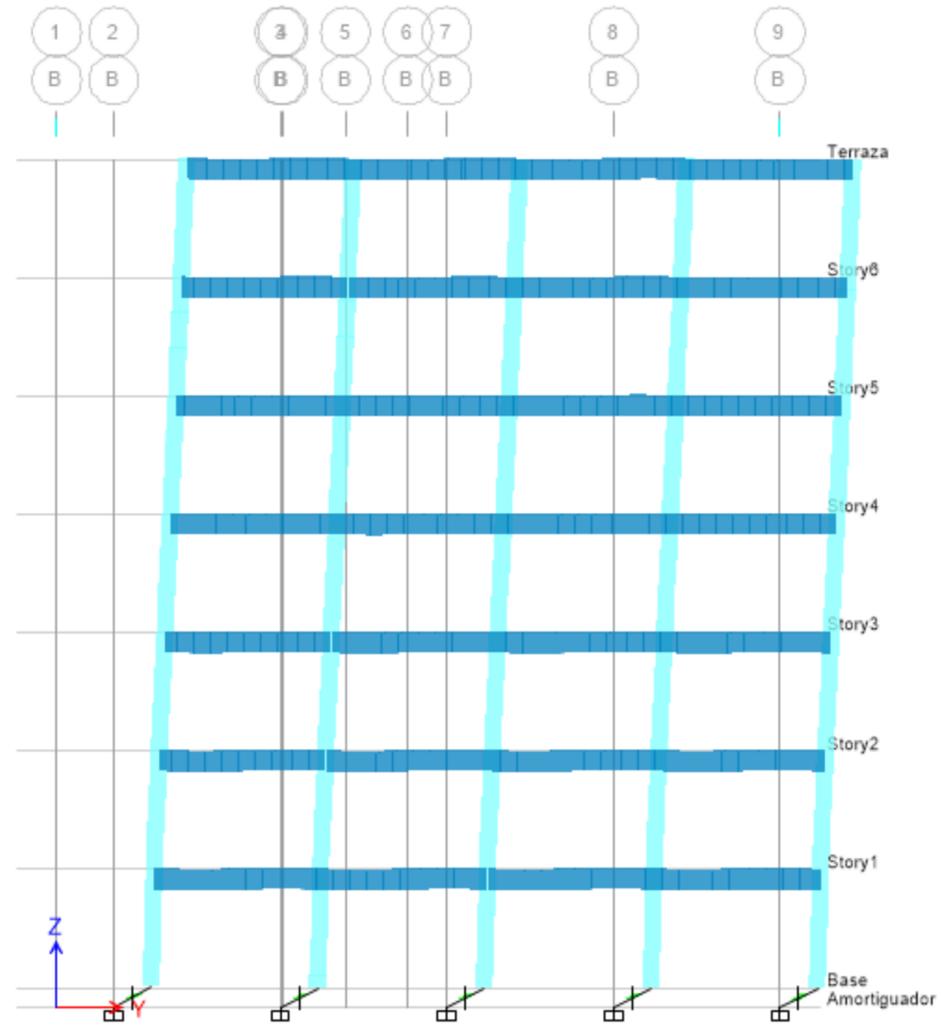
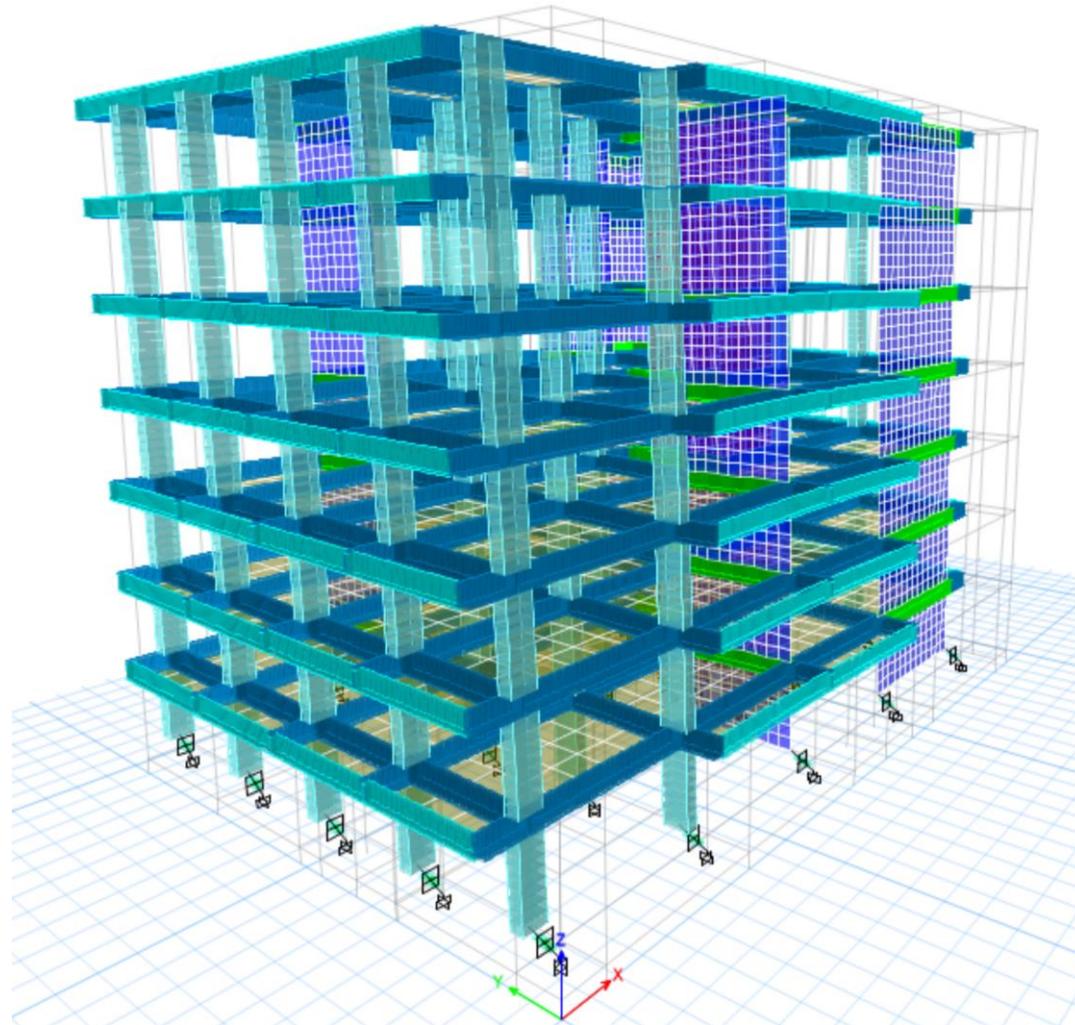
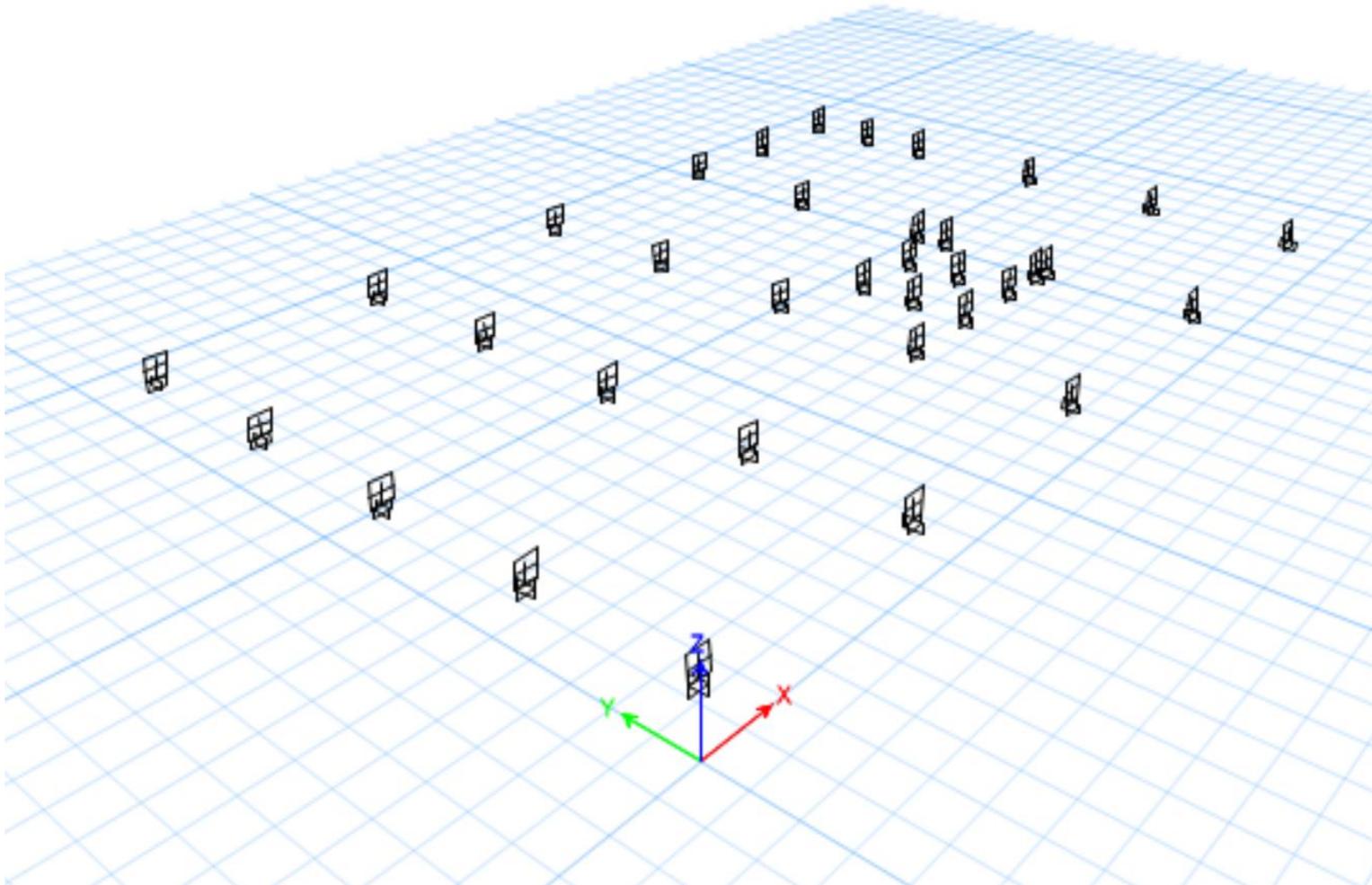


Ilustración 39. Desplazamiento en Y con aisladores



*Ilustración 40. 3D Hospital con aisladores.*



*Ilustración 41. Ubicación de aisladores detalle 3D.*

## 12. CONCLUSIONES

Una vez analizados los datos obtenidos de los modelos sin aisladores y con la inclusión de los mismos se puede inferir en cuanto a derivas, desplazamientos máximos y otras variables relevantes que:

- Los sistemas de aislación son muy convenientes desde el punto de vista de seguridad ya que reducen la fuerza sísmica que llega a cada piso de la estructura, disminuyendo de esa manera los desplazamientos relativos de pisos. Pero a cambio de eso, los desplazamientos máximos de la estructura aumentan, condicionando el proceso constructivo de la edificación siempre que no se cuente con el espacio de retiro con edificaciones existentes.
- Se necesita definir un objetivo de amortiguamiento, el cual consiste en un aumento del periodo a utilizar en la estructura, que al momento de implementar los cálculos con los aisladores debe ser mayor que el periodo de la estructura de base fija, teniendo en cuenta las limitaciones de altura dado, ya que, al aumentar el periodo, se aumentan también los desplazamientos máximos y se necesitaría de un espacio libre de amortiguamiento mucho más amplio.
- Para poder hacer un uso adecuado de los aisladores en el sistema o modelo se deben asignar para cada elemento estructural que llegue a la base (columnas y/o muros), debido a no se puede dejar ningún empotramiento o condición de apoyo que restrinja el movimiento absoluto de los aisladores.
- El dejar una condición de apoyo diferente a los elementos “link” en el modelo genera que la estructura o el elemento estructural reciba mucha demanda sísmica en ese apoyo, de manera que se reduce la efectividad de los aisladores usados en la base.
- Los aisladores de LRB (goma, acero y núcleo de plomo) tienen una rigidez vertical muy alta, por lo que los esfuerzos de compresión no son problema al momento de recibir la carga, también presentan una elevada rigidez ante deformaciones laterales, comportándose en el rango elástico, volviendo a su forma después de recibir las fuerzas sísmicas.
- Dadas las condiciones de Colombia, al no poseer estudios claros de microzonificación sísmica en todo el territorio, se hace necesario el utilizar el espectro sísmico de diseño para un amortiguamiento del 5%, el cual se debe amplificar por un 50% adicional para poder hacer los cálculos de derivas en el modelo matemático.
- Los datos calculados para los aisladores difieren de los datos de catálogos comerciales por lo cual es necesario hacer el cálculo de las características teniendo en cuenta los valores de catálogos sin exceder los máximos y mínimos, como por ejemplo los datos del Área y diámetro del plomo, la altura del aislador y la deformación máxima lateral del aislador seleccionado.
- Debido a que se toman muchos datos y ecuaciones de las normas americanas como la ASCE 7 – 10, los valores presentes en ellas son resultado de estudios netamente del país de origen de la norma, por lo cual la aplicación de la misma puede verse afectada por coeficientes mucho más o menos conservadores, dando como resultado un sobredimensionamiento o un subdimensionamiento del aislador a utilizar.

- Es preciso determinar el precio comercial de la aplicación en Colombia de los aisladores teniendo en cuenta que en países como Perú y otros de Latinoamérica el valor ronda en aproximadamente 30 – 40 dólares por metro cuadrado de edificación; ahora, esto varía según la dimensión, la altura y la cantidad de aisladores a utilizar en el proyecto, dado que si es una edificación con un número pequeño de columnas o muros y que su importancia es baja, la aplicación de la tecnología de aislamiento sería inviable.
- Las edificaciones que por su importancia se consideran indispensables ante un evento sísmico son las que deberían tener sistemas de aislamiento en la base o el uso de algún tipo de sistema de amortiguamiento, con el fin de controlar y, en gran medida, evitar que se produzcan daños en elementos estructurales y no estructurales; para así, poder continuar con la operación una vez finalizado el evento sísmico. No obstante, por no contar en Colombia con una norma fehaciente para el diseño e implementación de sistemas de aislación y/o amortiguación se hace mucho más complejo el poder diseñar sistemas con la inclusión de este tipo de sistemas, llegando a tomar muchas normas, guías, formulaciones y ábacos de otros países, con lo cual, difieren los resultados obtenidos al final del análisis y diseño estructural.
- Dada la variación en las derivas de la estructura, se evidencia un comportamiento muy favorable con el fin de evitar daños. Pero constructivamente se evidencian problemas debido a que además de hacer un piso adicional, se debe contemplar el diámetro de los aisladores para que estos no se lleguen a tocar en el caso de un movimiento sísmico, por ende hay que tener especial cuidado al momento de la colocación de los mismos en el modelo matemático.
- Basado en los cálculos hechos, es muy importante definir tanto el amortiguamiento efectivo como el número de aisladores, dado que esto gobierna el cálculo de las propiedades geométricas y mecánicas del dispositivo.
- Es importante evitar que en los apoyos se produzcan fuerzas de tracción, debido a que la goma es poco eficiente para resistir este tipo de tensiones, lo que conlleva a un uso inadecuado del dispositivo, produciendo problemas en condición de servicio y muy posiblemente el mal funcionamiento del sistema en general.
- Dados los desplazamientos y las condiciones de los apoyos en la base, es importante para el diseñador el poder predecir el comportamiento de la superestructura con relación a la subestructura, en cuanto a las conexiones de los diferentes tipos de ductos y tuberías, a fin de garantizar que no habrá corte, fisuración o daños en las mismas cuando el sistema se desplace por efectos de un movimiento sísmico de moderada o gran magnitud.
- En busca de un mejor desempeño y reducción de pérdidas ante eventos sísmicos, surge la idea de instalar aisladores sísmicos en la base de estructuras importantes como hospitales, utilizando sistemas de aislamiento tipo LRB. Estos sistemas se eligieron debido a su adecuado desempeño a nivel mundial y de los resultados positivos que han llegado a experimentar frente a acciones sísmicas. Adicionalmente, este tipo de sistemas han estado amparados fuertemente por normas internacionales; además de, consideraciones de estado del arte especializado en su apropiado funcionamiento.

- Como se ha mencionado en el cuerpo de esta investigación, se tiene pocas edificaciones con aislamiento en la base en nuestro país. El tener poca infraestructura de este tipo radica en un posible desconocimiento del comportamiento de este tipo de sistemas frente a cargas laterales y de una falta de guías que permitan su correcto análisis y diseño estructural.
- El procedimiento acá presentado refleja lo estipulado en las normativas internacionales, aplicadas al caso de Colombia, incluso con el uso de parámetros sísmicos colombianos. Este atrevimiento técnico, el de usar normas de otros países en uno donde la normativa apenas se está desarrollando, deja en evidencia la importante necesidad de implementar y avanzar con la normativa para nuestro país; un paso que ya se ha estado llevando a cabo por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) en su comité 700.
- El Análisis No lineal tiempo historia no se aplicó a esta investigación y queda como trabajo futuro poder realizarlo. Este tipo de análisis debe aplicarse a la estructura con aisladores en la base, con la ayuda de softwares especializados, teniendo en cuenta las propiedades mecánicas de los dispositivos (lineales como no lineales) tales como: la rigidez vertical, la rigidez efectiva, la rigidez de pre-fluencia y la fuerza de fluencia. Estos análisis deberán llevarse a cabo aplicando acelerogramas adecuados de las localidades donde se planea hacer el análisis y diseño estructural con el uso de estos dispositivos; estos registros sísmicos deberán reflejar adecuadamente la amenaza sísmica del sitio, los efectos locales, la geomorfología y topografía del terreno.
- Con respecto al periodo natural de vibración de la edificación con base fija y base aislada, parámetro fundamental de implicación importante en la dinámica de cualquier sistema estructural, se nota una considerable diferencia de sus respectivos, como era de esperarse, ya que de esta manera se generan considerables reducciones de aceleraciones, fuerzas laterales y distorsiones de entrepiso; manteniendo así, la superestructura como un bloque rígido y con un desempeño apropiado sin mucho daño en sus elementos estructurales, elementos no estructurales y en sus contenidos.
- Todo análisis con aislamiento en la base, en el que su periodo fundamental se incrementa, deberá llevar a cabo cálculos teniendo en cuenta modos de vibración superiores (al menos los tres modos consecutivos al fundamental), ya que el periodo de alguno de estos puede entrar en la zona de aceleraciones constantes del espectro de diseño, implicando fuerzas sísmicas considerables.
- En pie de un mejor comportamiento estructural de las edificaciones, se han venido aplicando nuevas metodologías en función del desempeño de sus elementos, tanto estructurales como no estructurales. Se plantea para investigación futura el uso de estas metodologías.
- Se tendrá que comparar el sistema de aislamiento sísmico LRB con otros dispositivos del mercado como es el caso de HDR y FPS, con el fin de encontrar un adecuado y apropiado funcionamiento en cuanto a funcionalidad, economía y seguridad; sin dejar a un lado otro factor muy importante, el aspecto estético. Se plantea para investigación futura este tipo de comparativas.
- Como conclusión general se puede afirmar que en Colombia a pesar de usar la norma ASCE – 7, 10, o la FEMA 450, es indispensable que se logre una articulación entre las universidades representativas del país a fin de poder generar un documento guía

a la luz de esta tecnología que a pesar de no ser reciente y de no aplicarse en el país a mediana o gran escala, a futuro con la implementación de nuevos métodos constructivos y la necesidad apremiante de conservar edificios como patrimonios y la posibilidad de que la inversión hecha perdure en el tiempo, se llegará a aplicar el aislamiento sísmico como se hace en otros países que comparten el anillo circum pacífico.

## BIBLIOGRAFÍA.

ASCE 7-10. (2010). American Society of Civil Engineers, Minimum design loads for buildings and other structures, 7, 7–10, 2010.

ASCE 7-16. (2016). American Society of Civil Engineers Minimum design loads and associated criteria for buildings and other structures, 7, 7–16.

Ena-Colunga, Arturo & Escamilla-Cruz, José. (2005). Amplificación dinámica de los Desplazamientos de aisladores elastoméricos asociada a la torsión inducida por la asimetría en rigideces laterales de la superestructura.

Genatios, Carlos & Lafuente, M. (2020). INTRODUCCIÓN AL USO DE AISLADORES Y DISIPADORES EN ESTRUCTURAS.

LIÑAN, R., & CARRASCO, D. (2015). ANÁLISIS SÍSMICO COMPARATIVO ENTRE LOS SISTEMAS DE CONCRETO ARMADO Y CON AISLAMIENTO SÍSMICO EN LA BASE PARA UN EDIFICIO DE 5 PISOS. Trujillo Perú: UNIVERSIDAD PRIVADA DE TRUJILLO.

Luis, M. G., & Mauricio, G. Q. (2022). Guía internacional para el diseño de aisladores sísmicos para países que no cuenten con una norma de aisladores sísmicos. LACCEI International Multi-Conference for Engineering, Education, and Technology.

Pérez, N., & Vázquez, M. (2016). Diseño de aisladores sísmicos de base para edificio de oficinas de 6 niveles con sistema estructural de pórticos rígidos de concreto reforzado. Managua Nicaragua: Universidad Centroamericana facultad de ciencias, tecnología y ambiente.

Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2016). Consecuencias de la posible aplicación A Colombia de las normas más actuales sobre aislamiento sísmico de edificios Consequences of the possible application to Colombia of the most recent codes on seismic isolation of buildings. Revista internacional de ingeniería de estructuras. 21. 415-436

Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2018). Propuesta para la futura norma de Aislamiento sísmico de edificaciones en Colombia. Dyna (Medellin, Colombia). 85. 306-315. 10.15446/dyna.v85n207.72296.

Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Comparación de las dos metodologías De análisis y diseño más recientes de ASCE 7, para el análisis de su posible empleo en edificaciones con aislamiento sísmico de base en Colombia.

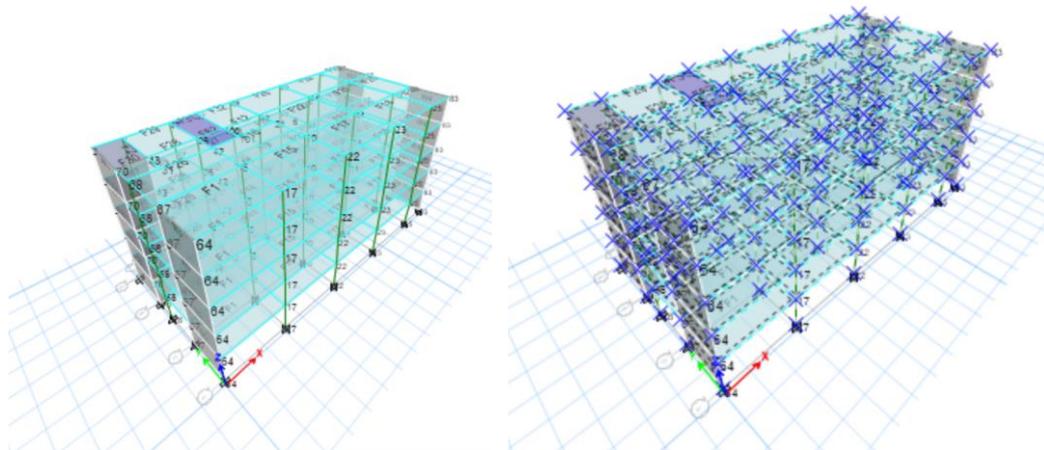
Piscal, Carlos & López-Almansa, Francisco. (2019). Propuesta para las futuras normas de Aislamiento sísmico en Latinoamérica.

## ANEXOS

### Idealización de uniones Vigas – Columnas

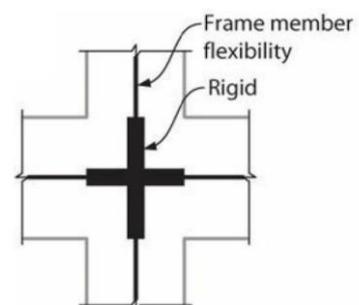
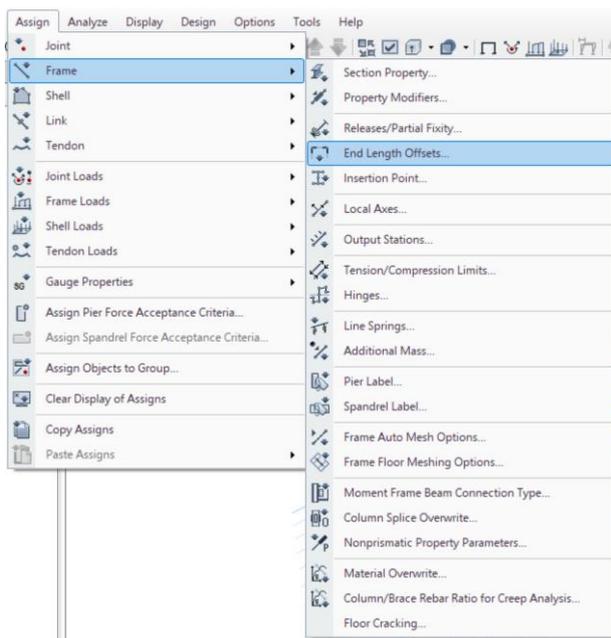
Mediante la opción de Recomendación para análisis sísmicos (Moehle, 2015), se utiliza un factor  $\beta_c = \beta_b = 0.6$  para la rigidizar los nudos entre vigas columnas, el proceso a realizar en ETABS se presenta en las siguientes ilustraciones.

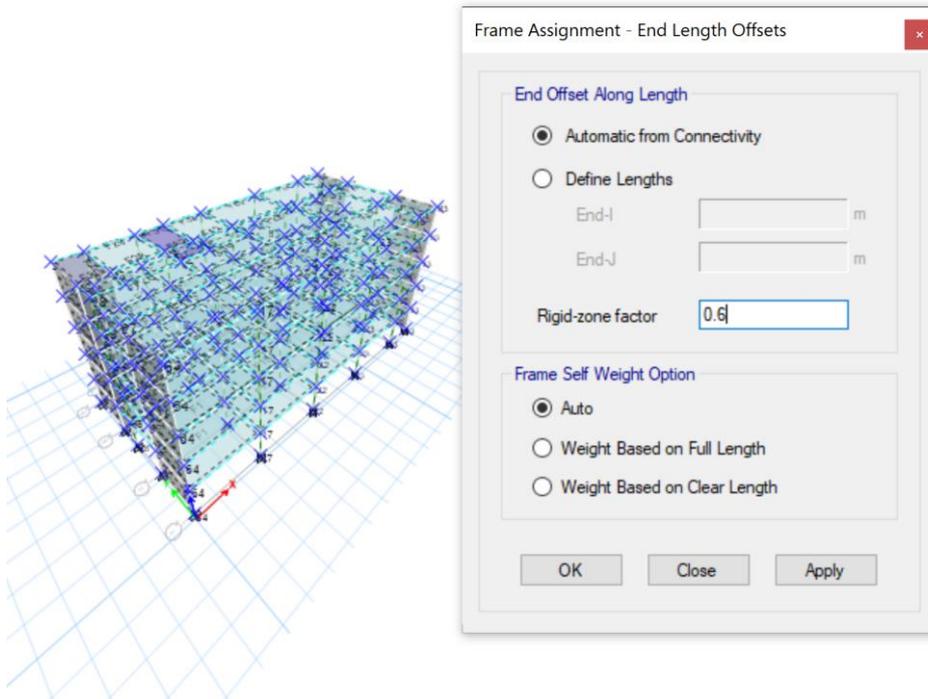
- a) Seleccionar todos los elementos del Modelo.



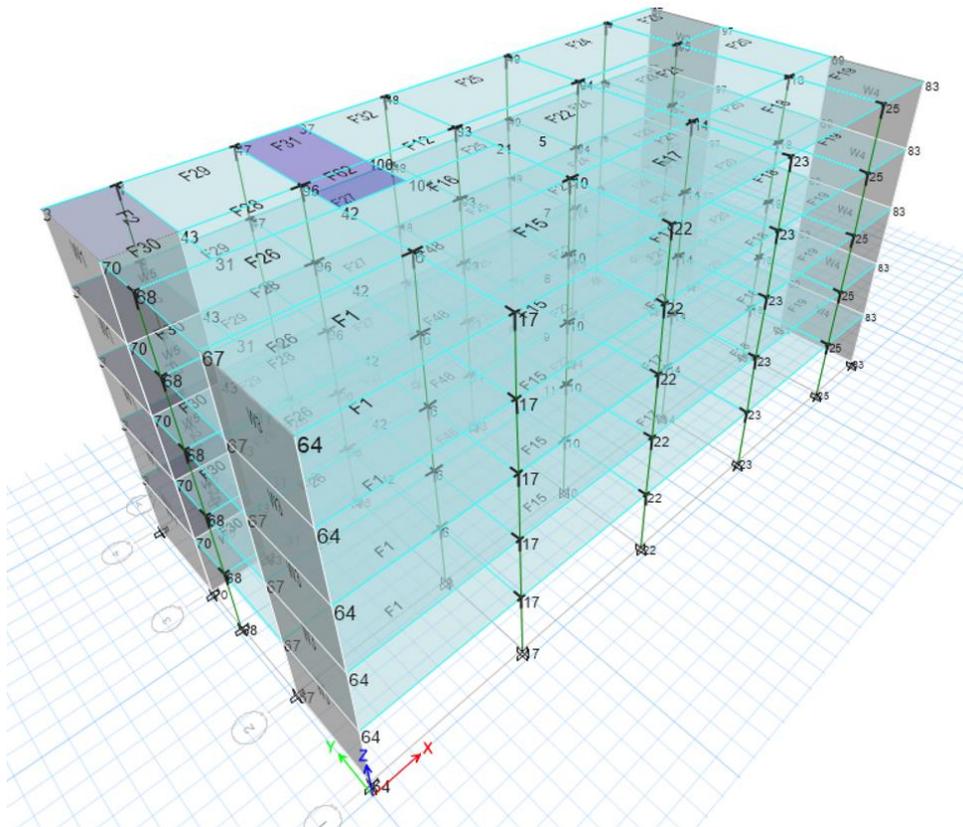
- b) Seleccionar el End Length Offsets.

Después de seleccionar todos los elementos, es necesario aplicar la rigidez de 0.60 en todos los elementos.

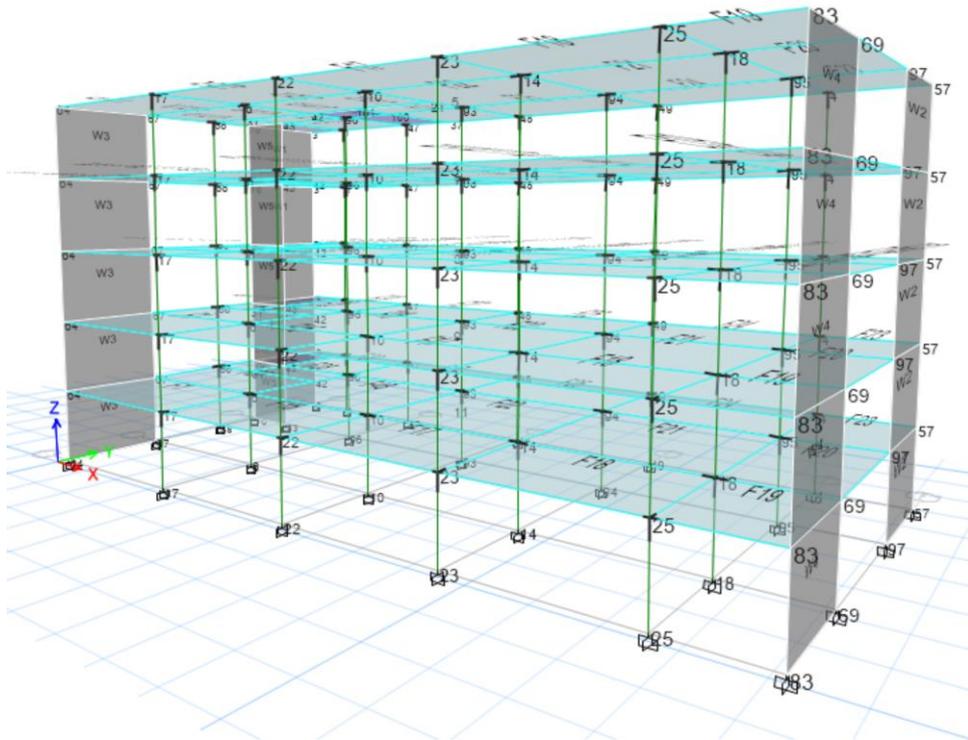




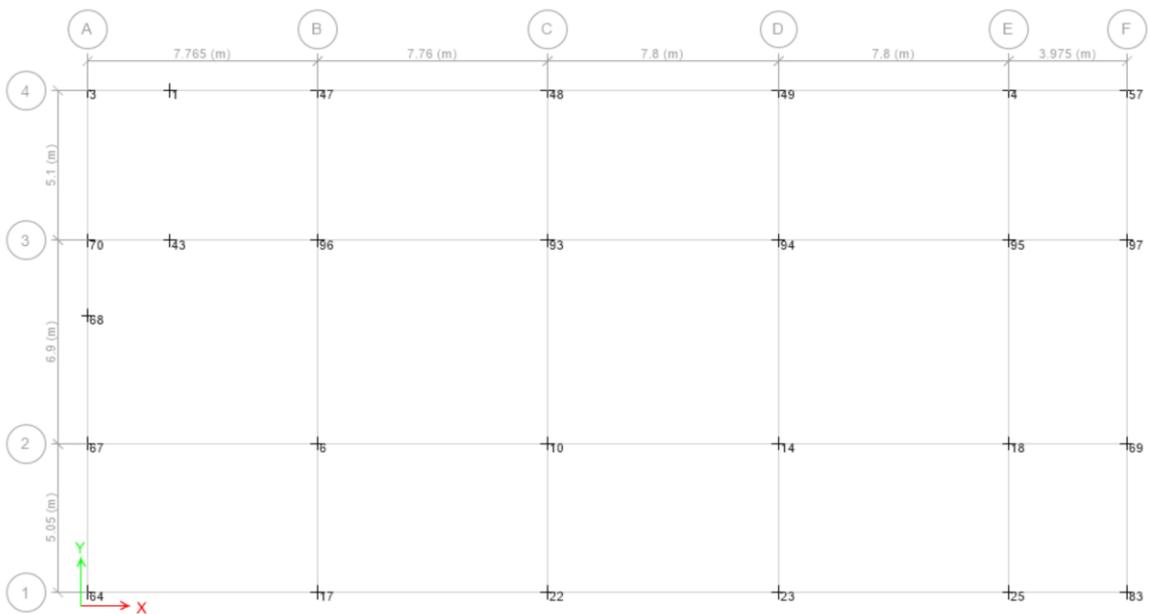
c) Después de aplicar la rigidez el modelo se ve de esta forma.

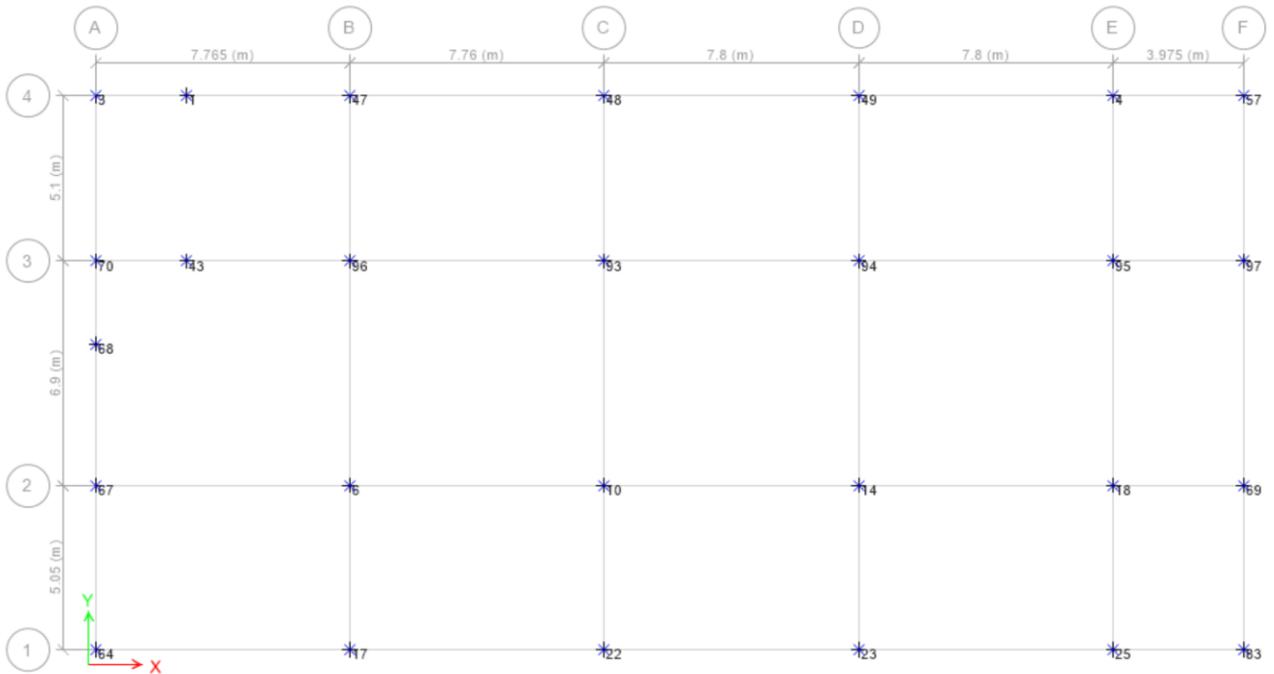


## Restricciones en apoyos.

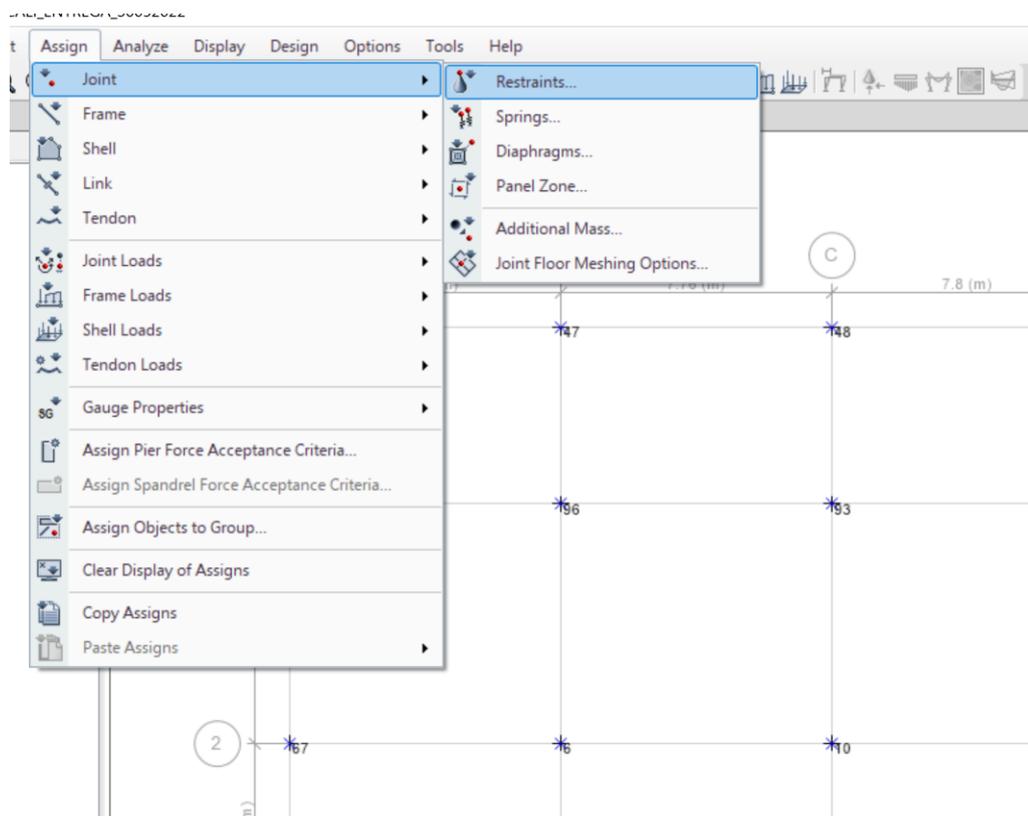


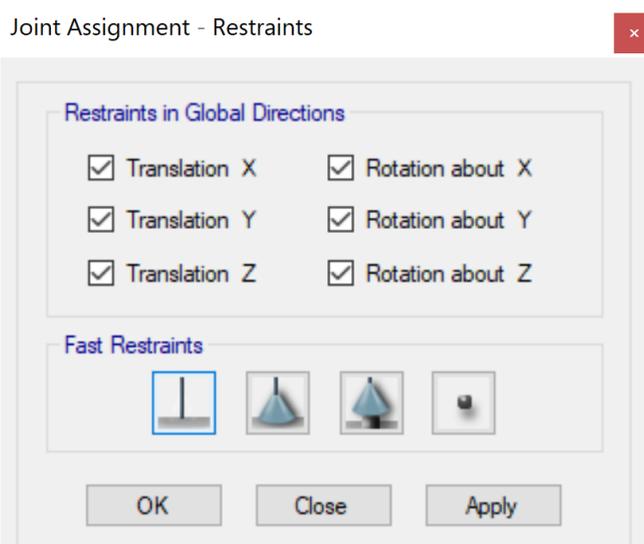
- a) Para definir las restricciones en los apoyos, se ubica el modelo en la planta, y se seleccionan todos los nudos, teniendo la precaución de estar trabajando en “one story”





- b) Después de seleccionar todos los nodos de la Planta del nivel Base, se asignan las restricciones de empotramiento.

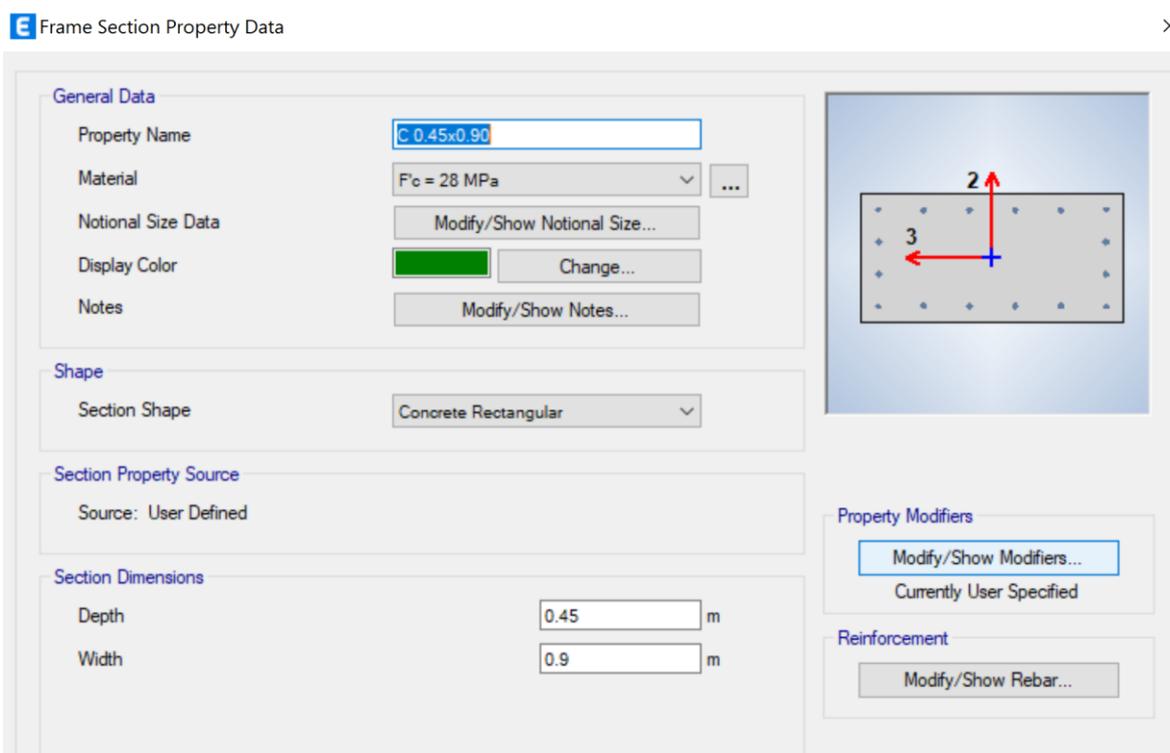




### Liberación a torsión en los elementos que modelan las vigas, asignación de parámetros de fisuración por flexión en los elementos estructurales.

Para realizar la liberación por torsión y asignación de parámetros de fisuración, se deben modificar las opciones de las secciones empleadas en el modelo: Vigas, columnas, muros y losas para que no genere rigidez.

- a) Columnas: ingresar a las propiedades de la sección de columnas y seleccionar Modify/Show modifiers, aquí se modifica en 0.50 los Momentos de Inercia.



**E** Property/Stiffness Modification Factors ×

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	1
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

- b) Vigas: ingresar a las propiedades de la sección de Vigas y seleccionar Modify/Show modifiers, aquí se modifica en 0.50 los Momentos de Inercia.

**E** Frame Section Property Data ×

General Data

Property Name:

Material:  ...

Notional Size Data:

Display Color:

Notes:

Shape

Section Shape:

Section Property Source

Source: User Defined

Section Dimensions

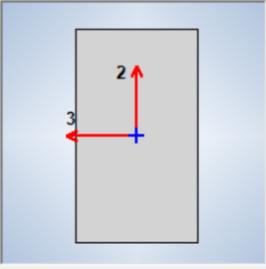
Depth:  m

Width:  m

Property Modifiers

Currently User Specified

Reinforcement



**E** Property/Stiffness Modification Factors ×

Property/Stiffness Modifiers for Analysis

Cross-section (axial) Area	1
Shear Area in 2 direction	1
Shear Area in 3 direction	1
Torsional Constant	0.000001
Moment of Inertia about 2 axis	0.5
Moment of Inertia about 3 axis	0.5
Mass	1
Weight	1

- c) Muros: ingresar a las propiedades de la sección de Muros y seleccionar Modify/Show, aquí se modifica en 0.50 los Momentos de Inercia.

**E** Wall Property Data



**General Data**

Property Name	<input type="text" value="M 0.3"/>
Property Type	Specified
Wall Material	F <sub>c</sub> = 28 MPa
Notional Size Data	Modify/Show Notional Size...
Modeling Type	Shell-Thick
Modifiers (Currently User Specified)	Modify/Show...
Display Color	<input type="color" value="#444444"/> Change...
Property Notes	Modify/Show...

**Property Data**

Thickness  m

Include Automatic Rigid Zone Area Over Wall

**E** Property/Stiffness Modification Factors



**Property/Stiffness Modifiers for Analysis**

Membrane f11 Direction	<input type="text" value="1"/>
Membrane f22 Direction	<input type="text" value="1"/>
Membrane f12 Direction	<input type="text" value="1"/>
Bending m11 Direction	<input type="text" value="0.5"/>
Bending m22 Direction	<input type="text" value="0.5"/>
Bending m12 Direction	<input type="text" value="0.5"/>
Shear v13 Direction	<input type="text" value="1"/>
Shear v23 Direction	<input type="text" value="1"/>
Mass	<input type="text" value="1"/>
Weight	<input type="text" value="1"/>