

Universidad Latina de Costa Rica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Estructuras de Concreto II (LIC 25)



Prof.: Ing. Ronald Jiménez Castro  
III Cuatrimestre, 2022

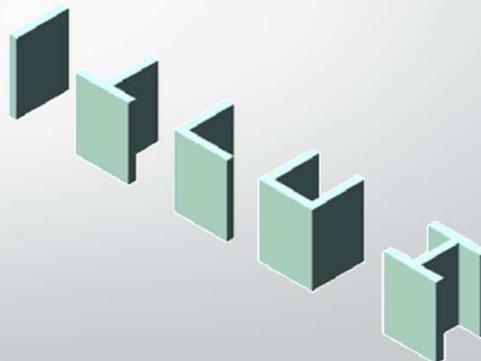
## TEMA 6: MUROS ESTRUCTURALES

### *Introducción*

El término muro de corte o de cortante ("*shear wall*") es empleado para describir un muro que resiste primordialmente cargas laterales (viento o sismo) aunque también cargas gravitacionales provenientes de su área tributaria de entrepisos y techo.

Aunque estos muros pueden ser simples muros planares, algunos tramos comúnmente se conectan para trabajar como una unidad tridimensional.

Algunos "ensamblajes" de este tipo tienen formas irregulares como *C*, *T*, *L* ó *H* que definen espacios empleados como ductos de elevadores y/o escaleras.

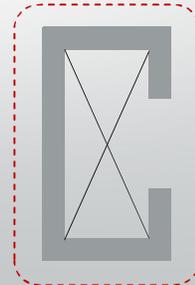


## Clasificación de muros de cortante

Existen diversos criterios para clasificar los muros de cortante, por ejemplo:

### ➤ De acuerdo a su geometría:

- Muros con "alas": Cuando en uno o en ambos extremos, el muro posee pequeñas porciones perpendiculares al alma del muro. Presentan gran resistencia y rigidez sobre todo si el ala está en compresión.



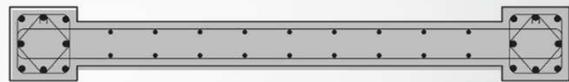
*Ampliamente usado en ductos de elevadores y/o electromecánicos*

La capacidad nominal a momento  $M_n$  de un muro rectangular se incrementa de manera sustancial cuando se concentra acero longitudinal en sus los extremos; sea en elementos de borde o en alas (segmentos perpendiculares al alma del muro).

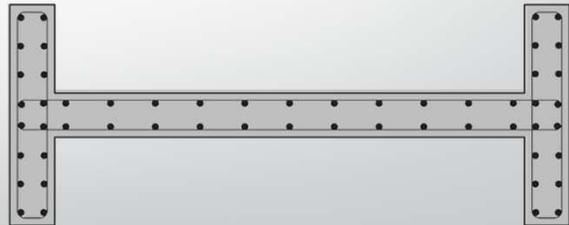
Los requisitos de confinamiento en los elementos de borde ("boundary elements") son particularmente estrictos en proyectos ubicados en zonas sísmicas como Costa Rica. (Ver artículo 8.6.5.f inciso iii)



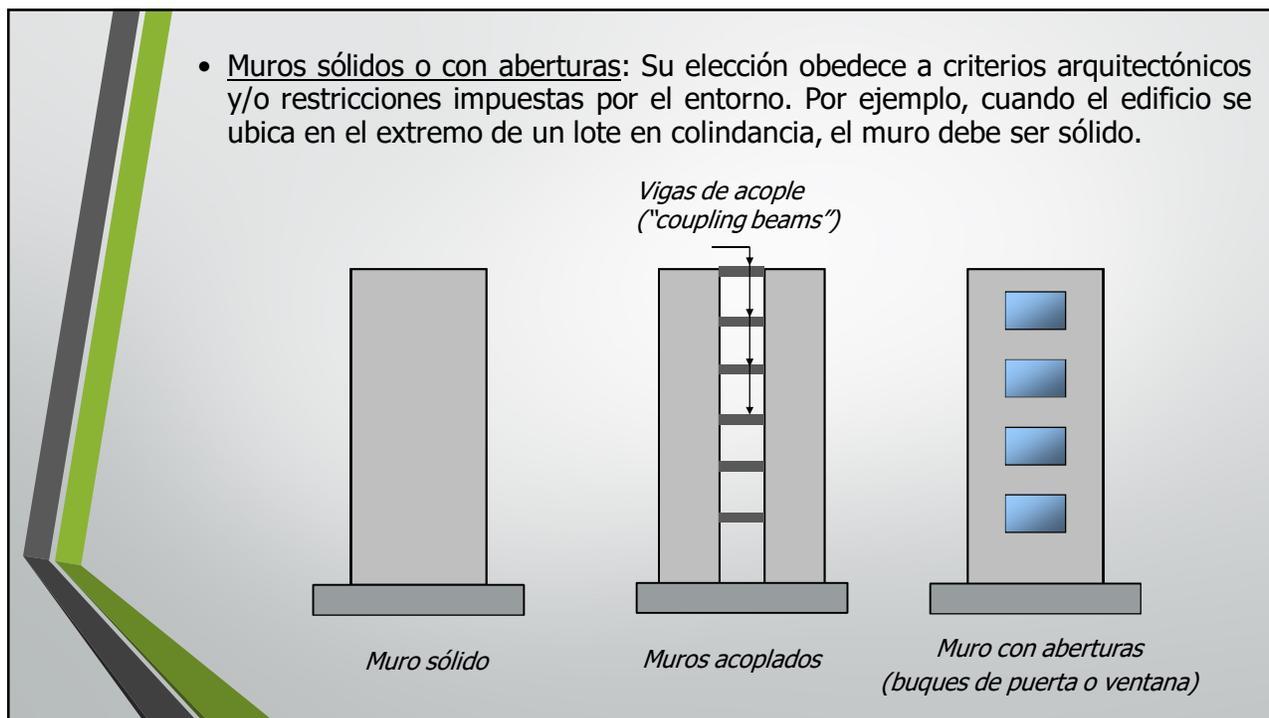
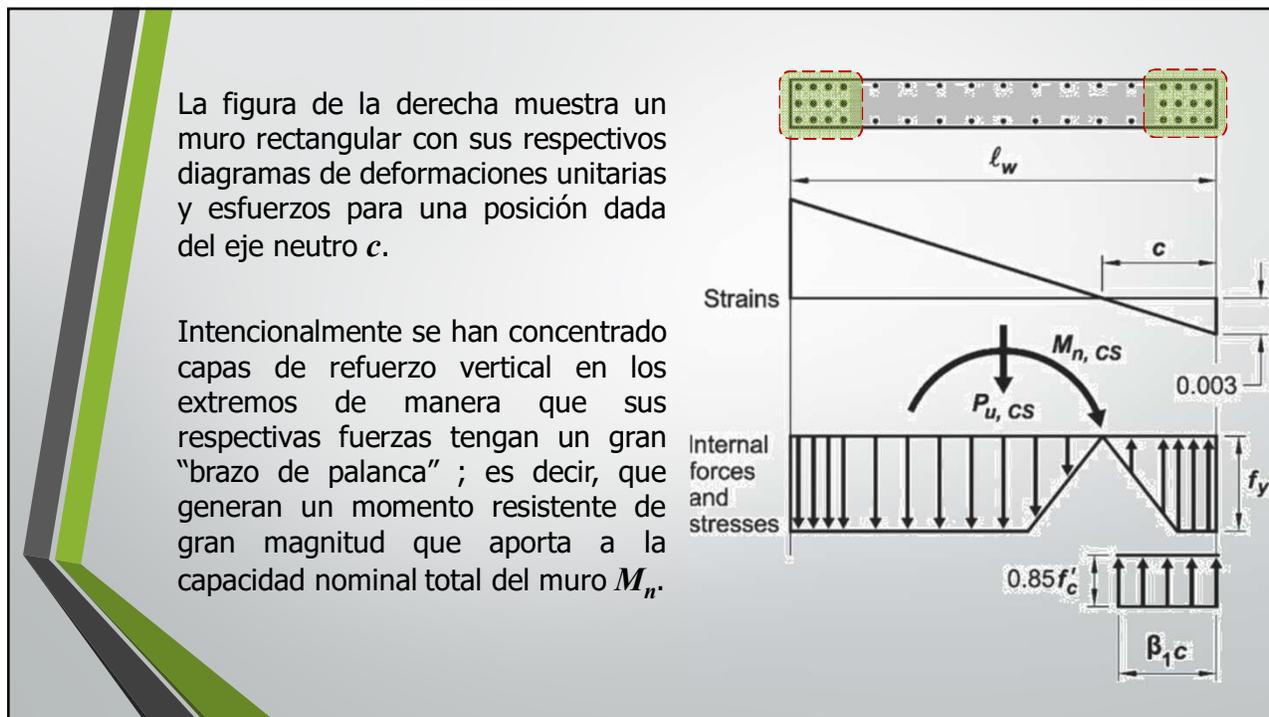
(a) Boundary element within dimensions of wall.



(b) Wall with enlarged boundary element.

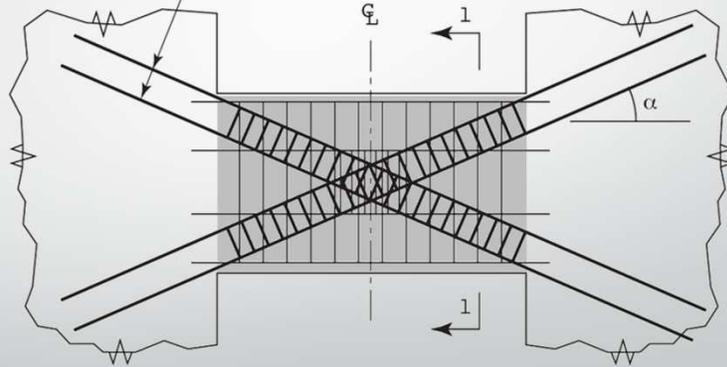
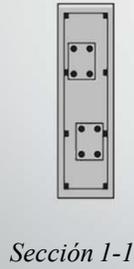


(c) Wall with reinforcement concentrated in flanges.



Las vigas de acople son elementos que conectan muros estructurales para proporcionar rigidez y disipación de energía. De acuerdo con el CSCR-10, siempre se deben considerar elementos con *ductilidad local óptima*.

$A_{vd}$  = total area of bars in the group of bars forming one diagonal



*Ejemplos de viga de acople.*

*En ambas imágenes se observa la gran densidad de refuerzo y una porción de éste dispuesto en forma diagonal*

- **Muros cortos y esbeltos:** La esbeltez de un muro se cuantifica con la relación  $h_w/l_w$ . Usualmente se clasifican en:
  - Esbeltos ("slender"):** relación mayor o igual a 3,
  - Cortos ("squat"):** relación menor o igual a 2
  - Intermedios:** relación mayor a 2 pero menor que 3.

La razón de esbeltez del muro define en gran medida el su modo de falla.

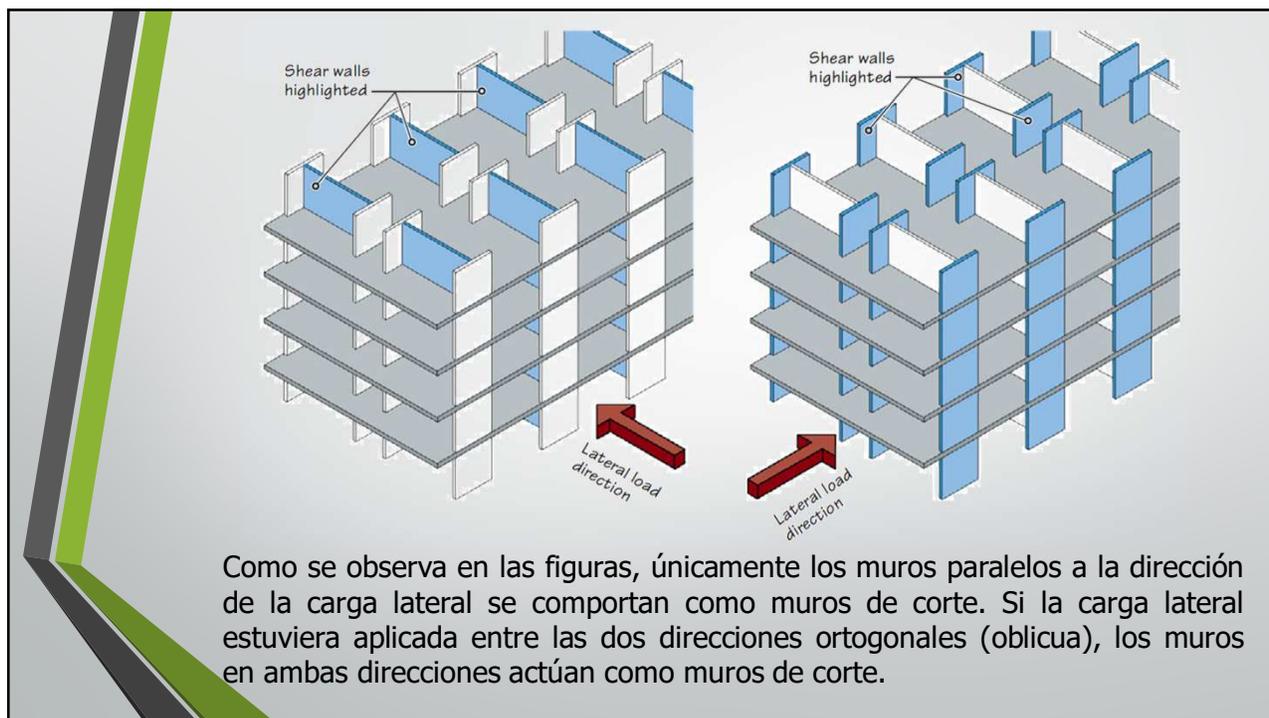
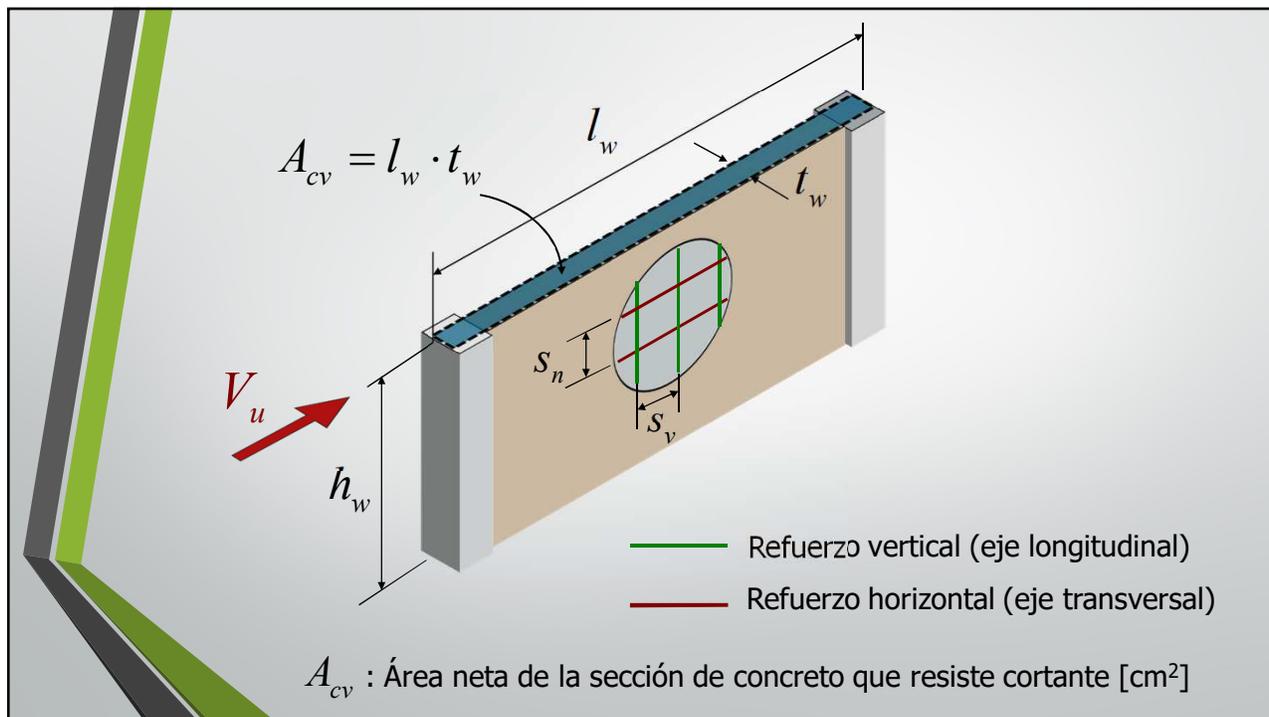
- Grietas diagonales
- Puntal de compresión entre las grietas
- Falla tensión (fluencia del acero)
- Patrón de grietas flexión-cortante
- Aplastamiento del concreto

$$\frac{h_w}{l_w} \approx \frac{3.20m}{4.00m} = 0.8 \ll 2.0$$

*Grieta diagonal en muro corto atribuible a una falla a cortante.*

*Elementos de borde (columnas)*

- Refuerzo vertical (eje longitudinal)
- Refuerzo horizontal (eje transversal)



### Muros estructurales

Las secciones 8.6.2 y 8.6.3 establecen:

Los muros estructurales, cuya razón  $M/Vl_w$  sea mayor o igual que dos, pueden ser diseñados con los conceptos de diseño de elementos en flexión o flexocompresión de los artículos 8.2 u 8.3, según sea el caso, donde:

$M$  = momento [kg-cm]

$V$  = fuerza cortante [kg]

$l_w$  = longitud del muro o del segmento de muro considerado en la dirección de la fuerza cortante [cm]

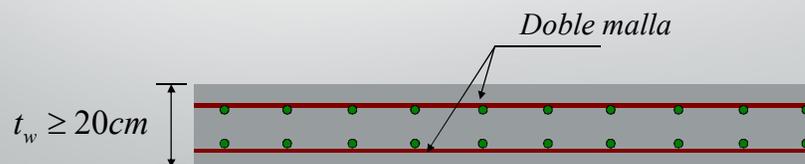
En aquellos casos que  $M/Vl_w$  sea menor que 2, el refuerzo transversal se debe calcular conforme a los requisitos de los artículos 8.6.4 y 8.7.2. El refuerzo longitudinal se debe calcular de acuerdo con los artículos 8.6.4 y 8.6.5, y debe ayudar a soportar las fuerzas de flexocompresión.

### Requerimientos del refuerzo

La sección 8.6.4 del CSCR-10 establece los requisitos del refuerzo, tanto en cantidad como en distribución (separación).

a. La razón de refuerzo  $\rho$  para muros estructurales de concreto no puede ser inferior a 0.0025, tanto en el eje longitudinal,  $\rho_v$ , como en el eje transversal,  $\rho_n$ . El espaciamiento del refuerzo no debe exceder 45 cm. El refuerzo requerido por fuerzas cortantes debe ser distribuido uniformemente.

b. Se debe usar al menos doble malla de refuerzo en cualquier muro estructural de concreto en el que la fuerza cortante factorizada exceda  $0.50A_{cv}\sqrt{f'_c}$  ó en el que el espesor iguale o exceda 20 cm.



*c.* Los muros deben tener refuerzo por cortante distribuido en las dos direcciones ortogonales de su plano. Si la razón  $h_w/l_w$  es menor o igual a 2.0, la razón de refuerzo  $\rho_v$ , que indica la cantidad de refuerzo en el eje longitudinal, debe ser igual o mayor que  $\rho_n$ .

### Elementos de borde

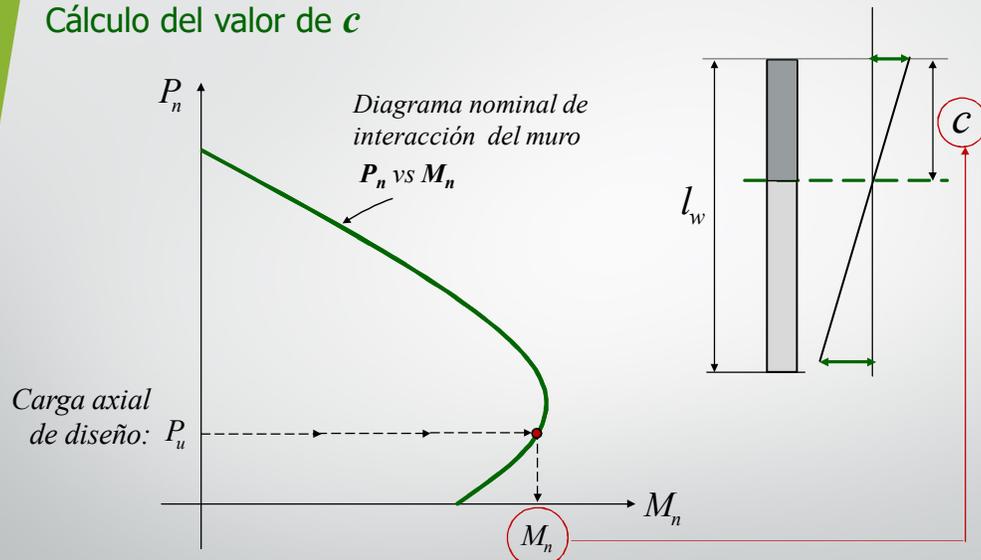
De acuerdo con la sección 8.6.5, aquellos muros continuos desde su base hasta su parte superior, requerirán elementos de borde (columnas) cuando:

$$c \geq \frac{l_w}{600(\delta_u/h_w)}$$

$\delta_u$  : desplazamiento de diseño [cm]

$c$  : distancia de la fibra extrema en compresión al eje neutro [cm]. Debe calcularse para la carga axial factorizada y el momento nominal; asociados con  $\delta_u$ , que resulta en la mayor profundidad del eje neutro.

### Cálculo del valor de $c$



Se ingresa al diagrama con el valor de carga axial última. Se lee el respectivo momento ( $M_n$ ) y se obtiene el respectivo valor de  $c$ .

*Definición de parámetros para carga lateral*

Perfil de muro deformado debido a carga lateral en su plano

$\frac{\delta_u}{h_w} \geq 0.007$

Requisito según Art. 8.6.5 del CSCR-10)

Si los muros no son evaluados según el criterio anterior, deberán tener elementos de borde cuando el esfuerzo máximo en compresión en la fibra extrema  $f_{max}$  (correspondiente a cargas factorizadas e incluyendo el efecto del sismo) exceda  $0.20 f'_c$

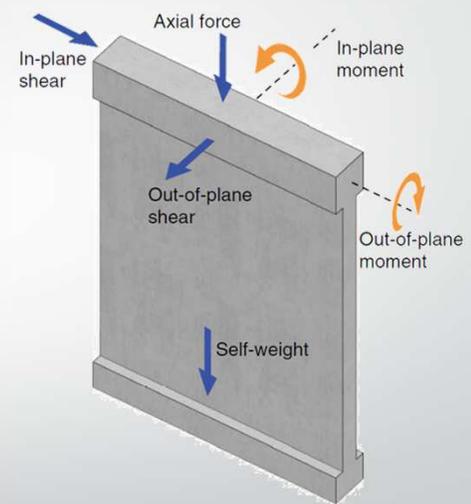
$$f_{max,min} = \frac{P_u}{A_g} \pm \frac{M_u \cdot l_w}{I_g}$$

$A_g ; I_g$  : Área e inercia de la sección transversal bruta del muro

Distribución de esfuerzos en el muro

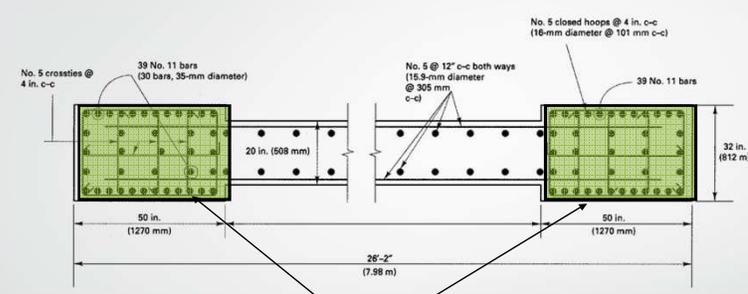
El muro exhibe comportamiento de muro de corte cuando es sometido a cortante y momento en el plano (*in-plane shear* y *in-plane moment* respectivamente).

En algunos casos, el muro debe resistir además cargas que se traducen en cortante y momento fuera del plano (*out-of-plane shear* y *out-of-plane moment* respectivamente). Por ejemplo, los muros de sótano que reciben el empuje activo.



*Cargas dentro (paralelas) y fuera (perpendiculares) al plano del muro*

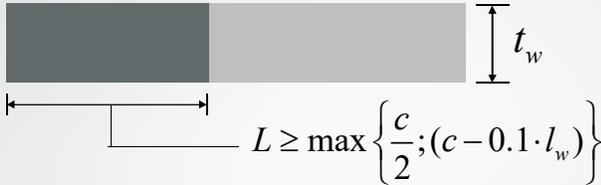
e. El refuerzo transversal de los muros estructurales se debe anclar en el núcleo confinado de los elementos de borde, de tal manera que sea capaz de desarrollar los esfuerzos de cedencia.



*Elementos de borde*

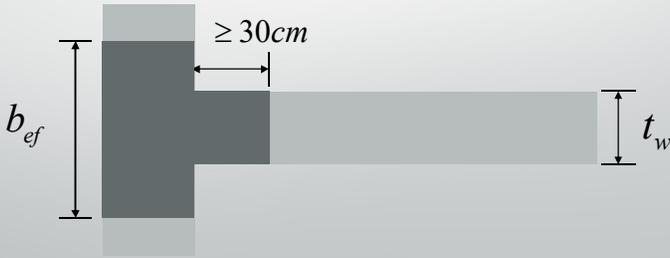
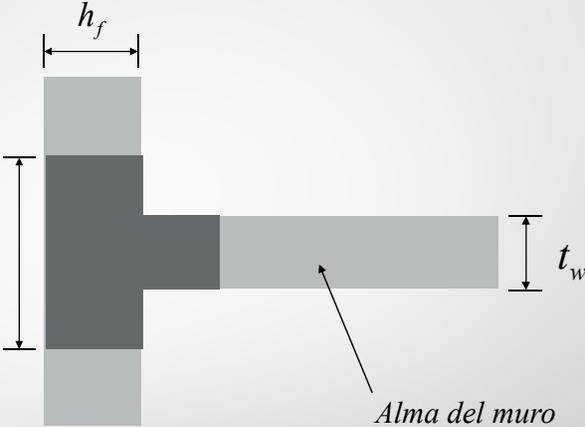
El refuerzo transversal de los elementos de borde debe cumplir con los requisitos de los incisos 8.3.4(b) y 8.3.4(c) excepto que no se requiere satisfacer la ecuación [6-3] y en el inciso 8.3.4(c)i se debe tomar un tercio de la dimensión mínima de la sección.

Cuando se requieran elementos de borde, éstos deben cumplir los siguientes lineamientos:



$$L \geq \max \left\{ \frac{c}{2}; (c - 0.1 \cdot l_w) \right\}$$

En muros con alas (forma de "T"), la distancia  $L$  deberá extenderse de la fibra en compresión por lo menos 30cm dentro del alma.

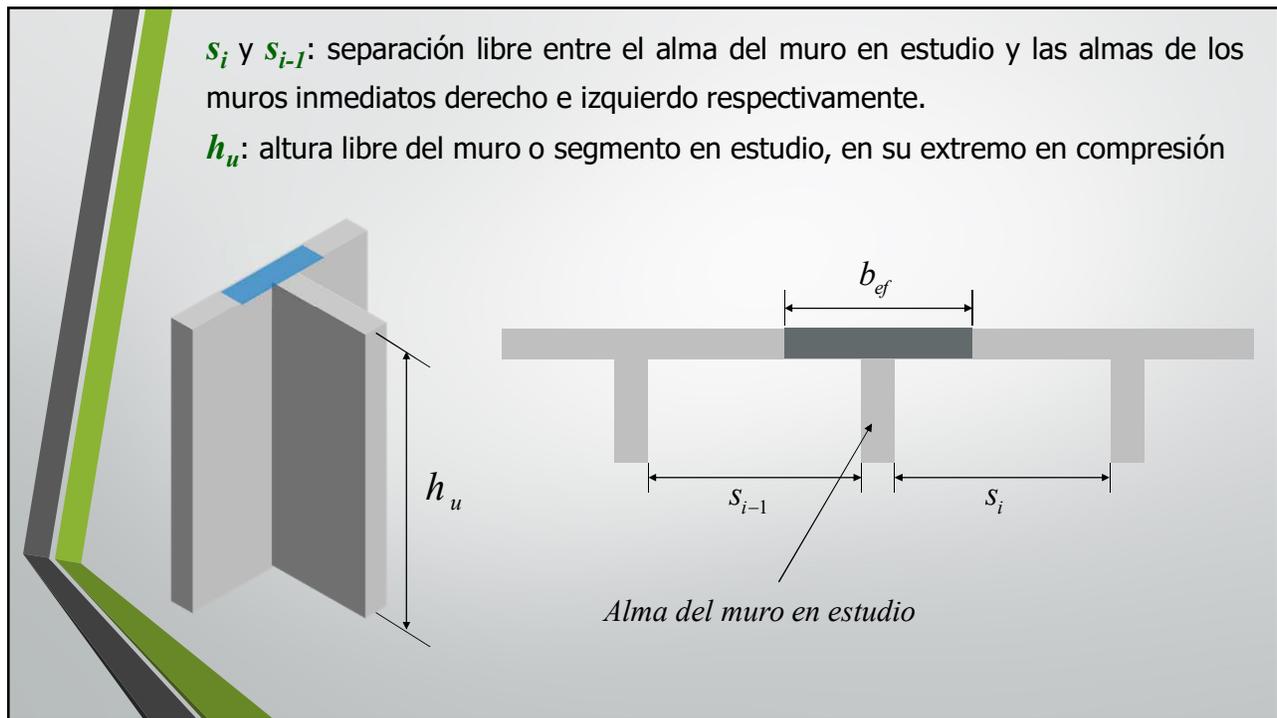
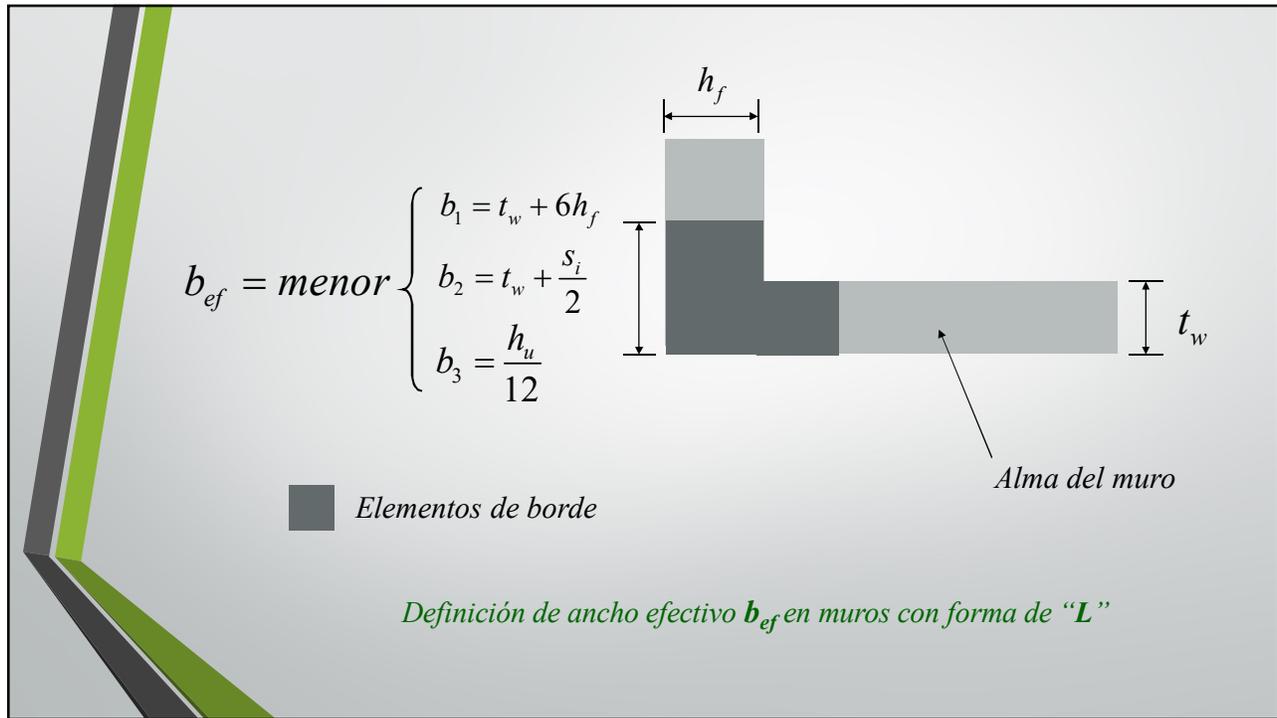



$$b_{ef} = \text{menor} \begin{cases} b_1 = t_w + 16h_f \\ b_2 = t_w + \frac{(s_{i-1} + s_i)}{2} \\ b_3 = \frac{h_u}{4} \end{cases}$$

Alma del muro

■ Elementos de borde

*Definición de ancho efectivo  $b_e$  en muros con forma de "T"*



Alternativamente, el Código ACI-318 (*art. 18.10.5.2*) propone una forma simplificada para el cálculo del ancho efectivo en compresión  $b_{ef}$  en muros con alas (*flanged walls*).

Alma del muro en estudio, espesor  $t_w$

$$b_{ef} = \text{menor} \begin{cases} b_1 = t_w + \frac{s_{i-1} + s_i}{2} \\ b_2 = t_w + \frac{h_u}{2} \end{cases}$$

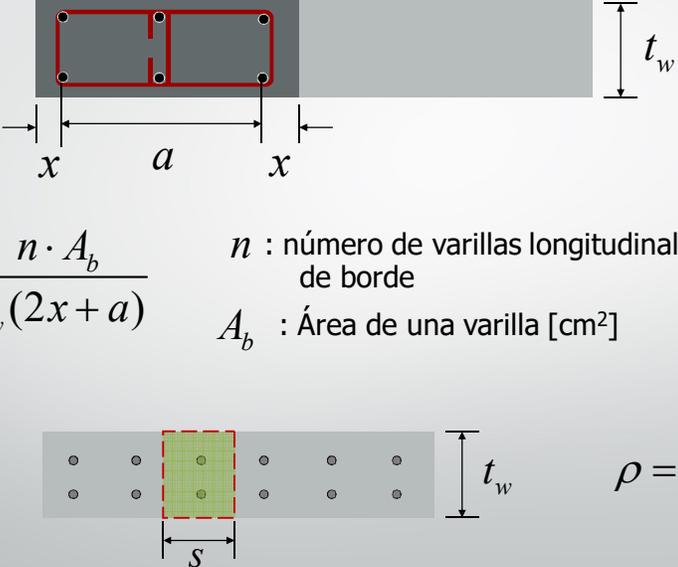
Donde no se requiera elementos de borde, el artículo *8.6.5.g* establece que se deberá cumplir con lo siguiente:

a) Si  $\rho > \frac{28}{f_y}$  : se colocará un refuerzo transversal especificado para columnas, a un espaciamiento no mayor de *20cm*.

$\rho$  : razón de refuerzo longitudinal en el borde del muro

b) Si  $V_u > 0.25 A_{cv} \sqrt{f'_c}$  : el refuerzo horizontal deberá terminar en ganchos estándar ( $90^\circ$ ) o se colocará un estribo en forma de "U" del mismo calibre y separación que el refuerzo horizontal.

*Cálculo de la razón de refuerzo longitudinal en el borde del muro  $\rho$*



$$\rho = \frac{n \cdot A_b}{t_w (2x + a)}$$

$n$  : número de varillas longitudinales en el elemento de borde  
 $A_b$  : Área de una varilla [cm<sup>2</sup>]

$$\rho = \frac{2 \cdot A_b}{t_w \cdot s}$$

*Diseño de muros estructurales (Sección 8.7.2 CSCR-10)*

Las cargas de diseño (fuerzas cortantes) son las que resulten del análisis estructural considerando fuerzas sísmicas.

La capacidad a cortante de un muro estructural se obtiene con la expresión:

$$V_n = A_{cv} (\alpha_c \sqrt{f'_c} + \rho_n f_y) \leq 2.5 \cdot A_{cv} \sqrt{f'_c}$$

$$\alpha_c = 0.80 \text{ para } \frac{h_w}{l_w} \leq 1.5 \quad \alpha_c = 0.53 \text{ para } \frac{h_w}{l_w} \geq 2.0$$

Para valores intermedios de  $\frac{h_w}{l_w}$ , se debe interpolar linealmente para hallar  $\alpha_c$

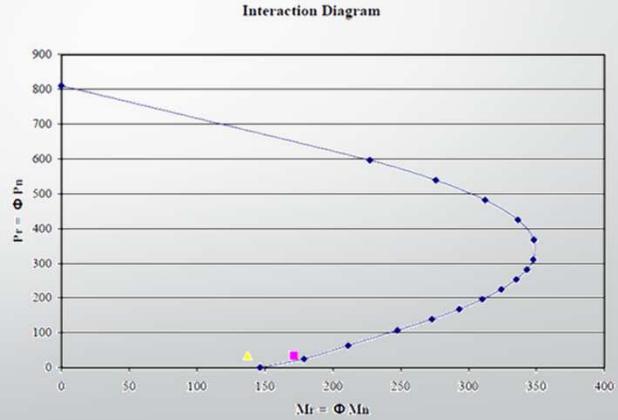
$\phi = 0.60$        $\rho_n$  : Razón del área de refuerzo distribuido paralelo al plano de  $A_{cv}$  respecto al área bruta de concreto perpendicular a dicho refuerzo

*Diseño a flexo-compresión*

La capacidad de un muro de corte para resistir de manera simultánea cargas axiales  $P_u$  y momentos flectores  $M_u$  se miden a través de un diagrama de interacción, cuya construcción es análoga al de una columna.

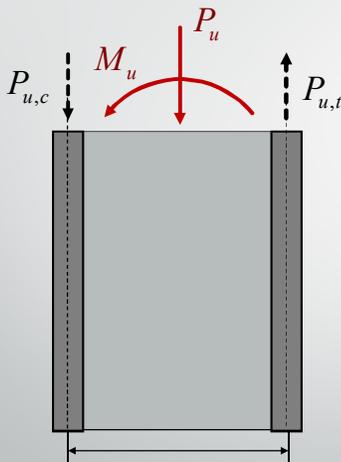
Debido a la gran cantidad de capas de acero y a la diversidad geométrica de los muros; es común el uso de un software para la generación del diagrama de interacción.

Por ejemplo: *Xtract*, *Section Designer* (Módulo de *SAP-2000*), etc.



*Diseño de los elementos de borde*

El refuerzo longitudinal de los elementos de borde debe ser tal que éstos satisfagan las relaciones básicas del diseño:



$l$ : distancia centro a centro entre elementos de borde

$$\begin{cases} P_{u,tens} \leq \phi P_{n,t} \\ P_{u,comp} \leq \phi P_{n,c} \end{cases}$$

$\phi P_{n,t}$  y  $\phi P_{n,c}$ : capacidades de carga axial en tensión pura y compresión pura respectivamente (columnas)

$$P_{u(t,c)} = \frac{P_u}{2} \mp \frac{M_u}{l}$$

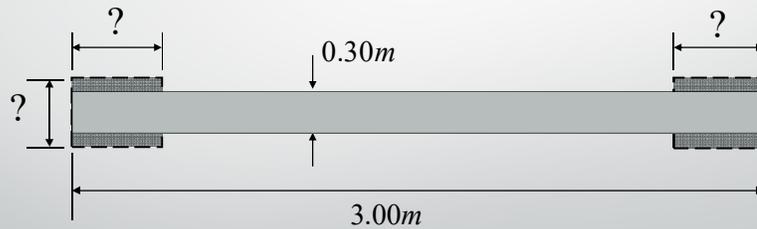
$P_u$  positivo en compresión

En cuanto al refuerzo transversal, los elementos de borde deberán satisfacer los requerimientos para columnas dúctiles.

### Semana 12 Ejemplo 1: Diseño estructural de un muro de corte

Diseñar un muro de concreto capaz de resistir las siguientes fuerzas de diseño:  $P_u = 178 \text{ Ton}$ ,  $V_u = 61 \text{ Ton}$  y  $M_u = 204 \text{ Ton}\cdot\text{m}$ .

El muro tiene una altura de 30m (equivalente a un edificio de 10 pisos y 3.0m cada piso). Considere para los cálculos:  $f'_c = 280 \text{ kg/cm}^2$ ,  $f_y = 4200 \text{ kg/cm}^2$ . Efectuar los cálculos para dos escenarios:  $\delta_u = 20\text{cm}$  y  $\delta_u = 45\text{cm}$ .



*Geometría propuesta para el muro (vista en planta)*

### Aspectos prácticos en la construcción de muros de corte

Durante el proceso constructivo de un muro de corte de concreto reforzado, se debe prestar atención a los siguientes detalles:

- Colocar suficientes puntales a la formaleta de manera que el peso del concreto fresco así como las maniobras durante el proceso de colado no causen desplomes verticales.



- Revisar que el refuerzo tenga el recubrimiento adecuado.



- Mantener constantemente humedecidas las caras del muro, los primeros 14 días como mínimo.
- Asegurarse de que el refuerzo del muro (1 o 2 mallas) esté correctamente anclado a los elementos perimetrales (vigas y columnas).



*Readecuación sísmica de un edificio mediante la construcción de un muro de corte*

