

Evaluación Experimental del Comportamiento Biaxial de Muros en Concreto Reforzado

Jordy Leonardo López Peñaloza

Jorge Andrés Moreno Sánchez

Trabajo de Grado para Optar el Título de Ingeniero Civil

Director

Álvaro Viviescas Jaimes

Ingeniero Civil. Ph.D.

Universidad Industrial de Santander

Facultad de Ingenierías Fisicomecánicas

Escuela de Ingeniería Civil

Bucaramanga

2017

Tabla de contenido

Introducción.	14
1. Marco teórico	14
1.1 Tipos de sistemas estructurales.	15
1.1.1 Sistemas aporricados.	15
1.1.2 Sistema dual.	15
1.2 Sistemas tipo túnel.	16
1.3 Muros estructurales.	17
1.3.1 Según su sección transversal.	17
1.3.1.1 Muros planos.	18
1.3.1.2 Muros con elementos extremos.	18
1.3.1.3 Muros con alas.	18
1.3.1.4 Muros quebrados.	18
1.3.2 Según su forma de elevación.	18
1.3.3 Según su comportamiento.	19
1.3.4 Tipos de falla.	20
1.3.4.1 Cedencia del refuerzo.	20
1.3.4.2 Tracción diagonal o compresión diagonal	21
1.3.4.3 Adherencia.	21
1.3.4.4 Fractura del acero.	21
1.3.5 Ventajas y desventajas.	22
1.4 Normativas para el diseño de muros estructurales.	23

1.4.1 NSR-10.	23
1.4.2 ACI 318.	25
1.5 Análisis estructural.	27
1.6 Tipos de análisis estructurales.	27
1.6.1 Análisis estático.	27
1.6.2 Análisis térmico.	27
1.6.3 Análisis dinámico.	27
1.6.4 Análisis no lineal.	28
1.7 Análisis Pushover.	28
1.7.1 Miembros.	28
1.7.2 Modos.	28
1.7.3 Modelado.	29
1.8 Elementos finitos.	29
2. Objetivos del proyecto.	32
3. Método de caracterización geométrica de los muros.	33
3.1 Análisis estadístico.	33
3.2 Resultados del análisis.	40
4. Modelamiento por medio del software MIDAS.	40
4.1 Características del muro a modelar.	42
4.2 Análisis estático no lineal.	43
4.3 Modelo por fibras	44
4.4 Consideraciones.	46

4.5 Modelo	46
4.6 Resultados del análisis.	48
5. Comparación de resultados.	50
5.1 Ensayos.	50
6. Propuesta de ensayo de laboratorio.	54
6.1 Elemento muro.	54
6.1.1 Disposición del elemento muro.	54
6.1.2 Proceso constructivo.	56
6.2 Elementos y maquinaria utilizada en la prueba.	56
6.2.1 Cargas utilizadas.	57
6.3 Comportamiento esperado.	58
7. Conclusiones.	58
Referencias Bibliográficas.	60

Lista de Tablas

Tabla 1. Distribución de muros por planta.	35
Tabla 2. Configuraciones de muros.	36
Tabla 3 Características de muros rectangulares.	36
Tabla 4. Longitud de muros rectangulares aislados con respecto a su espesor	37
Tabla 5. Tabla de frecuencias de longitudes de muros rectangulares con 0.15 [m] de espesor.	38
Tabla 6. Tabla de resumen de alturas de los edificios.	39
Tabla 7. Dimensiones del modelo de en Midas Gen.	42
Tabla 8. Resumen máximos y mínimos de la geometría en ensayos de laboratorio.	51
Tabla 9. Características de muros con relación de aspecto entre 2.3 y 2.4	51
Tabla 10. Fases con sus respectivos desplazamientos y ciclos.	57

Lista de Figuras

Figura 1. Construcción industrializada tipo túnel.	17
Figura 2. Clasificación de los tipos de muros según proyección en planta.	18
Figura 3. Comportamiento de muros.	20
Figura 4. Modos de falla de muros.	21
Figura 5. Falla por inestabilidad lateral.	21
Figura 6. Fallas en los bordes de los muros.	22
Figura 7. Modos de análisis.	29
Figura 8. Formato de tabulación.	34
Figura 9. Muro característico vista frontal y vista en planta.	40
Figura 10. Modelos e histéresis de comportamiento de muros RC.	41
Figura 11. Discretización de una sección en un modelo por fibras.	44
Figura 12 (a). Modelo constitutivo de mander para concreto sin confinar.	45
Figura 12 (b). Modelo constitutivo elasto-plástico para el acero.	45
Figura 13 (a). Sección transversal discretizada por fibras.	45
Figura 13 (b). Detalle de refuerzo en elemento de borde.	45

Figura 14. Modelo del muro con su carga lateral.	47
Figura 15 (a). Estado de fibras a tensión en el paso 37 del análisis.	48
Figura 15 (b). Estado de las fibras a compresión en el paso 37 del análisis.	48
Figura 16. Curva de capacidad.	48
Figura 17. Gráfico Momento vs. Curvatura	49
Figura 18. Desplazamiento del eje neutro vs Carga lateral.	49
Figura 19. Gráfica de dispersión de puntos deriva de fluencia vs longitud de muro.	52
Figura 20. Gráfica de dispersión de puntos deriva última vs longitud de muro.	53
Figura 21. Gráfica de dispersión de puntos de la ductilidad del elemento vs longitud de muro.	54
Figura 22. Imagen de la propuesta	55

Lista de apéndices

APÉNDICE A.	i
Tabla A.1	i
Tabla A.2	i
Tabla A.3	i
APÉNDICE B.	ii
Figura B.1	ii
Figura B.2	ii
Figura B.3	iii
Figura B.4	iii
Figura B.5	iv
Figura B.6	iv
Figura B.7	v
Figura B.8	v
Figura B.9	vi
Figura B.10	vi
Figura B.11	vii
Figura B.12	vii
Figura B.13	viii
Figura B.14	viii
Figura B.15	ix
Figura B.16	ix
Figura B.17	x
Figura B.18	x

Figura B.19	xi
Figura B.20	xi
Figura B.21	xiii
APENDICE C	xiii
Tabla C.1	xiii
Tabla C.2	xvi
Figura C.1	xvii

Nota: Ver apéndices en la carpeta adjunta al CD.

RESUMEN DEL TRABAJO DE GRADO

Título: EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO BIAxIAL DE MUROS EN CONCRETO REFORZADO

Autor: Jordy Leonardo López Peñalosa, jordy.lopez.p@hotmail.com;
Jorge Andrés Moreno Sánchez, orgedresmo1@hotmail.com.

Palabras Claves Caracterización, comparar, geometría, modelo, muros, propuesta, tipo túnel.

Breve reseña del Proyecto:

Debido al comportamiento del sistema estructural tipo túnel ante sismos de grandes magnitudes presentados en países como Chile o Nueva Zelanda, surge la inquietud del grupo "INME" por evaluar el posible comportamiento que tiene este sistema en el ámbito local y así mitigar posibles catástrofes en el futuro. Por lo cual se realiza este proyecto como un estudio preliminar que pueda ayudar al grupo de investigación "INME" en un proyecto mayor. Este documento presenta el muestreo y su respectivo análisis estadístico para la caracterización de los muros estructurales que son representativos del sistema estructural tipo túnel de la ciudad de Bucaramanga con el objetivo evidenciar y generar un modelo con las dimensiones más utilizadas de los muros ya mencionados. A su vez se presenta el procedimiento con el cual en base a la caracterización anterior se modela por el método de fibras un muro representativo en el software MIDAS, en el cual se realiza un análisis estático no lineal (Pushover) donde se busca identificar su comportamiento estructural antes de su falla. También se presentan las conclusiones y comparaciones obtenidas al finalizar el trabajo de modelado del muro junto con una propuesta de laboratorio basada en investigaciones afines para un estudio más detallado del tema en el futuro.

*Trabajo de grado.

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ing. Civil. Director: Alvaro Viviescas, Ing. Civil, Ph. D.

ABSTRACT OF THE UNDERGRADUATE PROJECT

Title	EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL COMPORTAMIENTO BIAxIAL DE MUROS EN CONCRETO REFORZADO
Autor	Jordy Leonardo López Peñalosa, jordy.lopez.p@hotmail.com; Jorge Andrés Moreno Sánchez, orgedresmo1@hotmail.com.
Palabras Claves	Characterization, comparison, geometry, model, walls, approach, tunnel type.

Project brief:

Due to the behavior of the tunnel type structural systems to earthquakes of great magnitudes presented in countries like Chile or New Zealand, the concern of the "INME" group arises to evaluate the possible behavior that this system has in the local ambit and so, mitigate the possible catastrophes in the future. Whereby this project is going to be done as a preliminary study that can help the "INME" group in a major project. This document presents the sampling and its respective statistical analysis for the characterization of the structural walls that are representative of the tunnel type structural system of the city of Bucaramanga, with the objective of showing evidence and generate a model with the most used dimensions of the already mentioned walls. At the same time there is presented the procedure in which the base of the previous characterization is modelled by the fiber method using a representative wall in the MIDAS © software, in which and nonlinear static analysis (pushover) is performed where it is sought to identify its structural behavior before the failure. Conclusions and comparisons are presented, obtained at the end of the modelling of the wall together with the laboratory experimentation approach based in related investigations for a detailed study of the subject in the future.

*Bachelor Thesis.

**Facultad de ingenierías Físico-Mecánicas. Escuela de Ing. Civil. Director: Alvaro Viviescas, Ing. Civil, Ph. D.

Introducción

A través de los años se ha visto la necesidad de aumentar la cantidad edificaciones con el propósito de mejorar la producción en viviendas debido al crecimiento desmesurado de la población, para esto se han buscado mejoras en los procesos constructivos mediante la investigación tanto de las estructuras y modelos actuales como de los nuevos sistemas constructivos. A su vez se han realizado investigaciones correspondientes a las normativas para analizar los comportamientos, diseños y modelamientos de las estructuras, para así determinar mejoramientos y conclusiones de las mismas investigaciones.

El interés del grupo de investigación INME de la Universidad Industrial de Santander apoya a la investigación y realización de este proyecto, con el objetivo de determinar las respuestas estructurales de los muros delgados de concreto reforzado que son utilizados en estructuras tipo túnel en la ciudad de Bucaramanga cuando se encuentran ante cargas en su plano. Esto será apoyado con la realización de una caracterización de las edificaciones tipo túnel para su posterior uso en un modelamiento aplicado en el software MIDAS.

1 Marco teórico.

En el ámbito de la construcción las edificaciones se dividen entre estructuras de hormigón armado y las estructuras metálicas. Las estructuras metálicas se utilizan básicamente para el sector industrial y algunas veces para edificios públicos, se puede utilizar en diseños en los que se pueden

hacer cambios. Estas estructuras tienen grande resistencia debido al material utilizado, además de esto es dúctil y homogéneo; pero pueden sufrir corrosión, pandeo y puede sufrir cambios cuando está sometido a grandes cantidades de calor. Estas estructuras tienen facilidad de montaje y sus vigas pueden tener una luz grande. Son una buena opción de construcción, pero está limitada por el costo de los mismos materiales que se van a utilizar en la estructura.

1.1. Tipos de sistemas estructurales:

Las estructuras de hormigón armado son utilizadas por su gran versatilidad constructiva, y entre estas estructuras se pueden observar sistemas constructivos como son los sistemas aporticados, sistemas duales, sistemas combinados y sistemas tipo túnel.

1.1.1. Sistemas aporticados: Los sistemas aporticados están conformados por vigas y columnas que se unen en zonas de confinamiento de una forma lenta debido a su humedad; este sistema tiene por característica su ductilidad que permite un comportamiento clave en los movimientos sísmicos, y su versatilidad pues permite ejecutar modificaciones en el interior de las viviendas pues los muros no soportan peso y se pueden mover a donde se desee.

1.1.2. Sistema dual: El sistema dual se caracteriza porque es empleado para resistir las fuerzas laterales tomando el sistema resistente al momento flector y combinándolo con una pared de arrostramiento, los muros normalmente se localizan en los ductos de los ascensores, escaleras o en lugares donde no afecten la arquitectura; a su vez, el sistema combinado es un sistema parecido al

dual en el que tanto el pórtico y el muro estructural resiste las cargas verticales y horizontales. Este sistema es utilizado en grandes rascacielos donde los muros pueden soportar las cargas de vientos y sismos. En este caso el pórtico y los muros se complementan directamente.

1.2. Sistemas tipo túnel.

El sistema tipo túnel es una técnica de construcción industrializada en la que los muros estructurales y las losas son construidas in-situ utilizando refuerzos tanto verticales como horizontales dispuestos en ángulos correctos. Estos sistemas generalmente tienen una configuración simétrica en planos horizontales y verticales que permiten un flujo de construcción continua y permiten una mejor garantía de calidad.

El sistema tipo túnel es generalmente utilizado en lugares donde se localice una alta sismicidad, Se ha comenzado a utilizar ampliamente en países como Perú, Venezuela, Colombia, Chile y Nueva Zelanda con la necesidad y ha dado excelentes resultados resistiendo estos eventos. Este sistema está conformado por muros de corte, los cuales poseen una gran resistencia y rigidez ante movimientos laterales, y a su vez son relativamente sencillos y rápidos de fabricar en el proceso constructivo. “Las construcciones tipo túnel proveen un desempeño sísmico superior comparado con los sistemas convencionales aporticados y duales en concreto reforzado, los cuales sufrieron un daño significativo y un total colapso en muchas regiones durante los devastadores terremotos en Turquía (1999: Mw 7.4 Kocaeli, Mw 7.2 Duzce; y 2004: Mw 6.5 Bingol). Como resultado, los desempeños superiores de las construcciones tipo túnel conllevaron a un amplio uso de este sistema constructivo para proyectos de rehabilitación.” (Kalkan, 2007).

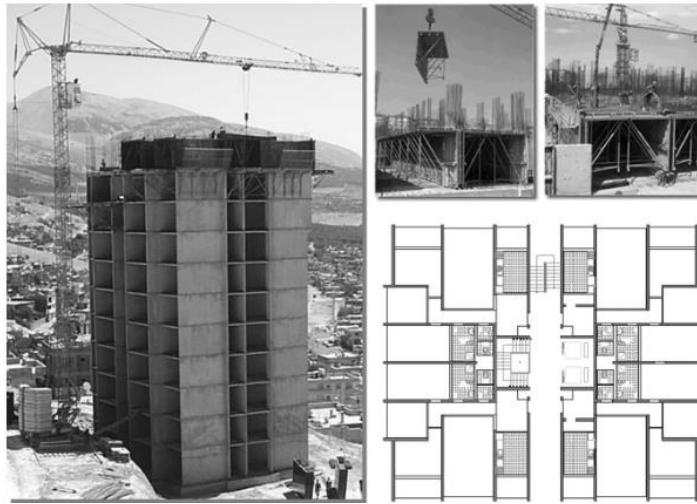


Figura 1. Construcción industrializada tipo túnel. Adaptado de Kalkan (2007).

1.3. Muros estructurales.

Los muros estructurales pueden ser portantes, es decir que soportan cargas verticales y/u horizontales, no portantes los cuales resisten su propio peso y cargas horizontales, y estructurales que son aquellos que reciben las cargas horizontales paralelas a la cara del muro; además poseen refuerzos longitudinales, verticales y horizontales, que resisten deslizamientos por cortes y cargas axiales. Todos estos muros tienen la característica de tener un espesor muy corto comparado con el resto de sus dimensiones, y se pueden clasificar según su forma de la sección transversal, forma en elevación, comportamiento y fallas

1.3.1. Según su sección transversal: Según sección transversal se toma en cuenta sus elementos extremos utilizados para el anclaje de las vigas transversales:

1.3.1.1. Muros planos: Son muros que no cambian de dirección si son vistos desde la proyección de planta.

1.3.1.2. Muros con elementos extremos: Son los muros que tienen una sección transversal más amplia o grande en sus extremos, esto con la intención de obtener una mejor unión con los elementos de borde.

1.3.1.3. Muros con alas: Su característica principal es que son muros que lucen como si estuviesen unidos con otros muros en ángulos de 90 grados, ejemplos pueden ser en forma de T, I y C.

1.3.1.4. Muros quebrados: Estos muros tienen diferentes direcciones y bifurcaciones diferentes a 90 grados vistos desde la proyección de planta.



Figura 2. Clasificación de los tipos de muros según proyección en planta. Adaptado de Briceño y Carreras (2013).

1.3.2. Según forma de elevación: Según su forma de elevación se clasifican como muros estructurales con aberturas o sin aberturas, los primeros trabajan como viga-columna tomando en cuenta la esbeltez del muro: siendo esbelto con una relación de esbeltez mayor a dos (2) y siendo robusto con una relación de esbeltez menor o igual a dos (2). Pueden ser llamados muros bajos cuando la relación de esbeltez es menor a dos (2), muros intermedios cuando la relación está entre dos (2) y cinco (5), y altos cuando la relación de esbeltez es mayor a cinco (5). (Fratelli, 1999):

- Muros bajos: $\frac{H}{L} < 2$

- Muros intermedios: $2 \leq \frac{H}{L} < 5$
- Muros altos: $\frac{H}{L} \geq 5$

Donde H es la altura y L es la longitud de los muros.

los muros con aberturas pueden poseer aberturas alternadas o regulares, cambiando con ellas las características de comportamiento sísmico de los muros, es probable que las aberturas alternadas requieran de refuerzos diagonales para aumentar la resistencia a compresión y a tensión de los mismos.

1.3.3. Según comportamiento: Respecto al comportamiento, estos se dividen en muros de cortante en los que el corte controla el comportamiento de la estructura, de flexión predominante y dúctiles, los cuales poseen una excepcional disipación de energía proveniente de cargas cíclicas, poseen este comportamiento debido a que la estructura es diseñada para que sea gobernada por la cedencia del acero a flexión, los cuales se localizan en puntos detallados para que ocurra rotura plástica. (Briceño & Carreras, 2013). Es importante que ante sismos se utilicen muros dúctiles pues son estos los que trabajan de forma óptima ante deformaciones inelásticas.

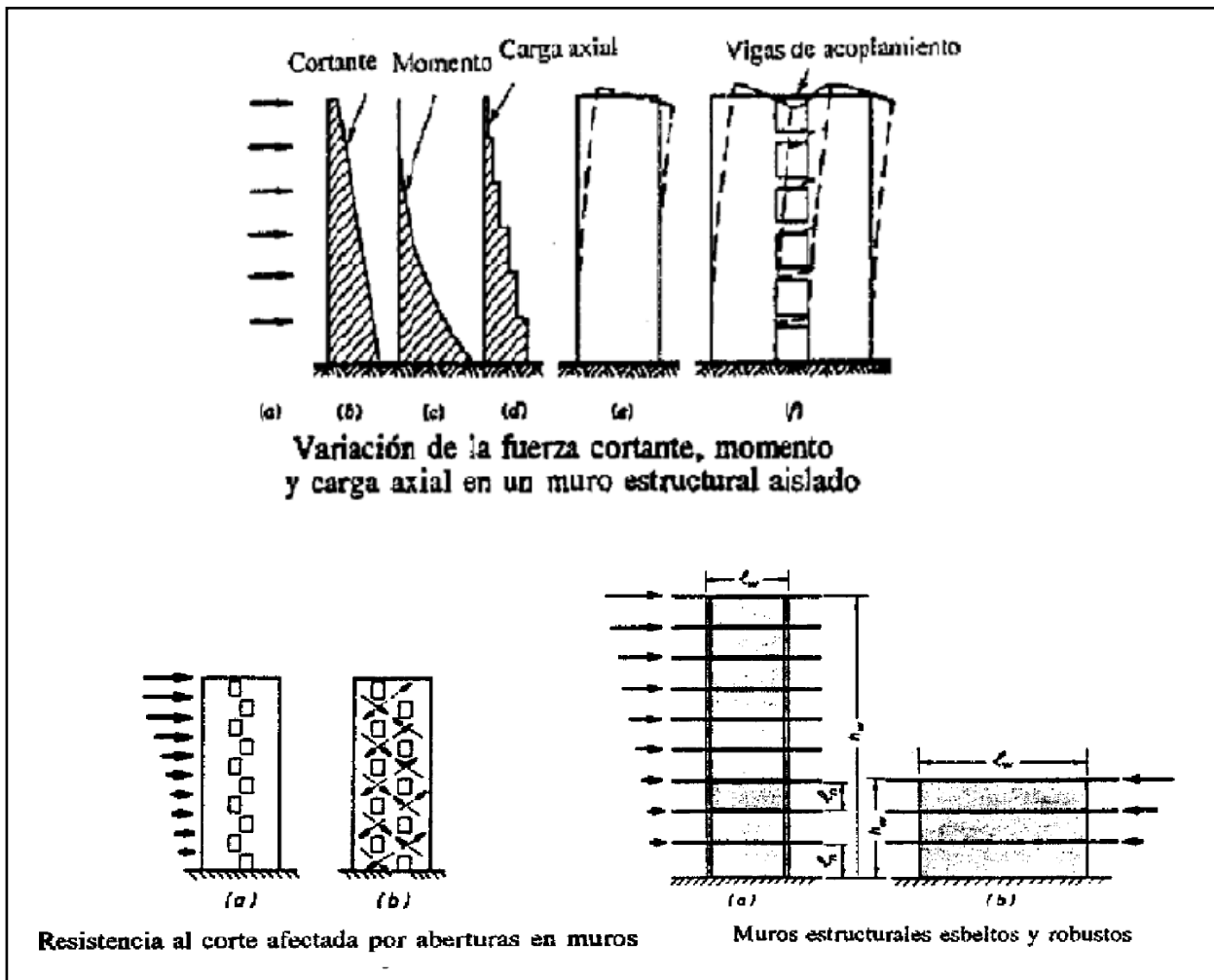


Figura 3. Comportamientos de muros. Adaptado de Briceño y Carreras (2013).

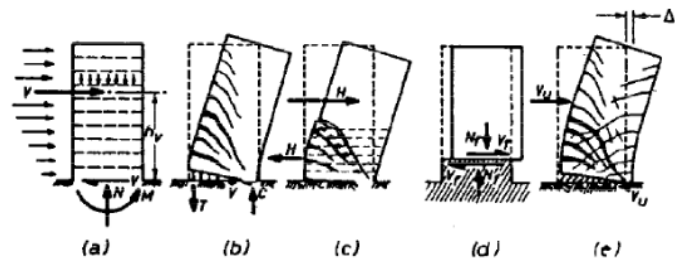
1.3.4. Tipos de falla: Cuando estos muros fallan, la mayoría de veces suele suceder en la base del muro de diferentes formas:

1.3.4.1. Cedencia del refuerzo: Sucede cuando hay flexión que excede el límite de resistencia en las regiones de articulación plástica. En donde el refuerzo es el elemento que pierde su resistencia y falla.

1.3.4.2. Tracción diagonal o compresión diagonal: Estos ocurren cuando las juntas de construcción fallan por cortante. En este aparecen fisuras de formas diagonales, en los cuales el concreto pierde su capacidad homogénea.

1.3.4.3. Adherencia: Ocurren cuando los empalmes y anclajes del muro fallan por causa de cortante. En estos casos las barras se pueden presentar deslizamientos y por esto pueden perder toda su eficacia en cuando a resistencia.

1.3.4.4. Fractura del acero: Ocurren tanto con el acero a flexión como con el acero de cortante, pueden ser ocasionados por la inestabilidad del alma del muro o por grandes cargas que exceden la capacidad de los refuerzos.



Modos de falla de muros en voladizos

Figura 4. Modos de falla de muros. Adaptado de Briceño y Carreras (2013).



Wall lateral instability.

Figura 5. Falla por inestabilidad lateral. Adaptado de Wallace (2012).

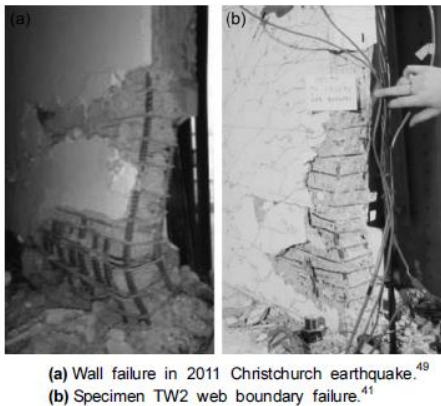


Figura 6. Fallas en los bordes de los muros. Adaptado de Wallace (2012).

1.3.5. Ventajas y desventajas: Los muros estructurales ofrecen amplias resistencias en cuanto a cortante, flexión y aceleraciones sísmicas, estos poseen una mayor rigidez que los marcos de concreto reforzado y a su vez estos muros poseen una mayor ductilidad por lo cual son mayormente utilizados en zonas de alta sismicidad. La desventaja más importante de estos muros son sus problemas a la hora de ver el confinamiento de las barras de acero en los extremos de los muros, puesto que en estos lugares se unen grandes cantidades de barras y pueden ocasionar problemas cuando se presenta la vibración del concreto en estas zonas. (Briceño Z. & Carreras G., 2013).

Según Kalkán (2008) el espesor de los muros en los sistemas tipo túnel es mucho más delgado que las columnas en los sistemas de construcción aporticadas, además tienen un espacio muy limitado para la colocación de refuerzos a cortante por lo que en este sistema se deben evitar zonas con alta concentración de cortante. En las edificaciones tipo túnel se ven mucho las fuerzas pares de tensión-compresión debido a las interacciones entre los muros del mismo, además los muros que son colocados paralelamente que pasan por el centroide no aportan mucho a la resistencia al

momento, pero en sí el sistema tipo túnel globalmente tiene una capacidad alta de resistencia sísmica.

Kalkán (2008) también afirma que la capacidad de resistencia a tensión es mucho mayor en túnel que en aporticada, pero que es necesario colocar suficiente acero en el muro para no generar una fractura frágil, por esto si se le añade un porcentaje muy pequeño de acero extra en los bordes del muro se puede lograr una mejora en la capacidad de resistencia al momento de la sección.

1.4. Normativas para el diseño de muros estructurales.

1.4.1. NSR-10: El reglamento colombiano de construcción sismo resistente aporta normas para el diseño de muros en las cuales estipula los siguientes ítems:

1.4.1.1. El recubrimiento debe ser mayor a 40 [mm] en muros de concreto construido en sitio no pre esforzado, y mayor a 20 [mm] en muros de concreto construido en sitio pre esforzados. (C.14.7.7, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.2. Los espesores de los muros de carga diseñados por el método empírico deben ser mayores a 1/25 de la altura o mayores a 100 [mm] (C.14.5.3.1, NSR-10 Capítulo C). Esta normativa no aplica si los muros se encuentran sometidos a cargas axiales o combinaciones de carga axial y flexión. (C.14.4, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.3. Las barras de refuerzo deben estar confinadas por medio de estribos transversales de $\frac{1}{4}$ " ó 6 [mm] cuando las columnas soportan uno o dos pisos. (C.7.10.5, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.4. Los refuerzos de cuantía mínima para el refuerzo vertical son de: 0.00152 para barras corrugadas no mayores que No. 5 o 16M y con f_y no menos que 420 [MPa]; 0.0015 para otras barras corrugadas; o 0.0012 para refuerzo electro soldado de alambre liso no mayor que 16 [mm] de diámetro. (C.14.3.2 (a), (b), (c), NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.5. La cuantía mínima para refuerzo horizontal es de 0.0020 para barras corrugadas para barras no mayores que No. 5 o 16M y con f_y no menos que 420 [MPa]; 0.0025 para otras barras corrugadas; o 0.0020 para refuerzo electro soldado de alambre liso no mayor que 16 [mm] de diámetro. (C.14.3.3 (a), (b), (c), NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.6. El módulo de elasticidad E_c para el concreto se toma como $4700 \sqrt{f'_c}$ (MPa) u el módulo de elasticidad E_s del acero se toma como 200000 [MPa]. (C.8.5, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.7. La resistencia especificada a la compresión del concreto, f'_c , no debe ser menor que 21[MPa] (C.21.1.4.2, NSR-10 Capítulo C). La máxima resistencia especificada a la compresión del concreto se limita a 35 [MPa]. (CR21.1.4, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.8. Los elementos de borde deben colocarse cuando el esfuerzo de compresión máximo de la fibra extrema correspondiente a las fuerzas mayoradas incluyendo los efectos sísmicos E , sobrepasen $0,3f'_c$, y pueden ser discontinuados donde el esfuerzo de compresión calculado sea menor que $0,22f'_c$. (CR21.4.4.2, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.9. El diseño de fuerzas cortantes debe hacerse de la siguiente manera: (C.11.9, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.10. El diseño de la sección horizontal V_n no debe tomarse mayor que $0,83\sqrt{f'_c}hd$; o en muros estructurales especiales se debe tomar $V_n = A_{cv}(\alpha_c\lambda\sqrt{f'_c} + \rho_t f_y)$. (C.21.9.4.1, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.11. El valor de V_c debe ser menor que los siguientes tres valores:

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}hd \quad V_c = \frac{1}{4}\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad V_c = \left[\frac{1}{5}\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(\sqrt{f'_c} + 2\frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u}{V_u} - \frac{l_w}{2}} \right] \frac{hd}{10}$$

1.4.1.12. El valor de V_s se debe calcular por medio de $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$

1.4.1.13. El espaciamiento de refuerzo por cortantes no debe exceder el menor de $l_w/3$, $3h$ ó 450 [mm], donde l_w es la longitud total del muro.

1.4.1.14. En pilas de muros que son efectivamente continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior del muro deben ser reforzados con elementos de borde especiales en los que se cumpla que la profundidad del eje neutro c sea $c \geq \frac{l_w}{600 \left(\frac{\delta_u}{h_w} \right)}$, y este debe extenderse verticalmente a una distancia no menor que la mayor entre l_w ó $M_u/4V_u$. (C.21.9.6.2, NSR-10 Capítulo C).

1.4.1.15. Si no se requieren elementos especiales de borde se debe cumplir que el espaciamiento longitudinal máximo del refuerzo transversal sea menos a 200 [mm] cuando la cuantía del refuerzo longitudinal sea mayor a $2.8/f_y$; y se debe cumplir que exista un gancho estándar que enganche el refuerzo de borde. (C.21.9.6.5, NSR-10 Capítulo C).

1.4.2. ACI-318: La ACI realiza algunas aportaciones para la construcción de muros estructurales, permitiendo primeramente diseñar los muros utilizando los principios para el diseño de columnas y también por el método empírico. Las ecuaciones presentes son similares o iguales a las estipuladas por la NSR-10.

1.4.2.1. Los cortantes de diseño V_c deben ser menores a las ecuaciones:

$$V_c = \frac{1}{6}\sqrt{f'_c}hd \quad V_c = \frac{1}{4}\sqrt{f'_c}hd + \frac{N_u d}{4l_w} \quad V_c = \left[\frac{1}{5}\sqrt{f'_c} + \frac{l_w \left(\sqrt{f'_c} + 2\frac{N_u}{l_w h} \right)}{\frac{M_u - l_w}{V_u} \frac{l_w}{2}} \right] \frac{hd}{10} \quad (11.10.5, \quad 11.10.6,$$

ACI-318).

1.4.2.2. El cortante V_s debe ser calculado con: $V_s = \frac{A_v f_y d}{s}$ (11.10.9, ACI-318).

1.4.2.3. La cuantía de refuerzo vertical para cortante ρ_l no debe ser menor de:

$$\rho_l = 0.0025 + 0.5 \left(2.5 - \frac{h_w}{l_w} \right) (\rho_t - 0.0025) \quad (11.10.9, \text{ACI-318}).$$

1.4.2.4. El método empírico de diseño permite que la resistencia axial de diseño se calcule de acuerdo con: $\phi P_n = 0.55 \phi f'_c A_g \left[1 - \left(\frac{k l_c}{32h} \right)^2 \right]$ (14.5, ACI-318).

1.4.2.5. Para muros no portantes el espesor no debe ser menor a 100 [mm] ni menor de 1/30 de la distancia mínima entre elementos que le proporcionen apoyo lateral. (14.6, ACI-318).

1.4.2.6. Un diseño alternativo para muros esbeltos propone que el panel de muro se debe diseñar como un elemento simplemente apoyado cargado axialmente y sometido a una carga lateral uniforme fuera del plano, con momentos y deflexiones máximas a media altura. (14.8.2.1, ACI-318). Si el muro está controlado por flexión se considera que satisfacen los diseños con el efecto de esbeltez en elementos a compresión. (14.8.1, ACI-318).

1.4.2.7. Se propone una tolerancia para la distancia d y el recubrimiento de los muros, la separación del refuerzo principal por flexión no mayor a 450 [mm], recubrimiento del refuerzo de más o menos 50 [mm].

1.5. Análisis estructural:

El análisis estructural es un proceso en el cual una estructura puede ser separada en sus elementos de un edificio u objeto para determinar los efectos de las cargas y las fuerzas que actúan tanto interior como exteriormente en una estructura. En general en cada análisis se utilizará la geometría, los materiales y las cargas aplicadas en cada elemento.

El objetivo del análisis estructural es determinar un probable comportamiento bajo la cual estará trabajando una estructura, la cual deberá tener una respuesta ante estas cargas, que pueden ser gravitatorias, térmicas, reológicas o de terreno. También pueden existir cargas actuantes tales como las vibraciones, vientos, sismos, impactos y ondas, las cuales son acciones de tipo dinámico y también tiene que ser tenidas en cuenta a la hora de realizar los análisis, pues esta ejerce tanto efectos locales como globales en toda la estructura.

1.6. Tipos de análisis estructural:

1.6.1. Análisis estático: Su principal característica es que las cargas que actúan en este tipo de análisis no son dependientes del tiempo, por lo cual pueden ser tomados como una constante a lo largo del mismo.

1.6.2. Análisis térmico: En este caso los fenómenos de transferencia de calor, radiación, etc. son los que realizan un cambio en los efectos tensionales y en las deformaciones de las estructuras

1.6.3. Análisis dinámico: Su principal característica radica en que las cargas que actúan pueden cambiar a través del tiempo, resultando así respuestas diferentes de las estructuras como lo son los movimientos armónicos, por ejemplo.

1.6.4. Análisis no lineal: En este caso prima la no linealidad geométrica de las estructuras, tales como topes, rozamientos o grandes deformaciones, debido al comportamiento inelástico de la estructura.

1.7. Análisis Pushover

El análisis pushover es una técnica que incorpora las características no lineales de los materiales, es una alternativa práctica para encontrar la respuesta sísmica de la estructura y la curva de capacidad de carga de las estructuras bajo demandas físicas, observando además las secuencias de agrietamiento, rótulas plásticas y fallas estructurales.

Esta “consiste en llevar al colapso la estructura diseñada mediante la aplicación de un patrón de cargas laterales incrementales y bajo cargas gravitacionales constantes, que se aplican en la misma dirección hasta que la estructura colapse o hasta cierto valor de carga. Con esta técnica es posible evaluar el desempeño esperado de la estructura por medio de la estimación de fuerzas y demanda de deformaciones en el diseño sísmico” (Guevara et al, 2006).

Para poder utilizar el análisis pushover es necesario conocer sus limitaciones:

1.7.1. Miembros: que hay que minimizar el número de miembros y componentes a modelar, colocando principalmente los miembros y componentes críticos; deben ser los suficientes para capturar los modos de comportamiento importantes.

1.7.2. Modos: Se debe identificar los modos probables de cedencia y los modos probables de falla, pues es importante modelar lo que sea más probable a ocurrir en la estructura.

1.7.3. Modelado:

- Debe ser simple y riguroso para que el modelo no se empuje más allá de la falla (a menos que se pueda modelar).
- Si la torsión es despreciable se pueden utilizar modelos en 2D; se requieren diferentes planos de empuje en caso de usar modelos 3D.
- Debe ser proyectado para que sea posible su “empuje”.
- Deben utilizarse subestructuras para mantener el modelo simple, a su vez un miembro puede ser representativo para miembros similares.
- Las cargas gravitacionales no deben ser ignoradas en este modelo.

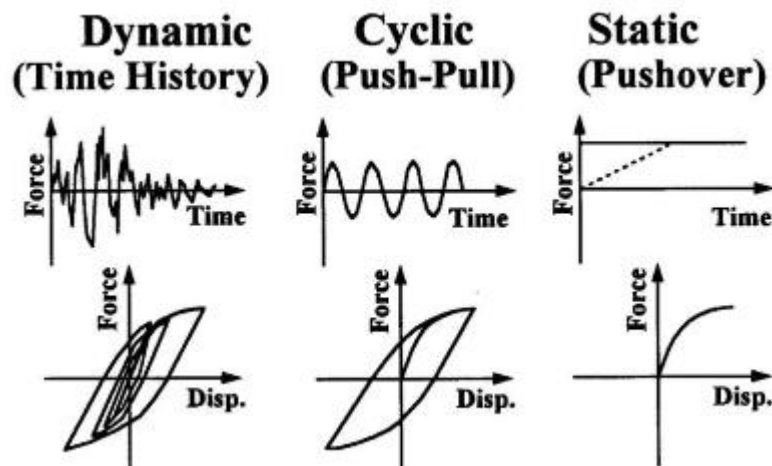


Figura 7. Modos de análisis. Adaptado de Gutierrez (2015).

1.8. Elementos finitos.

Normalmente algunas estructuras no pueden ser modelizables únicamente con elementos simples lineales, por lo que es necesario realizar una discretización de los elementos presente en la

estructura. Normalmente al realizar la discretización de los elementos es necesario realizar planteamientos matemáticos complejos para que se mantenga la igualdad entre lo que es el modelo discretizado y la estructura.

El método de los elementos finitos es un procedimiento de discretización en el que se divide la estructura en elementos que poseen sus fuerzas y desplazamientos con base en las ecuaciones que las determinan; es un método aproximado para el análisis estructural que permite trabajar en una menor escala en los que una red de nudos del modelo que confluyen para generar un comportamiento global en el sistema.

Estos modelos normalmente son difíciles de realizar pues requieren tiempo para poder ser ejecutados óptimamente puesto que, al finalizar la estructura, esta será conformada por muchas matrices de entradas, haciéndola casi imposible de calcular por otro modelo que no sea de software computacional. (Cubillos, 2007).

Este modelamiento requiere de unos pasos para el análisis de los elementos finitos:

1.8.1. Discretización o modelado de la estructura: Con ayuda de un preprocesador se realiza una división de la estructura finita de elementos. Este paso es importante pues en este momento se determina la cantidad de elementos finitos en cierta área o volumen.

1.8.2. Definir propiedades del elemento.

1.8.3. Ensamblar las matrices de rigidez de los elementos: Consiste en coeficientes derivados del equilibrio, residuos ponderados o métodos de energía. Esta se refiere a los desplazamientos nodales y requieren el equilibrio de la estructura.

1.8.4. Aplicación de cargas: Se colocan las fuerzas externas a la estructura, ya sean concentradas, uniformes o momentos.

1.8.5. Definir condiciones de frontera: Si se conoce el desplazamiento de ciertos nodos es necesario definir las condiciones de apoyo de los mismos para lograr conocer su reacción.

1.8.6. Solucionar el sistema de ecuaciones algebraicas: En este paso se conocerán los desplazamientos de los nodos que hasta ahora permanecían como desconocidos.

1.8.7. Calcular los esfuerzos: Conociendo los desplazamientos es posible calcular tanto esfuerzos como reacciones y deformaciones en la estructura. Esto se puede observar de forma gráfica con ayuda del post-procesador.

2. Objetivos del proyecto.

2.1. Objetivo general:

Caracterizar la respuesta estructural de muros esbeltos en concreto reforzado ante cargas en su plano.

2.2. Objetivos específicos:

- Caracterizar la geometría de muros esbeltos utilizados en edificaciones en altura tipo túnel en Bucaramanga.
- Modelar por medio del software de elementos finitos MIDAS, el comportamiento estructural de muros esbeltos rectangulares ante cargas en su plano (compresión y corte) representativas de edificaciones tipo túnel en Bucaramanga.
- Comparar los datos obtenidos en el modelo numérico con los resultados presentados en estudios realizados en otros países.
- Elaborar la propuesta de ensayo para su puesta en laboratorio con diferentes configuraciones de muros.

3. Método de caracterización geométrica de los muros.

Para comenzar con el análisis de los muros del sistema estructural tipo túnel de Bucaramanga, es necesario recopilar información de sus características geométricas y de diseño; en este caso se recopila la información por medio de planos tanto digitales como físicos aportados por curadurías e ingenieros involucrados en el proyecto, obteniendo de esta forma un total de siete proyectos con una cantidad de mil doscientos cinco muros (1205) de concreto reforzado para su análisis.

3.1. Análisis estadístico.

Para este ítem se realizaron cartas en las que se solicitó información acerca de diez diferentes proyectos identificados como sistema tipo túnel, las cuales fueron enviadas al archivo de la Alcaldía Municipal de Bucaramanga, a la Curaduría No. 1 y Curaduría No. 2. Por medio de estas cartas se obtuvieron los planos arquitectónicos de cuatro proyectos; a su vez se recibieron tres proyectos adicionales otorgados por un ingeniero interesado en el proyecto, para un total de siete proyectos de edificaciones de sistema tipo túnel en formato físico y/o digital. Se debe tener en cuenta que esta cantidad de proyectos no es una muestra representativa de la ciudad, pero debido al tiempo de ejecución del proyecto y en conjunto con el director del mismo y el grupo de investigación INME, se decide continuar con el proyecto para tomarlo como una base para el inicio de la investigación. Por ende, se considera un comienzo con el cual se puede desarrollar el análisis respectivo.

Para la toma y tabulación de datos se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- En los planos físicos se considera como medidas reales las acotadas en los planos arquitectónicos.
- Todos los muros tabulados pertenecen al nivel NE0 +00 de cada edificio.
- Se supone un sistema de coordenadas (X, Y) donde el eje X se posiciona sobre la longitud más larga del edificio en planta y el eje Y perpendicular a este.
- Para mantener los proyectos en el anonimato se denominaron como P1, P2, P3, P4, P5, P6 y P7.
- No se consideran las irregularidades en altura de los niveles superiores a la primera planta.

De estos planos se recopiló la información sobre la configuración en planta, la longitud, el espesor, la altura y el refuerzo de cada muro. Además, se recopiló información general de los edificios como su altura total, su área en planta, el número de pisos y el espesor de placas; esto quiere decir que la información se dividió en muros y edificios. Con el propósito de organizar los datos de los muros para su análisis; estos se tabularon con el formato que se presenta en la Fig 7.



UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER		ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL					 	
PROYECTO:	NOMBRE DEL PROYECTO (P#)							
CONTIENE:	CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES A TENER EN CUENTA						TORRE:	NÚMERO DE TORRE
ID	Cantidad	Configuración	tw [m]	Lx [m]	Ly [m]	Aunidad [m ²]	A _{tot} X [m ²]	A _{tot} Y [m ²]
Identificación	Número de muros tipo	Vista en planta	Espesor	longitud sobre el eje X	longitud sobre el eje Y	Área por muro		

Figura 8. Formato de tabulación.

Con estos elementos se procede a realizar un análisis estadístico descriptivo en el que se obtienen modas, medias, varianzas, dispersiones de las características de muros y edificios. Este análisis se hace por separado para cada una de las diferentes configuraciones en planta que se observan en los planos.

Teniendo en cuenta la información obtenida en los planos, se realizó la Tabla 1, en la que se muestra, área de piso, área total de muros por piso, densidad de muros, y densidad de muros total; esto con el propósito de relacionar como se distribuyen de manera general las diferentes disposiciones de muros de cada edificio. Con estos resultados se observa una tendencia en la disminución del porcentaje de muros total por piso en cuanto aumenta el área del piso en las construcciones de Bucaramanga.

Tabla 1.

Distribución de muros por planta.

ID	# Pisos	Altura total de pisos [m]	Área en planta [m ²]	Área de muros (X/Y) [m ²]		Área total de muros / piso [m ²]	Densidad de muros (X/Y) [%]		Densidad de muros total [%]
				x	y		x	y	
P1, T1	21	52,27	324,68	6,294	15,338	21,632	1,94%	4,72%	6,66%
P1, T2	21	52,27	324,68	6,294	15,338	21,632	1,94%	4,72%	6,66%
P1, T3	21	52,27	324,68	6,294	15,338	21,632	1,94%	4,72%	6,66%
P2, T1	17	43,65	355,82	5,658	16,600	22,258	1,59%	4,67%	6,26%
P2, T2	18	46,10	372,40	7,655	17,463	25,118	2,06%	4,69%	6,74%
P3, T1	20	51,80	807,24	9,210	33,740	42,950	1,14%	4,18%	5,32%
P3, T2	20	51,80	807,24	9,210	33,740	42,950	1,14%	4,18%	5,32%
P4, T1	17	46,99	670,87	7,120	27,774	34,894	1,06%	4,14%	5,20%
P4, T2	17	46,99	790,60	7,935	36,788	44,723	1,00%	4,65%	5,66%
P5, T1	12	28,60	434,70	8,455	15,958	24,413	1,95%	3,67%	5,62%
P5, T2	12	28,60	503,99	12,159	17,949	30,108	2,41%	3,56%	5,97%
P5, T3	12	28,60	469,34	10,300	16,343	26,643	2,19%	3,48%	5,68%
P6, T1	20	50,30	833,505	10,050	25,961	36,011	1,21%	3,11%	4,32%
P6, T2	20	50,30	833,505	10,050	25,961	36,011	1,21%	3,11%	4,32%
P7, T1	20	51,20	744,308	10,216	22,587	32,803	1,37%	3,03%	4,41%
Media	18	45,45	573,175	8,460	22,459	30,919	1,61%	4,04%	5,65%

Teniendo una muestra de 1205 muros individuales rectangulares con diferentes configuraciones en planta y dimensiones geométricas, se realizó un análisis estadístico descriptivo para determinar la configuración en planta característica. En la Tabla 2, se puede destacar el uso de las

configuraciones Rectangulares, Tipo "L" y Rectangulares Irregulares (IRREGULAR "R"), las cuales representan el 65.23% de muros de la muestra, y donde el 60.55% de configuraciones son rectangulares, con lo cual se puede decir que las estructuras de sistema tipo túnel de Bucaramanga se caracterizan por utilizar muros rectangulares.

Tabla 2.
Configuraciones de muros.

Tipo muros	N° muros	N° de configs.	% muros	Acum.	% de configs.	Acum.
Rectangular	442	442	36,68%	36,68%	60,55%	60,55%
"L"	242	121	20,08%	56,76%	16,58%	77,12%
Irregular "R"	102	46	8,46%	65,23%	6,30%	83,42%
Irregular "L"	94	25	7,80%	73,03%	3,42%	86,85%
Irregulares	79	16	6,56%	79,59%	2,19%	89,04%
"U", "I", "+"	63	21	5,23%	84,81%	2,88%	91,92%
"T"	56	26	4,65%	89,46%	3,56%	95,48%
Irregular "+"	50	14	4,15%	93,61%	1,92%	97,40%
Irregular "U"	39	11	3,24%	96,85%	1,51%	98,90%
Irregular "T"	38	8	3,15%	100%	1,10%	100%
TOTAL=	1205	730	100%		100%	

Ahora para encontrar un espesor representativo de los muros se realizó una tabla en donde se toman los 1205 muros individuales sin importar su configuración en planta con el fin de comparar sus espesores, de las cual se encontraron los siguientes resultados para cada espesor (Tabla 3).

Tabla 3.
Características de muros rectangulares.

Espesor [m]	N° muros	%	$\Sigma L*N^{\circ}$ [m]	Media L [m]
0,150	835	69,29%	2332,68	2,794
0,200	155	12,86%	286,080	1,846
0,250	82	6,80%	77,600	0,946
0,300	81	6,72%	125,900	1,554
0,350	22	1,83%	49,700	2,259
0,400	30	2,49%	25,500	0,850

Al momento de caracterizar las longitudes de los muros en la Tabla 4, se observó que estas varían con respecto al espesor y a la configuración en planta realizada en cada edificio, por esta razón se decide trabajar con los muros rectangulares de 0.15 metros de espesor dado a que estos son los más característicos de la ciudad de Bucaramanga, siendo estos el 81.67% (361 de 442 muros) en la totalidad de muros rectangulares aislados, y a su vez son el 30% (361 de 1205) de la muestra global.

Tabla 4.

Longitud de muros rectangulares aislados con respecto a su espesor.

Esp.	muros	%	L mín. [m]	L máx. [m]	L prom. [m]
0,15	361	81,7	0,550	7,35	3,111
0,20	38	8,6%	0,600	3,40	1,611
0,25	20	4,5%	0,700	0,85	0,800
0,30	23	5,2	1,000	1,55	1,275

Se procede a realizar una tabla de frecuencias para disminuir el rango de longitudes usadas, en la Tabla 5 se observa que un porcentaje alto de datos pertenecen a un rango entre 3.1m y 3.95m (33.8%), que junto al rango entre 2.25m y 3.1m (26.87%) y el rango entre 0.55m y 1.4m (22.99%) son los rangos más destacados en la tabla 5. Teniendo en cuenta que la moda de los datos (3.35 metros) es una tendencia general de los muros analizados, y que se ajusta a este rango de frecuencias, se toma este valor como el representativo de la longitud de un muro rectangular aislado de 0.15 metros de espesor en un sistema estructural de tipo túnel en la ciudad de Bucaramanga.

Tabla 5.

Tabla de frecuencias de longitudes de muros rectangulares con 0.15 [m] de espesor.

Intervalo	Inicio [m]	Fin [m]	Frecuencia absoluta	Porcentaje [%]
1	0,55	1,40	83	22,99
2	1,40	2,25	30	8,31
3	2,25	3,10	97	26,87
4	3,10	3,95	122	33,80
5	3,95	4,80	1	0,28
6	4,80	5,65	6	1,66
7	5,65	6,50	6	1,66
8	6,50	7,35	16	4,43

En el análisis estadístico de las alturas se tienen en cuenta las alturas de cada edificio, tomando en cuenta la altura entre pisos y la altura total del muro, de los cuales podemos determinar lo siguiente:

La totalidad de los muros son esbeltos y delgados, es decir que tienen una relación de aspecto h/l mayor de 2 y una relación fuera del plano h/t mayor de 12; y como lo indica la formula (3) también se catalogan como muros altos.

- La altura promedio entre piso es de 2,47 [m].
- La altura total promedio es de 45,45 [m].
- El espesor de placa promedio es de 0,127 [m].

Todos los datos de alturas para cada proyecto se resumen en la Tabla 6. La relación de aspecto de cada proyecto se calcula con la longitud máxima de muro que se presenta en cada uno de los proyectos para garantizar esbeltez en todos los muros de los edificios; su relación fuera del plano se calcula con el espesor mínimo el cual representa el espesor crítico de los muros. Estos valores se presentan en la tabla A.1 de los apéndices.

Tabla 6.

Tabla de resumen de alturas de los edificios.

Edificio	hw [m]	hwtot [m]	e_{placa} [m]	[hw/lw]	[hw/tw]	Muro en el plano	Muro fuera del plano	Muro en altura
P1	2,35	52,27	0,12	9.334	15.667	Esbelto	Delgado	Alto
P2	2,75	46,1	0,1	7.801	18.333	Esbelto	Delgado	Alto
P3	2,44	51,8	0,15	14.519	16.267	Esbelto	Delgado	Alto
P4	2,2	46,99	0,15	7.270	14.667	Esbelto	Delgado	Alto
P5	2,48	28,6	0,12	10.560	16.533	Esbelto	Delgado	Alto
P6	2,5	50,3	0,1	7.112	16.667	Esbelto	Delgado	Alto
P7	2,75	51,2	0,15	7.744	18.333	Esbelto	Delgado	Alto
Media.	2,468	45,613	0,127					

Para el análisis estadístico de los refuerzos sólo fue posible obtener los planos estructurales de cuatro de los siete proyectos, con lo cual no se puede decir que se obtiene una caracterización representativa, pero si vale la pena mencionar las distintas configuraciones de refuerzo que se utilizan.

Para los elementos de borde, debido a la gran cantidad de factores que determinan su comportamiento estructural no es posible determinar una sola característica general que los represente. El único factor que se vio constante en todos los proyectos fue la denominación del refuerzo utilizado, el cual es No. 4 para refuerzo longitudinal y No. 3 para refuerzo transversal.

En el análisis del refuerzo del muro se puede observar la tendencia del uso de mallas electro soldadas dispuestas en dos cortinas con varillas de diámetro de 6 milímetros espaciadas cada 150 [mm] en las dos direcciones (malla XX-188 según la norma técnica colombiana). No es posible obtener un refuerzo general aplicable a todos los muros, pero sí una tendencia de uso de los mismos como se puede ver en la Tabla A.3 de los apéndices.

3.2. Resultados del análisis.

Después del análisis realizado se puede determinar que la geometría de un muro rectangular aislado representativo del sistema estructural tipo túnel utilizado en edificios en altura de la ciudad de Bucaramanga se puede considerar como la siguiente. (Figura 7).

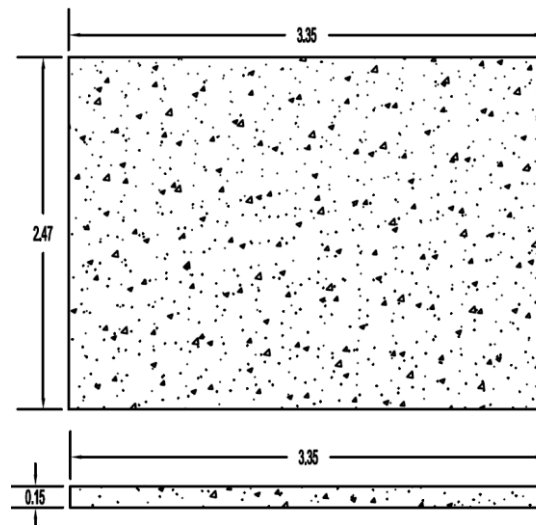


Figura 9. Muro característico vista frontal y vista en planta.

Cabe recalcar la altura total del edificio representativo tipo túnel en la ciudad de Bucaramanga es de 45,45 [m], es decir, un edificio con aproximadamente 19 pisos.

4. Modelamiento por medio del software MIDAS.

Según Fólic y Petronijevi'c (2014), los macro modelos son eficientes para simular el comportamiento por medio del método de fibras de muros de concreto reforzados definidos por

los ciclos de histéresis de momento-rotación o fuerza-desplazamiento a la hora de realizarse en un eje, ya que para el comportamiento biaxial las dependencias histéricas son muy complejas.

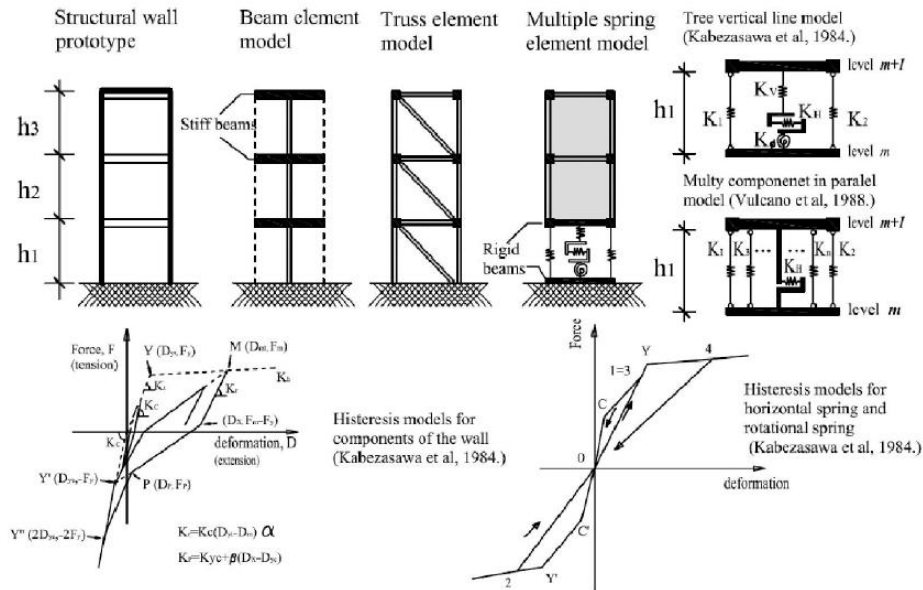


Figura 10. Modelos e histéresis del comportamiento de muros RC. Adaptado de Fólic y Petronijevi’c (2014).

Según Fólic y Petronijevi’c (2014), no es recomendable el uso del método de fibras puesto que, aunque simula eficientemente el pandeo biaxial de las estructuras, no es capaz de simular directamente el cortante y la fluencia del vínculo acero-concreto y se ve necesaria la utilización de modelos riostra-y-tirante para simular el cortante en los muros estructurales.

Según Fólic y Petronijevi’c (2014), para los micro modelos se puede utilizar elementos finitos de dos formas: modelos discretos y modelos “smeared”.

El software MIDAS Gen© ofrece una gran capacidad para el análisis estructural, siendo una herramienta utilizada por variedad diseñadores en sus proyectos. En este trabajo se modela el comportamiento estructural de un muro representativo del sistema estructural tipo túnel que se ha

desarrollado en la ciudad de Bucaramanga utilizando este software con licencia estudiantil otorgada por la escuela de ingeniería civil (licencia-I2ZS7604VQ1B3ZQH).

4.1. Características del muro a modelar.

Con el fin de modelar un muro representativo de la ciudad de Bucaramanga; el muro propuesto pertenece a un proyecto ya ejecutado en la ciudad, el cual se identifica como sistema tipo túnel y se asemeja en geometría y dimensiones a las características geométrica que se obtuvieron anteriormente, el resumen de este elemento se puede observar en la siguiente tabla (Tabla 7).

Tabla 7.

Características del modelo del muro en Midas Gen.

DIMENSIONES DEL MODELO			
<i>Geometría</i>			
Muro	1	Proyecto	P7
h_{0w} [m]=	2.75	L_{eb} [m]=	0.7
l_w [m]=	3.3	h_{2-20} [m]=	2.5
t_w [m]=	0.15	e_{placa} [m]=	0.1
N° Pisos	20	H_{tot} [m]=	50.3
$A_{/piso}$ [m ²]=	744.308	$A_{m/piso}$ [m ²]=	32.803
<i>Refuerzo</i>			
ΦV [mm]=	6	S_v [mm]=	150
ΦH [mm]=	6	S_h [mm]=	150
Eb. Ref. Long	10#4	Eb. Ref. Trans	#3 @ 20 [cm]
<i>Propiedades de los materiales</i>			
<i>CONCRETO</i>			
f'_c [MPa]=	28	E_c [MPa]=	24870.062
<i>ACERO malla</i>			
f_y [MPa]=	420	E_s [MPa]=	200000
<i>ACERO elemento de borde</i>			
f_y [MPa]=	420	E_s [MPa]=	200000

Para obtener la carga axial que soporta el muro, se calcula el peso muerto de cada piso según su área y se distribuye entre el área de muros de cada piso, a su vez se vuelve a concentrar en el área del muro que vamos a modelar como se muestra la formula (4).

$$D_{/piso} = \frac{\rho * A_{/piso} * e_{placa}}{A_{m/piso}} * A_{muro} = 26.96 [kN] \quad (4)$$

La carga viva se toma de la tabla B.4.2.1-1 de la NSR-10 (título B), donde nos indica un valor mínimo para uso residencial de 1.8 [kN/m²], siguiendo con el procedimiento anterior tenemos una carga viva concentrada para el modelo de:

$$L_{/piso} = \frac{1.8 * A_{/piso}}{A_{m/piso}} * A_{muro} = 20.22 [kN] \quad (5)$$

Con lo cual la carga vertical que se aplicará en el modelo consta del combo B.2.4-2 dado en el título B de la NSR-10 como indica la formula (6):

$$C_{vertical}/piso = 1.2D + 1.6L = 64.7 [kN] \quad (6)$$

4.2. Análisis estático no lineal.

Para el modelo se propone un análisis estático no lineal (pushover), el cual estará sometido a una carga axial estática y una carga lateral incremental, también se discretiza la sección por fibras para analizar su comportamiento no lineal frente a carga axial y momento en el plano, modelo que se ha utilizado en muros esbeltos propensos a fallas por flexión (Galal, 2008).

Midas Gen permite discretizar la sección transversal de un elemento tipo “beam” (viga) en fibras las cuales se deforman axialmente; al utilizar un modelo por fibras la relación momento-curvatura de la sección puede ser trazada con gran precisión debido a que asume el modelo

constitutivo del material de cada fibra y la distribución de deformaciones de la sección. También tiene la ventaja del movimiento del eje neutro con la fuerza axial. (MIDAS Gen Analysis Manual)

En el momento del análisis por un modelo de fibras Midas Gen tiene las siguientes consideraciones:

- La sección se mantiene plana en el proceso de deformación y se supone perpendicular al eje del elemento, por consiguiente, no se considera la adherencia del refuerzo y el concreto.
- El eje neutro de la sección se considera una línea recta a lo largo de toda la longitud del elemento.

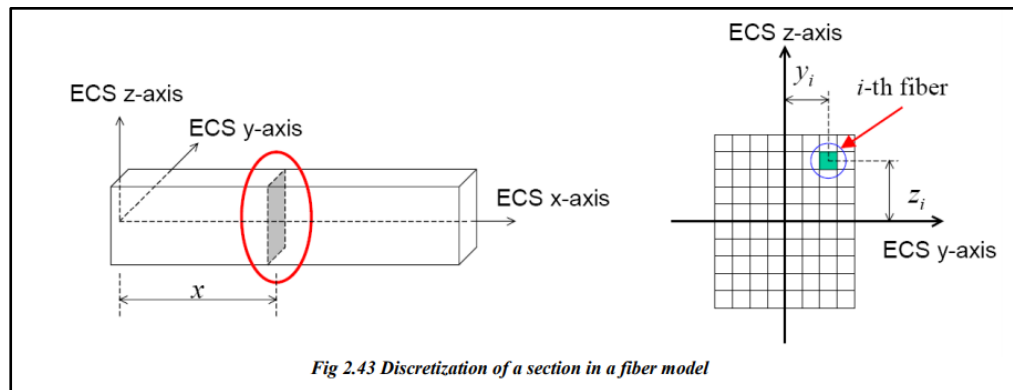


Figura 11. Discretización de una sección en un modelo por fibras. Adaptado de MIDAS Gen Analysis Manual

4.3. Modelo por fibras.

Los materiales que se asignan a cada fibra de la sección se deben definir por los modelos constitutivos dentro de los cuales el programa ofrece: el modelo de Mander (1988) para el concreto sin confinar (figura 12), y para el acero un modelo elasto-plástico perfecto (MIDAS Gen On-line manual), predefinido en el programa como “Japan Roadway Specification Model”. (MIDAS Gen On-line manual).

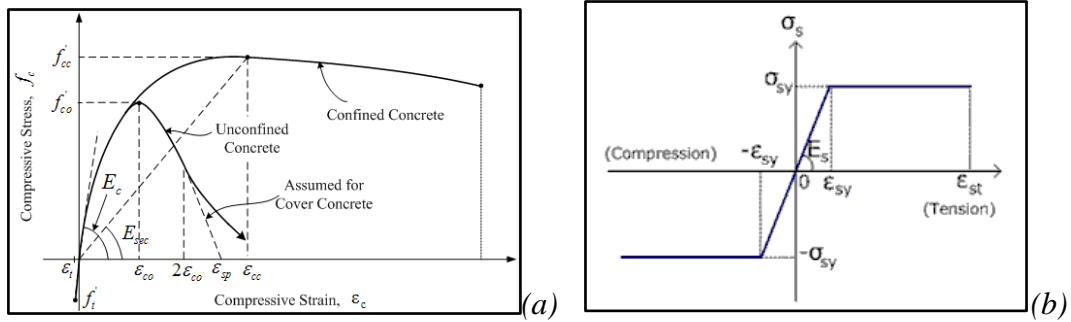


Figura 12. (a) Modelo constitutivo de Mander para concreto sin confinar. (b) Modelo constitutivo elasto-plástico perfecto para el acero. (MIDAS Gen On-line manual).

La sección del elemento se define con un espesor de 0.15 [m] y una longitud de 3.3 [m] como se define en la tabla 9. Esta sección se divide en 220 fibras, las cuales 55 divisiones se distribuyen alrededor del eje local Y de la sección y 4 divisiones en el eje local Z; a las cuales se le asigna el modelo constitutivo del concreto sin confinar de Mander (ver figura 12); a esta división se le agrega el refuerzo modelándolo por el área de las varillas a usar (malla 6M, $A=28.3 [mm^2]$; elemento de borde No.4, $A=129 [mm^2]$) los cuales se definen con el modelo que se muestra en la figura 12, obteniendo así una sección como se muestra a continuación. Ver: APÉNDICE B.

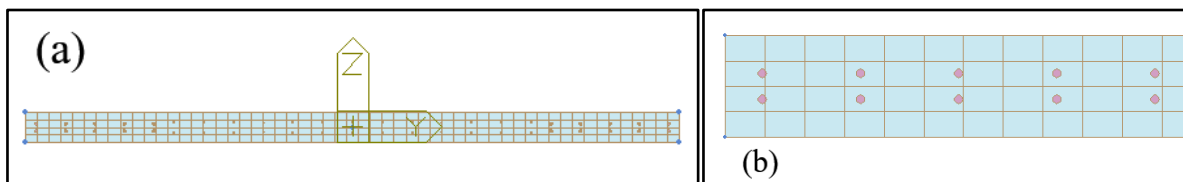


Figura 13. (a) Sección transversal discretizada por fibras. (b) Detalle de refuerzo en elemento de borde.

4.4. Consideraciones.

Durante el desarrollo del modelo se han realizado varias consideraciones por ausencia de datos o la incertidumbre de los mismos, dentro de las consideraciones cabe resaltar:

- Se considera que la configuración del refuerzo de la sección cumple con el recubrimiento mínimo que recomienda la NSR-10 (título C) para muros de 40 [mm].
- No se considera el comportamiento no lineal debido al cortante.
- El modelo constitutivo para las mallas electro soldadas llegará a la rotura cuando la deformación sea de 0.03 como un aproximado tomando en cuenta los ensayos de Riva (2001) y San Bartolomé, et al. (s.f.).

4.5. Modelo.

Se modelan los tres primeros niveles del muro con 15 elementos tipo “*beam*”, 5 por cada nivel, a los cuales se les asigna su respectiva sección modelada por fibras y definida anteriormente (figura 13). Se considera un apoyo empotrado sin considerar la interacción suelo estructura, se le aplica una carga lateral en su nodo superior para su análisis pushover. Ver Apéndice B.

Realizado el análisis se evalúa el comportamiento del elemento 1 del modelo al ser el elemento que soporta más carga y el primero en fallar. El comportamiento del muro se puede dividir en dos partes:

- Su análisis estático; donde solo se consideran las cargas gravitacionales y su respectiva distribución de esfuerzos axiales, todos dentro de un rango elástico.

- Su análisis estático no lineal (pushover), el cual considera una carga lateral incremental dividida en 80 pasos (ver APÉNDICE B, Figura B.9), y donde el comportamiento del elemento tanto a la flexión en su plano como a la carga axial ya pasa a un comportamiento no lineal y se lleva el elemento hasta la falla.

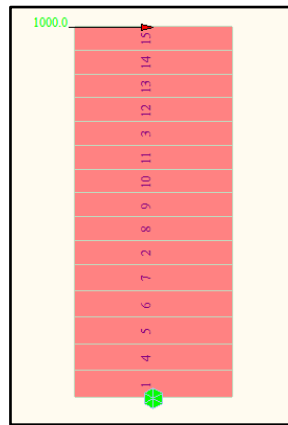


Figura 14. Modelo del muro con su carga lateral.

Nos enfocaremos en la segunda parte, su análisis no lineal o pushover; este análisis nos muestra el comportamiento del muro paso a paso mientras la carga lateral incrementa hasta su valor correspondiente.

Se puede ver que en el cambio del paso 37 al 38 en el incremento de la carga lateral, se presenta discontinuidad en el diagrama de fuerzas tanto del momento como del cortante del muro, localizado en el sub elemento 1 (ver APÉNDICE B, Figura B.14).

Al revisar el comportamiento de la sección en ese sub elemento durante estos dos pasos se puede ver que el elemento falla a compresión donde el aplastamiento del concreto lo comprueba sin rotura del acero a tensión hasta ese momento, del paso 38 en adelante se presenten incongruencias en el análisis.

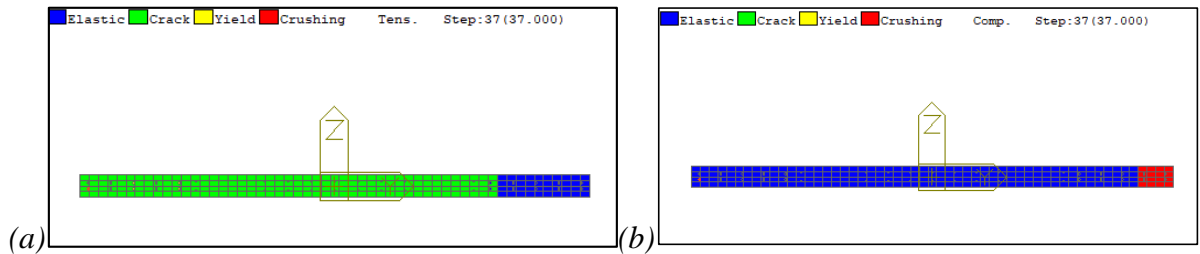


Figura 15. (a) Estado de fibras a tensión en el paso 37 del análisis. (b) Estado de las fibras a compresión en el paso 37 del análisis.

4.6. Resultados del análisis.

A continuación, se presentan los resultados del análisis donde podemos ver su curva de capacidad, el diagrama momento curvatura de la sección y el desplazamiento del eje neutro en gráficas, el resto se puede observar en el APÉNDICE B.

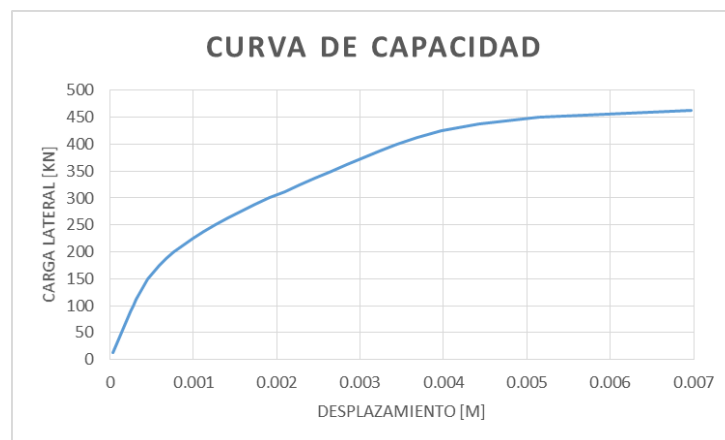


Figura 16. Curva de capacidad.

El diagrama momento curvatura de la sección donde se puede observar que el punto máximo antes de la falla tiene coordenadas $(6.35 * 10^{-3}, 3543)$.

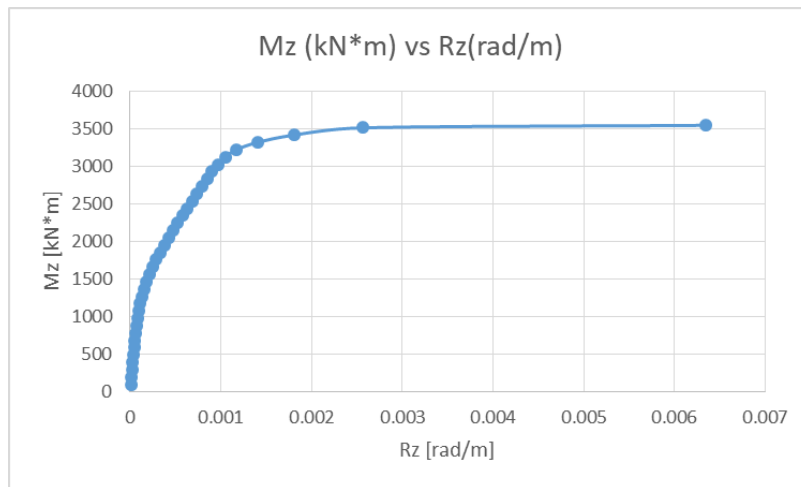


Figura 17. Gráfico Momento vs Curvatura.

Se observa la variación del eje neutro medida desde la fibra extrema sometida a compresión del elemento respecto al incremento de la carga lateral; el primer tramo recto significa que la sección se encuentra sometida a solo compresión, el punto de caída es donde el concreto a tracción se fisura y comienza a trabajar el refuerzo el cual comienza a fluir hasta que finaliza cuando el concreto falla por aplastamiento.

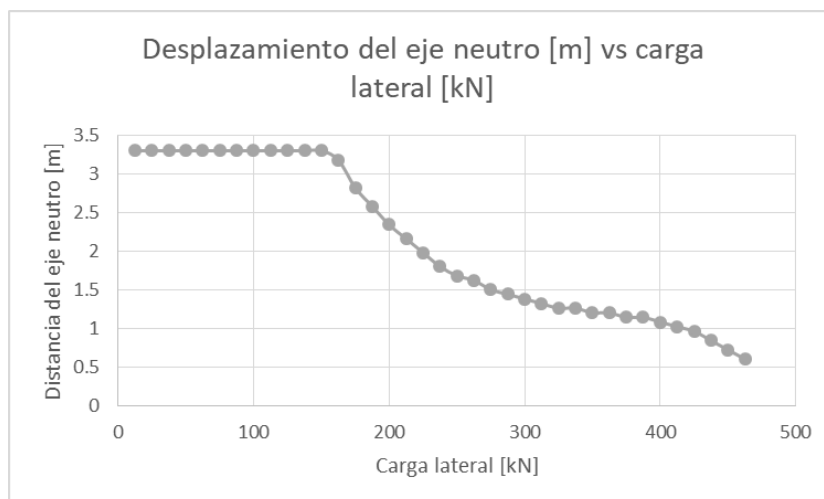


Figura 18. Desplazamiento del eje neutro vs Carga lateral.

5. Comparación de Resultados.

El comportamiento de los muros de corte es principalmente afectado por la combinación de deformaciones causadas por la flexión, así como también a deformaciones axiales y de cortante. Los muros de mediana a gran altura tienden a regirse por comportamiento flector, mientras que los muros bajos son controlados en su mayoría por deformaciones por cortante.

Investigaciones demuestran que el comportamiento no lineal de muros de cortante de concreto reforzado depende de muchos factores, algunos de los que se pueden destacar son los siguientes: las dimensiones del muro y su relación de aspecto, el nivel de carga axial que soporta el muro, la cantidad de refuerzo y su respectivo recubrimiento, la rigidez de la fundación del muro y su unión con el muro, balance del muro respecto a su fundación debido al deslizamiento del refuerzo vertical, las dimensiones y el refuerzo del elemento de borde del muro. (MIDAS Gen Analysis manual)

5.1. Ensayos.

Con el propósito de encontrar estudios de muros con características similares al modelo del objetivo anterior, se procede a realizar una investigación y recopilación de artículos científicos y literatura referente al tema, con la cual se logra reunir una base de datos con alrededor de 80 artículos, de los cuales 22 son dedicados a ensayos de muros con un aproximado de 154 muros ensayados dentro de los mismos.

En la tabla C.1 de los apéndices se puede observar la tabulación de los ensayos en torno a los muros, donde se comparan características como sus dimensiones geométricas, relaciones de aspecto y nivel de carga axial.

Tabla 8.

Resumen máximos y mínimos de la geometría en ensayos de laboratorio.

	hw [m]	lw [m]	tw [m]	[hw/lw]	[hw/tw]
Max	19.50	5.42	0.200	4.33	97.50
Min	0.50	0.40	0.050	0.33	4.17
Promedio	2.89	1.72	0.110	1.74	24.37
Moda	2.50	1.50	0.100	2.00	16.67
Modelo	7.8	3.30	0.150	2.36	52.00

Podemos observar en la tabla 8, que los ensayos tienen un amplio rango de valores en sus características geométricas, desde ensayos de muros cortos a muros esbeltos.

Dentro de esta base de datos no se encuentra un muro con las mismas características al modelo representativo de la ciudad de Bucaramanga por lo cual no existe una referencia directa al comportamiento real de este tipo de muro. Para comparar con datos experimentales reales se decide tomar como referencia los ensayos que tengan una relación de aspecto en el plano (hw/lw) entre 2.3 y 2.4, obteniendo la siguiente tabla (ver tabla 9).

Tabla 9.

Características de muros con relación de aspecto entre 2.3 y 2.4.

ID	h _w [m]	l _w [m]	t _w [m]	[h _w /l _w]	[h _w /t _w]	N [ton]	(N/f'c*A _g)
W1 [12]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.74	0.15
W2 [12]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	47.90	0.25
W3 [12]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	67.16	0.35
W1 [13]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.70	0.15
W4 [13]	1.60	0.70	0.075	2.29	21.33	21.60	0.15
W5 [13]	1.18	0.70	0.100	1.69	11.80	28.70	0.15
W6 [13]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.70	0.15
W7 [13]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.70	0.15
W8 [13]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.70	0.15
W9 [13]	1.60	0.70	0.100	2.29	16.00	28.70	0.15
WSH1 [14]	4.56	2.00	0.150	2.28	30.40	68.9	0.051

WSH2 [14]	4.56	2.00	0.150	2.28	30.40	69.1	0.057
WSH3 [14]	4.56	2.00	0.150	2.28	30.40	68.6	0.058
WSH4 [14]	4.56	2.00	0.150	2.28	30.40	69.5	0.057
WSH5 [14]	4.56	2.00	0.150	2.28	30.40	147.4	0.128
WSH6 [14]	4.52	2.00	0.150	2.26	30.13	147.6	0.108
Modelo	7.80	3.30	0.150	2.36	52.00	122.9	0.088

De los muros ensayados se comparan los valores de deriva de fluencia del elemento, también la deriva en el punto de carga máxima que soporta la estructura y se compara la ductilidad de cada elemento. Estos valores se grafican contra la longitud de cada muro, así se puede observar que la deriva de fluencia en general tiende a disminuir cuando se aumenta la longitud del muro variando desde un máximo de 0.6% en un muro con longitud de 0.7 [m], hasta un 0.22% en una longitud de 3.3 [m] en nuestro modelo (ver Figura 17), también se observa que la carga axial influye en esta deriva, tomando como ejemplo los tres muros de Alarcon, et al. (2014), con una longitud de 0.7 [m], disminuye su deriva en 0.6%, 0.3% y 0.3% en cuanto aumenta su carga axial ($N/f'c \cdot A_g$) en 15%, 25% y 35% respectivamente.

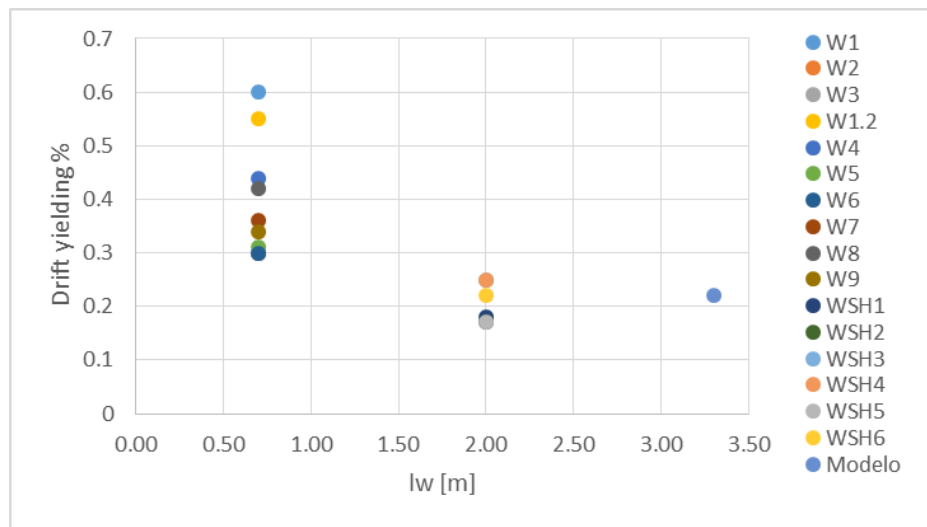


Figura 19. Gráfica de dispersión de puntos deriva de fluencia vs longitud de muro.

La deriva de rotura del elemento también muestra tendencia a disminuir mientras aumenta la longitud de la sección del muro y también variables con cambios en la carga axial como se puede observar en la Figura 18.

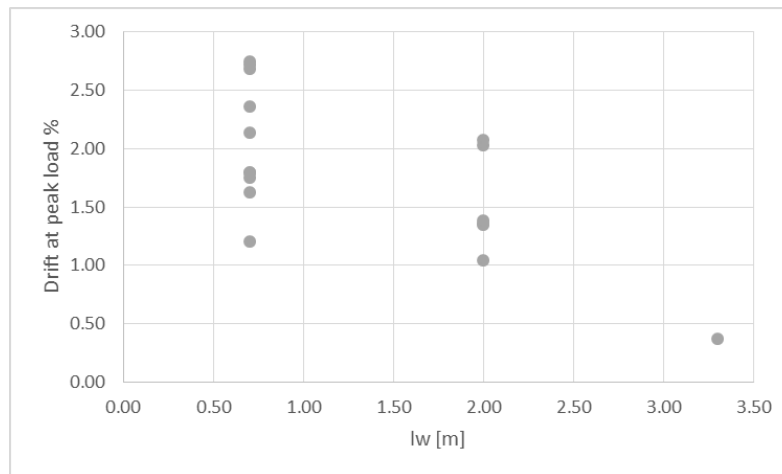


Figura 20. Gráfica dispersión de puntos para deriva ultima vs longitud de muro.

Ahora comparando la ductilidad del elemento definida como $\mu = \frac{\Delta u}{\Delta y}$ donde Δy y Δu se definen como el desplazamiento de fluencia y el desplazamiento último de la curva de capacidad de cada muro. Se puede evidenciar en la figura 19 que la ductilidad de los muros puestos en ensayo tiende a aumentar cuando aumenta su longitud mientras que la ductilidad del modelo disminuye de manera considerable. Esto puede ser causa de la falta de confinamiento en los elementos de borde que disminuye la resistencia a compresión en los extremos del muro, también puede considerarse causa del refuerzo del muro ya que los experimentos no utilizan mallas electro soldadas en sus muros sino barras con un comportamiento dúctil, la resistencia del concreto que utilizan también puede ser un factor a tener en cuenta.

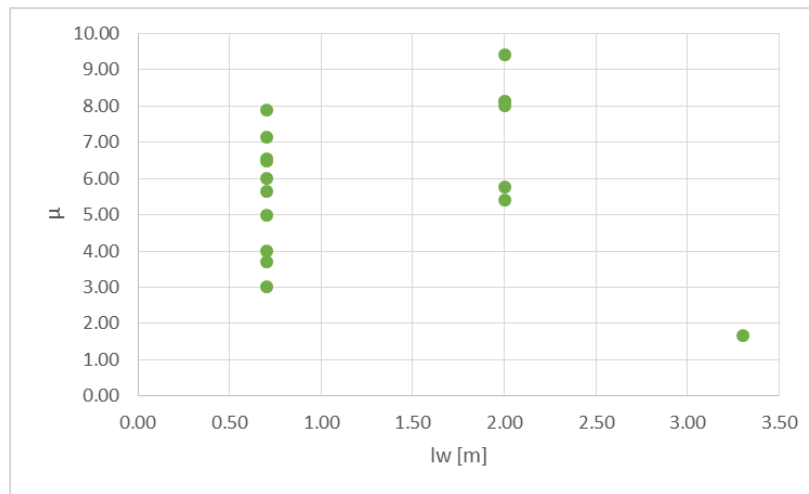


Figura 21. Gráfica dispersión de puntos de la ductilidad del elemento vs longitud del muro.

Todos los ensayos presentan fallas por comportamiento a flexo-compresión de los muros confirmando el comportamiento general de los muros esbeltos.

6. Propuesta de ensayo de laboratorio.

6.1. Elemento muro.

6.1.1. Disposición del elemento muro. Para esta experimentación se propone la utilización de un muro delgado de dimensiones 2000 [mm] alto ya que esta medida es permitida por el espacio libre en el marco metálico al utilizarse en el laboratorio de estructuras UIS; 150 [mm] espesor, que se toma como espesor clave del proyecto debido a la cantidad de muros obtenidos con esta medida; 1900 [mm] ancho para mantener la relación de esbeltez del muro rectangular aislado representativo del sistema estructural tipo túnel utilizado en edificios en altura de la ciudad de Bucaramanga; estas medidas son tomadas para tener una aproximación de los muros representativos de

6.1.2. Proceso constructivo. Se utilizarán: Cemento portland tipo 1, con un tiempo de fraguado de 4 días, un encofrado de madera para vigas y un encofrado metálico para el muro

Para la construcción de la viga de cimentación se anclarán primero los refuerzos verticales, se hace el vaciado y se raya la superficie donde se ubicará la placa del muro para ser limpiada de partículas sueltas y polvo.

Para las placas se utilizará un encofrado metálico, en el que se verterá un concreto tipo portland con agregado grueso y fino; para asegurar su esparcimiento y evitar la congestión en los refuerzos, en la placa se vibrará por medio de golpes de martillos de goma.

El desencofrado puede realizarse cuatro días después, y en caso de existir segregación se puede empastar la zona defectuosa, el comportamiento de esta zona no cambia si la segregación no es alta; para el curado se realizará un riego de 28 días, una vez al día.

6.2. Elementos y maquinaria utilizada para la prueba.

Para esta prueba se utilizará un marco metálico de acero con 450 [cm] de alto y 120 [cm] de ancho que permitirá el posicionamiento del actuador vertical en la parte superior del elemento muro. Se utilizará un muro de reacción paralelo al elemento muro para posicionar el actuador horizontalmente. Se disponen de dos actuadores de 500 [kN] (marca MTS, REF 661 23F-01) y 250 kN (marca MTS, REF 661 22C-01) que generarán las cargas tanto cíclicas como constantes en el elemento muro, estos actuadores llevarán las fuerzas a la viga superior para convertirlas en fuerzas distribuidas en el momento de llegar al muro. Para distribuir las fuerzas en todo el elemento

Para finalizar y obtener el modo de falla predominante (cortante en el plano) se aplicará una carga horizontal que aporte un desplazamiento armónico de 10 mm y una frecuencia de 2 [Hz].

6.3. Comportamiento esperado.

Cualitativamente se puede esperar que las roturas predominantes comiencen a presentarse aproximadamente entre la fase 4 y 5 de la aplicación de la carga horizontal (En este momento serán apenas visibles). Siguiendo a esto, en la fase 7 se esperará observar una fisura diagonal de por lo menos 1mm de grosor, y es probable que se observe una fisura longitudinal a lo largo de la base.

Al empezar la fase 9 se espera que los deslizamientos a través de la base se noten y el concreto se comience a desgranar. También es probable notar un pandeo del elemento.

En la fase número 10 puede ocurrir la trituración y el pandeo del refuerzo vertical en las esquinas inferiores de los muros.

Referencia de comportamiento esperado tomado de San Bartolomé, et al. (s.f.)

7. Conclusiones.

- La caracterización geométrica de los edificios en altura con sistema estructural tipo túnel de la ciudad de Bucaramanga nos muestra una clara tendencia del uso de muros con espesores de 0.15 [m], lo que limita la capacidad de confinamiento de los elementos de borde y junto a malas prácticas constructivas puede generar pérdida del mismo.

- Las longitudes de los muros rectangulares utilizados en la ciudad de Bucaramanga para la construcción de edificios con sistema estructural tipo túnel tienen un rango muy amplio, lo que le permite adaptarse a la arquitectura de manera más eficiente.
- El comportamiento de un edificio con sistema estructural tipo túnel puede variar de acuerdo a la distribución de la densidad de muros por área, por eso se considera importante una investigación más detallada al respecto.
- Los muros esbeltos fallan principalmente por el comportamiento a flexo-compresión que se presenta por cargas en su plano, dejando su comportamiento a cortante en un segundo plano, debido a esto el control de los elementos de borde debe aumentar para evitar que el muro presente falla por aplastamiento del concreto y tenga un comportamiento más dúctil.
- A pesar de todos los ensayos que se han realizado sobre el tema, no se tiene información concreta en cuanto al comportamiento de este tipo de muros construidos en el ámbito colombiano, donde se debe considerar su respectiva normativa, hábitos constructivos y materiales utilizados.
- El dimensionamiento de la propuesta de ensayo se realizó de esta manera debido a las limitaciones obtenidas de la instrumentación.
- Las cargas y procesos cíclicos son adaptaciones de diferentes papers en los que estas fuerzas propuestas se ven mencionadas reiteradas veces.

Referencias

- ACI318. (2008). Building Code Requirements for Reinforced concrete and Commentary.
- ACI318. (2011). Building Code Requirements for Reinforced concrete and Commentary.
- Alarcon, C., Hube, M. A., & de la Llera, J. C. (2014). *Effect of Axial Loads in the Seismic Behavior of Reinforced Walls with Unconfined Wall Boundaries*. Pontificia Universidad Católica de Chile y National Research Center for Integrated Natural Disaster Management, Department of Structural and Geotechnical Engineering, Santiago de Chile.
- Alcocer, S. M. (1995). *Comportamiento y Diseño de Estructuras de Concreto Reforzado*. Centro Nacional de Prevención de Desastres e Instituto de Ingeniería, Mexico D.F.
- Aparcana Rivera, A. M. (2007). *Proyecto de Estructuras de un Edificio de doce pisos en base a Muros Delgados de Concreto Armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Arriaza Balmón, M. (2006). *Guía Práctica de Análisis de Datos*. Andalucía: IFAPA.
- Balkaya, C., & Kalkan, E. (2004). Seismic Vulnerability, Behavior and Design of Tunnel Form Building Structures. *Engineering Structures*(26), 2081-2099.
- Biguri Zarraonandia, I. (s.f.). *Wordpress*. Obtenido de Resistencia de materiales: <https://ibiguridp3.wordpress.com/res/esf/>
- Briceño Z., A. P., & Carreras G., N. H. (2013). *Análisis y Diseño de Muros Estructurales de Concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Universidad Católica Andrés Bello.

- Carrillo, J., & Alcocer, S. M. (2011). Comportamiento a Cortante de Muros de Concreto para vivienda. *Revista de Ingeniería Sísmica*(27), 103-126.
- Carrillo, J., & Alcocer, S. M. (2013). Resistencia a Cortante de Muros de Concreto Reforzado para Diseño Sísmico de vivienda de baja altura. *ACI Structural journal*.
- Carrillo, J., Lizarazo, J. M., & Bonett, R. (2015). *Effect of Lightweight and Low-Strength Concrete on Seismic Performance on Thin Lightly-Reinforced Shear Walls*. Universidad Militar Nueva Granada, Universidad Nacional de Colombia y Universidad de Medellín, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá.
- Chillagana Anaguano, J. V. (2013). *Sistemas constructivos de muros de ductilidad limitada aplicados en viviendas de Quito bajo el reglamento del ACI318S-08 y la Norma Ecuatoriana de la Construcción*. Universidad Central del Ecuador, Quito.
- Cubillos, A. (2007). *Introducción al Método de los Elementos Finitos*. Universidad de Ibagué.
- Fratelli, M. (1999). *Edificios de pantallas y Estructuras Aperticadas*.
- Galal, K., El-Sokkary, H., (2008). Advancement in modeling of RC Shear Walls. The 14th World Conference on Earthquake Engineering. Beijing, China.
- Gonzales Fernández, H. F. (2010). Comportamiento sísmico de edificios con muros delgados de hormigón. Aplicación a zonas de alta sismicidad de Perú.
- Guevara Morales, N. E., Osorio Rodriguez, S. A., & Vargas, E. A. (2006). *Evaluación de la capacidad Estructural del Edificio de la biblioteca de las Ingenierías y Arquitectura, utilizando Análisis Estático No Lineal (Pushover)*. El Salvador: Universidad de El Salvador.
- Gutiérrez, A. (2015). *Notas sobre el método de análisis no lineal (Pushover)*.

- Jünemann, R., de la Llera, J., Hube, M., Cifuentes, L., & Kausel, E. (2014). A statistical analysis of reinforced concrete wall buildings damaged during the 2010, Chile earthquake.
- Lefas, L. D., Kotsovos, M. D., & Ambraseys, N. N. (1990). Behavior of Reinforced Concrete Structural Walls: Strength, Deformation Characteristics, and Failure Mechanism. *ACI Structural Journal*(87-S3).
- Linde, P. (1993). Numerical Modelling and Capacity Design of Earthquake-Resistant Reinforced Concrete Walls.
- Lozado Mercado, J., Ramirez de Alba, H., & Flores Macías, O. (2004). Estado del arte del análisis de mamposterías sin refuerzo en construcciones antiguas. *Sociedad Mexicana de Ingeniería Estructural*.
- Mander, J. B., Priestley M., J. N., & Park, R. (1988) Theoretical Stress-Strain Model for Confined Concrete. ASCE.
- Mantilla Durán, G. I. (2008). Comportamiento sísmico no lineal de los edificios con sistema estructural de muros.
- Munar, M. C. (s.f.). Análisis estadístico básico (I). *Universitat de les Illes Balears*.
- Navarro Ugena, c., & Luis, P. C. (2009). *Material docente*. Madrid.
- Navarro Ugena, C., & Perez Castellanos, J. L. (2015). *Análisis de estructuras*. Madrid: UC3M.
- Navarro Ugena, C., & Perez Castellanos, J. L. (2015). *Introducción a las estructuras*. Madrid: uc3m.

- Navarro Ugena, C., & Perez Castellanos, J. L. (2015). *Introducción al método de los elementos finitos*. Madrid: UC3M.
- NSR-10. (2010). Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, Título C - Concreto estructural.
- Paulay, T., & Priestley, M. (1992). Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings.
- Piedrahita, J. (s.f.). *Sistemas Aperticados*. Recuperado el 04 de 2017, de <https://es.scribd.com/doc/208274000/Estructuras-Apenticadas>
- Quinteros, R. D. (2014). Modelización del comportamiento de estructuras de mampostería mediante la teoría de la homogeneización. *Universidad Nacional de Salta*.
- Riva, P., & Franchi, A. (2001). Behavior of Reinforced Concrete Walls with Welded Wire Mesh Subjected to Cyclic Loading. *ACI Structural Journal*(98-S31).
- Rosas Rodriguez, J. G. (2003). Análisis de muros de cortante en estructuras de mampostería por el método de los elementos finitos. *INVESTIGACION Y DESARROLLO*, 15-28.
- San Bartolomé, Á., & Rojas Ishikawa, L. Á. (s.f.). *Estudio Experimental de los dos criterios del ACI empleados para confinar los bordes de los Muros de Concreto Armado*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Perú.
- San Bartolomé, A., Muñoz, A., Villagarcía, M., & Claudia, A. (s.f.). *Comportamiento Sísmico de Placas de Concreto Reforzadas con Mallas Electrosoldadas*. Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- Siegel, S. (1985). Estadística no paramétrica aplicada a las ciencias de la conducta.

- Torrise, G. S., & Crisafulli, F. J. (2011). Macro modelo columna con interacción flexión-axial y corte-axial. *Asociación Argentina de Mecánica Computacional*, 979-996.
- Valencia Vasconez, J. D. (2012). Analisis del metodo "modal push-over" y su incidencia en el calculo de porticos de hormigon armado enel canton de ambato.
- Wallace, J. W. (2012). Behavior, Design and Modelig of Structural Walls and Coupling beams - Lessons from Recent Laboratory Tests and Earthquakes.
- Yuksel, S. B., & Kalkan, E. (2007). Behavior of tunnel form buildings under quasi-static cyclic lateral loading. *Structural Engineering & Mechanics*, 27(1).
- Zhang Yunfeng, W. Z. (2000). Seismic Behavior of Reinforced Concrete Shear Walls. *ACI Structural Journal*(97-875).