



Consideraciones para el diseño de muros estructurales no rectangulares en edificaciones de concreto reforzado. Revisión de literatura y caso de estudio

Santiago Andrés Moreno Ramírez
Karen Yuliana Marulanda Velásquez

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

Asesor

Romis Fernando Vides Peña, M.Sc. Ingeniería Sísmica

Universidad de Antioquia
Facultad de Ingeniería
Especialización en Análisis y Diseño de Estructuras
Medellín, Antioquia, Colombia
2022

Cita	(Moreno & Marulanda, 2022)
Referencia	Moreno Ramírez, S., & Marulanda Velásquez, K. (2022). <i>Consideraciones para el diseño de muros estructurales no rectangulares en edificaciones de concreto reforzado. Revisión de literatura y caso de estudio</i> [Trabajo de grado especialización]. Universidad de Antioquia, Medellín, Colombia.
Estilo APA 7 (2020)	



Centro de Documentación Ingeniería (CENDOI)

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

Universidad de Antioquia - www.udea.edu.co

Rector: John Jairo Arboleda Céspedes.

Decano/Director: Jesús Francisco Vargas Bonilla.

Jefe departamento: Julio César Saldarriaga Molina.

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.

Tabla de contenido

Resumen	11
Abstract	12
Introducción	13
1 Motivación	14
2 Objetivos	15
2.1 Objetivo general	15
2.2 Objetivos específicos	15
3 Marco teórico	16
3.1 Generalidades	16
3.2 Rigidez torsional de muros no rectangulares	17
4 Estado del arte	21
5 Metodología	27
5.1 Descripción del caso de estudio	28
5.2 Consideraciones del modelo y materiales a utilizar	28
5.3 Parámetros de análisis de la edificación	30
5.3.1 Planteamiento geométrico y arquitectónico.	30
5.3.1 Análisis de carga	35
5.3.2 Parámetros sísmicos	40
5.3.3 Condiciones de apoyo, efectos P-delta y procedencia de masa	43
6 Resultados	45
6.1 Modos y masas participativas.	45
6.2 Cortantes de piso y ajuste.	47
6.3 Derivas de piso.	53
6.4 Irregularidad torsional.	56

7 Proporción de resistencia.	60
7.1 Modelo de muros rectangulares.	60
7.2 Modelo de muros vinculados diseñados como elementos independientes.	64
7.3 Modelo de muros vinculados diseñados como sección NO rectangular.	66
8 Conclusiones y recomendaciones	70
Referencias	72

Lista de tablas

Tabla 1 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "L". Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 2 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "C". Fuente: Elaboración propia	19
Tabla 3 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "T". Fuente: Elaboración propia	20
Tabla 4 Comparación de Requisitos en Muros especiales. (AIS. (2010)), (ACI 318. (2019))	26
Tabla 5 Concretos definidos en los modelos matemáticos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de modelación ETABS	29
Tabla 6 Acero de refuerzo definido en los modelos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de modelación ETABS	29
Tabla 7 Definición de pisos en modelos matemáticos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de análisis ETABS.....	31
Tabla 8 Propiedades de la losa definidas en los modelos matemáticos. Parte 1. Extraída del programa ETABS	33
Tabla 9 Propiedades de la losa definidas en los modelos matemáticos. Parte 2. Extraída del programa ETABS	33
Tabla 10. Propiedades de los muros definidos en los modelos matemáticos. Parte 1. Extraída del programa ETABS	33
Tabla 11 Propiedades de los muros definidos en los modelos matemáticos. Parte 2. Extraída del programa ETABS	34
Tabla 12 Resultado de carga muerta de particiones, realización propia	35
Tabla 13 Cargas vivas y muertas de la estructura según título B NSR-10, realización propia.....	36
Tabla 14 Load pattern definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS	36
Tabla 15 Casos de carga definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS.....	36
Tabla 16 Combinaciones de carga definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS	37
Tabla 17 Características de la estructura, realización propia	40
Tabla 18 Parámetros sísmicos, realización propia	42
Tabla 19 Comparación de modos y masas participativas, ETABS	45

Tabla 20 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS	47
Tabla 21 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS	49
Tabla 22 Comparación de derivas de piso en dirección X. Extraída de ETABS	53
Tabla 23 Comparación de derivas de piso en dirección Y. Extraída de ETABS	54
Tabla 24 Comparativo localización eje neutro. Elaboración propia	69

Lista de figuras

Figura 1 Sección transversales de muros con aletas. (Park & Paulay, 1983).....	16
Figura 2 Mecánica de muros con aleta. (Arteta, 2017)	17
Figura 3 Secciones transversales de muros con aletas. (Blanco, A, et al, 2015).....	23
Figura 4 Detallado típico de muros con Alas. (Blanco, A, Chang, D y Flores, H. (2015).....	25
Figura 5 Distribución arquitectónica, planta típica. Fuente propia	30
Figura 6 Esquema típico de la estructura en altura. Fuente propia	30
Figura 7 Distribución en planta de muros estructurales. Modelo con muros vinculados. Extraída del programa ETABS	32
Figura 8 Distribución en planta de muros estructurales. Modelo con muros NO vinculados. Extraída del programa ETABS	32
Figura 9 Espectro elástico de aceleraciones de diseño. Fuente, elaboración propia	43
Figura 10 Sistema de apoyos empleado en los modelos estructurales. Extraída del programa ETABS	43
Figura 11 Definición de efectos P-Delta. Extraída de ETABS	44
Figura 12 Procedencia de masa definida en los modelos. Extraída de ETABS	44
Figura 13 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS	48
Figura 14 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS	50
Figura 15 Resultado de ajuste de cortante basal modelo con muros unidos. Elaboración propia.	51
Figura 16 Resultado de ajuste de cortante basal modelo con muros separados. Elaboración propia.	51
Figura 17 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral después del ajuste. Extraída de ETABS.....	52
Figura 18 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral después del ajuste. Extraída de ET.....	52
Figura 19 Comparación de derivas de piso en dirección X. Extraída de ETABS.....	54
Figura 20 Comparación de derivas de piso en dirección Y. Extraída de ETABS.....	55

Figura 21 Identificación de puntos para análisis de irregularidad torsional. Extraída de ETABS.	56
Figura 22 Derivas de piso en puntos seleccionados para evaluación de irregularidad torsional – Fuerza actuando en dirección principal X en modelo con muros unidos. Elaboración propia	57
Figura 23 Derivas de piso en puntos seleccionados para evaluación de irregularidad torsional – Fuerza actuando en dirección principal X en modelo con muros separados. Elaboración propia.	57
Figura 24 Comparación de derivas incluyendo efectos torsionales en modelo con muros unidos. Elaboración propia	58
Figura 25 Comparación de derivas incluyendo efectos torsionales en modelo con muros separados. Elaboración propia.	58
Figura 26 Muro seleccionado. Extraída de ETABS	60
Figura 27 Pier asignado a cada muro rectangular independiente. Extraída de ETABS	61
Figura 28 Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS	62
Figura 29 Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS	62
Figura 30 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS	62
Figura 31 Detalles de muro a diseñar, PIER 7A. Extraída de ETABS	62
Figura 32 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS	62
Figura 33 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS	63
Figura 34 Detalle del refuerzo de los muros, PIER 7A y PIER A. Extraída de ETABS	63
Figura 35 Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS	64
Figura 36 Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS	64
Figura 37 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS	65
Figura 38 Detalles de muro a diseñar, PIER 7A. Extraída de ETABS	65
Figura 39 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS	65
Figura 40 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER 7A. Extraída de ETABS	65
Figura 41 Detalle del refuerzo de los muros, PIER 7A y PIER A. Extraída de ETABS	66

Figura 42	Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS	66
Figura 43	Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS.....	67
Figura 44	Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS	67
Figura 45	Detalle del refuerzo de los muros, PIER A. Extraída de ETABS	68

Siglas, acrónimos y abreviaturas

APA	American Psychological Association
ACI	American Concrete Institute
AIS	Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
CEER	Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica
CR	Concreto Reforzado
DES	Capacidad de disipación de energía especial
kg	Kilogramo
MPa	Megapascales
m	Metros
mm	Milímetros
kN	Kilo Newton
NSR-10	Reglamento colombiano de construcción sismo resistente NSR-10
UdeA	Universidad de Antioquia

Resumen

Colombia es un país donde la construcción en altura se ha vuelto una solución de vivienda para muchas personas, incluyendo familias de escasos recursos que pueden acceder a proyectos de vivienda de interés social y prioritaria. Dada la necesidad de desarrollar estos proyectos de manera rápida y a bajos costos, cada día es más común observar edificios cuyo sistema estructural es de muros. Estos se idealizan y construyen con muros de múltiples geometrías, como muros en “C”, en “T”, en “I”, entre otros; aportando alta rigidez y resistencia, que se hacen indispensable para el adecuado comportamiento del edificio ante la influencia de cargas sísmicas. Sin embargo, dada la complejidad en el diseño de estos elementos estructurales, normalmente se opta por la opción de modelar y construir el edificio siguiendo estas geometrías, pero diseñándolos como muros rectangulares.

En aras de analizar y comprender mejor el comportamiento de elementos estructurales que trabajan en conjunto y/o en forma separada, en el presente trabajo se consideró un mismo edificio de muros de concreto reforzado analizado y diseñado con dos enfoques diferentes: (i) todos los componentes estructurales que se intersecan actúan de manera conjunta (muros con aletas); y (ii) los componentes estructurales actúan de manera individual (como muros rectangulares). En términos generales, se encontró que las métricas globales de respuesta sísmica son mayores en el modelo de muros que actúan de manera individual, evidenciando un incremento apreciable en las derivas de piso, periodos de vibración traslacionales y factores de ajuste de cortante basal dinámica.

Palabras clave: análisis estructural, muros de concreto reforzado, muros con secciones compuestas, secciones simples, rigidez torsional.

Abstract

Colombia is a country where high-rise construction has become a housing solution for many people, including low-income families who can access social and priority housing projects. Given the need to develop these projects quickly and at low costs, it is increasingly common to observe buildings whose structural system is comprised of shear walls. These are modeled and built with walls of multiple geometries, such as "C", "T", "I", among others, providing high strength and stiffness, which are important to assure an adequate behavior when subjected to earthquake-induced loads. However, given the complexity in the design of these structural elements, it is normal to model and assemble the building with those geometries, but designing them as rectangular walls.

In order to analyze and better understand the behavior of structural elements that may act as a whole and/or separately, a reinforced concrete wall building is analyzed and designed following two approaches: (i) all the structural walls that may intersect are interconnected and act as a whole (flanged walls); and (ii) all the structural elements act individually (as rectangular walls). Overall, it was found that the global parameters associated to the dynamics and seismic response of the structure are higher in the model that considers the elements acting individually, registering a significant increment in the inter-story drift ratios, translational vibration periods and scaling factor for the dynamic base shear.

Keywords: reinforced concrete walls, structural analysis, torsional rigidity, flanged-section walls.

Introducción

Las estructuras de muros de concreto reforzado (CR) se utilizan ampliamente en el país, especialmente, en proyectos de vivienda. En estas estructuras, algunos diseñadores optan por modelar y construir con muros dispuestos en secciones compuestas, mientras siguen los parámetros de diseño de muros rectangulares, generando discrepancias entre los modelos y la realidad.

Por lo anterior, surge la motivación de analizar y tener un mejor entendimiento del comportamiento de los edificios realizados con muros de CR. Para esto, en el presente trabajo se realiza una revisión bibliográfica acompañada de un caso de estudio, donde se analiza el comportamiento de un edificio de muros de CR bajo dos enfoques diferentes: (i) todos los elementos estructurales que se intersecan se analizan con secciones compuestas en “C”, “L”, “T”, “H”, entre otras; y (ii) todos los elementos estructurales se analizan como secciones rectangulares.

Los resultados obtenidos a partir de modelaciones matemáticas realizadas bajo los enfoques descritos anteriormente se comparan las a través de las principales métricas de demanda y/o comportamiento sísmico de la estructura analizada, tales como periodos de vibración, derivas de piso, rigideces, entre otros. Con esta comparación se pretende comprender de mejor manera el comportamiento de este tipo de estructuras sometidas a la acción de las mismas cargas sísmicas, pero con consideraciones diferentes en la disposición de sus elementos.

1 Motivación

En la actualidad, en el medio de la construcción en Colombia es relativamente común encontrar edificaciones que incluyen dentro de su sistema de resistencia sísmica muros de concreto reforzado. Estos elementos estructurales tienen diferentes configuraciones en planta que varían de acuerdo con las necesidades de cada uno de los proyectos donde se implementan. En términos generales, las configuraciones en planta que predominan, a excepción de la rectangular, son los muros en forma de C, L, H, T, Z, entre otros, que son mayormente conocidos como muros no rectangulares o muros con alas.

En el capítulo C.21 del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 se especifican los diferentes parámetros que deben tenerse en cuenta durante el análisis y diseño de muros estructurales de concreto reforzado. Entre estos se deja en claro que, para elementos con secciones no rectangulares, es necesario que se tenga en cuenta un ancho efectivo de ala, es decir, la porción del elemento que es efectivo ante cargas laterales. Sin embargo, por la experiencia adquirida durante el ejercicio profesional, se ha notado que dicho concepto no siempre es tenido en cuenta en las oficinas de consultoría de diseño estructural.

Expuesto lo anterior, surge la necesidad de realizar una revisión bibliográfica y analizar una edificación caso de estudio que permita comparar la demanda sísmica global y local al considerar segmentos de muros actuando en forma conjunta o separada. Con lo anterior se podrá identificar potenciales discrepancias que existen entre la práctica realizada en la comunidad ingenieril y lo realmente exigido por el Reglamento NSR-10. Además, se podrían brindar recomendaciones generales con respecto a la concepción, análisis y diseño sísmico de los muros en cuestión.

2 Objetivos

2.1 Objetivo general

Estudiar los criterios de diseño para muros no rectangulares de concreto reforzado (CR) por medio de la revisión de literatura y análisis de una edificación caso de estudio donde se comparen los resultados obtenidos al considerar y diseñar un mismo muro teniendo en cuenta dos escenarios: que todos sus componentes actúan en forma conjunta o que cada componente actúe en forma individual (separada).

2.2 Objetivos específicos

Investigar y analizar metodologías de diseño de muros estructurales de concreto reforzado no rectangulares.

Conocer a mayor profundidad las características y comportamientos de los muros estructurales de geometrías tanto rectangulares como no rectangulares.

Realizar revisión bibliográfica articulada y fluida que de un recuento actualizado de los criterios de diseño que se presentan para muros no rectangulares de concreto reforzado.

Comparar magnitudes globales de la demanda sísmica de una edificación caso de estudio al considerar que los componentes de muros no rectangulares actúan en forma conjunta o en forma individual (separada).

Para la edificación caso de estudio, analizar y establecer posibles diferencias en el diseño de un muro estructural de concreto reforzado no rectangular, considerando que todos sus componentes actúan en forma conjunta o en forma individual (componentes separados).

3 Marco teórico

3.1 Generalidades

De acuerdo con el Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10 (AIS,2010), los muros estructurales se pueden definir como elementos que se diseñan para resistir principalmente fuerzas horizontales de sismo o de viento paralelas al plano del muro. Adicionalmente, según la geometría de su sección transversal, pueden clasificarse como rectangulares y no rectangulares. Estos últimos también son conocidos como muros con patines o alas y pueden tener diferentes formas en su sección transversal, como T, L, C, H, entre otras, tal como se muestra en la siguiente ilustración.

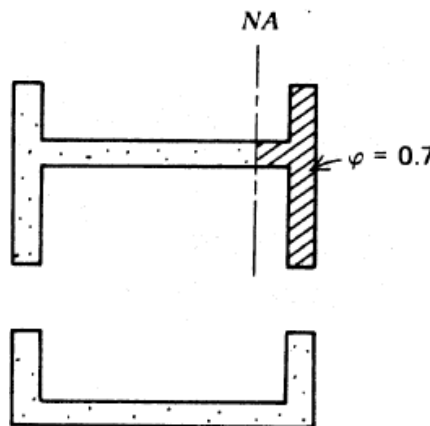


Figura 1 Sección transversales de muros con aletas. (Park & Paulay, 1983)

Según el análisis descrito por Arteta (2017), los muros delgados con alas actúan de manera asimétrica en relación con la dirección en que se apliquen las cargas horizontales. Así, cuando se comprime el ala del elemento, tenderá a no ser frágil pues dominará la fluencia del acero de refuerzo presente en el alma y en los elementos de borde. En contraste, cuando es el elemento de borde el que se comprime se mostrará mayor resistencia, pero proporcionando una menor ductilidad ya que surge la posibilidad que se pueda ocasionar el fenómeno de aplastamiento en el extremo del alma, tal como se puede observar en la figura 2.

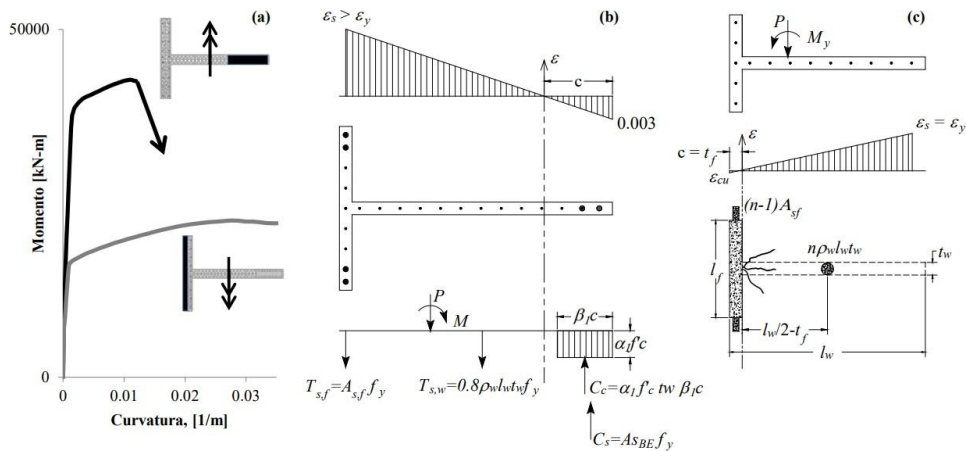


Figura 2 Mecánica de muros con aleta. (Arteta, 2017)

En cuanto al diseño de los elementos tipo muro, en el Reglamento NSR-10 se dan las consideraciones que deben ser tenidas en cuenta con el fin de desarrollar un comportamiento adecuado en las secciones dadas. Un ítem particular y de vital importancia al momento de detallar un muro de concreto reforzado son los elementos de borde, los cuales proporcionan al muro la ductilidad requerida durante un evento sísmico.

La forma en que se calculan los elementos de borde requeridos varía según la forma de la sección transversal. Para muros no rectangulares se debe tener en cuenta tanto en el análisis como en el diseño el ancho de ala efectivo, asociada la porción del ala del muro que efectivamente trabaja y proporciona rigidez y resistencia a la estructura cuando está sometida a cargas laterales.

3.2 Rigidez torsional de muros no rectangulares

Según lo mencionado por Rochel (2012), el centro de masa es el punto donde se aplica una fuerza de origen sísmico, mientras que el centro de torsión, también conocido como centro de rigidez, es el lugar en el cual se debe imprimir la fuerza cortante de entrepiso en una estructura para que el movimiento sea únicamente de carácter traslacional.

Este último dependerá de la distribución de la rigidez de la estructura y se asocia generalmente con la aplicación de la resistencia; por lo que una excentricidad entre ambos centros implica la

ocurrencia de fenómenos torsionales en la edificación, por esto se busca una distribución uniforme de los elementos que aportan mayor rigidez.

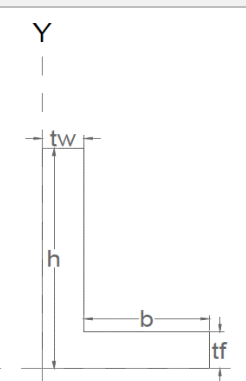
Dado que la rigidez es una propiedad directamente proporcional a la inercia del elemento, suelen ser los muros aquellos miembros de la estructura que aportan mayor rigidez al sistema, y dadas sus configuraciones en sección, son los muros compuestos quienes aportan mayor resistencia y rigidez a las edificaciones en comparación con los rectangulares.

Cuando se tienen muros rectangulares, la rigidez que aportan es en un solo sentido, el cual, será el eje paralelo a su sentido longitudinal. Por su parte, los muros compuestos cuentan con aletas en ambos sentidos por lo que aportan rigidez en ambas direcciones, y aunque no lo hagan con la totalidad de su longitud, su comportamiento ante cargas laterales es diferente que el de los muros rectangulares.

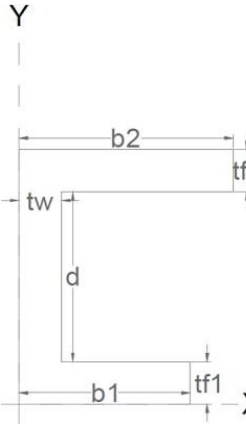
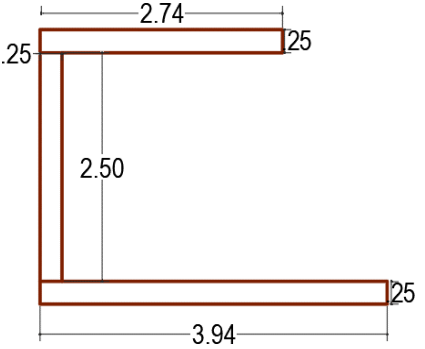
Cuando se comparan los muros rectangulares con los muros con aletas, por lo general estos últimos proporcionan además de una mayor resistencia, una mayor rigidez torsional ante cargas laterales, por lo que podrían ser una mejor alternativa al momento del diseño y la construcción las diferentes edificaciones que tienen este tipo de sistema estructural.

Para efectos ilustrativos, a continuación, se presentan tres tablas comparativas de los momentos de inercia calculados en los ejes “X” y “Y” para muros con diferentes configuraciones, donde se halló su inercia como un único muro y la inercia que tendrían como muros rectangulares desvinculados entre ellos. Las medidas de los muros se tomaron directamente del levantamiento arquitectónico de la estructura objeto de estudio por parte de la presente monografía.

*Tabla 1 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "L".
Fuente: Elaboración propia*

CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA EN MUROS								
Sección	En L	Propiedades geométricas						
	Altura	h	=	3760	[mm]			
	Espesor,1	tw	=	250	[mm]			
	base	b	=	1010	[mm]			
	Espesor,2	tf	=	250	[mm]			
	centroide			=	258.40		[mm]	
				=	1508.40		[mm]	
RESULTADOS COMPARATIVOS								
				Vinculados		No vinculados		Reducción
Momento de Inercia, x	Ix	=	1.72E+12	[mm ⁴]	1.11E+12	[mm ⁴]	36%	
Momento de Inercia, y	Iy	=	1.05E+11	[mm ⁴]	2.64E+10	[mm ⁴]	75%	

*Tabla 2 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "C".
Fuente: Elaboración propia*

CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA EN MUROS								
Sección	En C	Propiedades geométricas						
	Ancho aleta 2	b2	=	2750	[mm]			
	Espesor aleta 2	tf2	=	250	[mm]			
	Altura alma	d	=	2500	[mm]			
	Espesor alma	tw	=	250	[mm]			
	Ancho aleta 1	b1	=	3940	[mm]			
	Espesor aleta 1	tf1	=	250	[mm]			
	centroide			=	1290.05		[mm]	
				=	1321.95		[mm]	
RESULTADOS COMPARATIVOS								
				Vinculados		No vinculados		Reducción
Momento de Inercia, x	Ix	=	3.42E+12	[mm ⁴]	3.34E+11	[mm ⁴]	90%	
Momento de Inercia, y	Iy	=	3.02E+12	[mm ⁴]	1.71E+12	[mm ⁴]	43%	

*Tabla 3 Momentos de inercia para muros vinculados y no vinculados con geometría en "T".
Fuente: Elaboración propia*

CÁLCULO DE MOMENTOS DE INERCIA EN MUROS								
Sección	En T	Propiedades geométricas						
			Ancho aleta	b	=	9050	[mm]	
Espesor aleta	tf		=	250	[mm]			
Altura alma	d		=	7550	[mm]			
Espesor alma	tw		=	250	[mm]			
centroide			=	4525	[mm]			
			=	5901	[mm]			
RESULTADOS COMPARATIVOS								
				Vinculados		No vinculados		Reducción
Momento de Inercia, x	I _x	=	2.46E+13	[mm ⁴]	8.98E+12	[mm ⁴]	64%	
Momento de Inercia, y	I _y	=	1.55E+13	[mm ⁴]	1.55E+13	[mm ⁴]	0%	

Si bien, en uno de los casos se observa que no hay ninguna reducción en el momento de inercia, la tendencia es encontrar reducciones que van desde el 30% al 90%, por lo que se pueden esperar reducciones similares en la rigidez de estos mismos elementos y, por tanto, en toda la estructura, ya que los muros tomados son los principales de la edificación.

4 Estado del arte

A medida que las grandes ciudades del país aumentan en su densidad poblacional se opta cada vez más por la utilización de construcciones en altura, en especial aquellas de uso residencial. Dada la rigidez que aportan los sistemas de muros estructurales para el control de deformaciones estos elementos son cada día más utilizados en el desarrollo de proyectos de vivienda tanto en Colombia como en Latinoamérica.

En la actualidad, entidades como el CEER (Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica) y sus miembros han realizado importantes avances en investigación de sistemas de muros, principalmente en lo referente al comportamiento de muros delgados y esbeltos de concreto reforzado. Por ejemplo, en el año 2018 esta organización publicó el “Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado” (Arteta, et al, 2018). Allí se exponen resultados obtenidos durante 3 años de estudio del comportamiento sísmico que tenían diferentes edificaciones que contaban con muros delgados y esbeltos en su sistema estructural.

Adicionalmente, en la investigación antes mencionada se seleccionaron múltiples edificios de 4 de las principales ciudades del país: Medellín, Bogotá D.C, Cali y Buenaventura, recopilando así, información valiosa de 450 Muros con áreas de sección transversal con aletas, principalmente con geometría de muro en “T”. Tras múltiples análisis se recomendaron cambios en el Reglamento NSR-10, tales como “tipificar en la próxima versión del Reglamento NSR el sistema de Muros Delgados de Concreto Reforzado de Ductilidad Limitada”. Además, se propuso que la deriva máxima de entrepiso para sistemas estructurales de muros delgados sea del 0.5%.” (Arteta, et al, 2018).

Por otro lado, (Morelos, 2021), desarrolló la tesis en la universidad EIA denominada “Evaluación del comportamiento de los muros estructurales en L o C, de edificaciones típicas en Colombia, mediante el uso de herramientas de modelado no lineal”. Este trabajo analizó muros en L y en C encontrados en 3 estructuras, enfatizando en la frecuente utilización de este tipo de muros para zonas como fosos de ascensores o esquinas de las estructuras.

En los muros seleccionados para la investigación de (Morelos, 2021) se encontró que las cargas soportadas en dirección del alma se pueden considerar significativamente mayores a aquellas

resistidas en dirección de las alas. Esto exhibe un comportamiento de singular importancia para el diseño y modelación de las estructuras donde se utilizan este tipo de elementos, ya que se encontró un factor de reducción de la fuerza elástica de un 20% para el muro en C y de un 60% para el muro en L.

De igual manera, es menester resaltar que los muros en concreto reforzado proporcionan a la estructura la resistencia suficiente para soportar las solicitaciones laterales sobreimpuestas por la acción de fuerzas externas, como pueden ser el viento, sismos o empujes de suelos, entre otras. Adicionalmente, permiten controlar de forma eficiente deformaciones y desplazamientos. Para lograr esto, estos elementos deben absorber una cantidad importante del cortante el cual es asumido por la sección transversal del muro. Es aquí donde la geometría en planta juega un papel fundamental, ya que, en función de esta, el muro puede cambiar totalmente su comportamiento y variar los porcentajes de cortante que recibe en las diferentes direcciones de acción de las fuerzas.

Por otro lado, es clave tener en cuenta que un conjunto de muros rectangulares y que no se encuentran vinculados, poseen menos rigidez ante cargas laterales que este mismo conjunto de elementos unidos, es decir muros de sección en planta no rectangular. Esta es la principal razón de que hoy en día en muchas oficinas dedicadas al análisis, diseño y modelación de estructuras los muros se configuren y diseñen con secciones transversales no rectangulares. A continuación, se ilustran algunas configuraciones típicamente utilizadas.

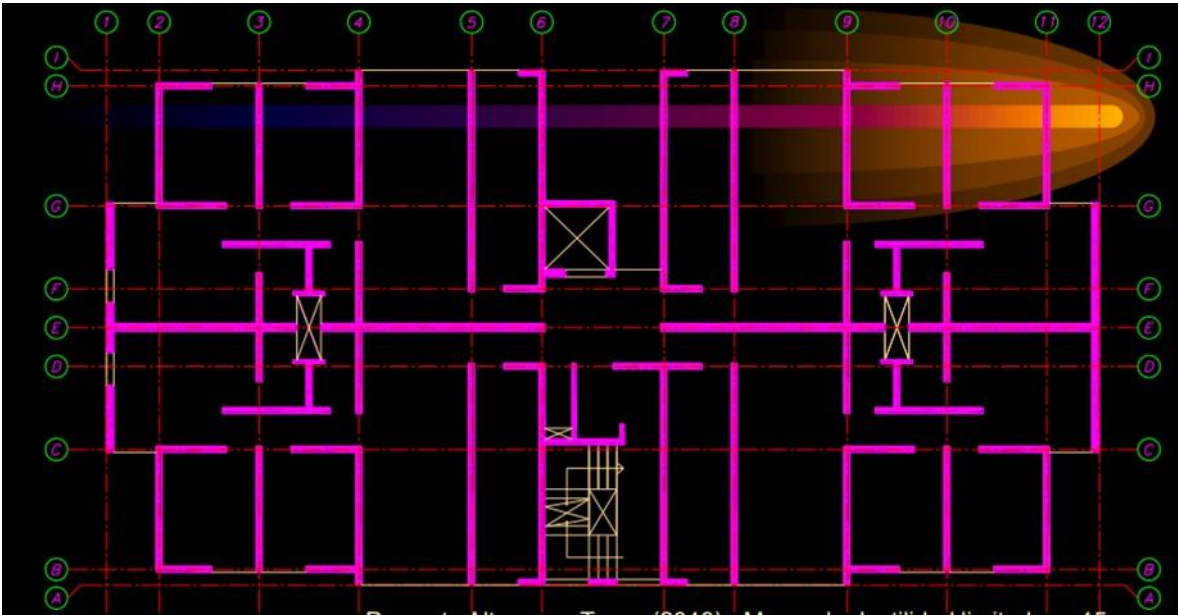


Figura 3 Secciones transversales de muros con aletas. (Blanco, A, et al, 2015).

Como se puede observar en la figura 3, se conforman comúnmente secciones transversales con forma de C, T, L, Z e incluso configuraciones no simétricas. La razón de esto es la gran capacidad de deformación lateral que puede soportar este tipo de configuraciones versus la menor capacidad que puede tener una sección rectangular ante las mismas solicitaciones.

La preocupación al ver este tipo de distribuciones en planta de los elementos estructurales tipo muro surge al tratar de entender cómo se realiza el análisis y diseño de estos.

La práctica común en el medio colombiano es modelar estos elementos en los diferentes softwares de análisis y diseño como elementos tipo SHELL vinculados entre sí para tener valores de rigideces mayores y así cumplir con los límites de derivas de una manera más efectiva. El considerar los muros con la sección compuesta corresponde a una práctica adecuada siempre y cuando estos sean analizados, diseñados y detallados de la misma manera.

El Reglamento de Construcción Sismo Resistente NSR-10, en su capítulo C.21.5.1 dice: “A menos que se realice un análisis más detallado, el ancho efectivo del ala en secciones con alas debe extenderse desde la cara del alma una distancia igual al menor valor entre la mitad de la distancia al alma de un muro adyacente y el 25% de la altura total del muro”. (AIS, 2010). Lo que quiere

decir que, si los elementos son modelados unidos, solo debe ser tenida en cuenta la porción de estos que realmente aportará rigidez y resistencia.

Una práctica común en el medio consiste en realizar el análisis de los muros como elementos vinculados y posteriormente realizar la proporción de resistencia como elementos rectangulares independientes, lo cual se considera debe ser revisado y validado.

Una razón por la que los elementos no son diseñados siguiendo los lineamientos mencionados anteriormente es el poco entendimiento que se tiene del comportamiento de las secciones compuestas y el gasto de recursos que implica la creación de diagramas de interacción para secciones no convencionales.

En el medio se está volviendo común una metodología de análisis y diseño que permite verificar estos elementos de forma ágil. Consiste en realizar dos modelos en los cuales se incluye, para cada dirección, únicamente la sección rectangular asociada (alma) y el ancho de ala efectiva. A esta sección se le debe asignar el mismo PIER (como se llama en el programa de computador ETABS®) y para este se obtienen las solicitaciones producto del análisis ante cargas laterales. Posteriormente, se procede a proporcionar resistencia a la sección. Esto se hace asignando refuerzo definido en el software y pidiendo que, para dicha distribución, se realicen las verificaciones a flexión y carga axial requeridas. Por su parte, el diseño a corte puede realizarse fácilmente a partir de las cargas obtenidas durante el análisis.

Se considera que la segunda metodología planteada puede arrojar resultados más reales ya que conserva las hipótesis planteadas durante la etapa de análisis, sin embargo, se debe tener cuidado con la verificación a flexión y carga axial, ya que muchos programas de computador utilizados para el análisis y diseño estructural no cuentan con el Reglamento NSR-10 incorporado. Además, para la determinación de los elementos borde, no es claro si los programas de computador toman en cuenta, para cada dirección de análisis, el eje neutro de toda la sección compuesta o si se analizan como segmentos rectangulares independientes. A continuación, se presentan algunos detalles de refuerzo típicos empleados en muros con secciones no rectangulares.

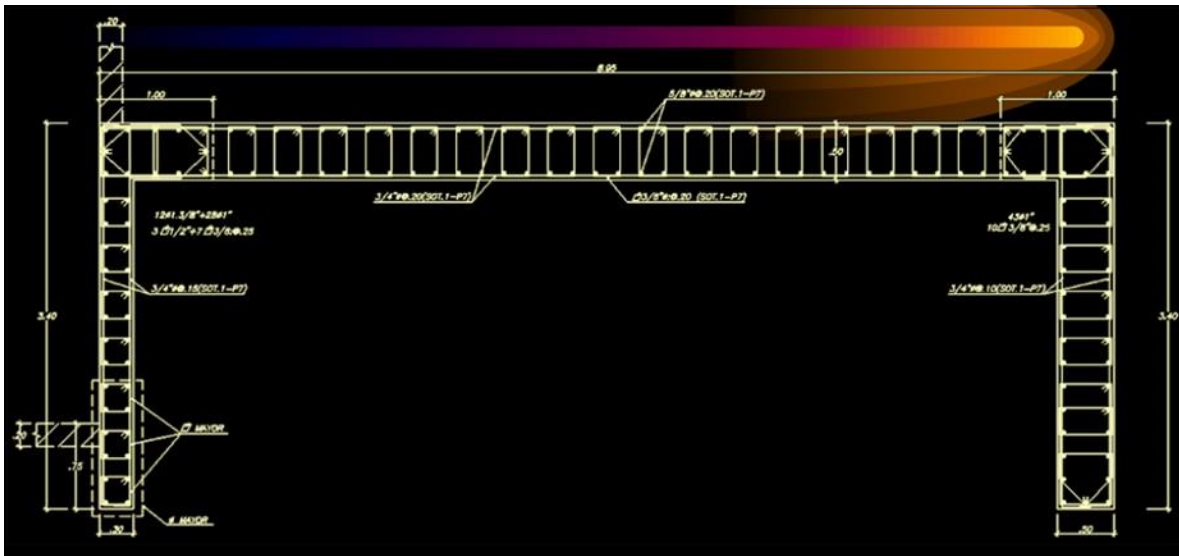


Figura 4 Detallado típico de muros con Alas. (Blanco, A, Chang, D y Flores, H. (2015).

Las investigaciones antes mencionadas resaltan en primer lugar el auge que tienen los muros estructurales en las construcciones de gran altura de la ciudad, y la preocupación que surge en la comunidad ingenieril respecto a los comportamientos que estos puedan llegar a presentar; por lo que es relevante que se continúe con la investigación referente a este tema, pues aún falta mucho por estudiar.

Por último, se presenta un cuadro comparativo, en el cual se pueden apreciar algunos requerimientos dados tanto en la NSR-10 como en el ACI 318-19.

Tabla 4 Comparación de Requisitos en Muros especiales. (AIS. (2010)), (ACI 318. (2019)).

ITEM	NSR-10 capítulo C.21	ACI 318-19
Espesor mínimo	No presenta	100 mm ó 1/25 altura no soportada
Cuantía vertical mínima	0,0025	0,0025
Cuantía horizontal mínima	0,0025	0,0025
Separación máxima de refuerzo vertical	450 mm	450 mm
Separación máxima de refuerzo horizontal	450mm	450 mm
Esfuerzo Elementos de borde	0.20f _c y se interrumpe en 0.15f _c	0.20f _c y se interrumpe en 0.15f _c
Refuerzo permitido	Malla y Corrugado	Corrugado
Ancho de ala efectivo	Menor entre dL/2 y 0.25hw	Menor entre dL/2 y 0.25hw
Valor mínimo de relación de desplazamiento / altura muro para determinación de elementos borde por el método de los desplazamientos	0,007	0,005

Como se puede observar en la Tabla 5, los requisitos dados entre ambos reglamentos son, en términos generales, similares. Esto, debido a que el Reglamento Colombiano NSR-10 utiliza como principal documento base el Estándar ACI 318.

5 Metodología

La presente monografía cuenta con una metodología mixta donde al realizar la revisión bibliográfica se evaluarán, de manera cuantitativa, los aspectos teóricos que enmarcan el comportamiento de los diferentes tipos de muros estructurales y sus aportes a la rigidez y resistencia general de la edificación objeto de estudio.

Además de esto, de manera cualitativa se procede con la comparación y análisis de los resultados obtenidos en los diferentes modelos matemáticos que se realizan, comparando parámetros como derivas de piso, periodos modales, cortantes basales, entre otros.

En primer lugar, se procede con la revisión de bibliografía para profundizar sobre la teoría de los muros de cortante y su comportamiento según la geometría de la sección transversal. Posteriormente, se toma una planta arquitectónica de un edificio de 20 niveles ubicado en el área metropolitana del Valle de Aburrá. Con esta distribución se procede al predimensionamiento de una edificación basada en muros estructurales de concreto reforzado.

Luego de tener el predimensionamiento se realiza el análisis de cargas y parámetros sísmicos de para ensamblar dos modelos matemáticos diferentes con la ayuda del Software de análisis y diseño ETABS® V19.1, con la misma distribución antes mencionada, y con las siguientes características generales:

1. Un modelo con inercias de secciones brutas donde todos los muros tienen secciones transversales con geometría compuesta, como “L”, “T”, “C”, “I”, entre otras, con los segmentos que forma la sección vinculados entre sí. entre otras.
2. Un modelo con inercias de secciones brutas donde gran parte de los muros tienen secciones transversales con geometría rectangular, sin estar vinculados entre sí.

La decisión de optar por modelos con las inercias de las secciones brutas se debe a que esta es la práctica común en las oficinas de análisis y diseño estructural en Colombia.

Al tener los resultados de los dos modelos se realiza el análisis y comparación de estos, teniendo en cuenta parámetros como las deformaciones, comportamiento modal, fuerzas y detalle de refuerzo de elementos, entre otros. A continuación, se procede a desarrollar el caso de estudio asociado a la monografía.

5.1 Descripción del caso de estudio

Este trabajo se centra en la comparación en el comportamiento de muros estructurales no rectangulares con muros de sección rectangular. Para esto se ha planteado una estructura base con las siguientes características:

- Edificación de veinte (20) niveles
- Altura típica de entrepiso de 2.4 m,
- Localización: municipio de La Estrella Antioquia, al cual le corresponde en zona de amenaza sísmica alta según la NSR-10 y cuyo uso es residencial.
- El sistema estructural es muros de concreto reforzado con grado de disipación de energía especial DES
- Por facilidad se considera una distribución de cargas y arquitectura típica en todos los niveles.

5.2 Consideraciones del modelo y materiales a utilizar

Para los dos modelos se considera:

- Elementos elásticos.
- Modelación con secciones brutas.
- Se cuenta con diafragma rígido.
- Secciones planas permanecen planas.

Se trabaja con los siguientes materiales:

ACERO DE REFUERZO:

$$f_y = 420 \text{ MPa}$$

$$E = 200000 \text{ MPa}$$

CONCRETO:

Pisos 1 – 6: $f'_c = 42 \text{ MPa}$

Pisos 7 – 12: $f'_c = 35 \text{ MPa}$

Pisos 13 – 20: $f'_c = 28 \text{ MPa}$

Todos los pisos: $E = 4900\sqrt{f'_c}$

A continuación, se presentan los materiales tenidos en cuenta durante la elaboración del modelo matemático:

Tabla 5 Concretos definidos en los modelos matemáticos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de modelación ETABS.

Material	Fc	LtWt Conc	Is User Fr	SS CurveOpt	SS HysType	SFc	SCap	Final Slope	F Angle	D Angle
	tonf/m ²					m/m	m/m		deg	deg
H210	2100	No	No	Simple	Concrete	0.002219	0.005	-0.1	0	0
H280	2800	No	No	Simple	Concrete	0.002219	0.005	-0.1	0	0
H350	3500	No	No	Simple	Concrete	0.002219	0.005	-0.1	0	0
H420	4200	No	No	Simple	Concrete	0.002219	0.005	-0.1	0	0
HSM	2100	No	No	Simple	Concrete	0.002219	0.005	-0.1	0	0

Tabla 6 Acero de refuerzo definido en los modelos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de modelación ETABS.

Material	Fy	Fu	Fye	Fue	SS CurveOpt	SS Hys Type	S Hard	S Cap	Final Slope
	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²	tonf/m ²			m/m	m/m	
AS420	42184.2	63276.27	46402.59	69603.89	Simple	Kinematic	0.01	0.09	-0.1

El concreto llamado HSM, es empleado como un material sin peso para elementos embebidos en los muros o la losa.

5.3 Parámetros de análisis de la edificación

5.3.1 Planteamiento geométrico y arquitectónico.

En las siguientes imágenes se muestra el planteamiento arquitectónico de la estructura que se utiliza en el presente estudio, la cual consiste en una edificación residencial con ocho (08) apartamentos por piso y dos núcleos de ascensores, tal y como se puede ver a continuación:



Figura 5 Distribución arquitectónica, planta típica. Fuente propia.

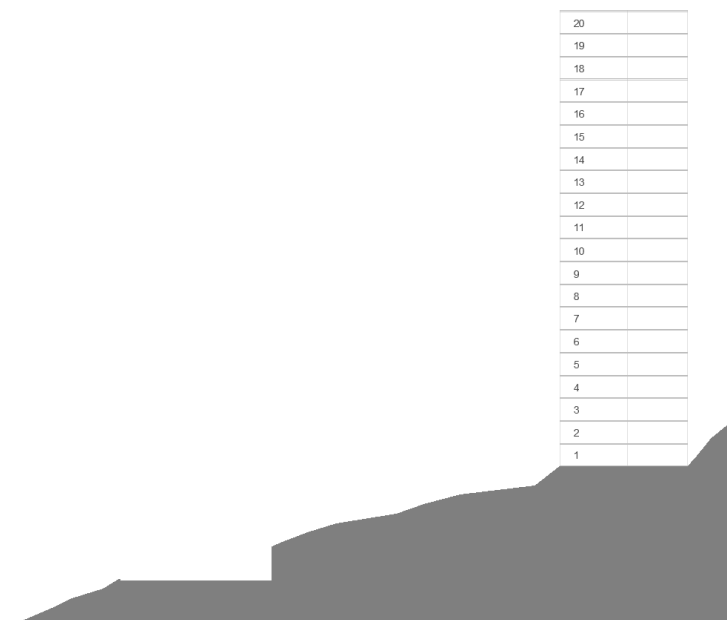


Figura 6 Esquema típico de la estructura en altura. Fuente propia.

A continuación, se presentan los niveles definidos en los modelos matemáticos:

Tabla 7 Definición de pisos en modelos matemáticos. Fuente de elaboración propia con datos extraídos del programa de análisis ETABS

Name	Height	Master Story	Similar To	Splice Story
	m			
Story20	2.40	No	None	No
Story19	2.40	No	None	No
Story18	2.40	No	None	No
Story17	2.40	No	None	No
Story16	2.40	No	None	No
Story15	2.40	No	None	No
Story14	2.40	No	None	No
Story13	2.40	No	None	No
Story12	2.40	No	None	No
Story11	2.40	No	None	No
Story10	2.40	No	None	No
Story9	2.40	No	None	No
Story8	2.40	No	None	No
Story7	2.40	No	None	No
Story6	2.40	No	None	No
Story5	2.40	No	None	No
Story4	2.40	No	None	No
Story3	2.40	No	None	No
Story2	2.40	No	None	No
Story1	2.40	No	None	No

En las siguientes imágenes, se puede observar la distribución de muros estructurales en los modelos matemáticos de análisis:

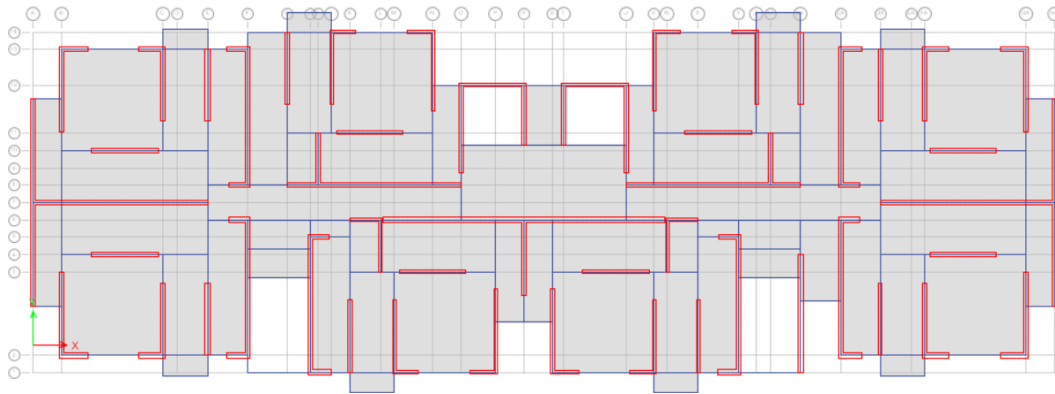


Figura 7 Distribución en planta de muros estructurales. Modelo con muros vinculados. Extraída del programa ETABS.

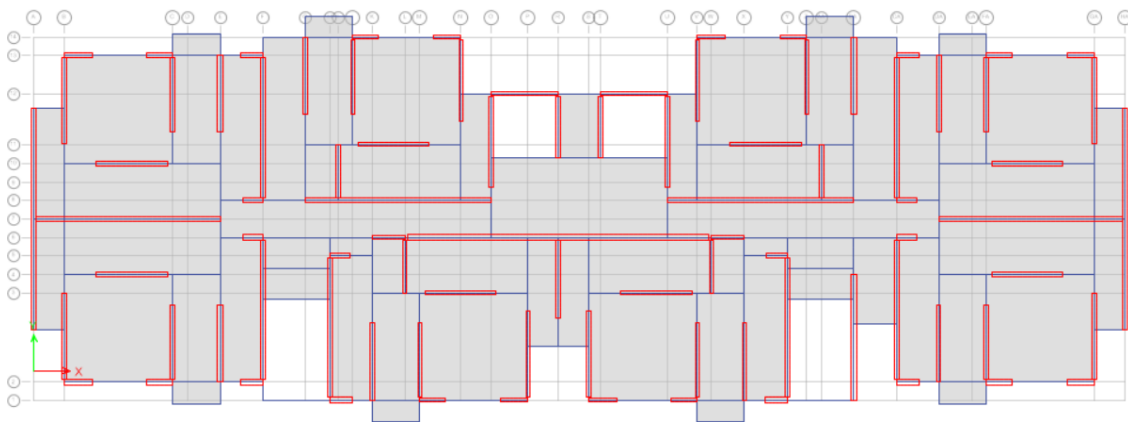


Figura 8 Distribución en planta de muros estructurales. Modelo con muros NO vinculados. Extraída del programa ETABS.

Como se puede observar en las figuras 7 y 8, para ambos modelos (muros vinculados y muros no vinculados), se realiza una selección de los elementos que harán parte del sistema de resistencia sísmica. Los muros no seleccionados serán considerados como elementos divisorios y su peso hace parte de la carga sobre impuesta ingresada. Cabe resaltar que, en el modelo de muros vinculados, los segmentos que se intersecan están conectados en un mismo nodo, mientras que, en el modelo de muros no vinculados, el nodo inicial/final del segmento perpendicular está ubicado en donde estaría, físicamente, el límite del espesor del otro segmento.

Durante el proceso de modelado no se considera variación del espesor de los muros en altura, es decir, la sección es constante en toda la altura. Si bien esto representa un diseño final no ajustado a lo que se realiza normalmente en las oficinas, se considera que realizar cambios en los espesores podría inducir nuevas variables en los resultados afectando su análisis.

Se considera una losa de entrepiso de 10 cm de espesor para todos los niveles. Se cuenta con vigas descolgadas que no harán parte del sistema de resistencia sísmica, por esto no serán tenidas en cuenta en el informe y únicamente se hace su mención. A continuación, se presentan las diferentes secciones de muros y losas creadas en los modelos:

Tabla 8 Propiedades de la losa definidas en los modelos matemáticos. Parte 1. Extraída del programa ETABS.

Name	Modeling Type	Property Type	Material	Slab Thickness	One Way Load Distribution?	Notional User Size
				m		m
L10	Membrane	Slab	-	0.10	No	0.10

Tabla 9 Propiedades de la losa definidas en los modelos matemáticos. Parte 2. Extraída del programa ETABS.

Name	f11 Modifier	f22 Modifier	f12 Modifier	m11 Modifier	m22 Modifier	m12 Modifier	v13 Modifier	v23 Modifier	Mass Modifier	Weight Modifier
L10	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1

Tabla 10. Propiedades de los muros definidos en los modelos matemáticos. Parte 1. Extraída del programa ETABS.

Name	Modeling Type	Material	Wall Thickness	Include Auto Rigid Zone?	Notional Size Type
			mm		
M15H280	Shell-Thin	H280	0.15	No	User

5.3.1 Análisis de carga

Se procede a estimar las cargas muertas y vivas a las cuales estará sometida la edificación, se consideran acabados livianos sin mortero de nivelación con la intención de disminuir la masa. Para las particiones se realiza un análisis detallado de la longitud total de muros no estructurales presentes y se divide entre el área total obteniendo una carga total por metro cuadrado uniformemente distribuida en toda la losa.

Tabla 12 Resultado de carga muerta de particiones, realización propia.

Cálculo de carga muerta de particiones por panel							
ID	Muros					Carga	
Panel	Área panel (m ²)	hmuro (m)	Material	e (m)	L (m)	Peso (tf)	Peso (tf/m ²)
1	4,16	2,30	Mampostería	0,10	0,00	0,00	0,00
2	6,81	2,30	Mampostería	0,10	1,71	0,55	0,08
3	14,49	2,30	Mampostería	0,10	9,14	2,94	0,20
4	2,98	2,30	Mampostería	0,10	0,78	0,25	0,08
5	5,61	2,30	Mampostería	0,10	3,89	1,25	0,22
6	5,37	2,30	Mampostería	0,10	0,61	0,20	0,04
7	8,30	2,30	Mampostería	0,10	4,83	1,56	0,19
8	3,55	2,30	Mampostería	0,10	3,21	1,03	0,29
9	1,03	2,30	Mampostería	0,10	0,60	0,19	0,19

Para la carga viva, se tienen en cuenta las disposiciones contenidas en el título B de la NSR-10, sin considerar reducción de carga viva. A continuación, se presenta el resumen de cargas empleado.

Tabla 13 Cargas vivas y muertas de la estructura según título B NSR-10, realización propia.

CARGA MUERTA		
Acabados	130,0	kg/m ²
Redes	10,0	kg/m ²
CARGA VIVA		
Interiores y cubierta	180,0	kg/m ²
Balcones	500,0	kg/m ²
Punto fijo, corredores y escaleras	300,0	kg/m ²

A continuación, se exponen los casos de carga y combinaciones utilizadas para el análisis de ambos modelos:

Tabla 14 Load pattern definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS.

Name	Is Auto Load	Type	Self Weight Multiplier	Auto Load
DEAD	No	Dead	1.0	
EX1	No	Seismic	0.0	User Coefficient
EX2	No	Seismic	0.0	User Coefficient
EY1	No	Seismic	0.0	User Coefficient
EY2	No	Seismic	0.0	User Coefficient
LIVE	No	Live	0.0	

Tabla 15 Casos de carga definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS.

Name	Type
Modal	Modal - Ritz
DEAD	Linear Static
LIVE	Linear Static
EX1	Linear Static
EX2	Linear Static
EY1	Linear Static

EY2	Linear Static
SXT	Response Spectrum
SYT	Response Spectrum
SXD	Response Spectrum
SYD	Response Spectrum

Tabla 16 Combinaciones de carga definidos en los modelos. Extraída del programa ETABS.

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF	Uso
DERX	Linear	No	SXDERIVA	1.00	Combinación para evaluar derivas.
	Add		SYDERIVA	0.30	
DERY	Linear	No	SXDERIVA	0.30	Combinación para evaluar derivas.
	Add		SYDERIVA	1.00	
DISX	Linear Add	No	SXT	0.17	Sismo en X dividido por R y con factor de ajuste.
DISY	Linear Add	No	SYT	0.16	Sismo en Y dividido por R y con factor de ajuste.
ENVSU	Envelope	No	SU01	1.00	Envolvente de diseño.
			SU02	1.00	
			SU03	1.00	
			SU04	1.00	
			SU05	1.00	
			SU06	1.00	
			SU07	1.00	
			SU08	1.00	
			SU09	1.00	
			SU10	1.00	
			SU11	1.00	
			SU12	1.00	
			SU13	1.00	
SU01	Linear Add	No	DEAD	1.40	Combinación de diseño.

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES NO RECTANGULARES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO. REVISIÓN DE LITERATURA Y CASO DE ESTUDIO

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF	Uso
SU02	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
	Add		LIVE	1.60	
SU03	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
SU03	Add		LIVE	1.00	
SU04	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
	Add		LIVE	1.00	
SU05	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
	Add		LIVE	1.00	
			DISX	1.00	
			DISY	0.30	
SU06	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
	Add		LIVE	1.00	
			DISX	0.30	
			DISY	1.00	
SU07	Linear Add	No	DEAD	0.90	Combinación de diseño.
SU08	Linear	No	DEAD	0.90	Combinación de diseño.
	Add		DISX	1.00	
			DISY	0.30	
SU09	Linear	No	DEAD	0.90	Combinación de diseño.
	Add		DISX	0.30	
			DISY	1.00	
SU10	Linear	No	DEAD	0.90	Combinación de diseño.
	Add		DISX	1.00	
			DISY	0.30	
SU11	Linear	No	DEAD	0.90	Combinación de diseño.
	Add		DISX	0.30	
			DISY	1.00	
SU12	Linear	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
	Add		LIVE	1.00	

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES NO RECTANGULARES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO. REVISIÓN DE LITERATURA Y CASO DE ESTUDIO

Name	Type	Is Auto	Load Name	SF	Uso
			DISX	1.00	
			DISY	0.30	
SU13	Linear Add	No	DEAD	1.20	Combinación de diseño.
			LIVE	1.00	
			DISX	0.30	
			DISY	1.00	
SXDERIVA	Linear Add	No	SXD	1.21	Sismo en X con factor de ajuste para derivas.
SXTOR	Linear Add	No	SXT	1.21	Sismo en X con factor de ajuste para verificación de irregularidad torsional.
SYDERIVA	Linear Add	No	SYD	1.11	Sismo en Y con factor de ajuste para derivas.
SYTOR	Linear Add	No	SYT	1.11	Sismo en Y con factor de ajuste para verificación de irregularidad torsional.
TORX	Linear Add	No	SXTOR	1.00	Combinación para evaluar irregularidad torsional.
			SYTOR	0.30	
TORY	Linear Add	No	SXTOR	0.30	Combinación para evaluar irregularidad torsional.
			SYTOR	1.00	

5.3.2 Parámetros sísmicos

A continuación, se presentan los parámetros sísmicos característicos de la edificación:

Tabla 17 Características de la estructura, realización propia.

CARACTERÍSTICAS	
Proyecto:	Monografía
Tipo de Estructura:	Sistema de muros de concreto reforzado
Ubicación:	La Estrella
Entre piso:	2.4 m
Número de Pisos:	20
Tipo de Suelo:	C
Capacidad de disipación de energía:	DES
Losa:	Maciza
Particiones:	Muros interiores de 10 cm de espesor, fachadas 12 cm
Empuje de suelos:	NO
Software de modelación:	ETABS V2019.01

Como se puede observar en la siguiente figura, el sistema planteado cuenta con una altura máxima de 50 metros de altura, la cual se cumple ya que el edificio tiene 48.0 metros. El R_0 seleccionado es de 5.0. A continuación, se presenta para un perfil del suelo tipo C los parámetros sísmicos asociados a este municipio y la construcción del espectro de diseño empleado:

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES NO RECTANGULARES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO. REVISIÓN DE LITERATURA Y CASO DE ESTUDIO

A. SISTEMA DE MUROS DE CARGA		Valor R_0 (Nota 2)	Valor Ω_0 (Nota 4)	zonas de amenaza sísmica					
Sistema resistencia sísmica (fuerzas horizontales)	Sistema resistencia para cargas verticales			alta		intermedia		Baja	
				uso permit	altura máx.	uso permit	altura máx.	uso permit	Altura máx.
1. Paneles de cortante de madera	muros ligeros de madera laminada	3.0	2.5	si	6 m	si	9 m	si	12 m
2. Muros estructurales									
a. Muros de concreto con capacidad especial de disipación de energía (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
b. Muros de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	4.0	2.5	no se permite		si	50 m	si	Sin límite
c. Muros de concreto con capacidad mínima de disipación de energía (DMJ)	el mismo	2.5	2.5	no se permite		no se permite		si	50 m
d. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DES) con todas las celdas rellenas	el mismo	3.5	2.5	si	50 m	si	sin límite	si	Sin límite
e. Muros de mampostería reforzada de bloque de perforación vertical (DMO)	el mismo	2.5	2.5	si	30 m	si	50 m	si	Sin límite
f. Muros de mampostería parcialmente reforzada de bloque de perforación vertical	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	si	12 m	si	18 m
g. Muros de mampostería confinada	el mismo	2.0	2.5	Grupo I	2 pisos	Grupo I	12 m	Grupo I	18 m
h. Muros de mampostería de cavidad reforzada	el mismo	4.0	2.5	si	45 m	si	60 m	si	Sin límite
i. Muros de mampostería no reforzada (no tiene capacidad de disipación de energía)	el mismo	1.0	2.5	no se permite		no se permite		Grupo I (Nota 3)	2 pisos
3. Pórticos con diagonales (las diagonales llevan fuerza vertical)									
a. Pórticos de acero estructural con diagonales concéntricas (DES)	el mismo	5.0	2.5	si	24 m	si	30 m	si	Sin límite
b. Pórticos con diagonales de concreto con capacidad moderada de disipación de energía (DMO)	el mismo	3.5	2.5	no se permite		si	30 m	si	30 m
c. Pórticos de madera con diagonales	el mismo	2.0	2.5	si	12 m	si	15 m	si	18 m

Figura 9. Coeficiente de disipación de energía R. Tomado de NSR-10

Con base en las características enunciadas en el numeral anterior, se procede al análisis de los parámetros sísmicos del proyecto, tal como se evidencia en la siguiente tabla:

Tabla 18 Parámetros sísmicos, realización propia.

		CONTENIDO: PARÁMETROS SÍSMICOS	REVISIÓN: R0																																																																																																																														
		PROYECTO: MONOGRAFIA	DISEÑO:																																																																																																																														
			REVISÓ:																																																																																																																														
			FECHA: 20/07/2022																																																																																																																														
1.0 ESPECIFICACIONES																																																																																																																																	
<p>SISTEMA ESTRUCTURAL X: SISTEMA ESTRUCTURAL Y: CODIGO DE DISEÑO: ALTURA: AMENAZA SISMICA: IMPORTANCIA: TIPO DE SUELO: UBICACIÓN:</p>	<p>Sistemas basados en muros de concreto o mampostería Sistemas basados en muros de concreto o mampostería NSR-10 48 m ALTA I C LA ESTRELLA</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="2">TABLA A.2.5-1</th> </tr> <tr> <th>GRUPO DE USO</th> <th>COEFICIENTE DE IMPORTANCIA I</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>IV</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>III</td> <td>1.25</td> </tr> <tr> <td>II</td> <td>1.10</td> </tr> <tr> <td>I</td> <td>1.00</td> </tr> </tbody> </table>		TABLA A.2.5-1		GRUPO DE USO	COEFICIENTE DE IMPORTANCIA I	IV	1.50	III	1.25	II	1.10	I	1.00																																																																																																																		
TABLA A.2.5-1																																																																																																																																	
GRUPO DE USO	COEFICIENTE DE IMPORTANCIA I																																																																																																																																
IV	1.50																																																																																																																																
III	1.25																																																																																																																																
II	1.10																																																																																																																																
I	1.00																																																																																																																																
2.0 ESPECTRO DE ACELERACIONES			A.2.6.1																																																																																																																														
<p>A_a = 0.15 A_v = 0.25 A_d = 0.08</p> <p>F_a = 1.20 F_v = 1.55 I = 1.00 S = 1.94</p> <p>T₀ = 0.22 T_c = 1.03 TL = 3.72 S_a = 0.4500</p> <p>Ø_a = 1.00 Ø_p = 1.00 Ø_r = 0.75</p> <p>R₀ = 5.00 R = 5.00</p>	<table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F_a, zona de periodos cortos del espectro</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tipo de perfil</th> <th colspan="7">Intensidad de los movimientos sísmicos A_a</th> </tr> <tr> <th>0.10</th> <th>0.15</th> <th>0.20</th> <th>0.25</th> <th>0.30</th> <th>0.40</th> <th>0.50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1.20</td> <td>1.20</td> <td>1.20</td> <td>1.15</td> <td>1.10</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>1.60</td> <td>1.50</td> <td>1.40</td> <td>1.30</td> <td>1.20</td> <td>1.10</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>2.50</td> <td>2.10</td> <td>1.70</td> <td>1.45</td> <td>1.20</td> <td>0.90</td> <td>0.90</td> </tr> </tbody> </table> <table border="1"> <thead> <tr> <th colspan="8">TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F_v, zona de periodos intermedios del espectro</th> </tr> <tr> <th rowspan="2">Tipo de perfil</th> <th colspan="7">Intensidad de los movimientos sísmicos A_v</th> </tr> <tr> <th>0.10</th> <th>0.15</th> <th>0.20</th> <th>0.25</th> <th>0.30</th> <th>0.40</th> <th>0.50</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>A</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> <td>0.80</td> </tr> <tr> <td>B</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> <td>1.00</td> </tr> <tr> <td>C</td> <td>1.70</td> <td>1.65</td> <td>1.60</td> <td>1.55</td> <td>1.50</td> <td>1.40</td> <td>1.30</td> </tr> <tr> <td>D</td> <td>2.40</td> <td>2.20</td> <td>2.00</td> <td>1.90</td> <td>1.80</td> <td>1.60</td> <td>1.50</td> </tr> <tr> <td>E</td> <td>3.50</td> <td>3.35</td> <td>3.20</td> <td>3.00</td> <td>2.80</td> <td>2.40</td> <td>2.40</td> </tr> </tbody> </table>			TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F _a , zona de periodos cortos del espectro								Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos A _a							0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	C	1.20	1.20	1.20	1.15	1.10	1.00	1.00	D	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00	E	2.50	2.10	1.70	1.45	1.20	0.90	0.90	TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F _v , zona de periodos intermedios del espectro								Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos A _v							0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50	A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	C	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30	D	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.60	1.50	E	3.50	3.35	3.20	3.00	2.80	2.40	2.40
TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F _a , zona de periodos cortos del espectro																																																																																																																																	
Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos A _a																																																																																																																																
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50																																																																																																																										
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80																																																																																																																										
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00																																																																																																																										
C	1.20	1.20	1.20	1.15	1.10	1.00	1.00																																																																																																																										
D	1.60	1.50	1.40	1.30	1.20	1.10	1.00																																																																																																																										
E	2.50	2.10	1.70	1.45	1.20	0.90	0.90																																																																																																																										
TABLA A.2.4-3: Valores coeficiente F _v , zona de periodos intermedios del espectro																																																																																																																																	
Tipo de perfil	Intensidad de los movimientos sísmicos A _v																																																																																																																																
	0.10	0.15	0.20	0.25	0.30	0.40	0.50																																																																																																																										
A	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80	0.80																																																																																																																										
B	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00																																																																																																																										
C	1.70	1.65	1.60	1.55	1.50	1.40	1.30																																																																																																																										
D	2.40	2.20	2.00	1.90	1.80	1.60	1.50																																																																																																																										
E	3.50	3.35	3.20	3.00	2.80	2.40	2.40																																																																																																																										

De igual manera, se calcula el espectro de aceleraciones según el reglamento NSR-10 tal como se expone a continuación

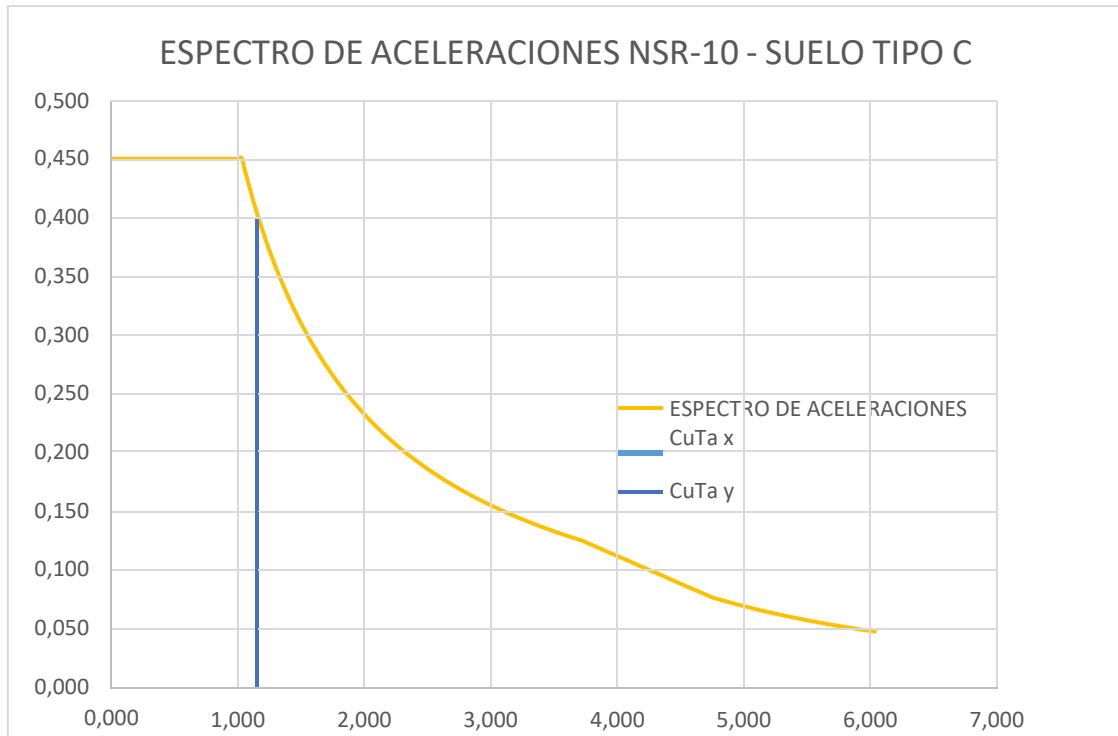


Figura 9 Espectro elástico de aceleraciones de diseño. Fuente, elaboración propia.

5.3.3 Condiciones de apoyo, efectos P-delta y procedencia de masa

Los muros se encuentran articulados en la base, esto se considera apropiado ya que al consistir en una serie de apoyos sucesivos generan el par de fuerzas requeridas en los muros. Además, se limita la capacidad fuera del plano del muro ya que no cuenta con un empotramiento en la base.

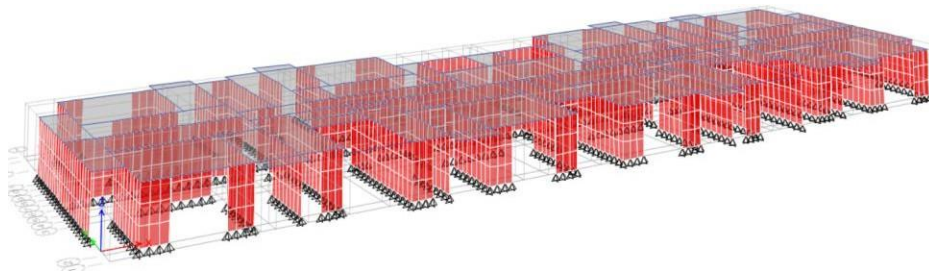


Figura 10 Sistema de apoyos empleado en los modelos estructurales. Extraída del programa ETABS.

Los efectos P-Delta son considerados en los modelos estructurales, a continuación, se presenta la forma en que fueron definidos:

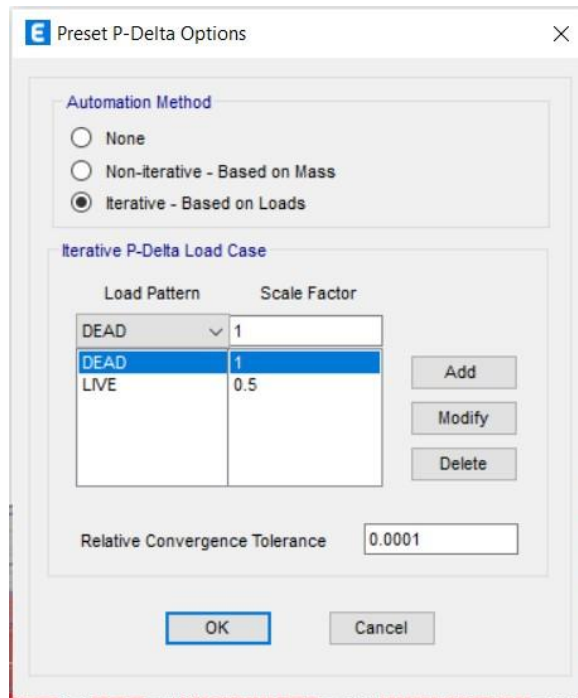


Figura 11 Definición de efectos P-Delta. Extraída de ETABS

La masa sísmica se considera a través de toda la carga permanente que se agrega en el modelo incluyendo el peso propio de los elementos, a continuación, se presenta la forma en que fue definido en los modelos:

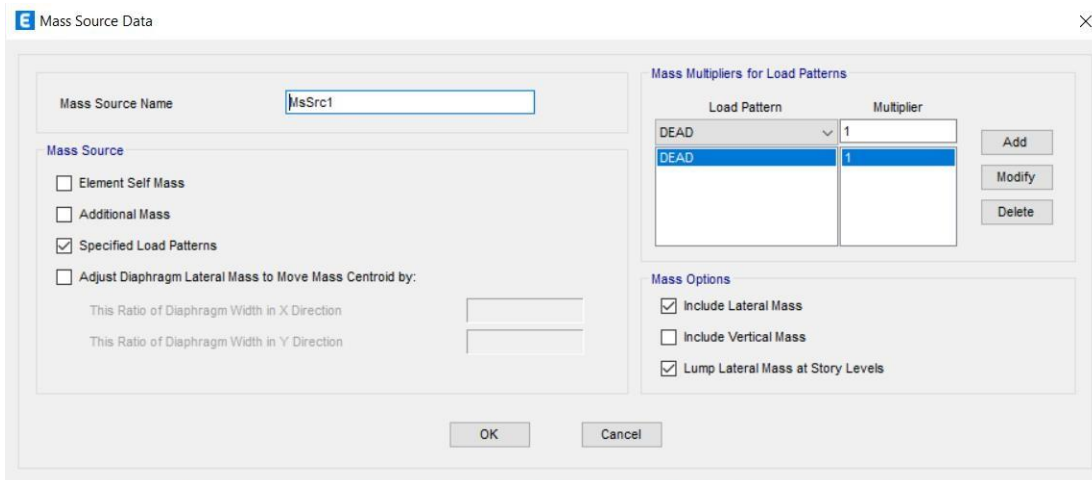


Figura 12 Procedencia de masa definida en los modelos. Extraída de ETABS.

6 Resultados

A continuación, se presentan los resultados obtenidos de la modelación al considerar los muros unidos. Posteriormente, en otro modelo se realiza la separación de los muros, manteniendo la misma distribución en planta, y se procede a exportar las mismas tablas de resultados, con el fin de detectar la forma en que varía el comportamiento del edificio cuando se consideran elementos en secciones compuestas (C, T, L, I, etc.) versus elementos en secciones rectangulares:

6.1 Modos y masas participativas.

Tabla 19 Comparación de modos y masas participativas, ETABS.

COMPARACIÓN									
MODO		MUROS UNIDOS				MUROS SEPARADOS			
Case	Mode	Period	UX	UY	RZ	Period	UX	UY	RZ
		sec				sec			
Modal	1	1.258	0.002	0.626	0.001	1.5610	0.0000	0.6265	0.0012
Modal	2	1.252	0.629	0.002	0.004	1.5390	0.6321	0.0000	0.0001
Modal	3	1.118	0.004	0.001	0.625	1.2630	0.0001	0.0012	0.6284
Modal	4	0.236	0.205	0.000	0.001	0.2800	0.2026	0.0000	0.0001
Modal	5	0.220	0.000	0.200	0.000	0.2700	0.0000	0.1978	0.0005
Modal	6	0.199	0.001	0.000	0.200	0.2240	0.0000	0.0005	0.1997
Modal	7	0.099	0.069	0.000	0.000	0.1140	0.0696	0.0000	0.0000
Modal	8	0.086	0.000	0.071	0.000	0.1040	0.0000	0.0696	0.0002
Modal	9	0.079	0.000	0.000	0.071	0.0890	0.0000	0.0002	0.0700
Modal	10	0.059	0.033	0.000	0.000	0.0660	0.0343	0.0000	0.0000
Modal	11	0.048	0.000	0.036	0.000	0.0580	0.0000	0.0357	0.0002
Modal	12	0.045	0.000	0.000	0.036	0.0500	0.0000	0.0002	0.0353
Modal	13	0.041	0.018	0.000	0.000	0.0460	0.0195	0.0000	0.0000
Modal	14	0.033	0.000	0.021	0.000	0.0380	0.0000	0.0211	0.0001
Modal	15	0.032	0.010	0.000	0.000	0.0340	0.0118	0.0000	0.0000
Modal	16	0.031	0.000	0.000	0.020	0.0340	0.0000	0.0001	0.0203
Modal	17	0.029	0.000	0.000	0.000	0.0290	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	18	0.029	0.000	0.000	0.000	0.0290	0.0013	0.0000	0.0000
Modal	19	0.028	0.000	0.000	0.000	0.0290	0.0018	0.0000	0.0001

CONSIDERACIONES PARA EL DISEÑO DE MUROS ESTRUCTURALES NO RECTANGULARES EN EDIFICACIONES DE CONCRETO REFORZADO. REVISIÓN DE LITERATURA Y CASO DE ESTUDIO

COMPARACIÓN									
MODO		MUROS UNIDOS				MUROS SEPARADOS			
Modal	20	0.028	0.001	0.000	0.000	0.0290	0.0003	0.0000	0.0000
Modal	21	0.028	0.000	0.000	0.000	0.0280	0.0000	0.0000	0.0003
Modal	22	0.028	0.000	0.000	0.000	0.0280	0.0001	0.0005	0.0001
Modal	23	0.028	0.001	0.000	0.000	0.0280	0.0005	0.0004	0.0003
Modal	24	0.027	0.000	0.000	0.000	0.0280	0.0000	0.0123	0.0000
Modal	25	0.027	0.000	0.000	0.000	0.0280	0.0001	0.0002	0.0000
Modal	26	0.027	0.000	0.000	0.000	0.0270	0.0004	0.0000	0.0000
Modal	27	0.026	0.000	0.000	0.000	0.0260	0.0044	0.0000	0.0000
Modal	28	0.025	0.006	0.000	0.000	0.0260	0.0001	0.0000	0.0000
Modal	29	0.025	0.000	0.000	0.000	0.0250	0.0000	0.0000	0.0002
Modal	30	0.024	0.000	0.013	0.000	0.0250	0.0000	0.0001	0.0115
Modal	31	0.023	0.000	0.000	0.000	0.0240	0.0000	0.0001	0.0000
Modal	32	0.023	0.000	0.000	0.012	0.0240	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	33	0.022	0.000	0.000	0.000	0.0230	0.0000	0.0019	0.0000
Modal	34	0.022	0.003	0.000	0.000	0.0230	0.0046	0.0000	0.0000
Modal	35	0.021	0.000	0.000	0.000	0.0220	0.0000	0.0033	0.0000
Modal	36	0.021	0.001	0.000	0.000	0.0210	0.0005	0.0008	0.0001
Modal	37	0.020	0.002	0.000	0.000	0.0210	0.0003	0.0026	0.0004
Modal	38	0.019	0.000	0.008	0.000	0.0210	0.0006	0.0001	0.0001
Modal	39	0.018	0.004	0.000	0.000	0.0200	0.0000	0.0013	0.0014
Modal	40	0.018	0.000	0.001	0.001	0.0190	0.0036	0.0000	0.0000
Modal	41	0.017	0.000	0.001	0.000	0.0180	0.0000	0.0007	0.0002
Modal	42	0.016	0.003	0.000	0.000	0.0170	0.0000	0.0056	0.0000
Modal	43	0.015	0.000	0.005	0.000	0.0170	0.0030	0.0000	0.0000
Modal	44	0.015	0.001	0.000	0.000	0.0150	0.0021	0.0000	0.0000
Modal	45	0.014	0.002	0.000	0.000	0.0150	0.0000	0.0046	0.0000
Modal	46	0.013	0.000	0.004	0.000	0.0140	0.0013	0.0000	0.0001
Modal	47	0.013	0.002	0.000	0.000	0.0130	0.0006	0.0016	0.0001
Modal	48	0.012	0.000	0.002	0.000	0.0130	0.0007	0.0017	0.0000
Modal	49	0.011	0.002	0.000	0.000	0.0120	0.0012	0.0007	0.0001
Modal	50	0.011	0.000	0.003	0.000	0.0110	0.0004	0.0019	0.0000
Modal	51	0.010	0.001	0.000	0.000	0.0100	0.0010	0.0006	0.0000
Modal	52	0.010	0.000	0.003	0.000	0.0100	0.0003	0.0020	0.0000

COMPARACIÓN									
MODO		MUROS UNIDOS				MUROS SEPARADOS			
Modal	53	0.009	0.001	0.000	0.000	0.0090	0.0006	0.0002	0.0000
Modal	54	0.008	0.000	0.002	0.000	0.0090	0.0000	0.0021	0.0000
Modal	55	0.008	0.000	0.000	0.000	0.0080	0.0000	0.0003	0.0002
Modal	56	0.007	0.000	0.001	0.000	0.0070	0.0000	0.0013	0.0002
Modal	57	0.006	0.000	0.000	0.000	0.0070	0.0000	0.0002	0.0002
Modal	58	0.004	0.000	0.000	0.000	0.0050	0.0000	0.0000	0.0004
Modal	59	0.003	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000
Modal	60	0.003	0.000	0.000	0.000	0.0030	0.0000	0.0000	0.0000

Como se puede observar, al realizar la separación de los muros, los periodos en Y aumentaron un 24.08%, en X un 22.92% y el modo rotacional un 0.05%. Lo que esto indica es que la estructura se vuelve más flexible, pero su respuesta rotacional no se está afectando en mayor medida. Por su parte, las masas participativas presentan unos valores similares en ambos modelos, por ende, se considera que el comportamiento modal global no se vio afectado en mayor medida.

6.2 Cortantes de piso y ajuste.

A continuación, se presentan los valores de cortantes de piso generadas por el sismo en cada dirección para cada modelo antes de realizar el ajuste por cortante basal, además, se incluye el ajuste por cortante en cada uno y una comparación de las magnitudes obtenidas:

Tabla 20 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS.

MUROS UNIDOS X			MUROS SEPARADOS X		
Story	Output Case	VX	Story	Output Case	VX
		tonf			tonf
20	SXTOR	356.6	20	SXTOR	321.0
19	SXTOR	768.2	19	SXTOR	680.3
18	SXTOR	1124.4	18	SXTOR	983.4
17	SXTOR	1435.3	17	SXTOR	1242.8
16	SXTOR	1709.5	16	SXTOR	1468.3
15	SXTOR	1952.9	15	SXTOR	1666.7
14	SXTOR	2170.4	14	SXTOR	1843.4

MUROS UNIDOS X			MUROS SEPARADOS X		
Story	Output Case	VX	Story	Output Case	VX
		tonf			tonf
13	SXTOR	2365.7	13	SXTOR	2002.7
12	SXTOR	2541.7	12	SXTOR	2147.6
11	SXTOR	2700.6	11	SXTOR	2280.4
10	SXTOR	2843.6	10	SXTOR	2402.3
9	SXTOR	2971.7	9	SXTOR	2513.9
8	SXTOR	3085.3	8	SXTOR	2615.2
7	SXTOR	3184.5	7	SXTOR	2705.6
6	SXTOR	3269.1	6	SXTOR	2784.4
5	SXTOR	3339.0	5	SXTOR	2850.8
4	SXTOR	3393.9	4	SXTOR	2903.9
3	SXTOR	3433.8	3	SXTOR	2943.0
2	SXTOR	3458.8	2	SXTOR	2967.9
1	SXTOR	3469.9	1	SXTOR	2979.1

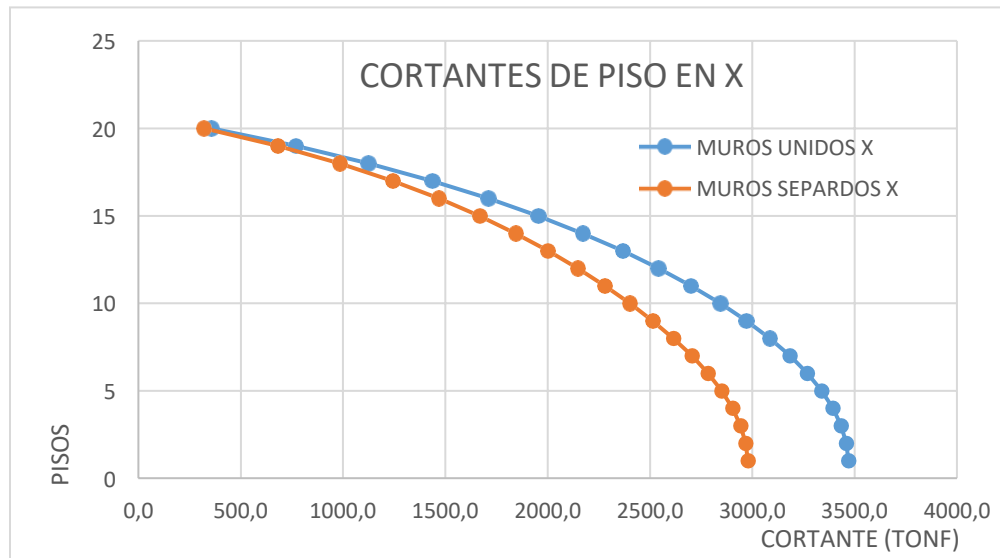


Figura 13 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS

Tabla 21 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS.

MUROS UNIDOS Y			MUROS SEPARADOS Y		
Story	Output Case	VY	Story	Output Case	VY
		tonf			tonf
20	SYTOR	361.1	20	SYTOR	321.4
19	SYTOR	771.9	19	SYTOR	675.3
18	SYTOR	1124.9	18	SYTOR	972.2
17	SYTOR	1432.8	17	SYTOR	1225.9
16	SYTOR	1704.3	16	SYTOR	1446.3
15	SYTOR	1945.4	15	SYTOR	1640.1
14	SYTOR	2160.9	14	SYTOR	1812.8
13	SYTOR	2354.5	13	SYTOR	1968.6
12	SYTOR	2528.7	12	SYTOR	2110.6
11	SYTOR	2685.8	11	SYTOR	2240.7
10	SYTOR	2826.9	10	SYTOR	2360.2
9	SYTOR	2952.8	9	SYTOR	2469.5
8	SYTOR	3063.9	8	SYTOR	2568.4
7	SYTOR	3160.3	7	SYTOR	2656.6
6	SYTOR	3241.9	6	SYTOR	2733.1
5	SYTOR	3308.6	5	SYTOR	2797.0
4	SYTOR	3360.2	4	SYTOR	2847.6
3	SYTOR	3396.9	3	SYTOR	2884.2
2	SYTOR	3419.4	2	SYTOR	2906.9
1	SYTOR	3429.3	1	SYTOR	2916.9

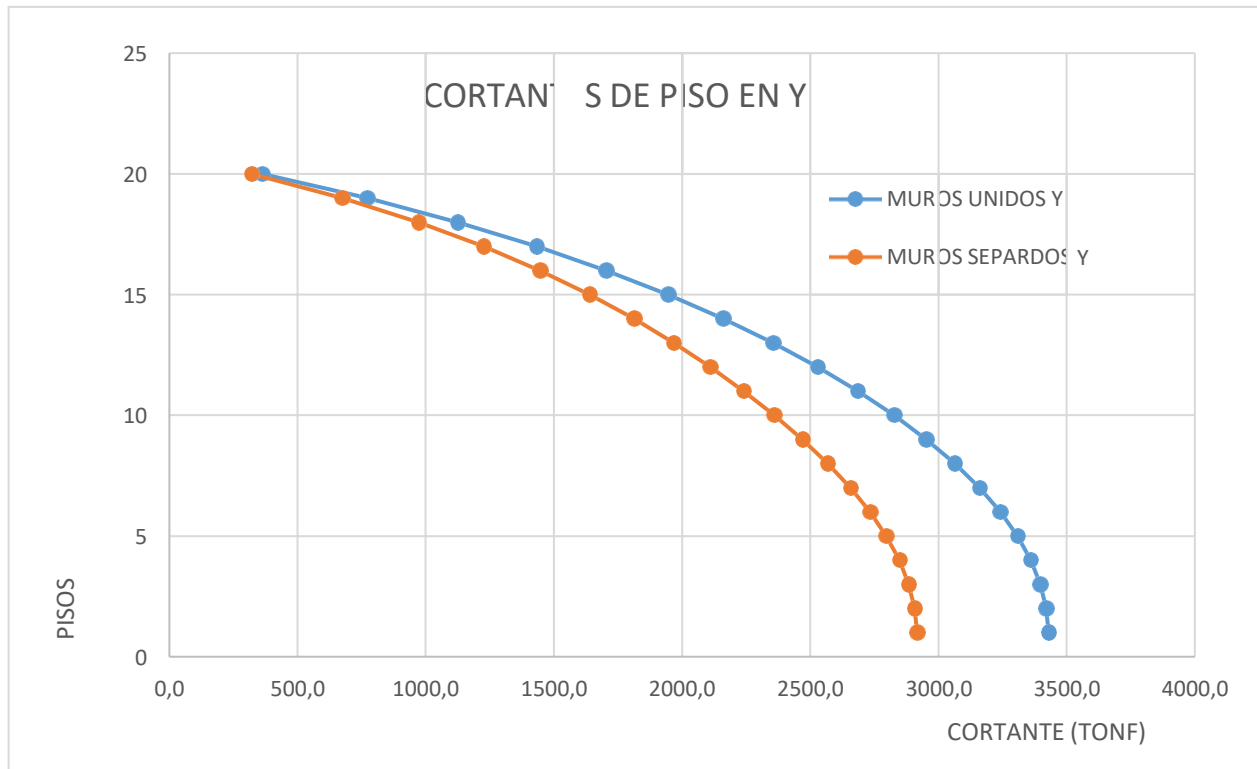


Figura 14 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral antes del ajuste. Extraída de ETABS.

Como se puede observar, los cortantes de piso obtenidos mediante el análisis modal espectral son mayores para el caso de muros unidos, es decir, cuando se consideran elementos con secciones compuestas se tienen fuerzas sísmicas de mayor magnitud respecto al caso de muros separados.

Esta comparación se realiza antes de realizar el ajuste de cortante basal, ya que una vez este se lleve a cabo las fuerzas en ambos modelos deberán estar como mínimo en el orden del 90% de la fuerza horizontal equivalente, y no permitiría apreciar la diferencia existente. A continuación, se presentan los valores de ajustes de cortantes en la base obtenidos para cada modelo y los nuevos cortantes de piso:

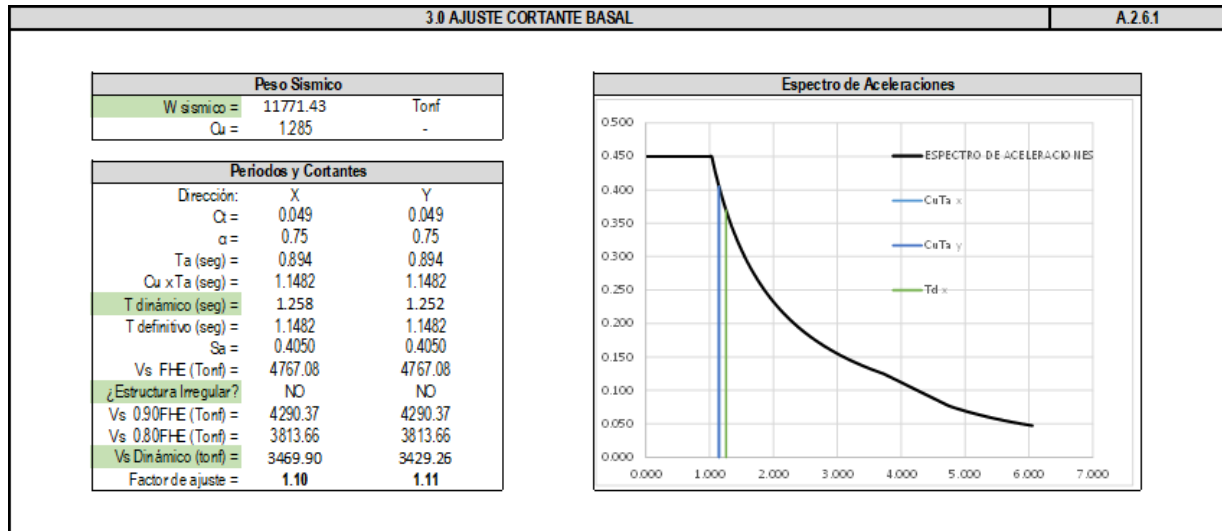


Figura 15 Resultado de ajuste de cortante basal modelo con muros unidos. Elaboración propia.

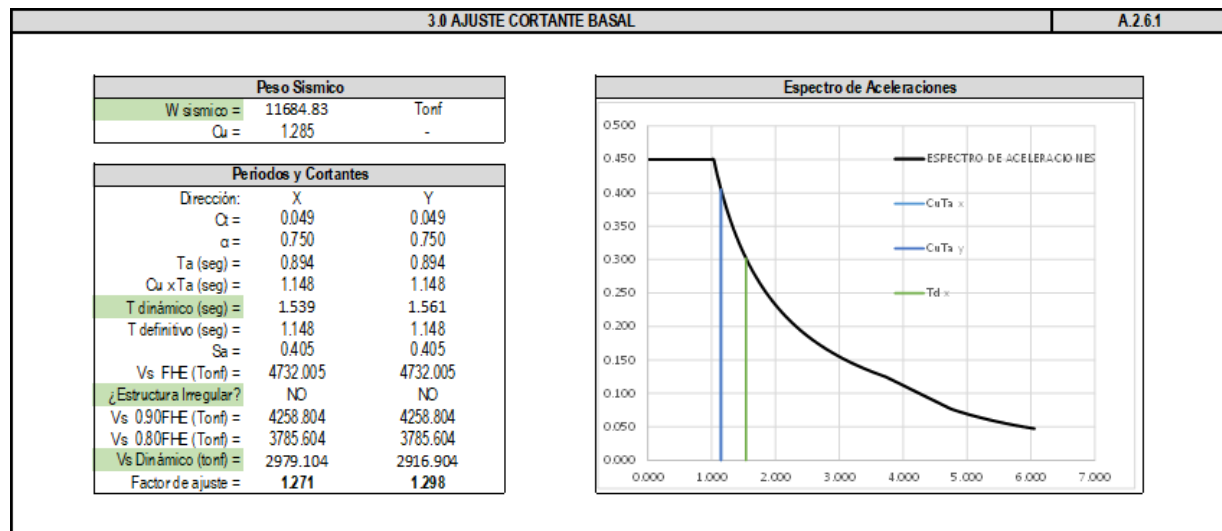


Figura 16 Resultado de ajuste de cortante basal modelo con muros separados. Elaboración propia.

Como se ha mencionado, los valores del cortante obtenidos en el modelo de muros separados era menor al encontrado cuando los muros son considerados como secciones compuestas; esto se traduce en un mayor valor de factor de ajuste de cortante dinámico ya que se debe llegar como mínimo al 90% del cortante obtenido por el método de la fuerza horizontal equivalente. A continuación, se presentan los resultados de cortantes de piso una vez realizado el ajuste.

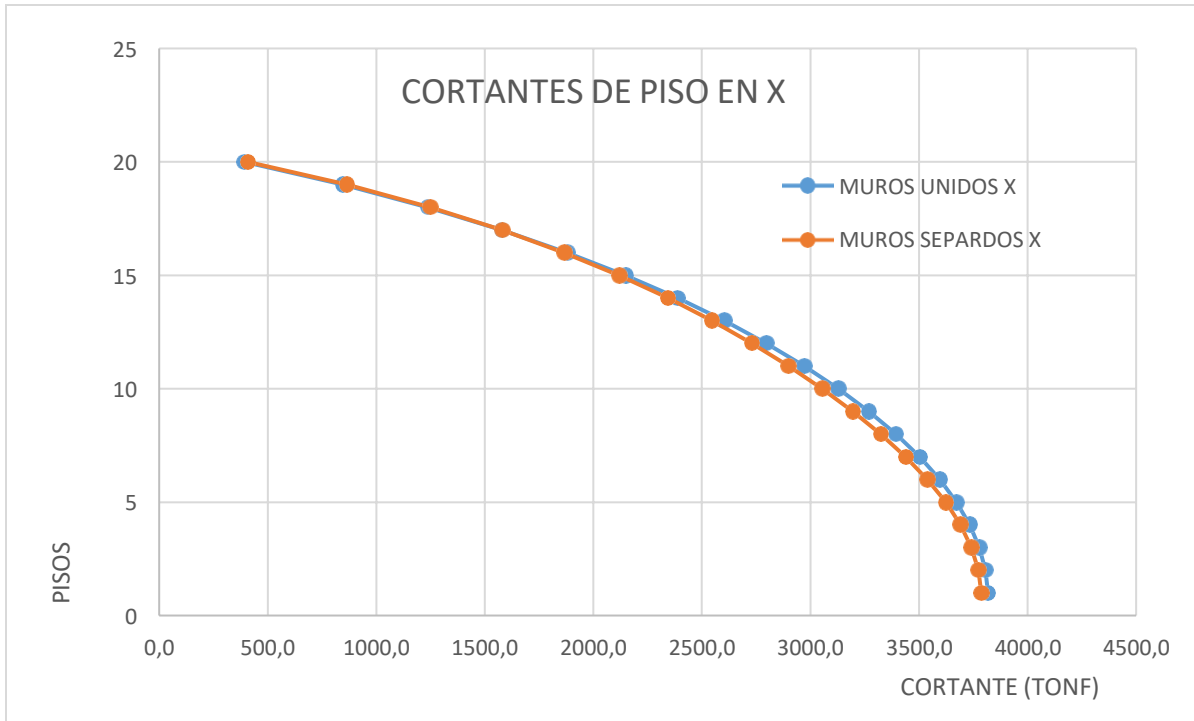


Figura 17 Comparación entre cortantes de piso en dirección X, para caso de carga de respuesta espectral después del ajuste. Extraída de ETABS.

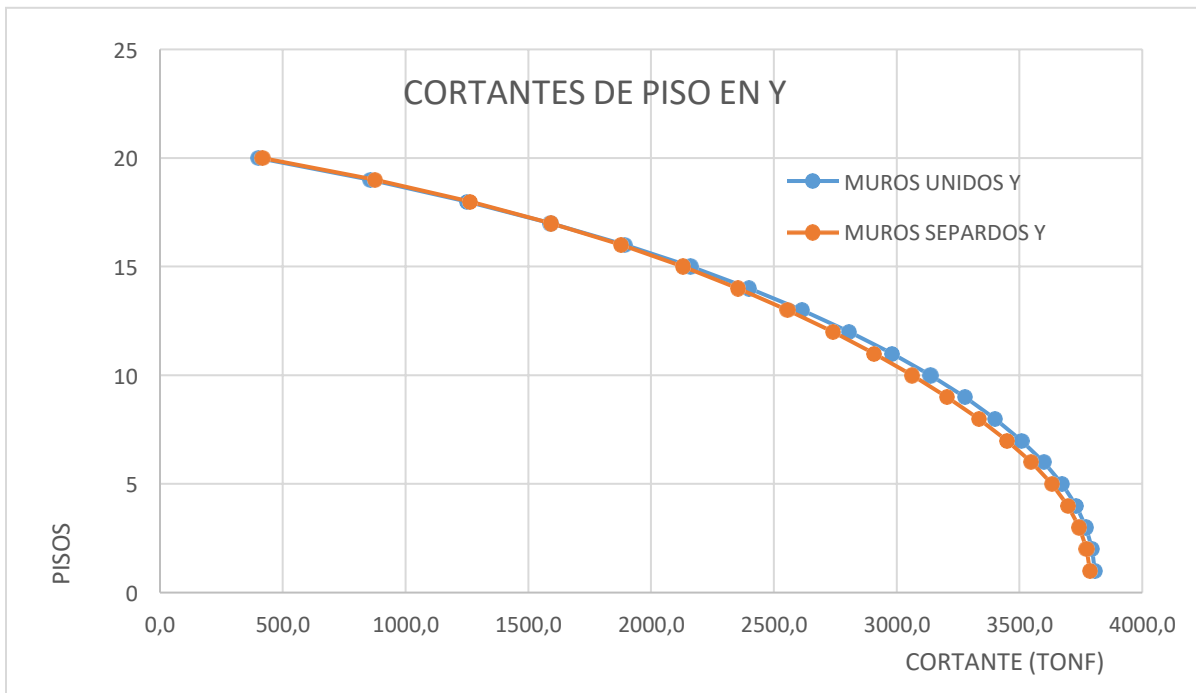


Figura 18 Comparación entre cortantes de piso en dirección Y, para caso de carga de respuesta espectral después del ajuste. Extraída de ET

6.3 Derivas de piso.

Cuando se analizan los periodos obtenidos en los dos modelos realizados se encuentra que el edificio con muros separados es más flexible que al considerar los elementos unidos. A continuación, se presentan las derivas con el fin de validar si efectivamente estas son mayores o menores según el tipo de sección que se tenga.

Tabla 22 Comparación de derivas de piso en dirección X. Extraída de ETABS.

TABLE: STORY DRIFTS				
STORY	OUTPUT CASE	MUROS UNIDOS	MUROS SEPARADOS	DIFERENCIA
20	DERX	0.83%	1.28%	53.24%
19	DERX	0.84%	1.28%	53.00%
18	DERX	0.84%	1.28%	52.78%
17	DERX	0.84%	1.28%	52.57%
16	DERX	0.83%	1.27%	52.36%
15	DERX	0.83%	1.26%	52.14%
14	DERX	0.81%	1.23%	51.96%
13	DERX	0.79%	1.20%	51.80%
12	DERX	0.76%	1.16%	51.71%
11	DERX	0.73%	1.11%	51.58%
10	DERX	0.70%	1.05%	51.38%
9	DERX	0.65%	0.99%	51.16%
8	DERX	0.60%	0.91%	50.90%
7	DERX	0.55%	0.82%	50.62%
6	DERX	0.48%	0.73%	50.39%
5	DERX	0.42%	0.63%	49.90%
4	DERX	0.34%	0.51%	49.10%
3	DERX	0.27%	0.39%	47.77%
2	DERX	0.18%	0.26%	45.26%
1	DERX	0.08%	0.11%	38.56%

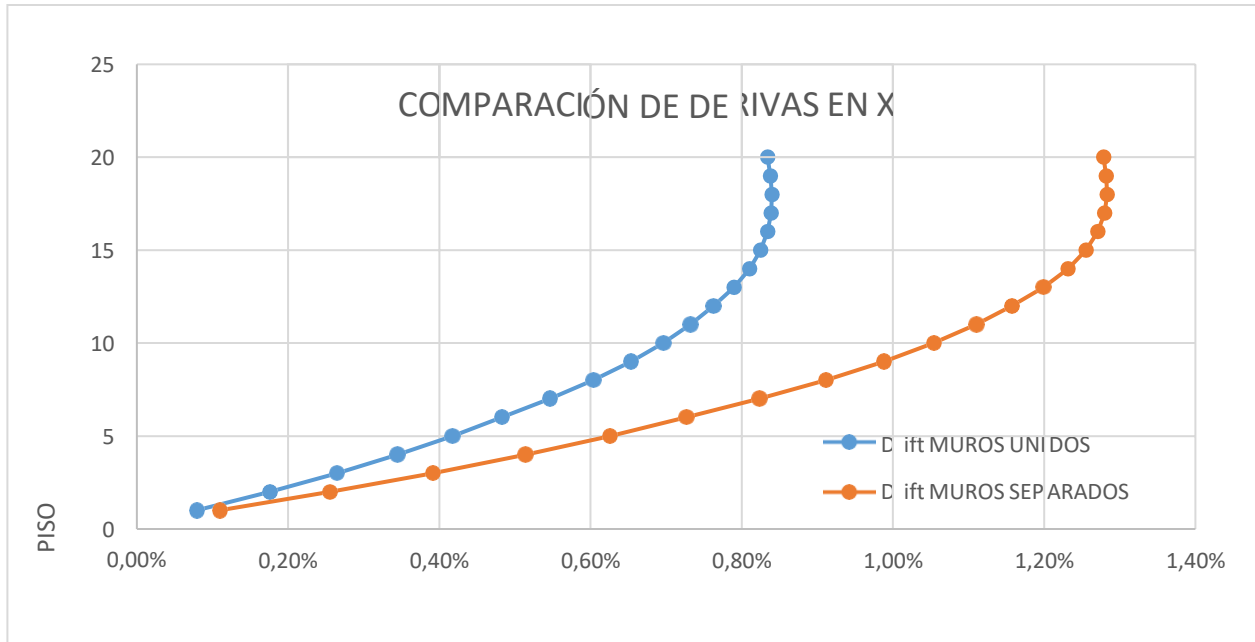


Figura 19 Comparación de derivas de piso en dirección X. Extraída de ETABS.

Tabla 23 Comparación de derivas de piso en dirección Y. Extraída de ETABS.

TABLE: STORY DRIFTS				
STORY	OUTPUT CASE	MUROS UNIDOS	MUROS SEPARADOS	DIFERENCIA
Story20	DERY	0.91%	1.62%	77.55%
Story19	DERY	0.91%	1.62%	77.50%
Story18	DERY	0.91%	1.62%	77.43%
Story17	DERY	0.91%	1.61%	77.37%
Story16	DERY	0.90%	1.59%	77.30%
Story15	DERY	0.89%	1.57%	77.23%
Story14	DERY	0.87%	1.54%	77.16%
Story13	DERY	0.84%	1.49%	77.11%
Story12	DERY	0.81%	1.44%	77.11%
Story11	DERY	0.78%	1.38%	77.06%
Story10	DERY	0.74%	1.31%	77.01%
Story9	DERY	0.69%	1.22%	76.99%
Story8	DERY	0.64%	1.13%	76.94%
Story7	DERY	0.57%	1.01%	76.92%
Story6	DERY	0.50%	0.89%	76.95%
Story5	DERY	0.43%	0.77%	76.88%

Story4	DERY	0.35%	0.62%	76.75%
Story3	DERY	0.27%	0.47%	76.47%
Story2	DERY	0.17%	0.30%	75.59%
STORY1	DERY	0.07%	0.11%	63.18%

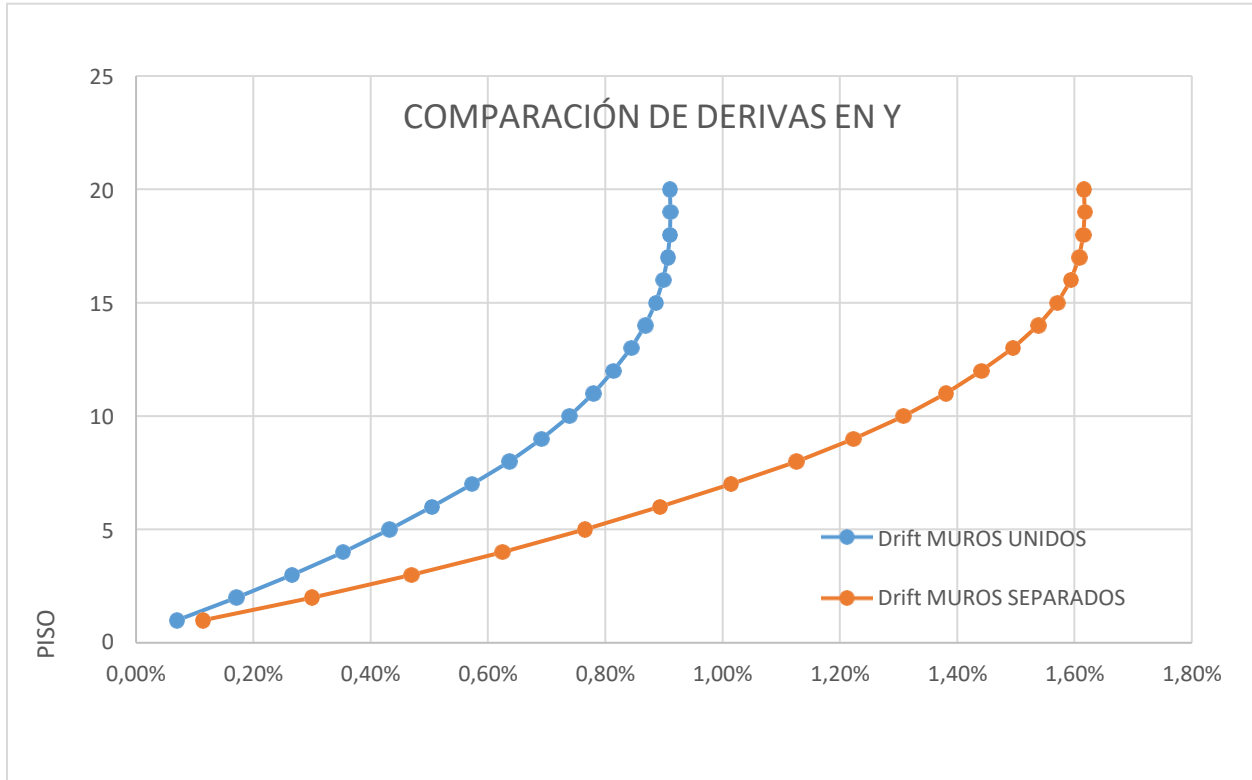


Figura 20 Comparación de derivas de piso en dirección Y. Extraída de ETABS.

Tal y como se ha evidenciado, en cada uno de los resultados obtenidos, la flexibilidad de la estructura es mucho mayor al considerar los muros como elementos separados, es decir, secciones rectangulares.

Como se puede apreciar en las figuras de derivas reportadas, se cumple con los límites máximos permitidos por el reglamento cuando se cuenta con secciones unidas. Por su parte, al desvincular los segmentos de los elementos compuestos (modelo con secciones separadas), estas aumentan un 50% en dirección X y un 75% en dirección Y. Lo anterior resalta la importancia, en la práctica común, de manejar secciones compuestas a la hora de tener diseños “optimizados”, pues, en

general, se cumple mucho más fácil con el requisito de derivas establecido por el Reglamento NSR-10.

6.4 Irregularidad torsional.

Con el fin de entender la influencia en el comportamiento torsional que tiene el considerar elementos unidos o separados en la edificación en estudio, se procede a presentar la comparación entre los desplazamientos relativos asociados a cargas laterales para los puntos extremos de la estructura. En la Figura 21 se indican los puntos a los cuales se les va a realizar el análisis.

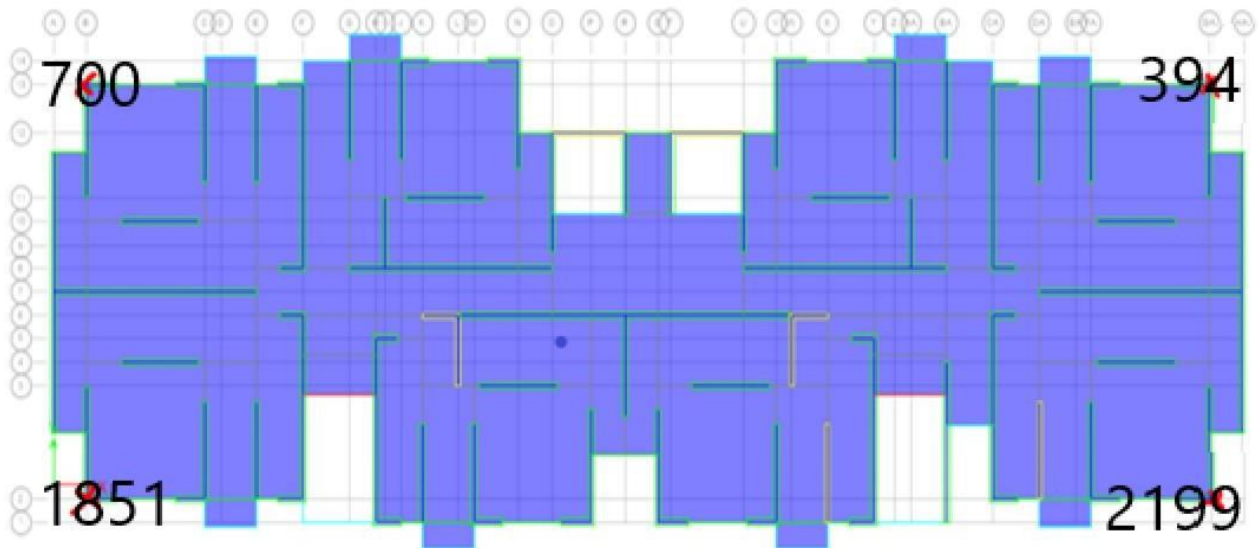


Figura 21 Identificación de puntos para análisis de irregularidad torsional. Extraída de ETABS.

A continuación, se presentan los perfiles de derivas de piso para los puntos seleccionados el análisis de irregularidad torsional. Cabe resaltar que en los análisis utilizados para la evaluación de la irregularidad torsional se tuvo en cuenta, además de la torsión inherente (asociada a las características de la estructura), la torsión accidental a través de una excentricidad del 5% de las longitudes globales en cada dirección de análisis.

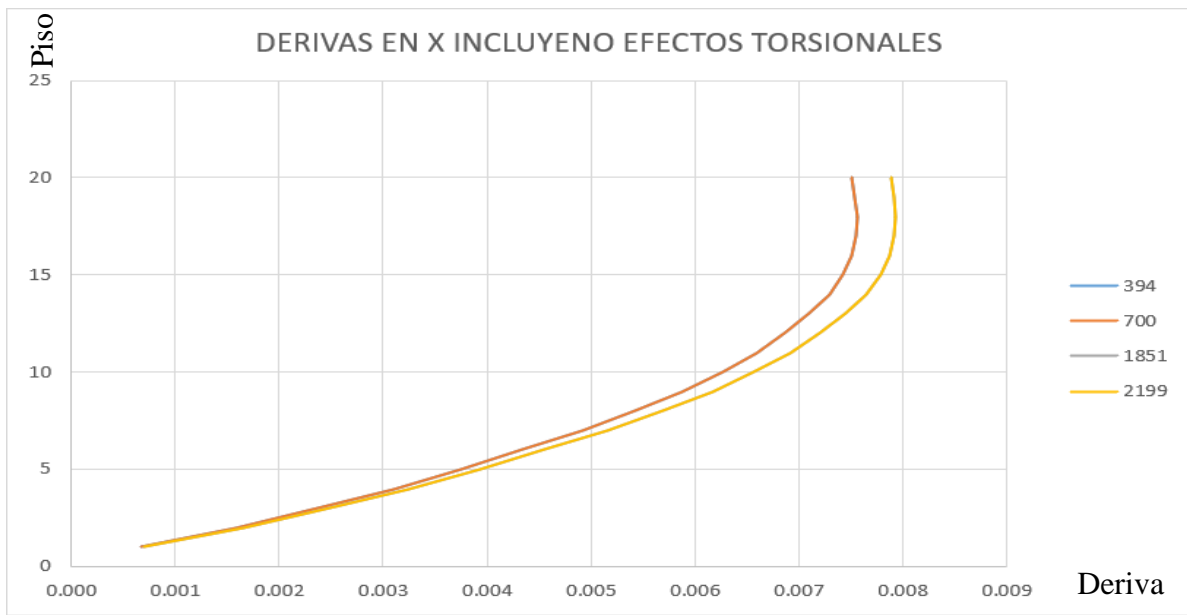


Figura 22 Derivas de piso en puntos seleccionados para evaluación de irregularidad torsional – Fuerza actuando en dirección principal X en modelo con muros unidos. Elaboración propia.

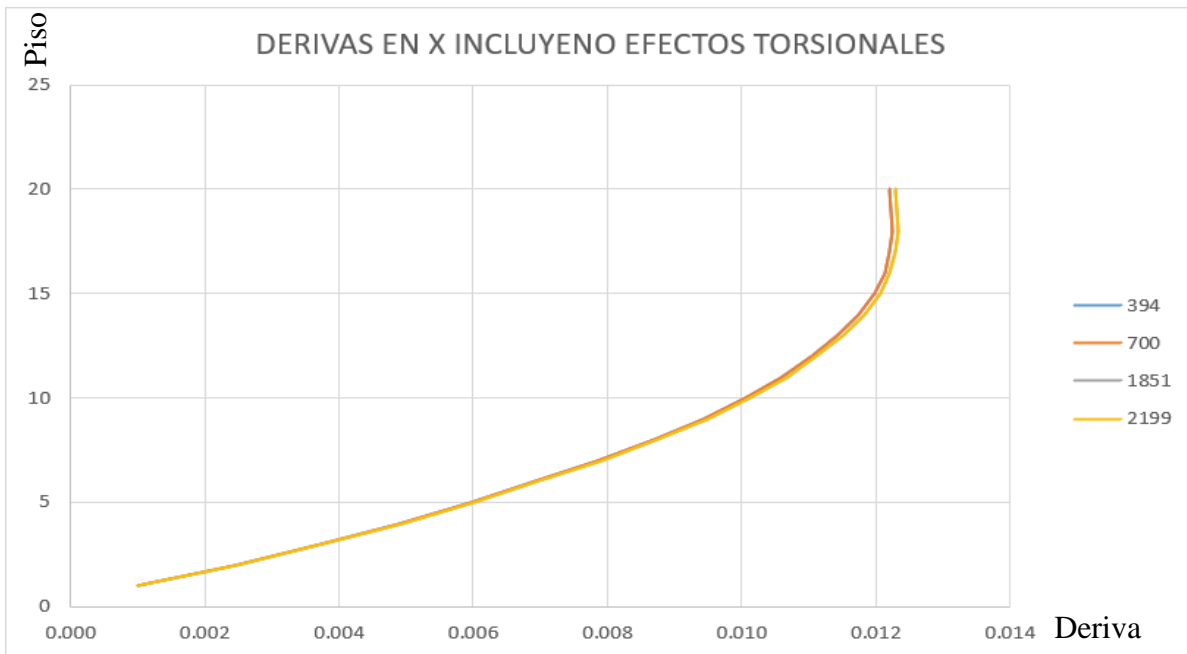


Figura 23 Derivas de piso en puntos seleccionados para evaluación de irregularidad torsional – Fuerza actuando en dirección principal X en modelo con muros separados. Elaboración propia.

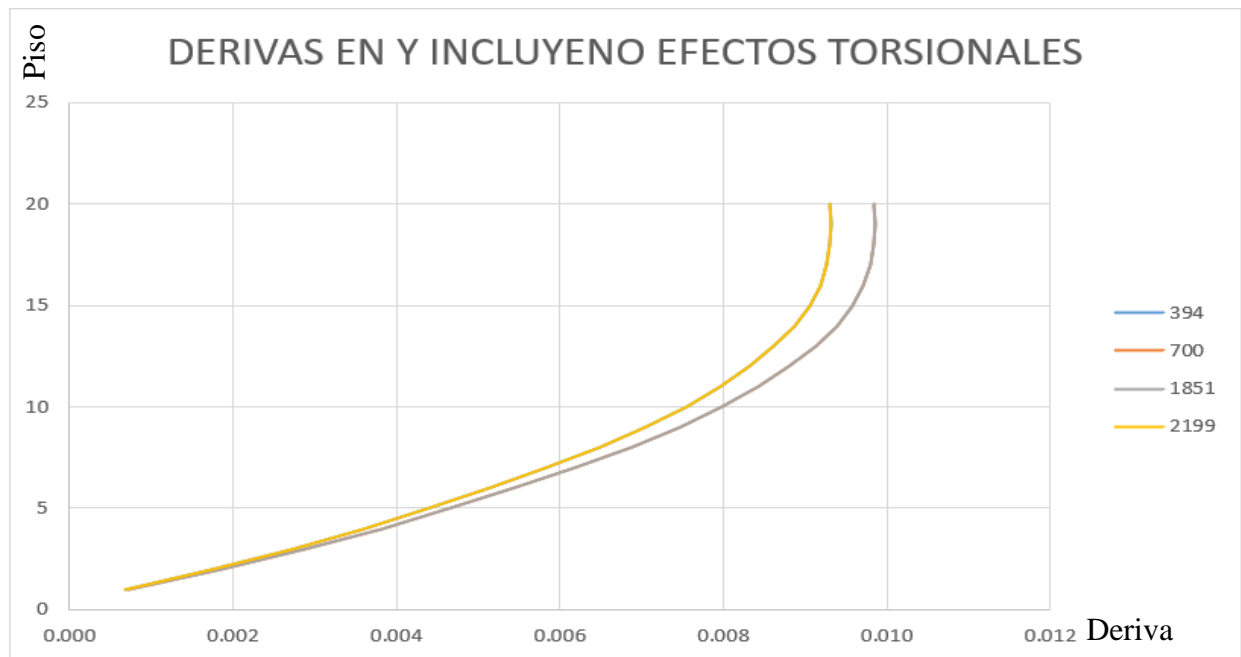


Figura 24 Comparación de derivas incluyendo efectos torsionales en modelo con muros unidos. Elaboración propia.

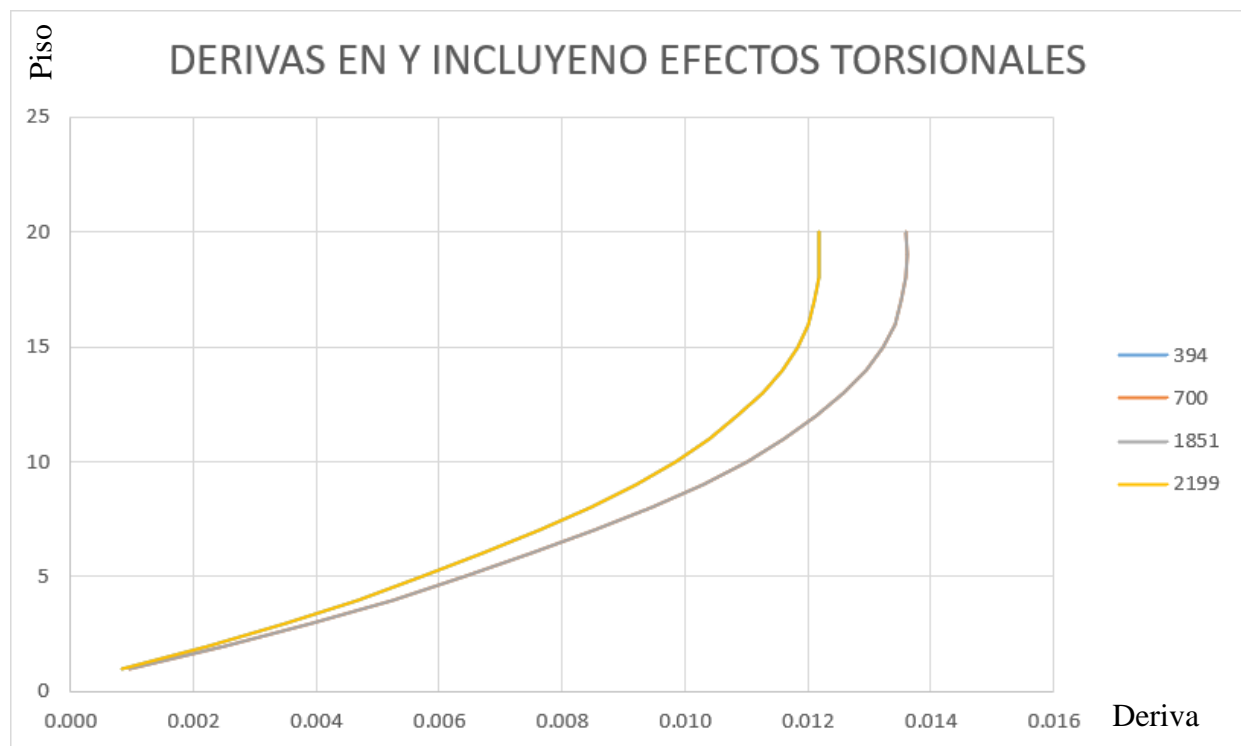


Figura 25 Comparación de derivas incluyendo efectos torsionales en modelo con muros separados. Elaboración propia.

Los resultados mostrados anteriormente indican que los cambios en los perfiles de derivas de piso no presentan la misma tendencia en las direcciones principales, es decir, en la dirección X se ve una mejoría en la diferencia de desplazamientos mientras que en dirección Y hay un incremento en su variación, lo que indica que al realizar una separación de los muros, la estructura no cuenta con el mismo comportamiento en las direcciones principales, cosa que no ocurre cuando los muros cuentan con secciones unidas.

En ambos casos, (muros separados y unidos) se encuentra que la estructura no cuenta con irregularidad torsional.

7 Proporción de resistencia.

A continuación, se describen los procedimientos seguidos durante la etapa donde se proporciona resistencia a los elementos que conforman la estructura. Para esto, inicialmente se selecciona el muro que posee la mayor demanda de cortante sísmico y se desarrolla el ejercicio para este elemento en particular.

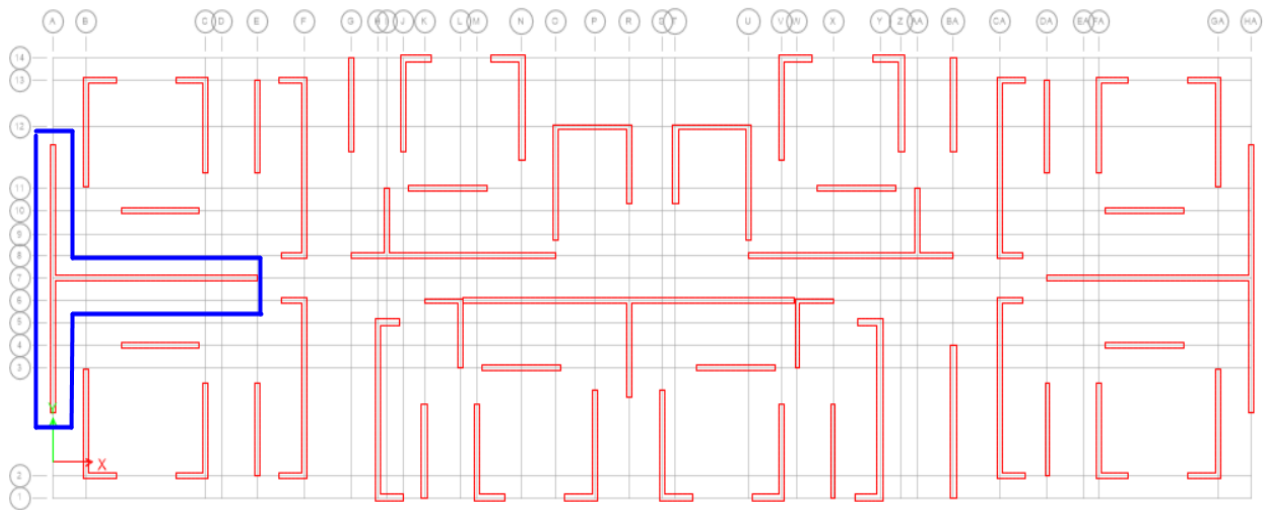


Figura 26 Muro seleccionado. Extraída de ETABS.

Para el muro seleccionado, se procede a realizar el diseño (proporción de resistencia) utilizando 3 enfoques diferentes, los cuales se describen a continuación.:

7.1 Modelo de muros rectangulares.

El primer enfoque para proporcionar resistencia se realiza para el modelo que cuenta con secciones rectangulares simples, es decir, segmentos de muros no vinculados entre sí. Aquí se le asigna a cada porción del muro una PIER diferente, y para cada uno de estos se procede a realizar un estimativo inicial del refuerzo del muro en el software de análisis y diseño ETABS, considerando refuerzo uniformemente distribuido.

Una vez se tiene un diseño estimativo inicial para cada porción del muro dilatado, se procede a realizar una distribución de refuerzo más detallada teniendo en cuenta las longitudes de elementos de bordes reportadas inicialmente por el software. Posteriormente se realiza una nueva verificación

del diseño teniendo en cuenta que la longitud del elemento de borde continúe estando dentro de los valores establecidos inicialmente; de no ser así, se procede a realizar una nueva distribución de las barras y repetir el proceso hasta que las iteraciones cierren y se tenga un diseño que cumpla con todos los requerimientos establecidos en el Reglamento NSR-10.

Durante el proceso de detallado de refuerzo del muro, y en especial de los elementos de borde, se siguieron los requerimientos establecidos en el Reglamento NSR-10, como bien son: cuantías mínimas, acero de confinamiento mínimo requerido, espaciamiento máximo del refuerzo, longitudes de elementos de borde, entre otros. No se realiza en este caso las verificaciones a cortante del elemento ya que, a pesar de ser de vital importancia para tener un comportamiento adecuado, no se encuentran incluidas en el alcance de este documento. A continuación, se presenta el resumen de cálculos realizado por el software:



Figura 27 Pier asignado a cada muro rectangular independiente. Extraída de ETABS.

Pier Details						
Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	LLRF
STORY1	A	0	6.23	9.06	0.2	1

Figura 28 Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS.

Flexural Design for P, M ₃ and M ₂					
Station	D/C	Flexural	P _u tonf	M _{u2} tonf-m	M _{u3} tonf-m
Top	0.954	SU11	223.6349	-0.9062	5714.5473
Bottom	0.993	SU11	233.0385	0	5950.8431

Figura 29 Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)									
Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u tonf	M _u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.87523	SU05	321.1728	-1984.8615	902.68	840	1.75047	2.15714
Top-Right	Leg 1	0.87523	SU05	321.1728	2113.2997	949.62	840	1.75047	2.15714
Bottom-Left	Leg 1	0.8838	SU05	333.7109	-2075.3138	942.66	840	1.7676	2.15714
Bottom-Right	Leg 1	0.8838	SU05	333.7109	2204.098	989.72	840	1.7676	2.15714

Figura 30 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS.

Pier Details						
Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	LLRF
STORY1	7A	3.875	6.23	7.55	0.2	1

Figura 31 Detalles de muro a diseñar, PIER 7A. Extraída de ETABS

Flexural Design for P, M ₃ and M ₂					
Station	D/C	Flexural	P _u tonf	M _{u2} tonf-m	M _{u3} tonf-m
Top	0.881	SU10	312.4623	1.1006	2654.4151
Bottom	0.97	SU10	320.2986	0	2860.7446

Figura 32 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.65214	SU05	489.5736	-2640.0583	1713.66	840	1.30428	1.79762
Top-Right	Leg 1	0.65214	SU05	489.5736	2659.1039	1723.69	840	1.30428	1.79762
Bottom-Left	Leg 1	0.66138	SU05	500.022	-2848.6567	1830.37	840	1.32276	1.79762
Bottom-Right	Leg 1	0.66138	SU05	500.022	2864.7566	1838.84	840	1.32276	1.79762

Figura 33 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS.

Por último, se presenta el detalle de refuerzo y armado del muro:

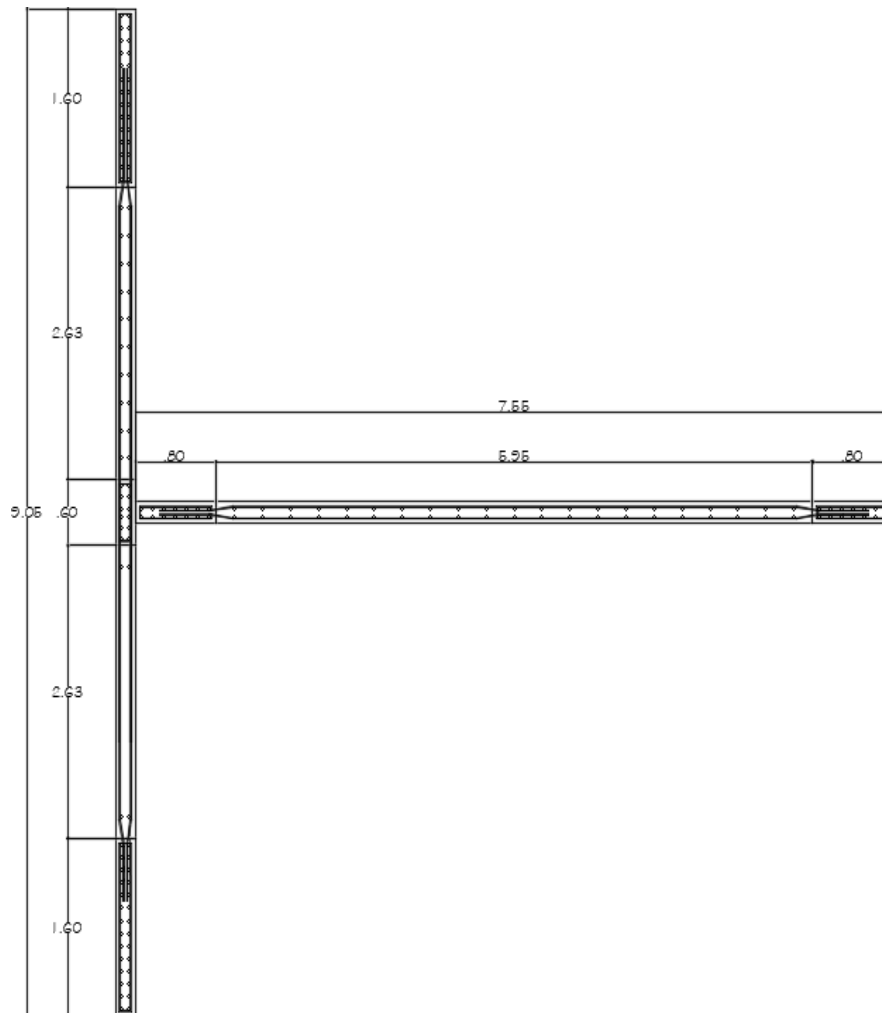


Figura 34 Detalle del refuerzo de los muros, PIER 7A y PIER A. Extraída de ETABS.

7.2 Modelo de muros vinculados diseñados como elementos independientes.

El procedimiento que se muestra a continuación que se refiere al segundo enfoque para proporción de resistencia en el muro seleccionado, es, quizás, el más usado en las oficinas de diseño. Este consiste en modelar los elementos durante la etapa de análisis como secciones compuestas y posteriormente realizar el detalle de refuerzo del muro, o la provisión de resistencia, para cada una de las secciones rectangulares independientes que conforman el elemento. Esta práctica, aunque ágil, se considera inadecuada ya que no mantiene las condiciones y características de los elementos en todas las etapas de diseño.

Para llevarla a cabo, se realiza un procedimiento similar al realizado en primer enfoque, solo que esta vez, las fuerzas son obtenidas del modelo con los muros trabajando como una sección compuesta. La asignación de PIER es la misma a la ya descrita en el primer enfoque y el procedimiento de diseño es el mismo. A continuación, se presentan los resultados obtenidos en ETABS:

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	LLRF
STORY1	A	0	6.23	9.06	0.2	1

Figura 35 Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS.

Station	D/C	Flexural	P _u tonf	M _{u2} tonf-m	M _{u3} tonf-m
Top	0.927	SU11	63.3646	0.9757	-3919.2851
Bottom	0.969	SU11	67.8467	0.0546	-4110.6488

Figura 36 Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	1.97978	SU05	1154.8908	-1729.8604	1269.59	840	2.88578	2.15714
Top-Right	Leg 1	1.97978	SU05	1154.8908	1727.2759	1268.64	840	2.88578	2.15714
Bottom-Left	Leg 1	2.02936	SU05	1185.5052	-1818.0252	1318.71	840	2.93536	2.15714
Bottom-Right	Leg 1	2.02936	SU05	1185.5052	1814.0431	1317.25	840	2.93536	2.15714

Figura 37 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS.

Pier Details

Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	LLRF
STORY1	7A	3.825	6.23	7.65	0.2	1

Figura 38 Detalles de muro a diseñar, PIER 7A. Extraída de ETABS.

Flexural Design for P_u , M_{u2} and M_{u3}

Station	D/C	Flexural	P_u tonf	M_{u2} tonf-m	M_{u3} tonf-m
Top	0.86	SU10	-470.8158	-0.7304	1755.4919
Bottom	0.912	SU10	-480.6538	0.0121	1915.8336

Figura 39 Solicitaciones máximas en elemento, PIER 7A. Extraída de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P_u tonf	M_u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	1.96831	SU05	1108.4299	-1720.8546	1606.61	840	2.73331	1.82143
Top-Right	Leg 1	1.96831	SU05	1108.4299	1765.3918	1629.45	840	2.73331	1.82143
Bottom-Left	Leg 1	2.05208	SU05	1135.7337	-1884.45	1708.32	840	2.81708	1.82143
Bottom-Right	Leg 1	2.05208	SU05	1135.7337	1924.8134	1729.01	840	2.81708	1.82143

Figura 40 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER 7A. Extraída de ETABS.

Por último, al igual que en la etapa anterior se presenta el detalle de refuerzo y armado del muro:

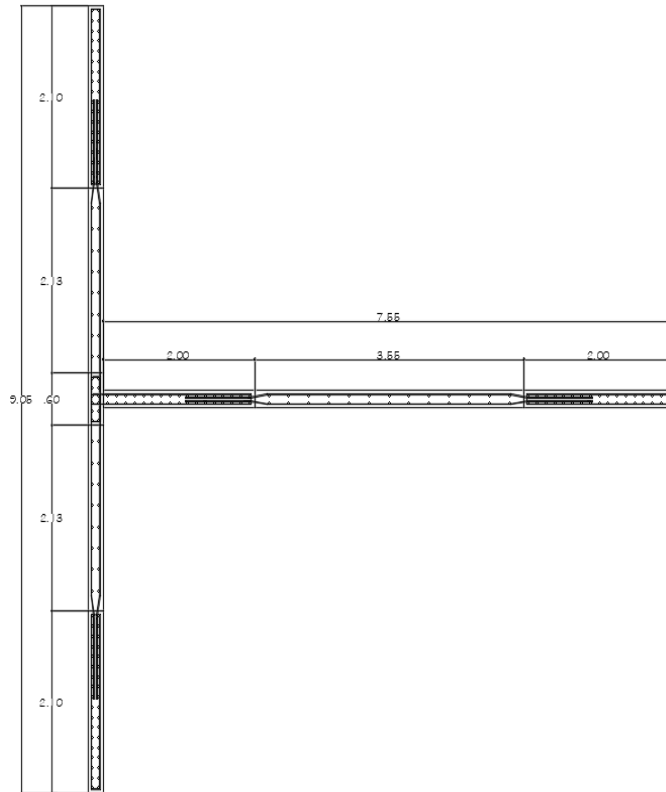


Figura 41 Detalle del refuerzo de los muros, PIER 7A y PIER A. Extraída de ETABS.

7.3 Modelo de muros vinculados diseñados como sección NO rectangular.

El tercer enfoque utilizado, a pesar de ser homólogo a los dos utilizados anteriormente, cuenta con la diferencia que en este se emplea la sección como un todo, es decir, para estimar la capacidad del muro se procede a realizar los cálculos contando con la sección completa en forma de T. Para esto, se asigna un mismo PIER a todo el muro y se procede a repetir el procedimiento iterativo llevado a cabo en los dos enfoques anteriores. A continuación, se presentan los resultados obtenidos:

Pier Details						
Story ID	Pier ID	Centroid X (m)	Centroid Y (m)	Length (m)	Thickness (m)	LLRF
STORY1	A	1.75112	6.23	16.71	0.2	1

Figura 42 Detalles de muro a diseñar, PIER A. Extraída de ETABS.

Flexural Design for P, M₃ and M₂

Station	D/C	Flexural	P _u tonf	M _{u2} tonf-m	M _{u3} tonf-m
Top	0.871	SU10	535.761	4486.5717	-1731.7261
Bottom	0.92	SU10	553.1047	4714.5563	-1818.8852

Figura 43 Solicitaciones máximas en elemento, PIER A. Extraída de ETABS.

Boundary Element Check (ACI 21.9.6.3, 21.9.6.4)

Station Location	ID	Edge Length (m)	Governing Combo	P _u tonf	M _u tonf-m	Stress Comp tonf/m ²	Stress Limit tonf/m ²	C Depth m	C Limit m
Top-Left	Leg 1	0.95681	SU06	647.8916	-3918.1498	1789.57	840	1.86281	2.15714
Top-Right	Leg 1	0.95604	SU06	647.8916	3915.5652	1788.62	840	1.86204	2.15714
Top-Left	Leg 2	1.03504	SU05	1108.4299	-1720.8546	1606.61	840	1.80004	1.82143
Top-Right	Leg 2	1.05072	SU05	1108.4299	1765.3918	1629.45	840	1.81572	1.82143
Bottom-Left	Leg 1	1.03374	SU06	666.4123	-4109.8007	1869.83	840	1.93974	2.15714
Bottom-Right	Leg 1	1.03255	SU06	666.4123	4105.8185	1868.38	840	1.93855	2.15714
Bottom-Left	Leg 2	1.12206	SU05	1135.7337	-1884.45	1708.32	840	1.88706	1.82143
Bottom-Right	Leg 2	1.13627	SU05	1135.7337	1924.8134	1729.01	840	1.90127	1.82143

Figura 44 Resumen de elementos de borde y valores de eje neutro calculados por el software, PIER A. Extraída de ETABS.

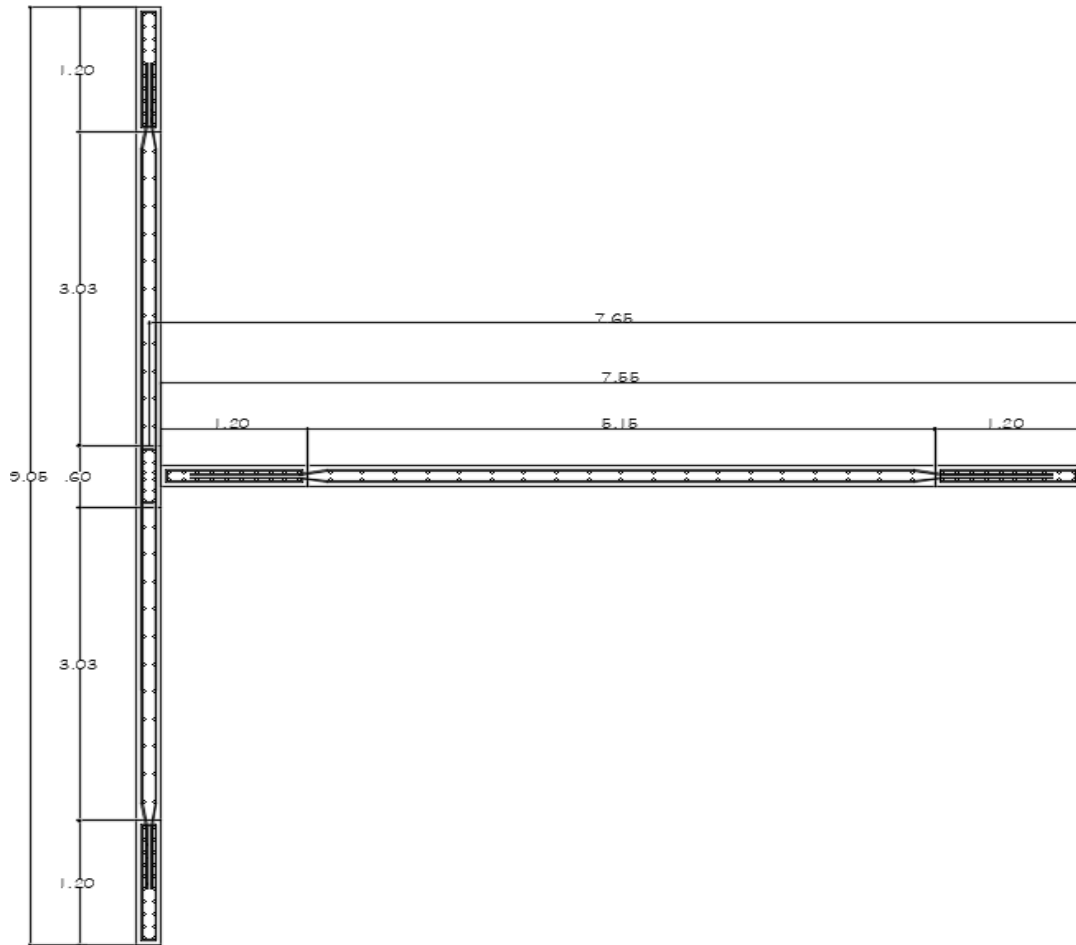


Figura 45 Detalle del refuerzo de los muros, PIER A. Extraída de ETABS.

A continuación, se presenta un cuadro comparativo entre los 3 muros obtenidos:

Tabla 24 Comparativo localización eje neutro. Elaboración propia

Parámetro	Profundidad eje neutro ETABS [m]		Longitud Elemento de borde [m]		Profundidad eje neutro calculada a partir de la fluencia del refuerzo en el alma
	ALMA	ALA	ALMA	ALA	ALMA
Modelo de muros rectangulares	0.70	1.75	0.80	1.60	No Aplica
Modelo muros vinculados diseñados como elementos independientes	2.80	2.93	2.00	2.00	2.05
Modelo de muros vinculados diseñados como sección NO rectangular	1.90	1.90	1.20	1.20	1.30

Como se puede observar, los elementos de borde de mayor longitud se obtienen al realizar el diseño por el procedimiento descrito en el segundo enfoque, es decir, muros modelados como elementos vinculados y diseñados como independientes. Esto se puede atribuir a que en este enfoque los elementos cuentan con la rigidez de una sección compuesta y por lo tanto asumen una cantidad de cortante considerable, pero son diseñados con la capacidad de un elemento rectangular que requiere mucho más refuerzo, zonas de confinamiento y en general un mayor par de fuerzas para llegar a la misma resistencia que tendría la sección al ser considerada como una T.

El hecho que más preocupaba respecto al segundo enfoque, descrito en 7.2, era si, para los resultados obtenidos, el muro contaba con la capacidad de equilibrar en el alma la fuerza asociada a la fluencia del acero de refuerzo a tracción de la aleta. Para este caso en particular, se encuentra que el elemento, a pesar de no contar con un diseño optimizado en cuestión de cuantía longitudinal, sí cuenta con la capacidad de compensar la fluencia el ala del muro a través de la compresión en el elemento de borde detallado. Cabe resaltar que esto no siempre ocurre y depende de las características del elemento.

8 Conclusiones y recomendaciones

Se realizó una revisión bibliográfica de los criterios de diseño para muros no rectangulares de concreto reforzado en Colombia. Se encontró que en términos generales los muros se conciben como elementos de sección compuesta ("T", "L", "C", "I", entre otras), pero se les proporciona resistencia a partir de análisis de fuerzas como elementos (PIERS en ETABS®) independientes.

Se conoció a mayor profundidad el comportamiento y características de los muros estructurales tanto rectangulares como no rectangulares, y gracias a esto fue posible comprender y profundizar en las diferencias en sus comportamientos estructurales.

Este documento investigativo ha permitido tener una comprensión mayor y un análisis más detallado sobre el comportamiento de los muros con sección compuesta, y su importancia en la respuesta sísmica de la edificación caso de estudio, cuyo sistema estructural se basa principalmente en este tipo de elementos. De igual manera, fue posible la realización de una revisión articulada, actualizada y fluida que posibilitó el hallazgo de recientes investigaciones que profundizan en diferentes aspectos y amplían el panorama conceptual de lo que se conoce sobre este tipo de elementos y los criterios de diseño que existen actualmente.

Se compararon magnitudes globales de respuestas sísmicas para una edificación caso estudio, compuesta por muros estructurales, al considerar modelos matemáticos en los que los componentes de muros no rectangulares actúan en forma conjunta o en forma individual (separada). Para el caso estudiado se destaca:

- Al comparar las derivas halladas en los dos modelos realizados, se tiene una diferencia entre el 30% y 77%, siendo las derivas de muros vinculados las de menor magnitud; lo que ha permitido corroborar la importancia de estos en el aporte de rigidez en las edificaciones que cuentan con ellos en su sistema de resistencia sísmica.

Lo anterior, ratifica que al considerar las secciones compuestas se cuenta con una rigidez mucho mayor que permite realizar un control más eficiente de desplazamientos. Dichos resultados se pueden verificar al analizar el ajuste del cortante basal, el cual aumentó cuando se dividieron los muros. Este aumento se debe al incremento en el periodo de la

edificación, generando que se ubique en una zona de períodos mayores que se traducen en menor aceleración y, por ende, mayor ajuste de cortante. Aunque los desplazamientos sufrieron un incremento la respuesta de la estructura en su modo torsional no tuvo mayor variación.

- Se utilizaron 3 enfoques para proporcionar resistencia en un muro seleccionado: (i) muros analizados y diseñados como elementos independientes; (ii) muros analizados como secciones vinculadas y diseñados como elementos independientes; y (iii) muros analizados y diseñados como elementos vinculados. Para el muro analizado se encontró que, cuando se comparan los diferentes enfoques, el (iii) genera un detallado de refuerzo con una menor cuantía longitudinal y menor longitud de elementos de bordes. Esto se puede asociar al hecho de que el muro con secciones vinculadas cuenta con una capacidad a flexión y fuerza axial mayor que los segmentos comparados en forma individual.

De acuerdo a lo anterior, y conociendo esto, es menester enfatizar en la importancia de tener diseños pagados adecuadamente, de modo tal, que los diseñadores puedan estar dispuestos a implementar metodologías, que aunque sean más desgastantes en tiempo, se conserven más fieles a las situaciones reales que se desean construir; sin embargo, aunque los estudios y diseños no se encuentran entre los rubros más costosos para su realización, si suelen estar entre aquellos productos en los que se busca un mayor ahorro de costos por parte de la empresa encargada del proyecto.

Los diseños presentados en este trabajo fueron para muros en “T”; por lo que para tener resultados que permitan un mayor grado de certeza al momento de las conclusiones, se recomienda la exploración de otras tipologías que también son muy comunes en el campo y pueden desencadenar resultados y análisis más detallados y completos. Con base en lo anterior, se deben realizar más investigaciones que profundicen en la importancia de un diseño adecuado de estos muros vinculados conforme a la geometría y comportamiento real de los mismos, teniendo en cuenta que Colombia es un país donde actualmente los edificios de muros se convierten en una solución de vivienda cada vez más recurrente.

Referencias

1. Arteta, C. A. (2017). Mecánica simple de muros delgados con aleta, aspectos a considerar para su diseño en Colombia. Paper presented at the VIII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica, Barranquilla. Disponible en: <http://ceer.co/wp-content/uploads/2020/07/Arteta-2017.pdf>
2. Arteta, C, Blandón, C, Bonett, R y Carrillo J (2018). Estudio del Comportamiento Sísmico de Edificios de Muros Delgados de Concreto Reforzado. Reporte CEER No. 002-2018. CEER – COLOMBIAN EARTHQUAKE ENGINEERING RESEARCH NETWORK: doi: <http://dx.doi.org/10.13140/RG.2.2.17919.97445>
3. Blanco, A, Chang, D y Flores, H. (2015). Conceptos de diseño estructural de muros de concreto armado (placas) en el Perú. Conferencia
4. Comité-ACI-318R. (2019). Requisitos de Reglamento para Concreto Estructural, ACI 318R-19: American Concrete Institute.
5. Comité-AIS-100. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR-10: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
6. Comité-AIS-114-17. (2017). Requisitos esenciales para edificaciones de concreto reforzado de tamaño y altura limitados: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica.
7. Jiménez, J y Palacios, T. (2021). Procedimiento para el diseño de muros de concreto de acuerdo al reglamento NSR-10. [Tesis de pregrado, Universidad Militar Nueva Granada]. <https://repository.unimilitar.edu.co/handle/10654/40017>
8. Morelos, M. (2021). Evaluación del comportamiento de los muros estructurales en L o C, de edificaciones típicas en Colombia, mediante el uso de herramientas de modelado no lineal. [Tesis de pregrado, Universidad EIA]. <https://repository.eia.edu.co/handle/11190/4213>

9. Moehle, J. P. (2014). *Seismic design of Reinforced Concrete Buildings*. New York, NY: McGraw-Hill Professional.
10. Montoya, J. (2018). *Elementos de concreto reforzado II*. Ediciones Unibagué
11. Park, R y Paulay, T. (1983). *Estructuras de concreto reforzado*. Editorial Limusa, Mexico
12. Rochel, R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios*. Fondo editorial Universidad EAFIT, Medellín
13. Silva, M. (2016). *Estudio analítico del efecto del confinamiento y la cuantía de borde en el comportamiento de muros T. Diseño de montaje experimental para el ensayo de éstos*. [Tesis de pregrado. Universidad de Chile]. <https://repositorio.uchile.cl/handle/2250/141762>