



ESTIMACIÓN RÁPIDA DE LA DEMANDA SÍSMICA EN EDIFICIOS DE MUROS DELGADOS DE HORMIGÓN REFORZADO

Arabella Zapata, Ricardo Bonett

**Universidad de Medellín
Medellín, Colombia**

Carlos Blandón

**Universidad EIA
Medellín, Colombia**

Resumen

Dado el auge de la construcción de vivienda con el sistema de muros industrializados, que típicamente consiste en edificios con muros de hormigón reforzado delgados y esbeltos, es necesario contar con herramientas que permitan realizar estimaciones rápidas de la demanda sísmica en este sistema a fin de garantizar que el predimensionamiento de los elementos estructurales sea el adecuado. En este trabajo se presenta una ecuación para calcular la demanda de rotación elástica asociada con el sismo de diseño como una función del índice de rigidez, un parámetro que relaciona la altura total del edificio con su periodo considerando secciones fisuradas (h_w/T_{cr}). Para obtener la expresión, se utilizó una base de datos de 13 edificios con 26 modelos estructurales correspondientes al análisis en las dos direcciones principales. Los edificios en la base de datos, de los que se contó con información detallada y planos estructurales, están localizados en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta. El estudio de los edificios consistió en análisis modales espectrales usando software de uso comercial para análisis estructural (ETABS). Para cada edificio, se obtuvo el desplazamiento en el techo debido a la demanda sísmica y se estimó la rotación en la base. Adicionalmente, se caracterizaron parámetros estructurales como el índice de área de muros, la relación de aspecto de los muros que soportan más del 50% del cortante sísmico, los detalles del refuerzo de los muros y la configuración estructural. Los resultados obtenidos mediante la ecuación propuesta permiten clasificar las estructuras de acuerdo con su nivel de

demanda sísmica, las características de la configuración estructural y los umbrales de rotación. Se proponen análisis adicionales para extender las conclusiones obtenidas en este estudio cuando el comportamiento no lineal, las excentricidades asociadas con deficiencias constructivas, y los efectos de torsión son tomados en cuenta.

Palabras clave: muros delgados; hormigón reforzado; demanda sísmica

Abstract

The boom in Colombian construction practice involving industrialized wall systems, which are typically thin and slender reinforced concrete walls buildings, has made it necessary to have adequate tools for rapid estimation of the seismic demand acting on said systems so the preliminary size of the walls can be adequately established. This paper presents an equation to determine the elastic rotation demand associated with the design earthquake as a function of the stiffness index (total height/cracked period), a parameter that relates the total height of the building with its period considering cracked sections. The equation was derived using a database of 13 buildings and their corresponding 26 structural models for analysis in each orthogonal direction. All buildings in the database are in intermediate and high seismic hazard zones, and access to detailed information and their structural plans was possible. A commercially available software (ETABS) was used to perform spectral modal analyses for all structural models. For each building, the roof displacement associated with the seismic demand was calculated, and the base rotation estimated. Furthermore, structural parameters such as wall area index, aspect ratio of walls carrying more than 50% of the seismic shear, the reinforcement details of the walls, and the structural configuration were determined. The results provided by the proposed equation allow classifying the structures according to their unique seismic demand, characteristics of their structural configuration and their rotation thresholds. Further analyses are proposed to extend the conclusions of this study when nonlinear behavior, eccentricities due to construction deficiencies, and torsional effects are considered.

Keywords: thin walls; reinforced concrete; seismic demand

1. Introducción

El sistema de muros de hormigón reforzado delgados y esbeltos han sido en los últimos veinte años ampliamente utilizado en Colombia para superar el déficit de vivienda en especial de interés prioritario ya que este sistema de fabricación en serie de tipo industrializada permite obtener mayor cantidad de unidades en menor tiempo y a relativo menor costo.

Los daños observados en sismos recientes en países de alta sismicidad como Chile, Nueva Zelanda y Japón, en edificios de muros de hormigón reforzado con adecuadas configuraciones y detallado de refuerzo y mejores a aquellas con las cuales se proyecta y construye en Colombia, plantean la inquietud de revisar los criterios propios de diseño de este sistema a fin de contribuir con la reducción de su vulnerabilidad y por lo tanto con la mitigación del riesgo sísmico.



Los estudios numéricos y experimentales desarrollados por Rosso et al. (2020), Blandón y Bonett (2020), Carrillo et al. (2019), Blandón et al. (2018), Rosso et al. (2018) y Rosso et al. (2016), han demostrado los inconvenientes de los elementos estructurales que conforman este sistema. Entre las observaciones realizadas por estos se encuentra la limitación del confinamiento en espesores de muros reducidos, la limitada capacidad de deformación plástica del refuerzo, las capacidades de rotación limitadas interiores al 0.8% y en algunos casos inestabilidad fuera del plano.

2. Descripción del sistema estructural

Desde la década de los noventa, los diseñadores y constructores en Colombia han proyectado y construido edificios con muros industrializados de hormigón reforzado (Fig. 1a), con unas características particulares que lo hacen un sistema estructural muy diferente a los estándares internacionales. El sistema es utilizado para construir edificios desde 5 pisos hasta 30 pisos, con espesores reducidos (entre 80 mm y 200 mm), se utiliza por lo general malla electrosoldada como refuerzo vertical principal en el alma distribuido en una o dos capas, un gran porcentaje de los muros no tiene confinamiento en los elementos de borde o en algunos casos, se suministra confinamiento, pero en un espesor menor o igual a 150 mm. Se utilizan configuraciones estructurales en planta con secciones geométricas irregulares, las cuales terminan controlando el comportamiento sísmico del edificio. Estas secciones transversales irregulares se combinan con muros de sección rectangular, en T, L, C o I de tal forma que se estructuran proyectos como el que se muestra en la Fig. 1b.



Fig. 1. a) Sistema estructural de muros de hormigón reforzado delgados. b) Formas típicas de los muros del sistema

En cuanto a la forma de la planta de los edificios, predominan las formas rectangulares alargadas, en algunos casos con relaciones de longitud/ancho mayor a 3, lo cual induce fenómenos de torsión. Por lo general, la densidad de muros (área de muros con respecto al área en planta del edificio) es mucho mayor en la dirección transversal. Sin embargo, en esta misma dirección, se utilizan muros con relaciones de aspecto altas (altura total/longitud de cada muro mayor a 10), debido a las limitaciones arquitectónicas. Todas estas características generan inquietudes en cuanto a la capacidad de disipación de energía del sistema. No obstante, para el caso de edificios con bajas demandas de desplazamiento, estas particularidades podrían no ser críticas para su comportamiento, siempre y cuando se logre garantizar una capacidad mucho mayor a la demanda. Lo anterior, hace que sea necesario avanzar en métodos rápidos de estimación de la



demanda, que permitan aceptar o rechazar concepciones estructurales al inicio de los proyectos. En cuanto a los edificios existentes, este tipo de estimación puede permitir hacer una priorización de cuáles edificios requieren de estudios más detallados.

3. Base de datos de edificios en zonas de amenaza alta e intermedia

Para este estudio se cuenta con una extensa base de datos recopilada por la Red Colombiana de Investigación en Ingeniería Sísmica CEER durante los últimos 10 años, en diferentes ciudades del país, con niveles de amenaza sísmica alta e intermedia, tales como Armenia, Bogotá, Bucaramanga, Cali, Medellín y Pereira. De la base de datos principal se seleccionaron 13 edificios comprendidos entre 5 y 11 niveles, los cuales fueron clasificados como bajos debido a su bajo nivel de demanda y surge el interrogante de ¿cuál será su nivel de riesgo expuesto y si cuentan con la capacidad necesaria para resistir esta demanda, aunque baja, a pesar de sus limitaciones estructurales? A partir de planos estructurales de los 13 edificios seleccionados, se calcularon los macro parámetros globales (edificio) y los parámetros locales (muros), los cuales se muestran en la Tabla 1. Estos parámetros permiten hacer una caracterización de los edificios en cuanto a su concepción estructural tanto a nivel de configuración como del detallado de refuerzo.

En la Tabla 2 se observan los parámetros globales característicos de los edificios y las ciudades seleccionadas. Se tienen en total 26 modelos estructurales de los 13 edificios al considerar cada una de las direcciones en planta, 18 de ellos ubicados en zona de amenaza sísmica alta y 8 en zona de amenaza sísmica intermedia en las ciudades de Armenia, Bucaramanga y Bogotá. La mayoría de los edificios están localizados en suelo tipo D. Se destacan como variables a ser utilizadas en la estimación de la demanda rápida y en los análisis, el número de pisos y la altura del edificio como parámetros determinantes para su clasificación. En la Fig. 2b), se observa el porcentaje de distribución de los edificios por número de pisos.

Tabla. 2. Variables consideradas en el análisis

Parámetros Globales	Parámetros del Muro
Ciudad	f'_c : Resistencia a la compresión del concreto
Tipo de Suelo	f_y : resistencia a la fluencia del acero
N_{story} : Número de Pisos	t_w : Espesor del muro
H_s : Altura del Entrepiso Típica	ρ_l : Cuantía de refuerzo longitudinal
H_w : Altura Total del Edificio	L_w : Longitud del muro
Área de la Planta	Área del alma del muro
L: Longitud de la planta	Tipo de refuerzo longitudinal y transversal
B: Ancho de la planta	Número de capas de refuerzo en el alma (1 o 2)
Relación de aspecto de la planta L/B	Espaciamiento de la malla o barras de refuerzo

El índice de área de muros en planta ("Wall Area Index", WAI) se calcula como la relación entre el área de los muros responsables de la resistencia sísmica en las direcciones transversal o



longitudinal y el área de la planta del primer nivel del edificio. Este índice se ha correlacionado con el daño estructural en eventos sísmicos Fuertes (Jünemann et al. 2015). Observaciones acerca del buen comportamiento observado en edificios de muros estuvo relacionado con WAI en los edificios superiores a 2.8%. Los edificios analizados en este estudio presentan WAI entre 0.4% y 4.5%, sin embargo 50% de los edificios tienen valores inferiores a 3%.

En cuanto a la densidad de muros, ("Wall Density", WD), este parámetro es utilizado para determinar la magnitud de rigidez lateral asociada con cada dirección ortogonal del edificio, la cual se obtiene como la relación entre el área total de los muros en la base y la sumatoria de las áreas totales las plantas en todos los niveles, dado que en este estudio las plantas son iguales el cálculo se simplifica dividiendo el WAI entre el número de pisos obteniéndose valores que están entre 0.12% y 0.8%. En la literatura internacional (Lagos et al. 2020), se reporta que WD superiores a 0.1% son adecuados.

Tabla. 2. Base de datos de edificios bajos del inventario nacional de edificios CEER

Edificio	Ciudad	Amenaza	Tipo Suelo	R	Sa (%)	N. Pisos	Hw (m)	WAI_X (%)	WAI_Y (%)	WD_X (%)	WD_Y (%)
ARM-05-5P	Armenia	Alta	D	5	0.81	5	12.0	1.80%	2.80%	0.36%	0.56%
ARM-12-5P	Armenia	Alta	D	4	0.81	5	12.5	3.40%	4.00%	0.68%	0.80%
ARM-13-5P	Armenia	Alta	D	5	0.81	5	12.5	3.80%	3.00%	0.76%	0.60%
BOG-11-6P	Bogota	Intermedia	C	5	0.58	6	14.7	1.60%	3.50%	0.27%	0.58%
BOG-15-6P	Bogota	Intermedia	C	5	0.58	6	14.8	0.40%	3.80%	0.07%	0.63%
BOG-16-6P	Bogota	Intermedia	C	5	0.58	6	14.7	2.30%	4.50%	0.38%	0.75%
ARM-14-8P	Armenia	Alta	D	5	0.81	8	19.9	3.10%	4.30%	0.39%	0.54%
BOG-18-8P	Bogota	Intermedia	B	5	0.12	8	20.0	1.70%	3.40%	0.21%	0.43%
ARM-19-9P	Armenia	Alta	D	5	0.81	9	22.5	1.40%	1.90%	0.16%	0.21%
ARM-28-9P	Armenia	Alta	D	5	0.81	9	22.5	2.90%	3.10%	0.32%	0.34%
BUC-04-10P	Bucaramanga	Alta	D	5	0.38	10	25.5	1.45%	4.22%	0.14%	0.42%
BUC-22-10P	Bucaramanga	Alta	C	5	0.62	10	25.4	1.41%	2.60%	0.14%	0.26%
BUC-05-11P	Bucaramanga	Alta	B	5	0.60	11	28.8	1.33%	4.16%	0.12%	0.38%

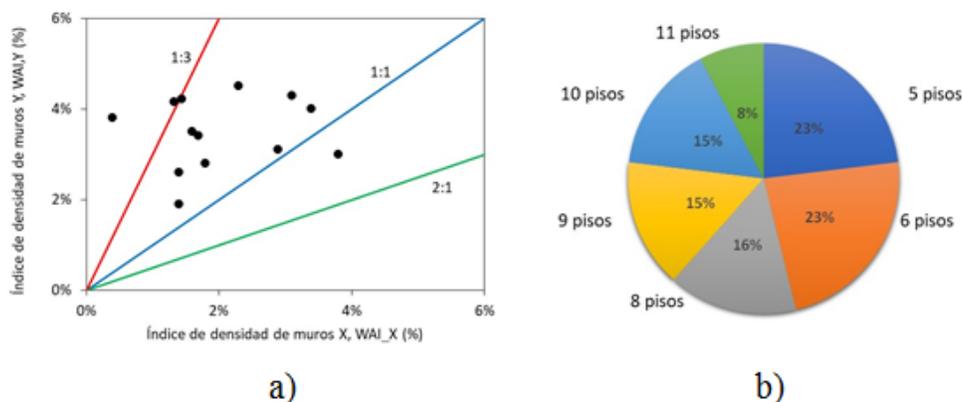


Fig. 2. a) Índice de densidad de muros, WAI y b) Distribución de edificios bajos por número de pisos.

4. Modelación numérica lineal

Con el fin de obtener los parámetros asociados al comportamiento estructural lineal elástico de los edificios, esto es; períodos estructurales en ambas direcciones (con secciones brutas y secciones fisuradas), demandas de cortante basal, demandas de deriva máxima de entrepiso y deriva de



techo, se realizó la modelación numérica tridimensional detallada de 13 edificios para ser analizados mediante el método de la fuerza horizontal equivalente y el análisis espectral para la fuerza sísmica correspondiente, de acuerdo con la zona de amenaza sísmica, el tipo de suelo y el nivel de importancia de la edificación. Estos modelos se construyeron en el software comercial ETABS (CSI 2018) para el análisis elástico con secciones no fisuradas y fisuradas que dan como resultados los análisis para los 26 modelos estructurales. Los muros estructurales se modelaron como elementos tipo Shell que tienen en cuenta la rigidez como un solo elemento de los muros con formas estructurales complejas como U, L y T formados por segmentos en el modelo. Las vigas se modelaron como elemento tipo "frame" y las losas de hormigón armado se modelaron como elementos Shell. En la modelación de las secciones fisuradas, se considera 0.5 de la sección bruta en muros. La Fig. 3, muestra tres de los modelos numéricos analizados, para 5, 8 y 10 niveles respectivamente.

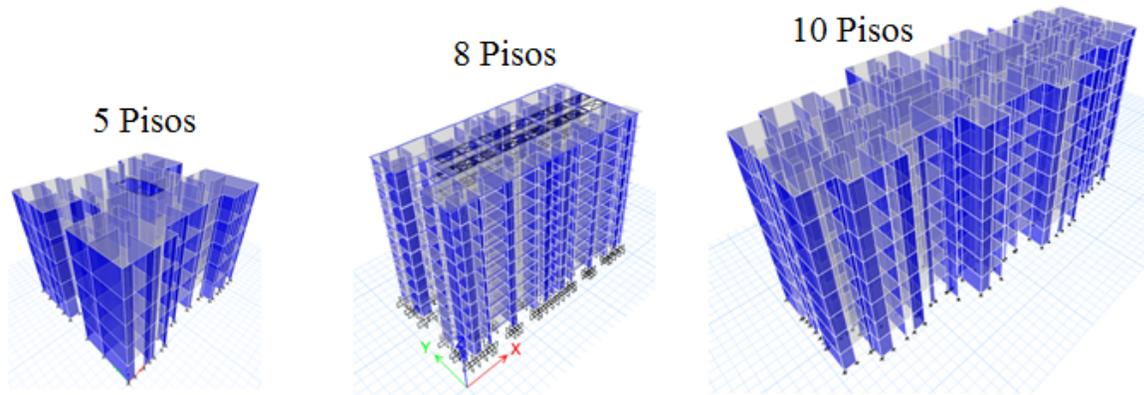


Fig. 3. Modelos numéricos de edificios bajos en ETABS.

5. Análisis y discusión de los resultados

En la Fig. 4 se presentan los períodos obtenidos con secciones sin fisurar (Fig. 4a) y fisuradas (Fig. 4b), la relación entre los períodos de las dos consideraciones (Fig. 4c) y un ajuste para la relación existente entre los períodos de secciones brutas y secciones fisuradas (Fig. 4d). Los resultados obtenidos muestran que los edificios bajos tienen períodos que varían entre 0.1s y 0.9s para secciones no fisuradas, adicionalmente se observa la tendencia esperada del incremento del período con el número de pisos, la cual se mantiene para secciones fisuradas, teniendo un incremento cercano a un 40% en el valor del período como se observa en el ajuste que se presenta en la Fig. 4d). Si se comparan los períodos de secciones sin fisurar en las direcciones longitudinal y transversal (Fig. 4c), se observa que en su mayoría los edificios presentan mayor período que representa una menor rigidez en la dirección longitudinal, lo que era de esperarse debido a la menor densidad de muros que se tiene en esta dirección como se observa en la Fig. 2a) existiendo una relación de 1:3 entre el índice de densidad de muros de la dirección corta y larga del edificio. Los valores de T_{cr}/T varían entre 1.20 y 1.42, con un valor medio igual a 1.35, para edificios bajos (Fig. 4d). Para propósitos de diseño, podría tomarse de manera aproximada una relación entre el período de secciones fisuradas y sin fisurar de 1.4 en edificios bajos, considerando que un incremento en el período estructural genera un incremento en la demanda de desplazamiento elástico en la misma proporción.



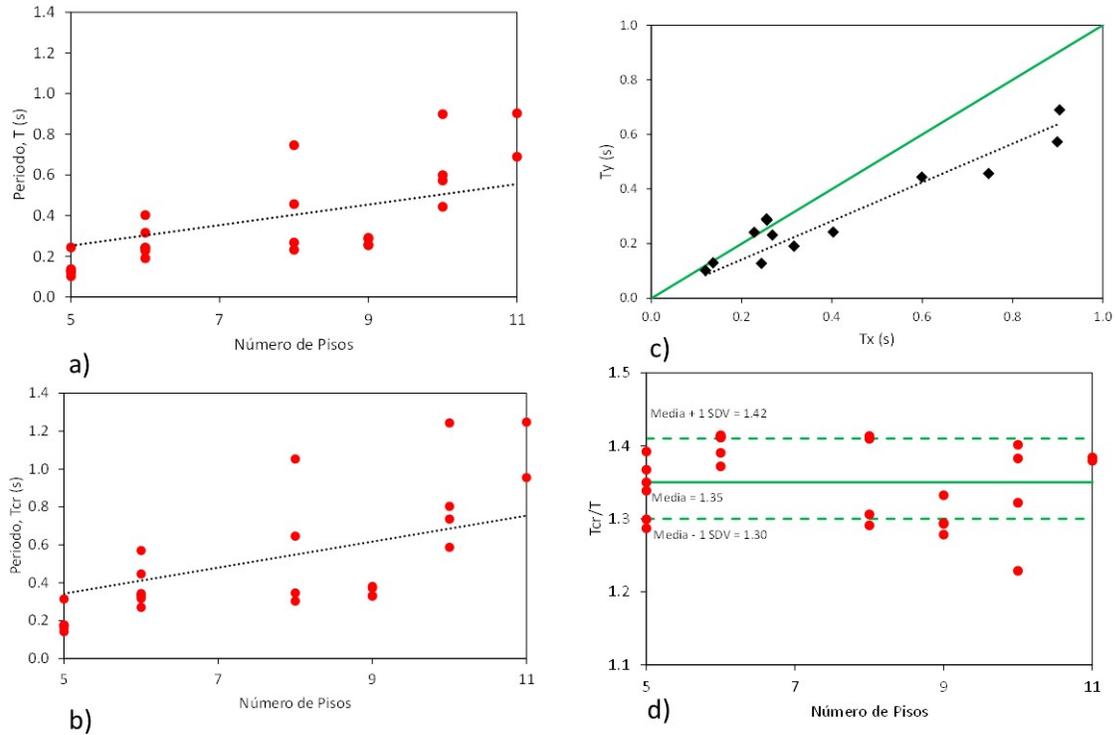


Fig. 4. a) Periodos con secciones brutas. b) periodos con secciones fisuradas. c) Relación entre el periodo longitudinal y transversal. d) relación entre periodo con secciones fisuradas y secciones sin fisurar.

Analizando índices de desempeño obtenidos a partir de un análisis modal espectral, esto es, la deriva máxima de entrepiso (SDR) y la deriva máxima de techo (RDR), se observa que existe una relación lineal entre la deriva máxima entre piso y la deriva de techo, tal y como se muestra en la Fig. 5. La deriva de entrepiso es 1.3 veces la deriva de cubierta. Los resultados obtenidos muestran que la deriva máxima de entrepiso con secciones fisuradas es inferior a 1.4%, lo cual es admisible de acuerdo con el límite establecido en NSR-10 de 1.43%. En cuanto a la rotación máxima de cubierta, ésta es menor a 1.2%.

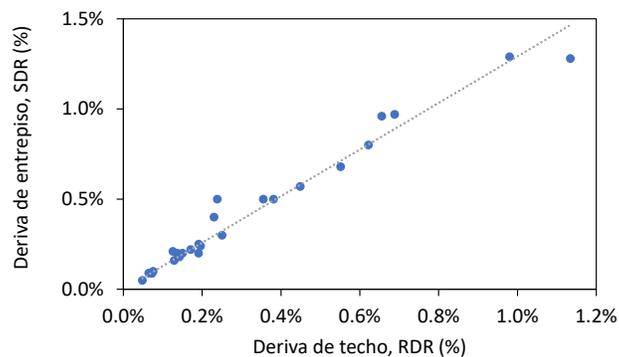


Fig. 5. Relación entre la deriva máxima de entrepiso (SDR) y la deriva de cubierta (RDR)

El parámetro deriva de entrepiso, que se establece como límite en NSR-10 del 1% es adecuado para determinar el desempeño de los elementos no estructurales, sin embargo, un mejor parámetro de medida del desempeño estructural se considera la rotación de cubierta, por lo que resulta útil



relacionar esta con los parámetros característicos estructurales para determinar con cuáles de estos se puede obtener un mejor ajuste para la estimación de la demanda de rotación en edificios bajos. Una vez realizado este análisis se observó que en la relación de este parámetro con WAI y WD existe una dispersión considerable en los resultados para edificios con el mismo índice. Por ejemplo, edificios con WAI de 1.5% pueden tener demandas de deriva entre 0.1% y 1.1% y en el caso de WAI de 4% las variaciones en demanda de deriva oscilan entre 0.1% y 0.7%. Estos resultados ponen en evidencia las limitaciones que tienen estos dos parámetros para evaluar la rigidez estructural del sistema.

Con el fin de tener una idea de que tan adecuada es la propuesta reglamentaria NSR-10 en Colombia para el cálculo del período aproximado para el sistema estructural en estudio, el cual se utiliza para determinar la demanda de fuerza sísmica para el análisis estático y el análisis modal espectral en el método basado en fuerzas, se realiza un ajuste de los parámetros de dicha expresión para los edificios bajos, encontrándose para el período, $T = C_t H_w^\alpha$, con parámetros $C_t=0.0023$ y $\alpha=1.68$ en comparación con la propuesta reglamentaria $C_t=0.0049$ y $\alpha=0.75$. En la Fig. 6 se observa la comparación del ajuste con la propuesta reglamentaria para el cálculo del período aproximado. En NSR-10 se sobre estima la rigidez de los edificios, conduciendo a un cálculo de períodos menores que los reales en especial para edificios de mayor altura. Lo anterior conduce en el caso del análisis modal espectral, a niveles de desplazamiento menores a los que podría presentar la estructura.

Con el fin de analizar mejor los resultados obtenidos, se calcula el índice de rigidez, el cual se define como la relación entre la altura total de una edificación y el periodo agrietado del primer modo traslacional, H_w/T_{cr} . De acuerdo con Lagos et al. (2020), los edificios se pueden clasificar como muy flexibles si $H/T_{cr} < 11$ m/s, flexibles para H_w/T_{cr} entre 11 – 21 m/s, de rigidez normal entre 21 – 43 m/s, rígidos entre 43 – 80 m/s y de excesiva rigidez si $H_w/T_{cr} > 80$ m/s.

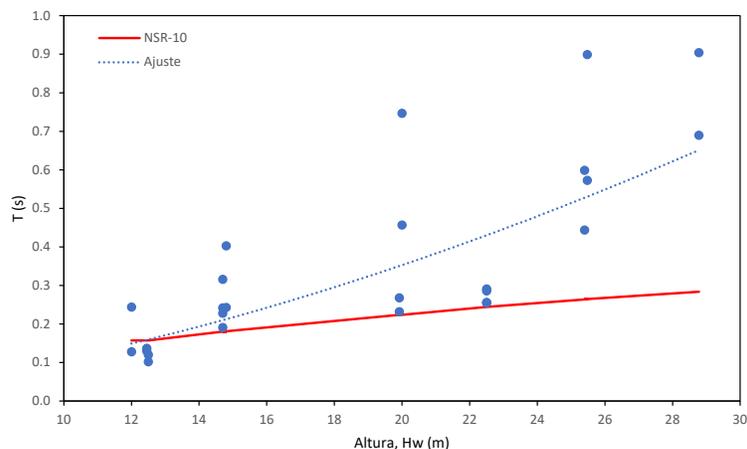


Fig. 6. Cálculo del período aproximado $T = C_t H_w^\alpha$ en comparación con ajuste

En la Fig. 7 se presenta tanto la relación entre el periodo agrietado y la altura total del edificio en relación con la clasificación de los índices de rigidez, como la relación entre la rotación y el índice de rigidez para los edificios analizados.



Se observa que el 56% de los edificios bajos son rígidos, un 38% tienen rigidez normal y un 6% corresponde a edificios flexibles. A medida que se incrementa la altura, aumenta la flexibilidad del edificio. El índice de Rigidez (H/T_{cr}), puede ser utilizado para estimar la demanda de rotación del edificio, tal y como se muestra en la Fig. 7. Se observa que a medida que aumenta H/T_{cr} , disminuye la demanda de rotación elástica (RDR). H/T_{cr} muestra una buena correlación con la demanda elástica de desplazamiento y relativamente baja dispersión. A partir de los resultados obtenidos, se ajusta una función potencial, la cual se muestra en la Ec. 1, para la que se obtiene un coeficiente de ajuste $r=0.88$. Esta expresión puede ser utilizada para estimar la demanda de rotación elástica que tendría un edificio de acuerdo con su índice de rigidez para el período de retorno de la amenaza asociado al espectro de diseño.

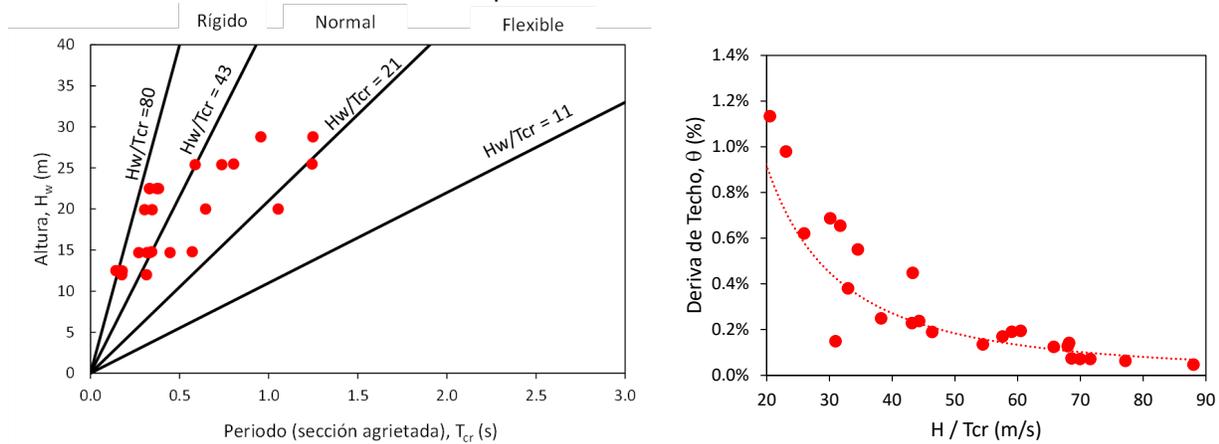


Fig. 7. a) Relación entre la altura del edificio y el periodo de secciones fisuradas T_{cr} . b) Relación entre la demanda de deriva y el índice de rigidez

$$RDR = \frac{1.75}{(H/T_{cr})^{1.75}} \text{ Ec. 1}$$

De la Ec. 1, se puede estimar la demanda de rotación elástica que tendría un edificio rígido ($H/T_{cr}=43$) obteniéndose un valor de RDR igual a 0.24% mientras que para un edificio de rigidez normal ($H/T_{cr}=21$) se obtiene un valor de RDR igual a 0.84%. Para el caso de secciones sin fisurar, puede establecerse la demanda de deriva usando un valor igual al obtenido dividido por 1.35 para edificios bajos rígidos y de rigidez normal respectivamente. Los parámetros de ajuste obtenidos deben refinarse con la inclusión de nuevos edificios, en especial verificar si la tendencia se mantiene al considerar edificios de mayor altura considerados intermedios o altos e identificar la influencia de las configuraciones estructurales sobre esta estimación. Como alternativa para el cálculo de demanda de deriva está la relación existente entre la demanda de deriva de techo RDR y el período de secciones fisuradas $RDR = 0.7 T_{cr}$.

A continuación, se establece un procedimiento simplificado para la estimación de la demanda elástica en edificios de muros delgados de hormigón reforzado que puede ser de utilidad para determinar la demanda de rotación de techo en edificios existentes o que estén en proyecto con el fin de verificar de manera rápida conociendo la altura o el índice de rigidez si la configuración estructural del edificio es la adecuada.

El procedimiento de estimación rápida de la demanda propuesto PERDE representa de manera esquemática en la Fig. 8



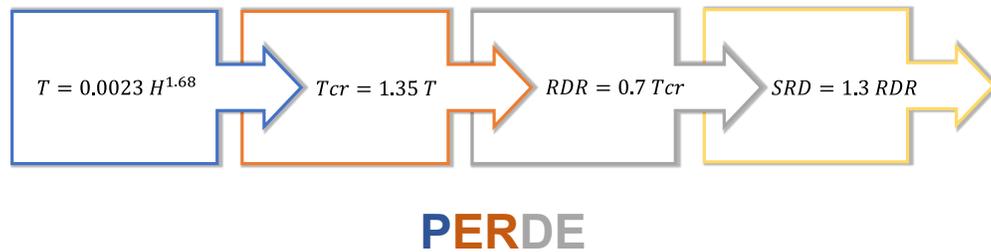


Fig. 8. Procedimiento para la estimación rápida de la demanda elástica.

Para evaluar la configuración estructural, el paso a seguir sería traducir la demanda elástica en una demanda inelástica y posteriormente comparar con los umbrales para los diferentes estados límites del sistema estructural y así poder validar si se cumplen los objetivos de diseño. Este trabajo se encuentra aún en proceso y representa una siguiente fase del proyecto de investigación en el cual se enmarca esta propuesta.

6. Conclusiones

En este documento se pretende caracterizar el sistema estructural de muros de hormigón reforzado delgados en edificios bajos ubicados en zonas de amenaza sísmica alta e intermedia en Colombia. Se presenta el análisis para un total de 26 modelos estructurales (13 edificios) con el fin de establecer relaciones entre parámetros geométricos y las propiedades estructurales como el período de secciones sin fisurar y fisuradas.

Se obtienen ajustes que relacionan las principales características de los edificios con la demanda elástica de rotación máxima y se plantea una ecuación para estimar el período fundamental de vibración del sistema en función de la altura del edificio.

Finalmente se propone un procedimiento rápido de estimación de la demanda sísmica como alternativa de evaluación de este parámetro para edificios existentes y que van a ser proyectados y su relación con la reglamentación actual.

7. Referencias

Artículos de revistas

- Blandón C. and Bonett R. (2020). Thin slender concrete rectangular walls in moderate seismic regions with a single reinforcement layer. *Journal of Building Engineering*.
- Blandon C., Arteta C., Bonett R., Carrillo J., Beyer K. and Almeida J. (2018). Response of thin lightly reinforced concrete walls under cycling loading. *Engineering structures*.
- Carrillo J., Diaz C., and Arteta C. (2019) Tensile mechanical properties of the electro-welded wire meshes available in Bogotá, Colombia. *Construction and Building Materials*, 195, 352-362.
- Junemann, R., de la Llera, J. C., Hube, M. A., Cifuentes, L. A., and Kausel, E. (2015) A statistical analysis of reinforced concrete wall buildings damaged during the 2010, Chile earthquake. *Engineering Structures*, 82, 168-185.



- Lagos, R., Lafontaine, M., Bonelli, P., Boroschek, R., Guendelman, T., Massone, L. M., ... & Yañez, F. (2020). The quest for resilience: The Chilean practice of seismic design for reinforced concrete buildings. *Earthquake Spectra*.
- Rosso A., Jimenez L., Almeida J., and Beyer K. (2020). Instability of thin concrete walls with a single layer under cycling loading: numerical simulation and improved equivalent boundary element model for assessment. *Earthquake Engineering*.
- Rosso A., Jiménez-Roa L., Almeida J., Zuniga A., Blandón C., Bonett R. and Beyer K. (2018) Cyclic tensile-compressive tests on thin concrete boundary elements with a single layer of reinforcement prone to out-of-plane instability. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 16(2):859-887.
- Rosso A., Almeida J. and Beyer K. (2016) Stability of thin reinforced concrete walls under cyclic loads: State-of-the-art and new experimental findings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 14:455-484.

Sobre los autores

- **Arabella Zapata:** Ingeniera Civil, Máster en Ingeniería-Estructuras, Candidata a PhD de la Universidad de Medellín. Profesor Asistente. azapata@elpoli.edu.co
- **Ricardo Bonett:** Ingeniero Civil, Máster en Ingeniería Sísmica, Doctor en Ingeniería Sísmica y Dinámica Estructural de la Universidad Politécnica de Cataluña. Profesor titular. rbonett@udem.edu.co
- **Carlos Blandón:** Ingeniero Civil, Máster en Ingeniería Sísmica, Doctor en Reducción del riesgo sísmico de la Universidad de Pavia. Profesor titular. carlos.blandon@eia.edu.co

Los puntos de vista expresados en este artículo no reflejan necesariamente la opinión de la Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería.

Copyright © 2021 Asociación Colombiana de Facultades de Ingeniería (ACOFI)

