

Caracterización Estadística de Edificios de Muros Delgados en Concreto Reforzado para Zonas de Amenaza Sísmica Alta

Statistical characterization of thin reinforced concrete wall buildings for high seismic hazard regions

Julio Sánchez¹ y Carlos Arteta²

¹*Estudiante de Maestría, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*

²*Profesor Asistente, Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental, Universidad del Norte, Barranquilla, Colombia*

RESUMEN

Este artículo presenta y analiza una base de datos de 28 edificios construidos con el sistema de muros delgados de concreto reforzado en la ciudad de Armenia, Colombia. Variables de interés tales como densidad de muros, período fundamental, geometría de las secciones con aleta, relación de aspecto, detallado de refuerzo, niveles de carga axial, profundidad del eje neutro, relación entre momento y cortante, entre otras, fueron obtenidas a partir de modelación computacional y analizadas en detalle. A partir del análisis de deformación de las estructuras de estos modelos se encontró que el acoplamiento por desplazamiento entre muros es representativo, siendo más pronunciado para muros de alma corta. El análisis estadístico de la base de datos permitió seleccionar muros con aleta representativos de las prácticas de construcción en zona de amenaza sísmica alta en Colombia. Se encontró que el muro arquetipo tiene espesor de 120 mm, detallado de refuerzo implementado en una sola capa con malla electro-soldada, sin elementos de borde, pero con refuerzo adicional en el extremo en algunos casos, una longitud del alma en el rango $4 \leq l_w \leq 5$, y una carga axial gravitacional típica del 8% de la capacidad nominal del concreto de la sección transversal ($0.08A_g f'_c$). El artículo discute además las implicaciones de esta configuración pues las referencias bibliográficas de la información recolectada de sismos recientes (Chile 2010) y de resultados experimentales sugieren que este tipo de elementos son débiles ante carga cíclica reversible y se esperaba que su comportamiento ante demanda sísmica no fuera dúctil.

Palabras clave: base de datos, muros delgados, concreto reforzado, zona de amenaza sísmica alta.

ABSTRACT

This article describes and analyzes a database of 28 RC thin wall buildings constructed in the city of Armenia, Colombia. Variables of interest such as wall area index, fundamental period, flanged walls cross section geometry, wall aspect ratio, reinforcement steel detailing, axial load ratio, neutral axis depth, shear span among others, were obtained by computational modeling and analyzed in detail. It is found that drift coupling of walls is significant, generating double curvature displacement profiles along the height. This is more pronounced for walls with shorter web length. A statistical analysis of the database allowed selecting archetype flanged walls representative of the construction practice in high seismicity regions in Colombia. It was found that the archetype wall thickness is 120mm, the wall web reinforcement detail comprises a single layer of welded wire mesh, without boundary elements, but with concentrated additional longitudinal steel in some cases; web length of flange walls of interest is in the range $4 \leq l_w \leq 5$, and axial load ratio is approximately 8% of the concrete nominal capacity of the gross cross-section ($0.08A_g f'_c$). The article also discusses the implications of the wall configurations in their probable response because the bibliographic references from the 2010 Chile earthquake, as well as experimental results in walls and columns suggest that these walls could be weak submitted to reversible cyclic loads and probably his behavior for seismic demand would not be ductile.

Keywords: database, thin walls, reinforced concrete, high seismicity regions.

¹ javengoechea@uninorte.edu.com

² carteta@uninorte.edu.com

1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años en el país ha sido una práctica extendida la utilización de muros de concreto reforzado como sistema estructural. Este sistema ofrece una serie de ventajas para el constructor respecto al sistema tradicional de pórticos, por su economía de acabados y velocidad de construcción. Por otro lado, al trabajar con este sistema se puede llevar a estos muros a sus límites de capacidad, para minimizar costos (o por desconocimiento de su comportamiento mecánico), al apostar por espesores de muros más pequeños o un bajo nivel de reforzamiento. Un problema asociado al uso de estos muros delgados es el desconocimiento que todavía se tiene sobre su respuesta probable durante un evento sísmico que genere demandas de intensidad intermedia a alta. Un ejemplo claro de esto se presentó durante el terremoto ocurrido en Maule (Chile), en febrero del año 2010. Durante este fenómeno, cerca del 2% de las estructuras de concreto reforzado de más de 9 pisos sufrieron daño substancial como una combinación de efectos de flexo-compresión de los muros que comandan el sistema de resistencia de cargas laterales (Jünneman et al 2015). Por su condición geográfica, Colombia es un país con amenaza sísmica intermedia a alta en lugares donde vive la mayoría de su población. Por esto, ciudades con alta densidad de edificios de muros delgados de concreto reforzado como Armenia, Pereira, Cali, Medellín o Bogotá, no son ajenas a eventos sísmicos fuertes que promuevan comportamientos indeseados en las bases de edificaciones de mediana o gran altura (p.e. edificios de más de 10 pisos).

El diseño de muros en el país está basado en los requerimientos del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente (NSR-10) que, respecto a la parte de diseño de muros en concreto, es una adaptación del código ACI 318-08, que es utilizado ampliamente en Estados Unidos y el mundo. Una obsolescencia contenida en el NSR-10, es que no se establecen límites mínimos de espesores de muros, a menos que se utilice el método empírico de diseño (que no es la práctica común de las oficinas de cálculo estructural). Esto puede propiciar que muros esbeltos (por ejemplo con espesor de 80 mm), sufran de inestabilidad fuera del plano (Rosso et al. 2015). En contraste, en la más reciente actualización del ACI 318 (2014), se propone que el espesor mínimo de los muros sea el mayor entre $t_w = 100$ mm y $1/25$ de la altura o a longitud del muro no soportada. Esto hace que, para alturas libres típicas de $h_u = 2400$ mm, el espesor mínimo del muro deba ser $t_{w,min} = 100$ mm. Por otro lado, NSR-10 exige la utilización de elementos de borde cuando los esfuerzos axiales en los elementos extremos sobrepasan $0.2f'_c$ (en zonas de amenaza sísmica alta). Esto se hace con el fin de garantizar un comportamiento dúctil en compresión de estas porciones de los muros, aunque se ha demostrado que los espesores de la sección transversal son tan reducidos que no parece viable garantizar el confinamiento efectivos del concreto (Arteta y Moehle, 2017). Es además preocupante encontrar en Colombia muros delgados con espesores de 80 mm en zonas de amenaza sísmica alta. Rosso et al. (2015) demostraron en el laboratorio que estos muros, construidos con prácticas similares a las colombianas, son susceptibles de sufrir inestabilidad fuera del plano. Esta idea también es soportada por estudios experimentales y analíticos de Parra et al. (2015) y Parra y Moehle (2017), donde se concluye que el potencial de inestabilidad fuera del plano es función del número de cortinas de refuerzo, la relación de esbeltez del muro (h_n/t_w) y la deformación unitaria de tracción (ϵ_{sm}) en el extremo del muro.

Este artículo presenta el análisis de las variables de interés encontradas para 62 muros de concreto reforzado, presentes en edificaciones construidas entre los años 2011 a 2015 en la ciudad de Armenia, Colombia. La información fue recopilada de 28 edificios de diferentes alturas, enfocándose principalmente en los muros con aletas, con secciones transversales en forma C, U, T y L. Variables de interés tales como densidad de muros, período fundamental, geometría de las secciones con aleta, relación de aspecto, detallado de refuerzo, niveles de carga axial, profundidad del eje neutro, relación entre momento y cortante, entre otras, fueron obtenidas a partir de modelación computacional y analizadas en detalle.

2 BASE DE DATOS DE MUROS DELGADOS DE LA CIUDAD DE ARMENIA

El lunes 25 de enero de 1999 en el departamento del Quindío, Colombia, se presentaron dos terremotos de magnitud 6.4 y 5.8, los cuales dejaron un saldo de 1185 personas muertas y 8523 personas heridas junto con pérdidas económicas del orden de los 2.8 billones de pesos (Cardona et al. 2004). Una de las ciudades más afectadas por este terremoto fue la ciudad de Armenia, la cual, a causa de la catástrofe sísmica, adoptó rápidamente las recién expedidas Normas Colombianas de Diseño y Construcción Sismo Resistente. Esto la hizo objeto de interés para esta investigación, por la cual se decidió seleccionar esta ciudad como fuente de información de la base de datos que se presenta a continuación. Para la ciudad es bastante común la utilización de sistema de pórticos de concreto, el uso de mampostería estructural y para edificios de mediana altura, el uso de muros estructurales. Estos son apreciados por la comunidad de ingenieros por su rigidez intrínseca y económica de construcción, que permite el control de desplazamiento de manera eficaz. Al momento de recolectar la información, se limitó la búsqueda a edificaciones construidas después del año 2010, se seleccionaron edificaciones que estuvieran construidas únicamente con muros de concreto reforzado sin losa de transición, que estuviesen construidos o en etapa de construcción, y que tuvieran más de 3 pisos de altura. Se estudió un total de 28 edificios de interés en la ciudad. La Figura 1 contiene vistas de un par de edificios típicos en la base de datos.



Figura 1. Vista de los edificios de muros delgados de interés

2.1 Propiedades de los edificios

En la Tabla 1 se describen los parámetros de interés, a nivel de estructura, para los 28 edificios. La nomenclatura utilizada es: altura del edificio (H_w), coeficiente de disipación de energía (R), dimensión longitudinal (o dimensión mayor en planta) (B_l), dimensión transversal (o dimensión menor) (B_t), densidad de muros en el sentido longitudinal (D_l), densidad de muros en el sentido transversal (D_s), período elástico agrietado en el sentido longitudinal (T_l) y período elástico agrietado en el sentido corto (T_s). Para una dirección específica, D_i se determina estimando el área total del alma de los muros del primer piso que resisten el cortante en dicha, y dividiéndolo por el área de la planta del primer piso (Figura 2a). La densidad de muro promedio teniendo en cuenta ambos sentidos es de 3.76%.

Tabla 1: Parámetros de los edificios

ID edificio	pisos	H_w (m)	R	Tipo de suelo	B_l (m)	B_t (m)	D_l	D_s	T_l (s)	T_s (s)
1	12	30.0	-	-	25.9	17.7	0.037	0.033	0.598	0.532
2	15	40.3	5	D	35.6	15.5	0.047	0.036	0.937	0.907
3	14	33.1	-	D	35.4	13.4	-	-	-	-
4	12	31.4	4	E	30.5	12.8	0.050	0.098	0.442	0.478
5	5	12.5	5	D	16.7	14.3	0.028	0.018	0.298	0.164
6	14	38.4	5	D	38.0	20.3	-	-	-	-
7	18	43.2	5	D	35.1	14.2	0.029	0.037	1.175	0.515
8	15	37.7	5	D	29.9	7.7	0.048	0.017	1.723	0.845
9	15	38.8	5	E	34.8	11.6	0.057	0.040	0.939	0.791
10	16	38.9	-	D	43.6	16.2	0.033	0.037	0.321	0.216
11	4	10.0	3.2	-	17.6	6.0	0.043	0.052	0.109	0.109
12	5	12.5	4	D	21.9	10.3	0.040	0.034	0.162	0.163
13	5	12.5	5	D	17.4	13.0	0.030	0.038	0.148	0.121
14	8	20.0	4	D	43.3	17.5	0.043	0.031	0.270	0.232
15	5	12.5	-	-	23.5	15.3	-	-	-	-
16	15	37.7	-	-	26.1	15.9	-	-	-	-
17	3	7.5	5	D	60.6	20.8	0.030	0.028	0.060	0.059
18	14	30.7	2.64	D	32.4	11.4	0.037	0.042	0.636	0.834
19	9	22.4	4	D	41.3	18.4	0.019	0.014	0.292	0.354
20	13	37.5	-	D	30.3	17.6	0.037	0.030	-	-
21	11	24.7	-	-	45.1	17.0	-	-	-	-
22	10	27.7	-	-	29.8	13.6	0.045	0.038	0.488	0.360
23	5	12.5	5	D	18.8	13.1	-	-	0.598	0.532
24	9	22.4	4	D	33.8	14.3	0.040	0.036	0.937	0.907
25	7	17.5	5	D	23.7	23.7	-	-	-	-
26	5	12.5	4	E	53.7	17.6	-	-	0.442	0.478
27	10	31.6	5	D	40.1	21.7	-	-	0.298	0.164
28	9	22.5	5	D	42.9	12.7	-	-	-	-

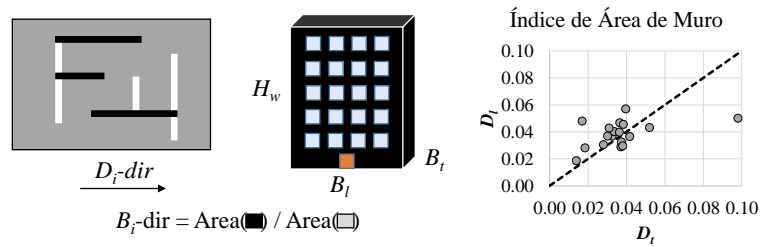


Figura 2. Definición del índice de área de muro.

El período estructural es proporcional a la altura de la edificación, sin embargo, la solución exacta (cerrada) del período estructural de un muro sometido a carga triangular invertida y bajo su desplazamiento de fluencia, permite verificar que éste es proporcional a $\sqrt{(H_w^3/B_i)}$ en la dirección i-. En la Figura 3 se presenta una buena correlación entre el parámetro dinámico T (agrietado) y las variable geométricas globales de altura y longitud de la edificación. Se proponen que el período agrietado promedio sea estimado según la Ecuación 1 y 2 en la dirección longitudinal y transversal, respectivamente.

$$T_l = 0.02\sqrt{(H_w^3/B_l)} \tag{1}$$

$$T_t = 0.01\sqrt{(H_w^3/B_t)} \tag{2}$$

donde la relación $\sqrt{(H_w^3/B_i)}$ está en metros.

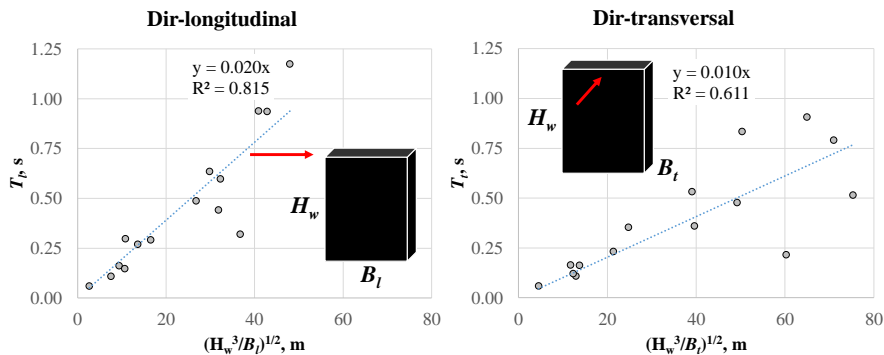


Figura 3 Relaciones geométricas de la edificación y su período estructural agrietado.

2.2 Selección de los muros de interés

La simulación lineal ante cargas sísmicas de los edificios se realizó con el programa ETABS®. Para esto, se modeló la geometría contenida en los planos estructurales con las propiedades nominales del acero y del concreto contenidas en las memorias de cálculo. Para capturar la respuesta agrietada de los muros, se redujo la rigidez de su comportamiento en el plano (como membrana) a la mitad. Con estos modelos se determinó el período fundamental en cada dirección (reportados arriba), así como el aporte a la resistencia al cortante basal de todos los muros. Los muros de interés en esta investigación son aquellos muros con sección transversal en forma de T, L o C con mayor aporte a la resistencia por corte del edificio (Figura 4).

Estas geometrías se consideran de interés, pues se espera que por sus condiciones de reforzamiento puedan sufrir de fallas por flexo-compresión, o inestabilidad fuera del plano. El escenario específico de estudio consiste en los efectos de carga cíclica reversible que se impriman sobre el extremo delgado del alma. Según Chai y Elayer (1999), Parra et al. (2015) y Parra y Moehle (2017), cuando los extremos de muros esbeltos con aletas hacen excursiones en tracción considerables, aumenta su potencial de inestabilidad fuera del plano. Bajo demanda de tracción, los esfuerzos en el alma son esencialmente soportados por el refuerzo, generando una distribución de grietas en altura que desintegra de manera controlada al elemento. Al reversar la carga, las grietas comienzan a cerrarse, pero no necesariamente lo hacen de manera simétrica, en algunos casos propiciando el contacto del concreto primero en una de sus caras laterales, lo cual puede generar desplazamientos fuera del plano que serían precursores de una falla por pandeo global (Figura 5).

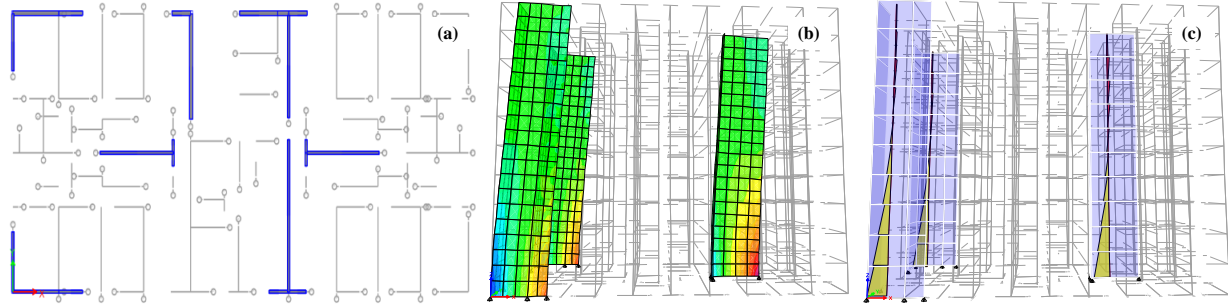


Figura 4. Muros de interés Edificio 22 (izquierda), deformada y esfuerzos verticales ante carga sísmica Edificio 22 (centro), distribución de momento en altura bajo carga sísmica Edificio 22 (derecha)

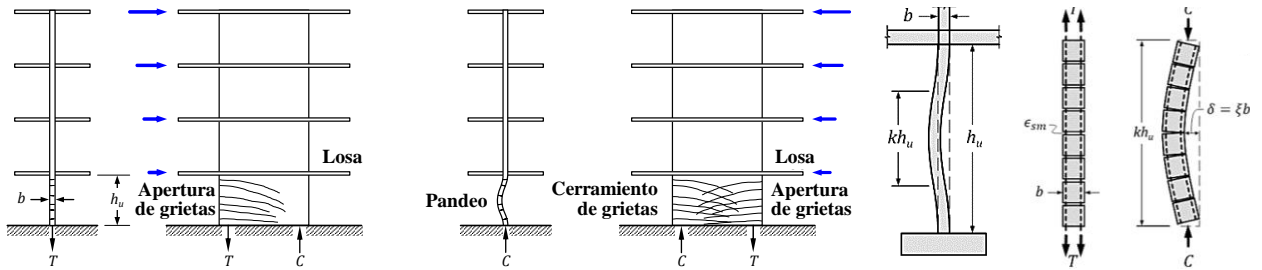


Figura 5. Mecanismo de pandeo y variables de interés en muros delgados (adaptado de Chai y Elayer (1999) y Moehle (2014))

2.3 Propiedades de los muros de interés

La longitud de los muros de interés se extiende en el rango $2 \leq l_w \leq 8$ m con una longitud típica de 4.5 m, la altura de entrepiso encontrada con mayor frecuencia fue 2.5 metros, con muy pocas variaciones de un edificio a otro. El espesor de muros toma valores discretos de 80, 100, 120, 150, 180 y 200 mm siendo los espesores más frecuentes 120 y 150 mm, de igual manera es típica la utilización de refuerzo distribuido en una sola capa para muros con espesores inferiores a 150 mm (ver Figura 6a). La cuantía típica de acero en el alma de los muros es de 0.0025. La Figura 6b presenta la variación con la altura de los edificios de la carga axial en la base de los muros, normalizada por la capacidad nominal de la sección de concreto (i.e. P/Agf'_c). Esta carga axial corresponde a la carga gravitacional probable bajo la combinación 1D+0.25L y no incluye efectos sísmicos. Se puede observar que la carga axial varía entre 2% y 11% de Ag/f'_c y que en promedio, se puede relacionar con la altura según

$$ALR = P/Agf'_c = Hw/625 + 0.016. \quad (3)$$

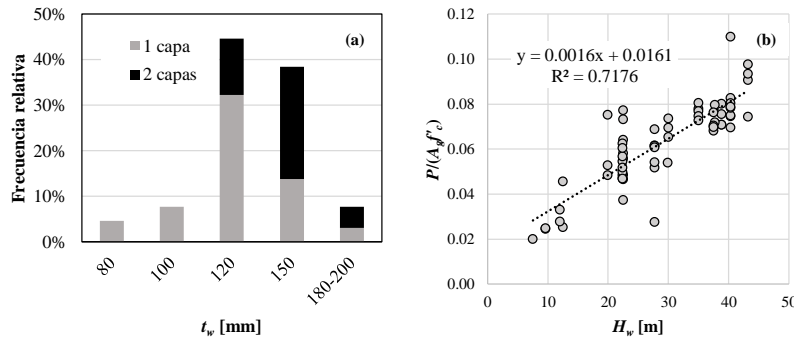


Figura 6. Espesor y carga axial: (a) distribución relativa de espesores de muros y capas de refuerzo; (b) variación de la carga axial en la base con altura.

En la Figura 7 se presentan las tipologías de las secciones transversales de los muros de interés. Los muros tipo A corresponden a los muros sin ninguna clase de detallado especial solo con su malla central o refuerzo longitudinal uniformemente espaciado a lo largo de su alma y aleta; los muros tipo B y C tienen además acero adicional vertical concentrado en los extremos pero sin ningún tipo de detallado especial en el extremo del alma; finalmente, los muros tipo D, E y F presentan acero adicional en el extremo del alma, acompañado de detallado para elementos de borde. Los muros Tipo A comprenden 34% del total de muros, los tipo B y C el 28% y el resto son muros tipo D, E o F.

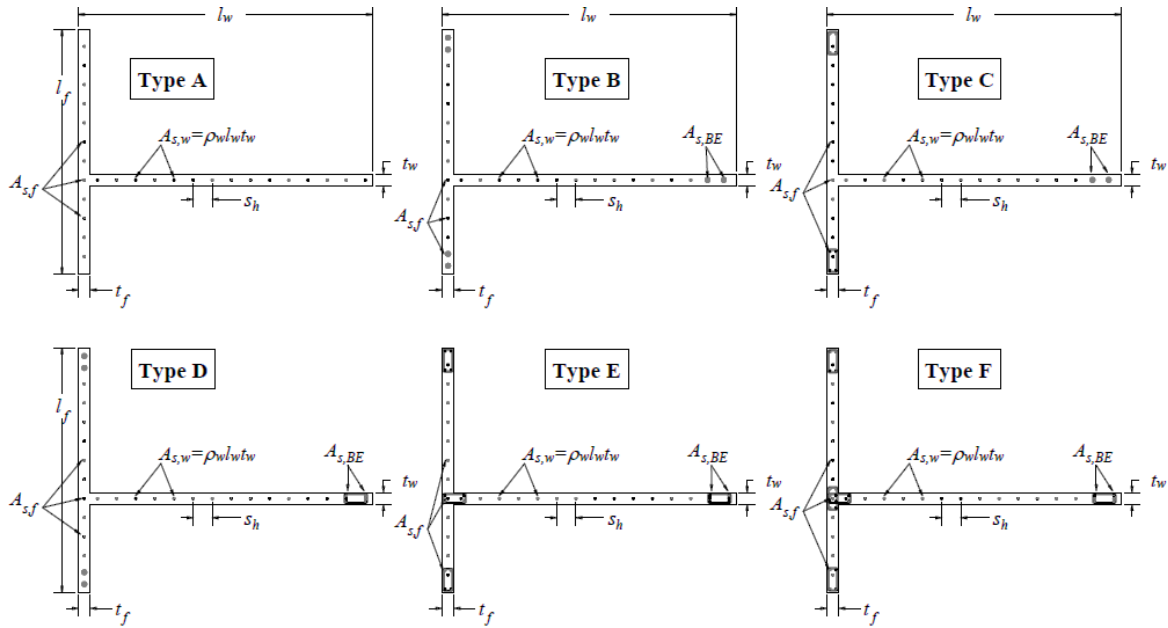


Figura 7. Tipología de muros respecto a sus elementos de borde

La profundidad nominal del eje neutro (c) es un parámetro de interés por estar asociado a fallas por flexo-compresión bajo demanda que comprime el extremo del alma mientras tracciona todo el acero de la aleta. Para hacer una estimación aproximada de c , el modelo de la Figura 8 ofrece una alternativa de formulación cerrada, sencilla de aplicar, con parámetros disponibles en la base de datos de muros. Este modelo asume que el extremo del alma está sometida a una deformación unitaria de compresión $\epsilon_{cu} = 0.003$, mientras el acero de la aleta está siendo traccionado con deformaciones mayores a la de la fluencia $\epsilon_s > \epsilon_y = f_y/E_s$. En el caso mostrado, la carga axial P es consistente con la combinación de carga $1D+0.25L$, $T_{s,f}$ es la fuerza de tracción en la aleta, $T_{s,w}$ es la fuerza de tracción en el alma que es equivalente al 80% del acero fluido a lo largo del alma, C_s es la fuerza de compresión aportada por el acero de borde (cuando existe) y C_c es la fuerza en el bloque de compresión del concreto. De la ecuación de equilibrio de fuerzas perpendiculares a la sección, se puede estimar la profundidad del eje neutro como

$$c = \frac{T_{s,f} + T_{s,w} + P - C_s}{\alpha_1 \beta_1 f'_c t_w} \quad (4)$$

donde α_1 y β_1 son parámetros del bloque de compresión que dependen de la resistencia del concreto.

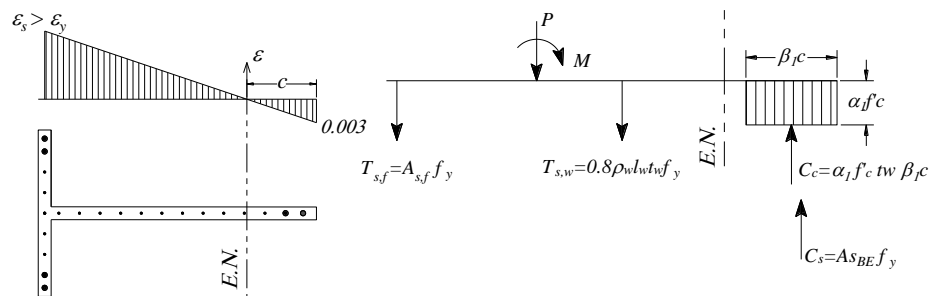


Figura 8. Modelo de compatibilidad y equilibrio en la sección crítica bajo demanda de momento que tracciona la aleta.

La Figura 9a muestra la relación entre la profundidad del eje neutro, normalizado por la longitud del alma, c/l_w , y la altura del edificio. La profundidad promedio del eje neutro es $0.3l_w$, con $CV = 40\%$. La correlación positiva de c/l_w y H_w , se explica en parte porque los muros altos tienen mayor carga axial (Figura 6a), lo cual se asocia con profundidades mayores del eje neutro. Así mismo, por requisitos de equilibrio, el área de refuerzo de la aleta también está correlacionado positivamente con la profundidad del eje

neutro, pues dada la baja capacidad relativa del concreto respecto al acero (i.e. $f_y/f'_c > 20$), el único mecanismo que tiene el concreto de la sección para equilibrar las fuerzas de tracción y la fuerza externa es ampliación de su zona compresión (i.e. $t_w c$). Desde el punto de vista de deformaciones de los muros, valores altos de c están asociados a curvaturas pequeñas, lo cual impacta la capacidad global de deformación de los muros, por ejemplo, la deriva de techo a la cual alcanzan la condición de deformación y equilibrio mostrada en la Figura 8.

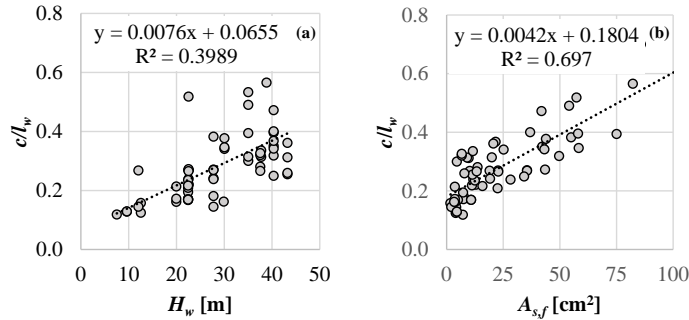


Figura 9. (a) Relación entre la profundidad del eje neutro y la altura del edificio; (b) relación entre la profundidad del eje neutro y la altura del edificio

El nivel de acoplamiento de los muros también es una variable de interés. El acoplamiento por desplazamiento entre muros adyacentes nace de la interacción de cada muro con las acciones de membrana (interacción axial) y placa (interacción por flexión) de la losa maciza circundantes. Las acciones como membrana de las losas generan acoplamiento por desplazamiento, mientras que las acciones como placa adicionan cargas axiales a los muros cuando estos son sometidos a desplazamientos por carga sísmica. Esto además genera que los muros se desplacen con perfiles de doble curvatura en altura, desviándose del comportamiento en cantiléver (Figura 4 -centro). Este comportamiento también se refleja en la inversión del signo del momento de la sección crítica (en la base) a medida que se desarrolla la altura del muro (Figura 4 -derecha). Es importante reconocer la desviación del comportamiento de los muros respecto a un cantiléver porque los ensayos de capacidad de deformación de los muros se hacen (generalmente) sobre paneles que solo comprenden la sección crítica. Por ejemplo, son típicos los ensayos sobre una versión escalada o de tamaño real del primer piso de un muro sometido a ciclos de carga reversada. En estos ensayos se determinan capacidades de rotación promedio de una pequeña porción del muro y, las extrapolaciones de estas rotaciones a derivas de techo, requiere conocer la forma desplazada de los muros acoplados.

Para evaluar esta característica del comportamiento de los muros, la Figura 10a presenta la respuesta de un muro en voladizo, sometido a la acción sísmica a través de un patrón de carga triangular invertido. Para simular el acoplamiento, se impone una carga puntual invertida a nivel de cubierta con intensidad igual a ηV_b , donde V_b es el cortante basal total, y η es denominado aquí como parámetro de acoplamiento. La carga inversa en la cubierta genera la inversión del momento en altura, lo cual simula de manera aproximada el comportamiento observado de los muros de la base de datos. La Figura 10b muestra el impacto de los valores de η en la distribución de momento en altura; para $\eta = 0$, no hay acoplamiento, y el muro se comporta como un cantiléver con curvatura simple. Según esto, si el valor de η es mayor, se considera que la interacción del muro con los elementos circundantes (por ejemplo, losas, u otros muros) es mayor.

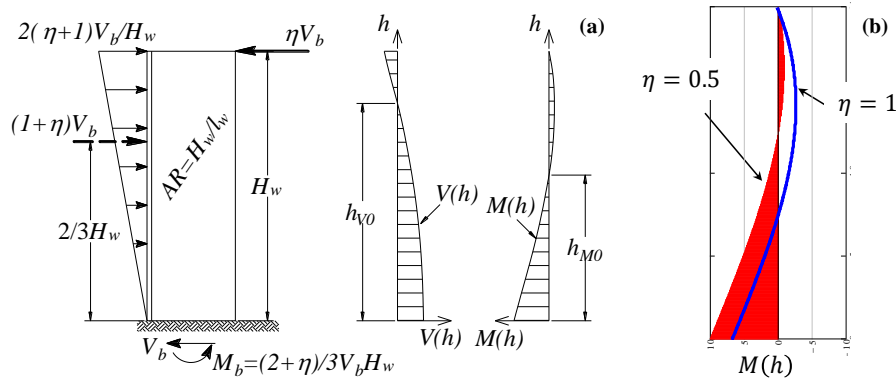


Figura 10. (a) Modelo de acoplamiento de muros en voladizo; (b) variación de la distribución del momento con el parámetro η

Por equilibrio se puede estimar que, bajo estas condiciones de carga, la relación entre el momento y el cortante basal del muro, normalizado por su longitud, $M/(Vl_w)$ (conocido como el “shear span ratio” en Inglés) está dado por

$$M/(Vl_w) = AR(2-\eta)/3 \tag{5}$$

donde, $AR = H_w/l_w$ es la relación de aspecto geométrica del muro. De un análisis bajo fuerza horizontal equivalente de los edificios en la base de datos, se obtuvieron relaciones M/Vl_w de todos los muros de interés. Esto permitió además estimar η con la Ecuación 5. Los resultados de este análisis son presentados en la Figura 11. La Figura 11a presenta la distribución relativa de la variable M/Vl_w , cuya moda es 1.8 aproximadamente. La Figura 11b demuestra que el factor de acoplamiento se reduce con el aumento de la longitud del muro, lo que indica que los muros largos, debido a su rigidez, son afectados en menor medida por las acciones de los elementos circundantes, como los son las losas u otros muros adyacentes.

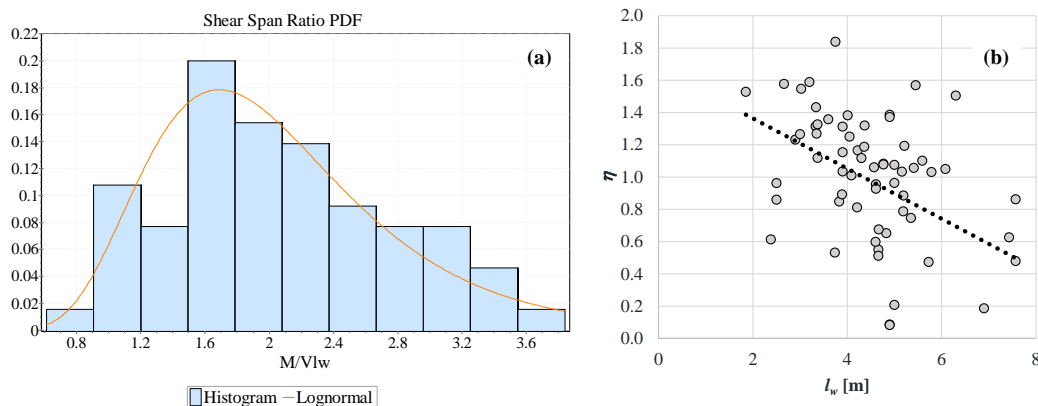


Figura 11. (a) Distribución relativa de la variable M/Vl_w ; (b) relación entre el factor de acoplamiento η y la longitud del muro.

3 CONCLUSIONES

El artículo presentó una base de datos de muros delgados con aleta, con espesor menor a 200 mm, obtenida de un subconjunto de 28 edificios construidos en la ciudad de Armenia, Colombia. El muro arquetipo tiene espesor de 120 mm, detallado de refuerzo implementado en una sola capa con malla electro-soldada, sin elementos de borde, una longitud del alma entre $2 \leq l_w \leq 8$ siendo 4.5m la longitud típica. Se encontró además que los muros estructurales con dos capas de refuerzos tienen típicamente espesores mayores a 150 mm. La carga axial típica bajo combinación de carga 1D+0.25L es 8% de la capacidad nominal del concreto de la sección transversal ($0.08A_g f'_c$). La configuración típica de estos muros, al estar armados con una sola capa de refuerzo y sin elementos de borde, pueden ser propensos a inestabilidad fuera del plano (or su gran esbeltez (e.g $h_w/t_w > 20$), y/o a fallas de flexo compresión bajo demandas de rotación baja. Este último aspecto es preocupante por la profundidad del eje neutro de los muros es alta. La relación M/Vl_w típica fue de aproximadamente 1.8, lo cual permitió definir el factor de acoplamiento η . Este relaciona el nivel de acoplamiento por desplazamiento de los muros de las edificaciones, y se encontró que decrece con la rigidez de los muros.

REFERENCIAS

- ACI-Committee-318. (2008). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-08). Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- ACI-Committee-318. (2014). Building Code Requirements for Structural Concrete and Commentary (ACI 318-14). Farmington Hills, MI: American Concrete Institute.
- Arteta, C.A. & Moehle, J.P. 2017. Sources of Lateral Instability and Deformation Limits of Boundary Elements of Special Structural Walls. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering*, January 9th to 13th, Santiago.
- Arteta, C.A. Sánchez, J. Daza, R. Blandon, C., Bonett, R. Carrillo, J. Velez, J. 2017. Global and local demand limits of thin reinforced concrete structural Wall building systems. *Proceedings of the 16th World Conference on Earthquake Engineering*, January 9th to 13th, Santiago.
- Cardona, O. Wilches-Ghaux, G. García, X. Ramirez, F. Marulanda, M. 2004. Estudio sobre Desastres Ocurredos en Colombia: Estimación de Pérdidas y Cuantificación de Costos. Departamento Nacional de Planeación, ACCI, Banco Mundial.
- Chai, Y.H. and Elayer, D.T. 1999. Lateral Stability of Reinforced Concrete Columns under Axial Reversed Cyclic Tension and Compression. *ACI Structural Journal*, 96-886, p. 780-789.
- Comité AIS-100. 2010. Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente, NSR 10, Asociación colombiana de ingeniería sísmica
- Hube, M. Marihuén, A. de la Llera, J. Stojadinovic, B. 2014. Seismic behavior of slender reinforced concrete walls. *Engineering Structures*, 80, p. 377-388.
- Jüneman, R. de la Llera, J. C. Hube, M. A. Cifuentes, L. A. Kausel, E. 2015. A Statistical Analysis of Reinforced Concrete Wall Buildings Damaged During the 2010, Chile earthquake. *Engineering Structures*, 82, p. 168-185.
- Parra, P.F., Arteta, C.A. & Moehle, J.P. (2015). Stability of Reinforced Concrete Wall Boundaries. *Proceedings of the 2015 Structural Engineering Frontier Conference*, March 18-19. Tokyo Institute of Technology, Yokohama, Japan.
- Rosso, A. Almeida, J. Beyers, K. 2015. Stability of thin reinforced concrete walls under cyclic loads: state of the art and new experimental findings, *Bull Earthquake eng.*