



**CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO**

**2019** Medellín, Centro de Eventos El Tesoro  
Junio 19, 20 y 21



icca  
INSTITUTO COLOMBIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO



CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

2019 Medellín, Centro de Eventos El Tesoro  
Junio 19, 20 y 21

## Nota del ICCA

El ICCA no ejerce control sobre el contenido de esta conferencia. Lo tratado en ella refleja sólo la opinión de su autor.

Los invitamos a poner sus teléfonos en silencio

Gracias

**Diseño de Muros Estructurales de Concreto Reforzado con Elementos de Borde Compuestos Acero-Concreto**

*Gilberto Areiza Palma*  
Ingeniero Civil, MSc  
Consultor Estructural  
Profesor Titular Universidad del Valle



CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO



icca  
INSTITUTO COLOMBIANO DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO



CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

2019 Medellín, Centro de Eventos El Tesoro  
Junio 19, 20 y 21

## Ventajas de Construcción Compuesta Acero - Concreto

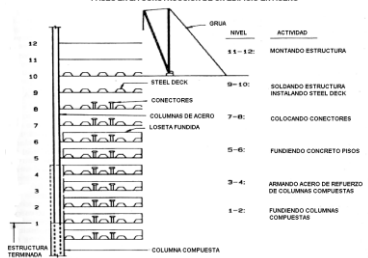
- **Miembros de concreto:**
  - Alta resistencia a compresión
  - Rigidez
  - Amortiguamiento
  - Resistencia al fuego
- **Miembros de acero:**
  - Alta resistencia a tracción y ductilidad
  - Alta velocidad de construcción



CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

2019 Medellín, Centro de Eventos El Tesoro  
Junio 19, 20 y 21

### FASES EN LA CONSTRUCCIÓN DE UN EDIFICIO EN ACERO




CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO

2019 Medellín, Centro de Eventos El Tesoro  
Junio 19, 20 y 21





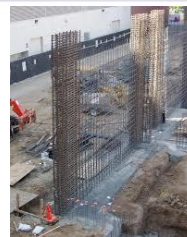
## Contenido de la presentación

- Motivación
- Tipos de columnas de sección compuesta acero-concreto
- Algunas investigaciones realizadas
- Diseño de muros estructurales de acuerdo con el Reglamento NSR-10
- Diseño de elementos de borde compuestos
- Conclusiones y recomendaciones



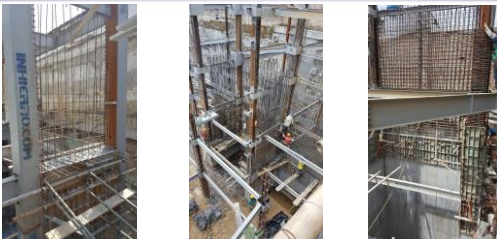
## Motivación

- Elementos de borde de concreto reforzado requieren detallado especial del acero de refuerzo, para asegurar adecuado comportamiento sismo resistente, que normalmente resulta en elementos altamente congestionados que dificultan el vaciado del concreto
- El uso de elementos compuestos acero-concreto resultan altamente eficientes, de gran rigidez a carga lateral, reducción notable de la cantidad de acero de refuerzo requerido tanto longitudinal como transversal lo que facilita el vaciado del concreto.



**Muro Estructural de CR con Elementos de Borde de CR**

(foto tomada de la publicación NERHP "Seismic Design of Cast-in-Place Concrete Walls and Coupling Beams", J. P. Moehle et al)



**Muro Estructural de CR con Elementos de Borde de Compuestos**

(fotos cortesía del Ingeniero Luis Garza)



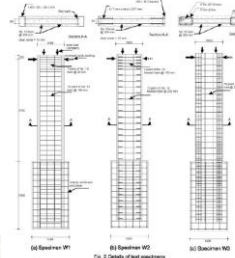
## **Columnas de Sección Compuesta**





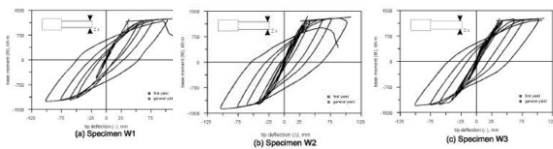
## INTRODUCTION

Ductile flexural concrete walls require a significant amount of confining reinforcement at their boundaries to improve the deformation capacity. However, this often causes serious difficulty in the bar placement due to the very smaller spacing required. Replacing the conventional reinforcement by the structural steel in such heavily reinforced regions has many advantages. These include the reduction of on-site labor related to the bar placement, easy connection to steel frames in case of mixed construction, and steel ends also acting as the permanent formwork [NHERP, 1997]. In addition, some inherent properties of composite members such as the increased stiffness and energy absorption are also expected, but not yet fully confirmed [Wakabayashi, 1986]. Thus, this research aims at investigating the reversed cyclic loading responses of alternative construction techniques, incorporating structural steel boundary elements interconnected to the reinforced concrete web of the wall, by comparisons with those of ordinary concrete walls with conventional reinforcement details.



Se diseñaron y ensayaron tres especímenes de una estructura prototipo de un edificio de 12 pisos:

- En el espécimen W1 los elementos de borde están formados por perfiles tubulares no rellenos de concreto HSS 152x102x8.4
- En el espécimen W2 los elementos de borde están formados por parejas de perfiles canal C150x19
- Para efectos comparativos en el espécimen W3 los elementos de borde están formados por columnas de concreto reforzado detallados para cumplir los requisitos de muros dúctiles



Curvas Momento– Deflexión de los Especímenes Ensayados



## Conclusiones y recomendaciones de esta investigación:

- La respuesta histerética de los elementos de borde compuestos fue similar a la de muros dúctiles de concreto reforzado
- Soldar el refuerzo transversal directamente al perfil HSS suministró excelente conexión a cortante que permitió la fluencia total del elemento de borde
- El modo de falla de los elementos de borde compuestos se presentó por pandeo local. Usar elementos más compactos y llenar los perfiles HSS con concreto puede mejorar el comportamiento y evitar este tipo de falla
- El uso de elementos compuestos reduce considerablemente la labor de campo.
- Debido al intrincado detallado del acero de refuerzo el espécimen W3 requirió mayor trabajo de campo que los otros dos especímenes



## Diseño de Muros Estructurales Especiales de Concreto Reforzado de Acuerdo con el Reglamento NSR-10



### Requisitos sobre muros en NSR-10

- Capítulo C.10 - Flexión y carga axial
- Capítulo C.11 – Cortante y torsión
- Capítulo C.14 - Muros
- Capítulo C.21 - Requisitos especiales para diseño sísmico

¡La misma organización prescriptiva que se tiene desde la norma de 1984!

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 1988



CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### C.7.7 — Protección de concreto para el refuerzo

**C.7.7.1 — Concreto construido in situ (no preesforzado)**

A menos que en C.7.7.5 a C.7.7.8 se especifique un recubrimiento mayor de concreto, el recubrimiento especificado para el refuerzo no debe ser menor que lo siguiente:

	Recubrimiento de concreto, mm
(a) Concreto colocado contra el suelo y expuesto permanentemente a él	75
(b) Concreto expuesto a suelo o a la intemperie: Barras No. 6 (5/8") o 20M (20 mm) a No. 10 (2-1/4") ó 55M (55 mm)	50
Barras No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm), alambre MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y menores	40
(c) Concreto no expuesto a la intemperie ni en contacto con el suelo: Losas, vigas: Barras No. 14 (1-3/4") ó 45M (45 mm) y No. 18 (2-1/4") ó 55M (55 mm)	40
Barras No. 11 (1-3/8") ó 30M (30 mm) y menores	20
Vigas, columnas: Armadura principal, estribos, espirales	40
Cáscaras y placas plegadas: Barras No. 6 (5/8") ó 20M (20 mm) y mayores	20
Barras No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm), alambres MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro) y menores	13

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### Requisitos generales del refuerzo en muros

NSR-10

- C.7.7.1.(c) – Recubrimiento para muros que no estén expuestos a la intemperie ni en contacto con el terreno (véase la página anterior del presente documento) (pag. 32 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

**Máxima separación del refuerzo**

C.14.3.5 – El refuerzo vertical y horizontal debe espaciarse a no más de tres veces el espesor del muro, ni de 450 mm.  
(pag. 113 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### Cuántas mínimas en muros

NSR-10

C.14.3.1 – El refuerzo mínimo vertical y horizontal debe cumplir con C.14.3.2 y C.14.3.3 a menos que se requiera una cantidad mayor por cortante, de acuerdo con C.11.9.8 y C.11.9.9

C.14.3.2 - La cuantía mínima para refuerzo vertical  $\rho_v$  es:

- 0.0013 para barras corrugadas con diámetro menor o igual al de la barra No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm), con  $f_y$  mayor o igual a 420 MPa.
- 0.0015 para otras barras corrugadas, o
- 0.0013 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor de MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro).

C.14.3.3 - La cuantía mínima para refuerzo horizontal  $\rho_h$  es:

- 0.0020 para barras corrugadas no mayores que No. 5 (5/8") ó 16M (16 mm), con  $f_y$  no menor que 420 MPa, o
- 0.0025 para las otras barras corrugadas, o
- 0.0020 para refuerzo electrosoldado de alambre (liso o corrugado) no mayor de MW200 ó MD200 (16 mm de diámetro).

(pag. 113 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### C.14.4 - Muros diseñados como miembros a compresión

Con excepción de lo dispuesto en C.14.5, los muros sometidos a carga axial o combinación de carga axial y de flexión deben diseñarse como elementos a compresión de acuerdo con las disposiciones de:

- C.10.2, ← Suposiciones de diseño (flexo-compre.)
- C.10.3, ← Principios y requisitos generales
- C.10.10, ← Efectos de esbeltez
- C.10.11, ← Miembros soportando losas
- C.10.14, ← Resistencia al aplastamiento
- C.14.2 y C.14.3, ← Refuerzo mínimo en muros

(pag. 113 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### Diseño sísmico de muros estructurales según NSR-10

Lo anterior del Capítulo C.14 corresponde a lo que es requerido para muros estructurales en zonas de amenaza sísmica baja (Disipación Mínima DMI).

Los muros estructurales de concreto reforzado en zonas de amenaza sísmica intermedia y alta deben cumplir lo indicado en el Capítulo C.14 y además lo adicional requerido para Disipación Moderada (DMO) y Disipación Especial (DES) en el Capítulo C.21 de requisitos de sismo resistencia.

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**

CONGRESO INTERNACIONAL DE LA CONSTRUCCIÓN CON ACERO 2019 Medellín, Centro de Eventos El Tirolero Junio 19, 20 y 21

### Requisitos sísmicos para muros estructurales (1984)

Se debían usar elementos de borde en el esfuerzo de compresión en el borde del muro:

$$\sigma = \frac{P_u}{A_w} + \frac{M_u}{I_w} \geq 0.2f'_c$$

Y el elemento de borde había que confinarlo en toda su altura como una columna hasta que  $\sigma < 0.85f'_c$

Elementos de borde en muros:

$$\frac{P_u}{2} \leq \frac{M_u}{(l_w - h_w)} \leq 0$$

$$\phi P_u \geq \phi A_w f_y$$

$$\phi P_u \geq -P_u$$

$$\Rightarrow A_w \geq \frac{P_u}{\phi f_y}$$

Y el elemento de borde había que confinarlo en toda su altura como una columna hasta que  $\sigma < 0.85f'_c$

$$P_u = \frac{P_u}{2} + \frac{M_u}{(l_w - h_w)}$$

$$\phi P_u = \phi [0.85f'_c (A_w - A_w) + A_w f_y]$$

$$\phi P_u \geq 0.85 \phi A_w f_y$$

$$\Rightarrow A_w \geq \frac{P_u - 0.68 \phi A_w f_y}{\phi f_y - 0.85 f'_c}$$

**Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018**



NSR-98

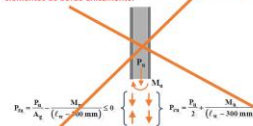
¡Es esencialmente lo mismo que requería la norma sísmica colombiana de 1984 para muros de concreto estructural y acerca de la necesidad de disponer elementos de borde en los muros cuando había esfuerzos altos de compresión en los bordes verticales del muro!

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10

C.21.9.6.3 – Elementos de borde por esfuerzos

- Uno de los cambios importantes del NSR-10, es que se suprimió el procedimiento anterior de la norma de 1984 y en NSR-98 de tener que resistir todas las fuerzas sísmicas de flexo-compresión con los elementos de borde únicamente.



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Cambios al diseño de elementos de borde en muros estructurales en NSR-10

- El procedimiento de NSR-98 se mantiene con los mismos límites para DMO y DES y se introduce un alivio consistente que en NSR-10 no hay necesidad de resistir todas las fuerzas axiales y del momento de vuelco solo con los elementos de borde. En NSR-10 se permite que toda la sección del muro contribuya, con un eventual costo menor cuando se requieren elementos de borde.
- Se introduce un nuevo procedimiento alternativo para definir si se requieren elementos de borde en muros en estructuras DMO y DES. Este procedimiento está basado en las demandas de deformación unitaria en los bordes verticales de la sección del muro en su base debida al máximo desplazamiento lateral ( $\delta_h$ ) a que puede verse sometido el muro en su extremo superior (cubierta) durante el sismo de diseño.

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10

C.21.9 – Muros estructurales especiales y vigas de acople con capacidad especial de disipación de energía (DES)

- C.21.9.1 – Alcance  
Los requisitos de C.21.9 se aplican a muros estructurales especiales de concreto reforzado, prefabricados o construidos en obra, y vigas de acople que forman parte del sistema de resistencia ante fuerzas sísmicas.
- C.21.9.2 – Refuerzo  
C.21.9.2.1 – Las cuantías de refuerzo distribuido en el alma,  $p_v$  y  $p_h$ , para muros estructurales no deben ser menos de 0.0025, excepto que si  $V_n$  no excede  $A_c \cdot 0.083 \cdot f'_c$ ,  $p_v$  y  $p_h$  se pueden reducir a los valores requeridos en C.14.3. El espaciamiento del refuerzo no debe exceder 450 mm. El refuerzo que contribuye a  $V_n$  debe ser continuo y debe estar distribuido a través del plano de corfante.  
C.21.9.2.2 – Para edificaciones del Grupo de Uso I, como lo define A.2.5.1, hasta de tres pisos y destinadas exclusivamente a vivienda, se permite utilizar las cuantías  $p_v$  y  $p_h$  requeridas en C.14.3.  
C.21.9.2.3 – Deben utilizarse al menos dos capas de refuerzo cuando  $V_n$  excede  $A_c \cdot 0.17 \cdot f'_c$ .

(pag. 126 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

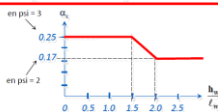
NSR-10

C.21.9.4 – Resistencia al cortante

C.21.9.4.1 –  $V_n$  de muros estructurales no debe exceder:

$$V_n = A_{cv} [\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y]$$

• donde  $\alpha_c$  es:



(pag. 126 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10

C.21.9.5 – Diseño a flexión y carga axial

- C.21.9.5.1 – Los muros estructurales y partes de dichos muros sometidos a una combinación de carga axial y flexión deben diseñarse de acuerdo con C.10.2 y C.10.3, excepto que no se debe aplicar C.10.3.7 ni los requerimientos de deformación no lineal de C.10.2.2. Deben considerarse como efectivos el concreto y el refuerzo longitudinal desarrollado dentro del ancho efectivo del ala, del elemento de borde y del alma del muro. Debe considerarse el efecto de las aberturas.
- C.21.9.5.2 – A menos que se realice un análisis más detallado, el ancho efectivo del ala en secciones con alas debe extenderse desde la cara del alma una distancia igual al menor valor entre la mitad de la distancia al alma de un muro adyacente y el 25% de la altura total del muro.

(pag. 127 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10  
C.21.9.6 – Elementos de borde para muros estructurales especiales

- Deben colocarse elementos de borde en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando se espera una acción inelástica allí.
- El Reglamento NSR-10 presenta dos alternativas para realizar esto:
  - (a) Por medio de la Sección C.21.9.6.2 donde se determina la deformación unitaria de compresión en el borde del muro al verse solicitado por las fuerzas sísmicas, o
  - (b) Por medio de la Sección C.21.9.6.3, donde se emplea el máximo esfuerzo en la fibra extrema en compresión, producido por las fuerzas mayoradas que incluyen efectos sísmicos.

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10  
C.21.9.6.3 – Elementos de borde empleando esfuerzos

Deben colocarse elementos de borde en los bordes y alrededor de las aberturas de los muros estructurales cuando el máximo esfuerzo en la fibra extrema, producido por las fuerzas sísmicas mayoradas que incluyen efectos sísmicos, exceda  $0.2 f'_c$  a menos que todo el muro esté confinado con el refuerzo transversal exigido a las columnas.

$$f_{ca} = \frac{P_u}{A_g} + \frac{M_u \cdot e}{I_n} > 0.2 f'_c$$

Los elementos de borde pueden discontinuarse en la altura cuando el esfuerzo de compresión calculado en la fibra extrema sea menor que  $0.15 f'_c$

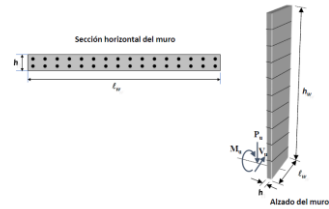
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

NSR-10  
Procedimiento para elementos de borde (DES)

- El nuevo procedimiento, con respecto a NSR-98, que trae NSR-10 en C.21.9.6.2 consiste en encontrar la **deformación unitaria en compresión solicitada al muro** cuando la estructura está respondiendo con los desplazamientos máximos esperados durante el sísmo de diseño.
- En ese momento se supone que el muro ha entrado en el rango inelástico de respuesta y que **se ha presentado una articulación plástica en la base del muro**.
- Es importante advertir que este nuevo procedimiento sólo es aplicable a **muros continuos que van desde la base de la estructura hasta la cubierta**

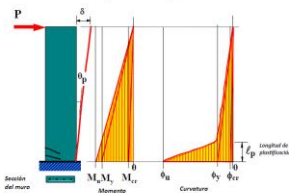
(pag. 127 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)  
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro c del muro según NSR-10 (... continuación)



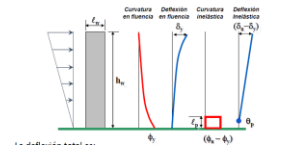
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Comentarios sobre la respuesta Inelástica de un muro de concreto en voladizo aplicable al Reglamento NSR-10



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Comentarios sobre la respuesta Inelástica de un muro de concreto en voladizo aplicable al Reglamento NSR-10



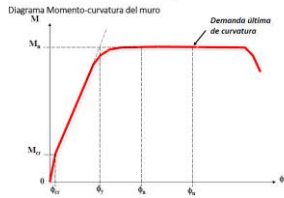
La deflexión total es:

$$\delta_u = \delta_s + (\phi_u - \phi_s) \cdot h_w$$

La demanda de curvatura última se obtiene despejando:  $\phi_u = \frac{(\delta_u - \delta_s)}{h_w} + \phi_s$

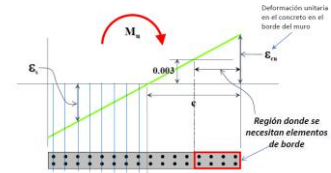
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Comentarios sobre la respuesta inelástica de un muro de concreto en voladizo aplicable al Reglamento NSR-10



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Elementos de borde en NSR-10



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



NSR-10

C.21.9.6.2 – Empleando deformaciones unitarias

- Este procedimiento para identificar la necesidad de elementos de borde es aplicable a muros, y segmentos de muro, que sean continuos desde la base de la estructura hasta la parte superior del muro y que tienen una sola sección crítica para flexo-compresión. Si no se cumple este requisito no puede emplearse el método.
- Las zonas de compresión deben reforzarse con elementos especiales de borde cuando la profundidad del eje neutro  $c$  es mayor que:

$$c \geq \frac{\ell_w}{600 \cdot \left( \frac{\delta_u}{h_w} \right)} \quad \text{La cantidad } \frac{\delta_u}{h_w} \geq 0,007$$

(pag. 127 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)  
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



Elementos de borde en NSR-10

Si la ecuación (C.21-11) indica que el valor de  $c$  se excede, esto debe interpretarse como indicativo de que se presentarán deformaciones unitarias superiores a  $\epsilon_{su} = 0,0033$  y que hay necesidad de confinar el concreto del borde del muro.

El Reglamento NSR-10 indica que debe colocarse el mismo confinamiento que en una columna en los bordes del elemento en toda la altura (no en los extremos del tramo de muro cerca de las losas solamente como se exige para columnas).

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



NSR-10

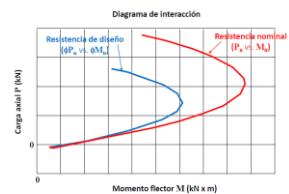
C.21.9.6.3 – Elementos de borde empleando deformaciones unitarias

- Los elementos de borde deben existir desde la sección crítica hacia arriba por una distancia no menor que la mayor de  $\ell_w$  o  $M_u/(4V_u)$ .
- Este procedimiento intrínsecamente está solicitando elementos de borde cuando las deformaciones unitarias de compresión en la fibra de máxima compresión del muro exceden 0.003.
- La evaluación se realiza para el muro actuando bajo los desplazamientos inelásticos del sismo de diseño.
- El valor de  $\delta_u$  corresponde al desplazamiento inelástico de la parte superior del muro en la cubierta de la edificación.

Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro  $c$  del muro según NSR-10 (... continuación)



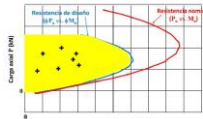
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018





Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro c del muro según NSR-10 (... continuación)

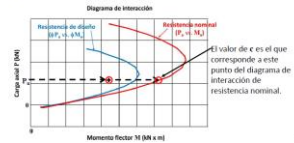
El diseño a flexo-compresión de la sección del muro cumple la resistencia requerida si todas las parejas de carga axial requerida y su momento requerido acompañante ( $P_u$  vs.  $M_u$ ) provenientes de la misma ecuación de mayoración de carga (de las requeridas en el Título B de NSR-10) se encuentran localizadas dentro de la zona del diagrama de interacción sombreada en color amarillo correspondiente a las resistencias de diseño ( $\phi P_u$  vs.  $\phi M_u$ ), indicando que el muro cumple en resistencia.



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018

Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro c del muro según NSR-10 (... continuación)

Luego, tomando solo las combinaciones de carga que incluyen efectos sísmicos,  $E_s$ , para la carga axial  $P_u$  requerida en cada una de esas combinaciones de mayoración, se determina la profundidad del eje neutro,  $c$ , en el diagrama de interacción de resistencia nominal (color rojo en la figura). Luego se escoge el mayor valor de  $c$  de los obtenidos y ese es el valor que se utiliza en la ecuación (C.21-11) para determinar si se requieren elementos de borde.

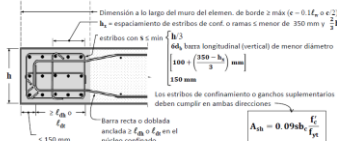


Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro c del muro según NSR-10 (... continuación)

El mayor valor de  $c$ , obtenido como se indica en la figura anterior, se utiliza para determinar si  $c$  es mayor que el lado derecho de la ecuación (C.21-11). Y si esto ocurre hay necesidad de colocar los elementos de borde como se indica a continuación para DES y en la página siguiente para DMO.

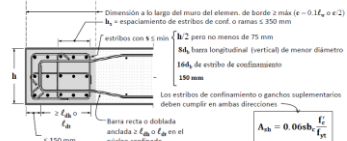


Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



Procedimiento para obtener la profundidad del eje neutro c del muro según NSR-10 (... continuación)

Para DMO el mayor valor de  $c$ , obtenido como se indica en la página 63 anterior, se utiliza para determinar si  $c$  es mayor que el lado derecho de la ecuación (C.21-11); y si esto ocurre hay necesidad de colocar los elementos de borde como se indica a continuación para DMO.

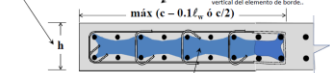


Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



Procedimiento de dimensionamiento de muros estructurales de concreto estructural según NSR-10 y de sus elementos de borde, si se requieren (... continuación).

Si el procedimiento de determinar la necesidad de elementos de borde en los muros de concreto reforzado, ya sea por el procedimiento de deformación unitaria o el de esfuerzos, le indica que debe disponer y diseñar en los extremos verticales de los muros elementos de borde por razones sísmicas y que debe definir sus dimensiones.



Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018



NSR-10  
CAPÍTULO C.2 — NOTACIÓN Y DEFINICIONES

**Elemento de borde (Boundary element)** — Zonas a lo largo de los bordes de los muros y de los diafragmas estructurales, reforzados con refuerzo longitudinal y transversal. Los elementos de borde no requieren necesariamente de un incremento en el espesor del muro o del diafragma. Los bordes de las aberturas en los muros y diafragmas deben estar provistos de elementos de borde según lo requerido en C.21.9.6 o C.21.11.7.5. Véase el Capítulo C.21.

(Véase la página 84 del Diario Oficial No. 47663 del 26 de marzo de 2010)  
Tomado de Acta CAP No. 149 de Julio 26 de 2018





## Columnas Compuestas con Perfil Embebido (SRC)



### Capacidad a Carga Axial ( $\Phi P_n$ )

(a) When  $\frac{P_{no}}{P_e} \leq 2.25$

$$P_n = P_{no} \left( 0.658 \frac{P_{no}}{P_e} \right)$$

(b) When  $\frac{P_{no}}{P_e} > 2.25$

$$P_n = 0.877 P_e$$



where

$$P_{no} = F_y A_s + F_{ysr} A_{sr} + 0.85 f'_c A_c \quad (12-4)$$

$P_e$  = elastic critical buckling load determined in accordance with Chapter C or Appendix 7, kips (N)

$$= \pi^2 (EI_{eff}) / L_c^2 \quad (12-5)$$

$A_c$  = area of concrete, in.<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$A_s$  = cross-sectional area of steel section, in.<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$E_c$  = modulus of elasticity of concrete

$$= w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}, \text{ ksi} \quad (0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f'_c}, \text{ MPa})$$



$EI_{eff}$  = effective stiffness of composite section, kip-in.<sup>2</sup> (N-mm<sup>2</sup>)

$$= E_s I_s + E_{d,sr} + C_1 E_c I_c \quad (12-6)$$

$C_1$  = coefficient for calculation of effective rigidity of an encased composite compression member

$$= 0.25 + 3 \left( \frac{A_s + A_{sr}}{A_g} \right) \leq 0.7 \quad (12-7)$$



## Columnas Compuestas con Perfil Relleno (CFT)



**TABLE 11.1a**  
Limiting Width-to-Thickness Ratios for  
Compression Steel Elements in Composite  
Members Subject to Axial Compression  
for Use with Section I2.2

Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	$\lambda_p$ Compact/ Noncompact	$\lambda_r$ Noncompact/ Slender	Maximum Permitted
Walls of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	$b/t$	$2.26 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	$D/t$	$0.15 \frac{E}{F_y}$	$0.19 \frac{E}{F_y}$	$0.3 \frac{E}{F_y}$



Limites de Relaciones Ancho/Espesor ( $b/t$ ) a Compresión de Elementos Compuestos (ANSI/AISC 360-16)

**TABLE 11.1b**  
Limiting Width-to-Thickness Ratios for  
Compression Steel Elements in Composite  
Members Subject to Flexure  
for Use with Section 13.4

Description of Element	Width-to-Thickness Ratio	$\lambda_p$ Compact/Noncompact	$\lambda$ Noncompact/Slender	Maximum Permitted
Flanges of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	$b/t$	$2.28 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Welds of Rectangular HSS and Box Sections of Uniform Thickness	$n/t$	$3.00 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$	$5.70 \sqrt{\frac{E}{F_y}}$
Round HSS	$D/t$	$0.09E$ $F_y$	$0.3E$ $F_y$	$0.9E$ $F_y$

Limites de Relaciones Ancho/Espesor ( $b/t$ ) a Flexión de Elementos Compuestos (ANSI/AISC 360-16)



### Capacidad a Carga Axial ( $\Phi_c P_n$ )

(a) For compact sections

$$P_{no} = P_p \quad (12-9a)$$

where

$$P_p = F_y A_s + C_2 f_c \left( A_c + A_w \frac{E_c}{E_s} \right) \quad (12-9b)$$

$C_2 = 0.85$  for rectangular sections and 0.95 for round sections

(b) For noncompact sections

$$P_{no} = P_p - \frac{P_p - P_s}{(\lambda_p - \lambda_s)^2} (\lambda - \lambda_p)^2 \quad (12-9c)$$

where

$\lambda$ ,  $\lambda_p$  and  $\lambda_s$  are slenderness ratios determined from Table 11.1a

$P_s$  is determined from Equation 12-9b

$$P_s = F_y A_s + 0.7 f_c \left( A_c + A_w \frac{E_c}{E_s} \right) \quad (12-9d)$$



### Capacidad a Carga Axial ( $\Phi_c P_n$ )

(c) For slender sections

$$P_{no} = F_y A_s + 0.7 f_c \left( A_c + A_w \frac{E_c}{E_s} \right) \quad (12-9e)$$

where

(1) For rectangular filled sections

$$F_y = \frac{9E_s}{\left(\frac{b}{t}\right)^2} \quad (12-10)$$

(2) For round filled sections

$$F_y = \frac{0.72 F_y}{\left[\left(\frac{D}{t}\right) \frac{F_y}{E_s}\right]^{0.22}} \quad (12-11)$$



The effective stiffness of the composite section,  $EI_{eff}$ , for all sections shall be:

$$EI_{eff} = E_s I_s + E_c I_{sr} + C_3 E_c I_c \quad (12-12)$$

where

$C_3 =$  coefficient for calculation of effective rigidity of filled composite compression member

$$= 0.45 + 3 \left( \frac{A_s + A_w}{A_g} \right) \leq 0.9 \quad (12-13)$$

The available compressive strength need not be less than specified for the bare steel member, as required by Chapter E.



### Transferencia de Carga

#### External Force Applied to Steel Section

When the entire external force is applied directly to the steel section, the force required to be transferred to the concrete,  $V_r$ , shall be determined as:

$$V_r = P_r (1 - F_y A_s / P_{no}) \quad (16-1)$$

where

$P_{no}$  = nominal axial compressive strength without consideration of length effects, determined by Equation 12-4 for encased composite members, and Equation 12-9a or Equation 12-9c, as applicable, for compact or noncompact filled composite members, kips (N)

$P_r$  = required external force applied to the composite member, kips (N)



#### Strength of Steel Headed Stud Anchors

The nominal shear strength of one steel headed stud anchor embedded in a solid concrete slab or in a composite slab with decking shall be determined as follows:

$$Q_n = 0.5 A_{sa} \sqrt{f_c'} E_c \leq R_f R_p A_{sa} F_u \quad (18-1)$$

where

$A_{sa}$  = cross-sectional area of steel headed stud anchor, in.<sup>2</sup> (mm<sup>2</sup>)

$E_c$  = modulus of elasticity of concrete

$= w_c^{1.5} \sqrt{f_c'}$ , ksi  $\left( 0.043 w_c^{1.5} \sqrt{f_c'}$ , MPa)  $\left( \frac{1}{\sqrt{1000}} \right)$

$F_u$  = specified minimum tensile strength of a steel headed stud anchor, ksi (MPa)



### Strength of Steel Channel Anchors

The nominal shear strength of one hot-rolled channel anchor embedded in a solid concrete slab shall be determined as:

$$Q_n = 0.3(l_f + 0.5l_w)l_a \sqrt{f_c E_c} \quad (18-2)$$

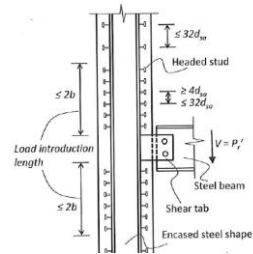
where

$l_a$  = length of channel anchor, in. (mm)

$l_f$  = thickness of flange of channel anchor, in. (mm)

$l_w$  = thickness of channel anchor web, in. (mm)

The strength of the channel anchor shall be developed by welding the channel to the beam flange for a force equal to  $Q_n$ , considering eccentricity on the anchor.



(tomado de "Reinforced Concrete Design" by Wang, Salmon, Pincheira and Parra-Montesinos)



### Conclusiones y recomendaciones:

- Investigaciones realizadas en muros estructurales de concreto reforzado con elementos de borde compuestos muestran adecuado comportamiento de esta configuración estructural
- Esta configuración incrementa considerablemente la rigidez a carga lateral con la consecuente reducción de las derivas de piso
- Importante reducción en tiempos de ejecución en obra
- Reduce considerablemente la congestión del acero de refuerzo del elemento de borde facilitando la colocación del concreto
- Es importante realizar investigaciones en el país de esta configuración estructural



**Gilberto Areiza Palma**  
**Profesor Titular Universidad del Valle**  
**congresoicca@icca.com.co**



**Gracias**

