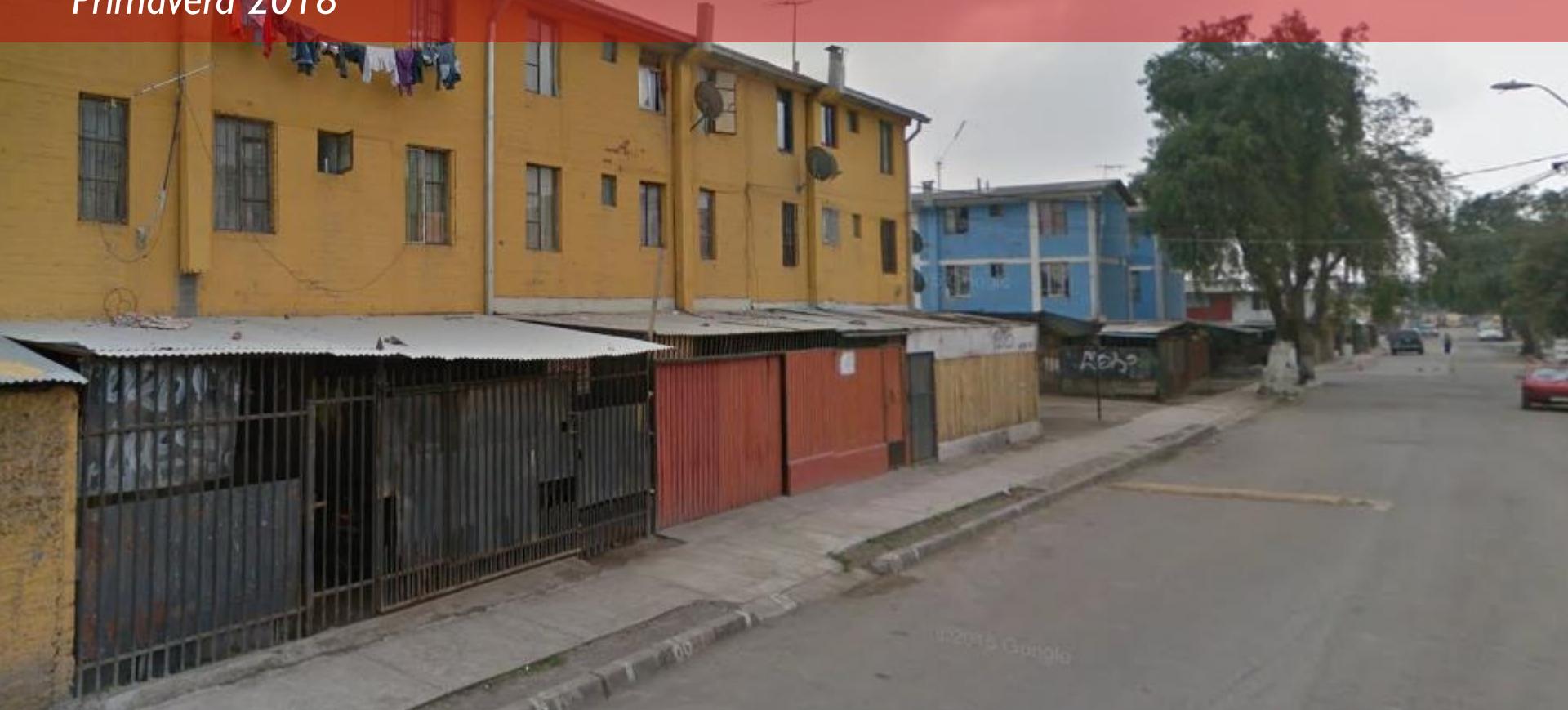


CI5223 – DISEÑO DE ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL

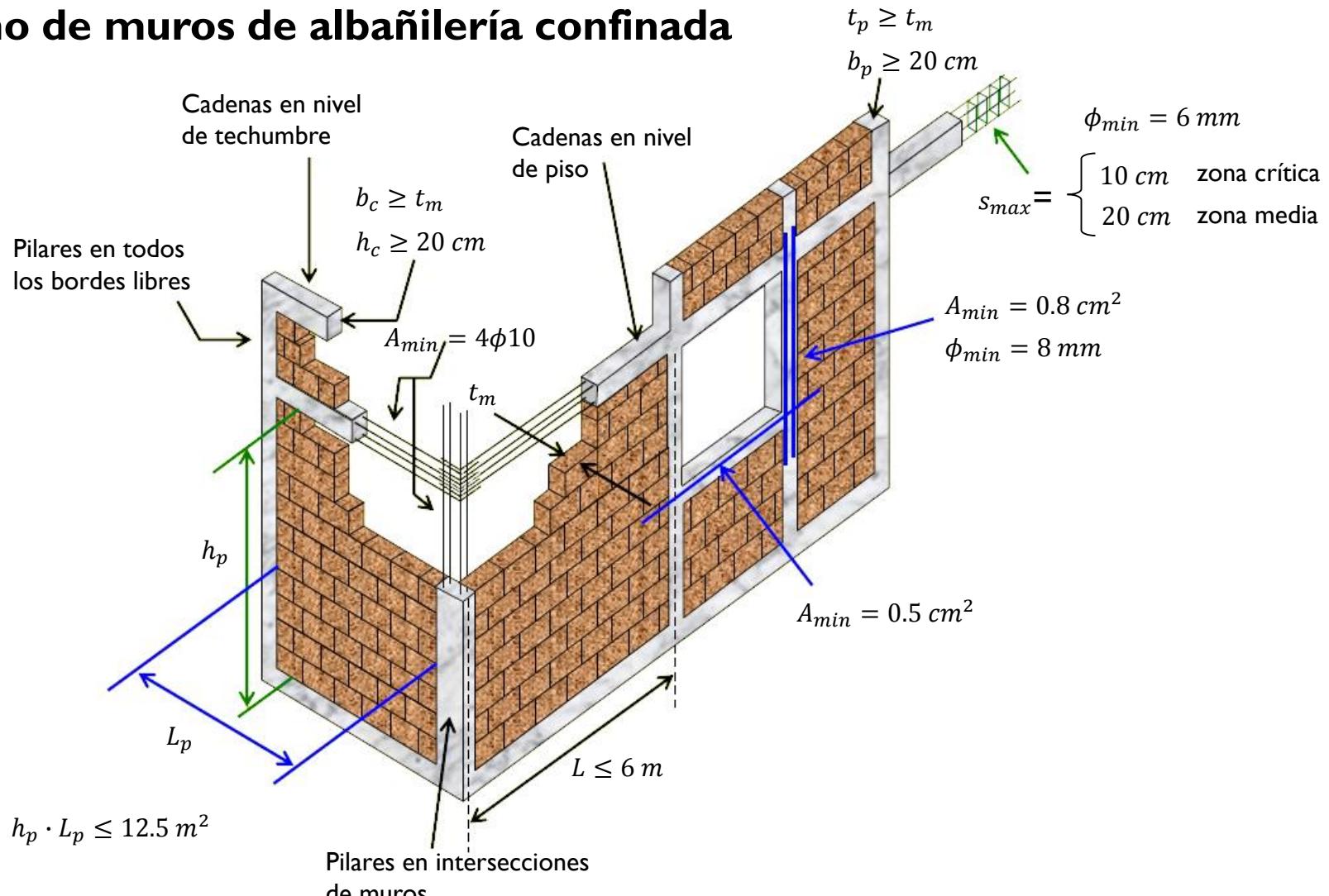
DISEÑO DE MUROS DE ALBAÑILERIA CONFINADA

Primavera 2018



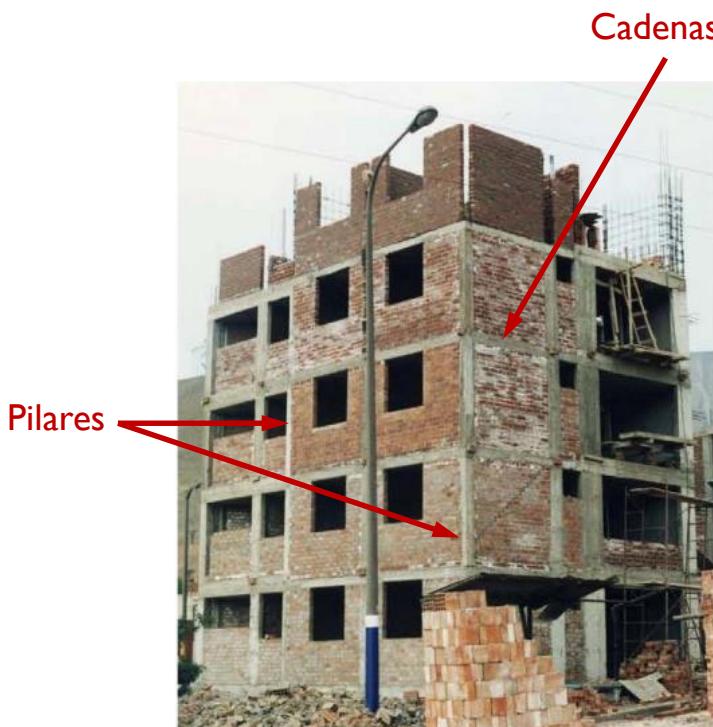
Thomas Sturm Moreira
thomas.sturm@idiem.cl

Diseño de muros de albañilería confinada

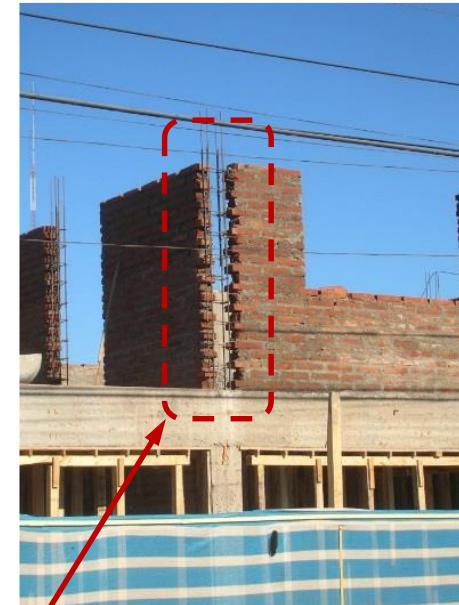


Definición

- “Albañilería reforzada con pilares y cadenas de hormigón armado, con elementos que enmarcan completamente al paño de albañilería y que se hormigonan contra éste en conformidad con lo indicado en la norma NCh2123.”



Albañilería confinada



Indentado

Albañilería confinada

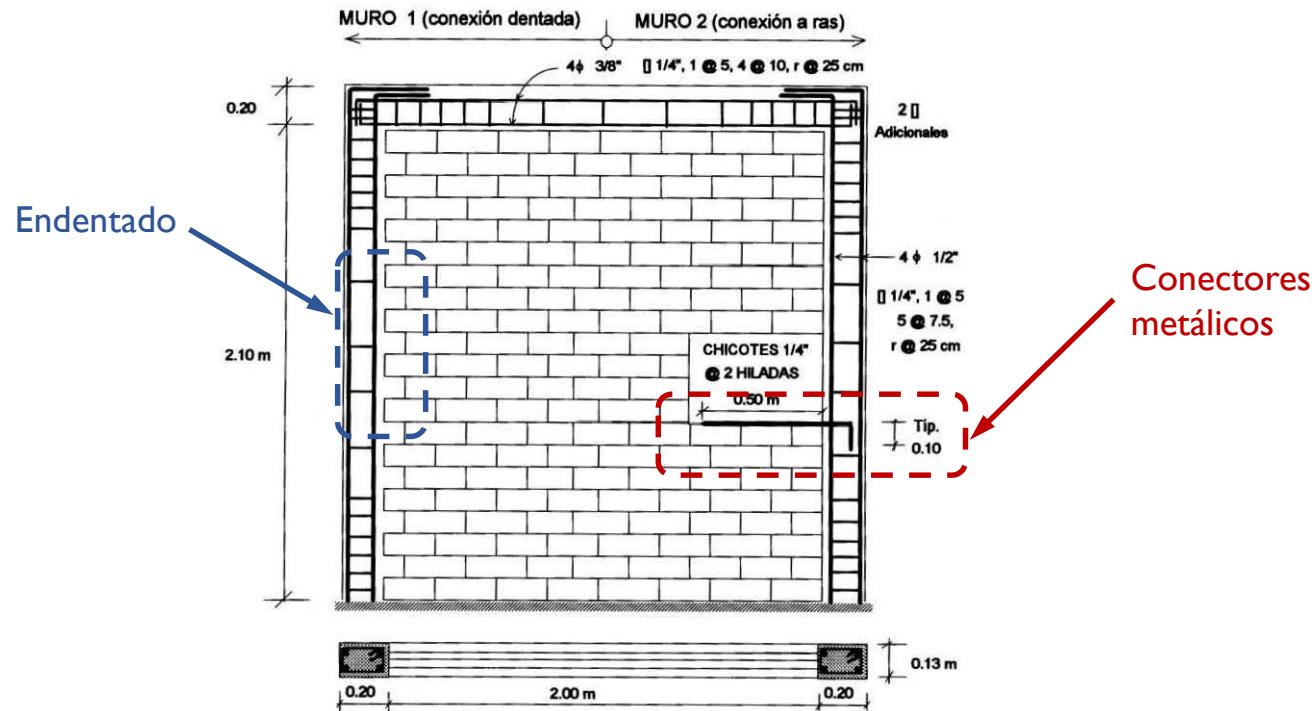


Colocación de cadenas



Albañilería confinada

- La **trabajón** o trabajo conjunto entre el paño de albañilería y los elementos que lo confinan (pilares y cadenas de H.A.), se logra mediante un **endentado** de los bordes verticales del paño de albañilería o bien usando **conectores metálicos** ubicados en las juntas horizontales de mortero y separados a igual distancia entre ellos (**2 o 3 hiladas**).



Albañilería confinada

Unión endentada



Albañilería confinada

Unión endentada



Unión endentada

Detalle de construcción

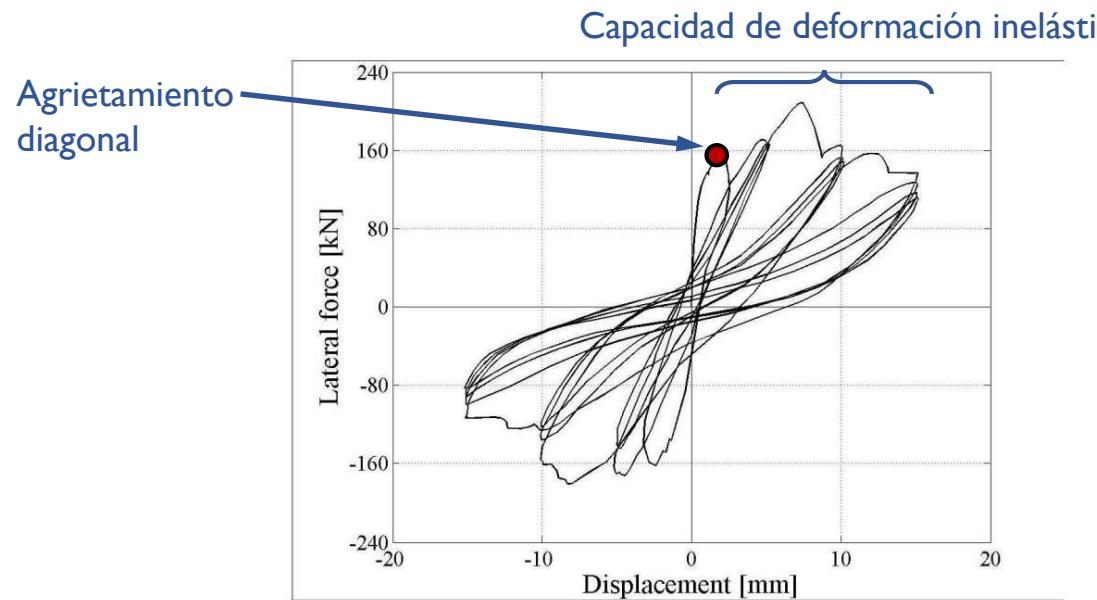
Albañilería confinada

- Unión a ras con conectores metálicos



Consideraciones generales para el diseño

- Los elementos de confinamiento, pilares y cadenas de hormigón armado, **no contribuyen** a aumentar la **resistencia al corte** del muro de albañilería confinada.
- La función de los elementos de confinamiento es **aumentar la capacidad de deformación inelástica**, una vez que se produce el agrietamiento diagonal del muro.



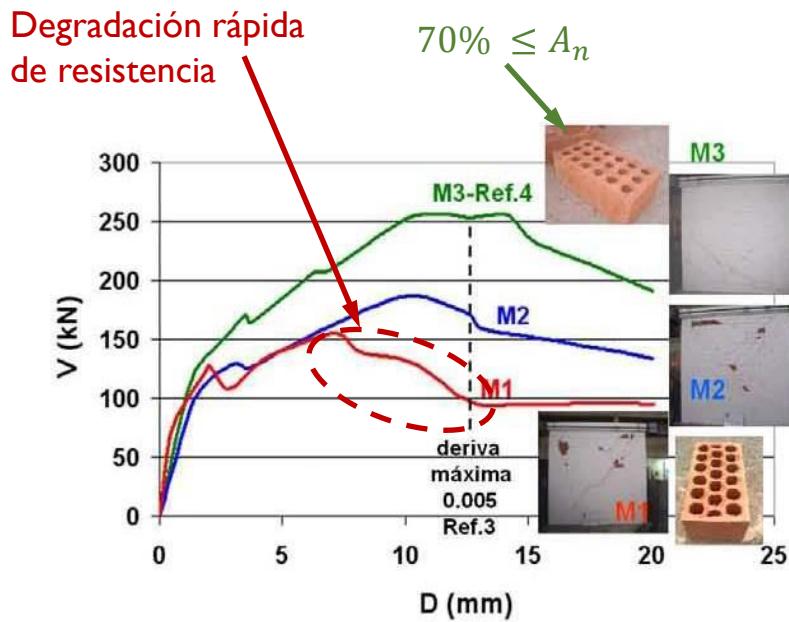
Muro con falla de corte

Consideraciones generales para el diseño

- Los elementos de confinamiento cumplen **en forma independiente**, la función de "**confinamiento**" ante las acciones contenidas en el plano del muro y de "**apoyo**" ante las acciones que actúan perpendicular al plano del muro.
- En esta doble función, las **barras longitudinales y transversales** (estribos) de refuerzo de los elementos de confinamiento (pilares y cadenas) quedan determinadas por los requerimientos de una de estas funciones.
- Es recomendable usar **unidades sólidas o perforadas** en la construcción de los paños de albañilería. El uso de **unidades huecas** no se justifica al no haber armaduras verticales distribuidas al interior del paño.

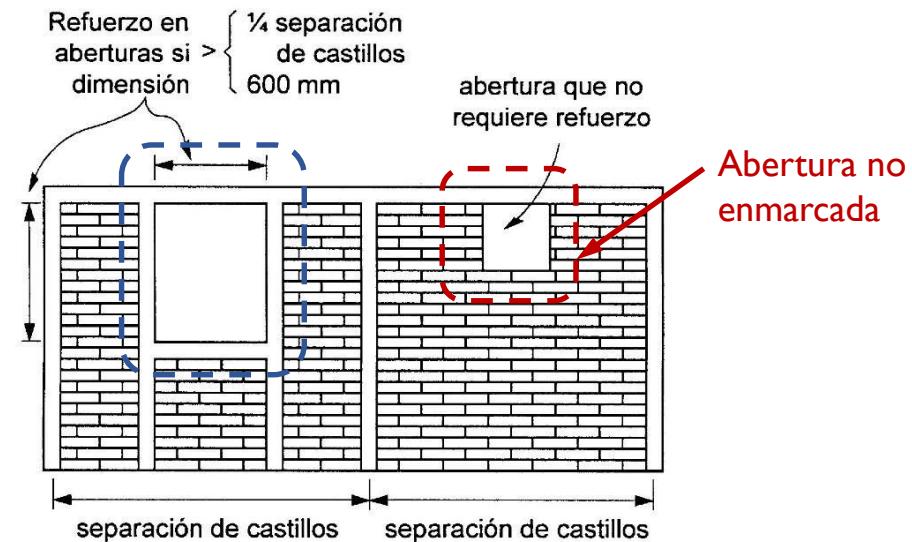
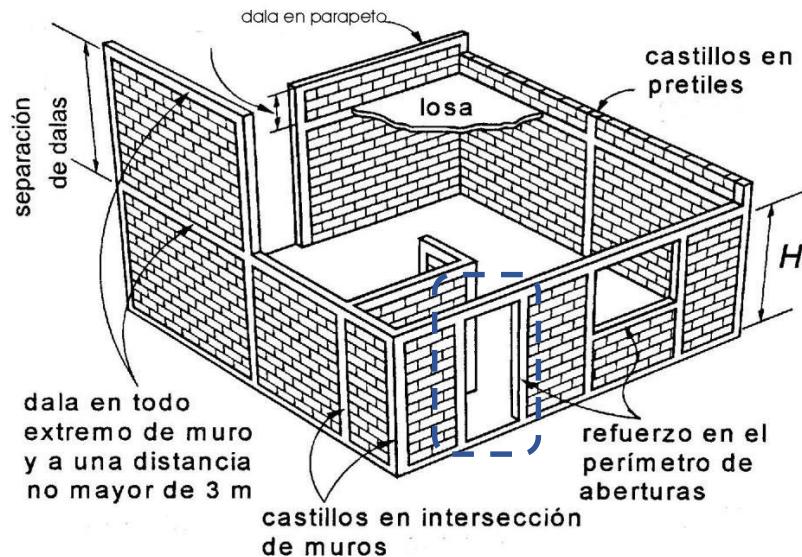
Consideraciones generales para el diseño

- En el caso de usar unidades perforadas se recomienda que las unidades tengan un área de perforaciones **no superior al 30%** del área bruta de la unidad.



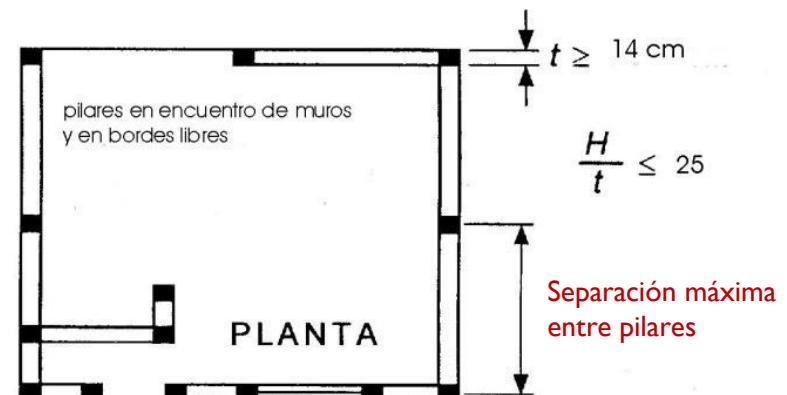
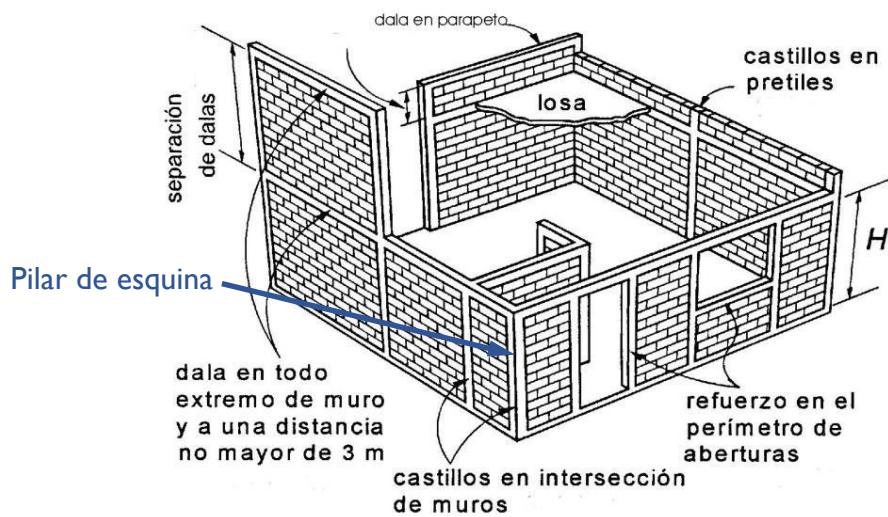
Consideraciones generales para el diseño

- En el caso de existir **aberturas no enmarcadas** en el interior del paño de albañilería, ellas deben tener dimensiones que cumplan con las **limitaciones** que establecen las normas de diseño (ver NCh2123).



Consideraciones generales para el diseño

- El **área de acero requerida** en un pilar de confinamiento que pertenece a dos muros ubicados en planos distintos (*pilar de esquina*), corresponde a la **mayor** de las cuantías que resulte de aplicar las recomendaciones que establecen las normas de diseño sísmico para estas situaciones.
- La **separación** entre los elementos de *confinamiento vertical* (pilares) deben controlarse para evitar que **se pierda** el efecto de confinamiento de ellos. Por ello es recomendable colocar los pilares de modo que el largo del paño **no debe ser superior a dos veces su altura** y en ningún caso a una distancia mayor que la recomendada por las normas.



Consecuencias de no respetar las limitaciones de diseño

□ Uso de unidades con alto porcentaje de huecos (> 30%)

- a. Trituración de las unidades una vez que se agrieta el muro, lo que genera una fuerte degradación de la capacidad resistente y de la rigidez y deterioro de su ductilidad y capacidad de disipación de energía (falla frágil).
- b. En los muros de albañilería confinada la trituración produce el vaciamiento parcial del muro y el daño severo de los elementos de confinamiento, todo lo cual dificulta su reparación (ver estado del muro para una deriva de un 0.5%).
- c. El estado en que queda la estructura pone en juego la estabilidad de ella (¡colapso?).



Consecuencias de no respetar las limitaciones de diseño

No reforzar las aberturas

- a. La **falta de pilares de refuerzo** en las aberturas (ventanas), produce paños de albañilería (machones) **parcialmente confinados** cuyo comportamiento es **frágil y asimétrico** y con una **baja capacidad de deformación** una vez que alcanza su resistencia de corte.
- b. La **falta de refuerzos** se traduce en un **severo agrietamiento** del muro y en **deformaciones permanentes**.



Consecuencias de no respetar las limitaciones de diseño

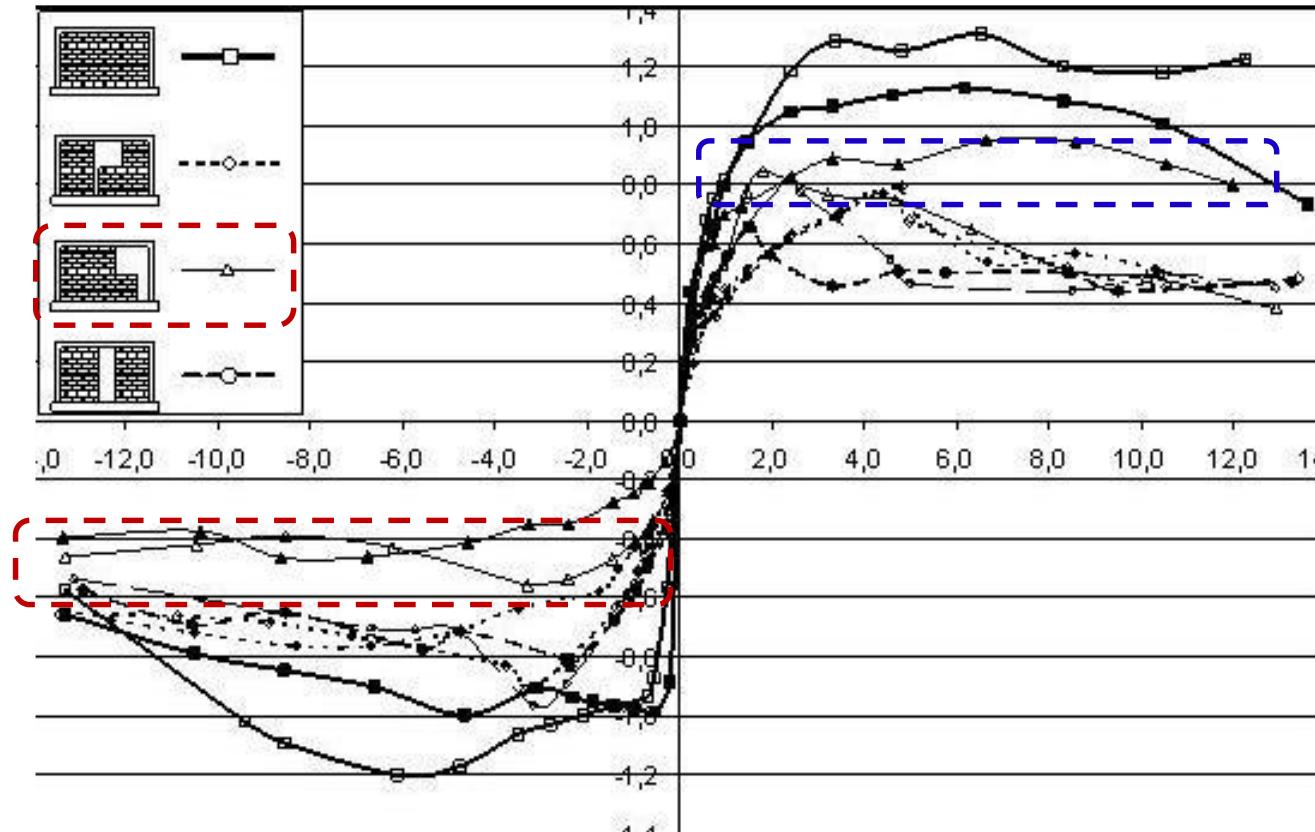
No reforzar los bordes libres

- a. La **falta de pilares de refuerzo** en las aberturas (ventanas), produce paños de albañilería (machones) **parcialmente confinados** cuyo comportamiento es **frágil y asimétrico** y con una **baja capacidad de deformación** una vez que alcanza su resistencia de corte.
- b. La **falta de refuerzos** se traduce en un **severo agrietamiento** del muro y en **deformaciones permanentes**.



Consecuencias de no respetar las limitaciones de diseño

□ Comportamiento asimétrico



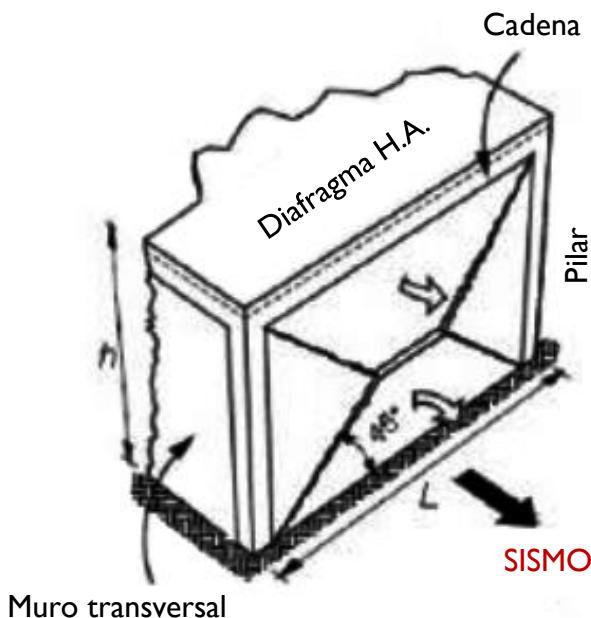
Diseño de muros de albañilería confinada ante acciones perpendiculares a su plano

□ Comentarios

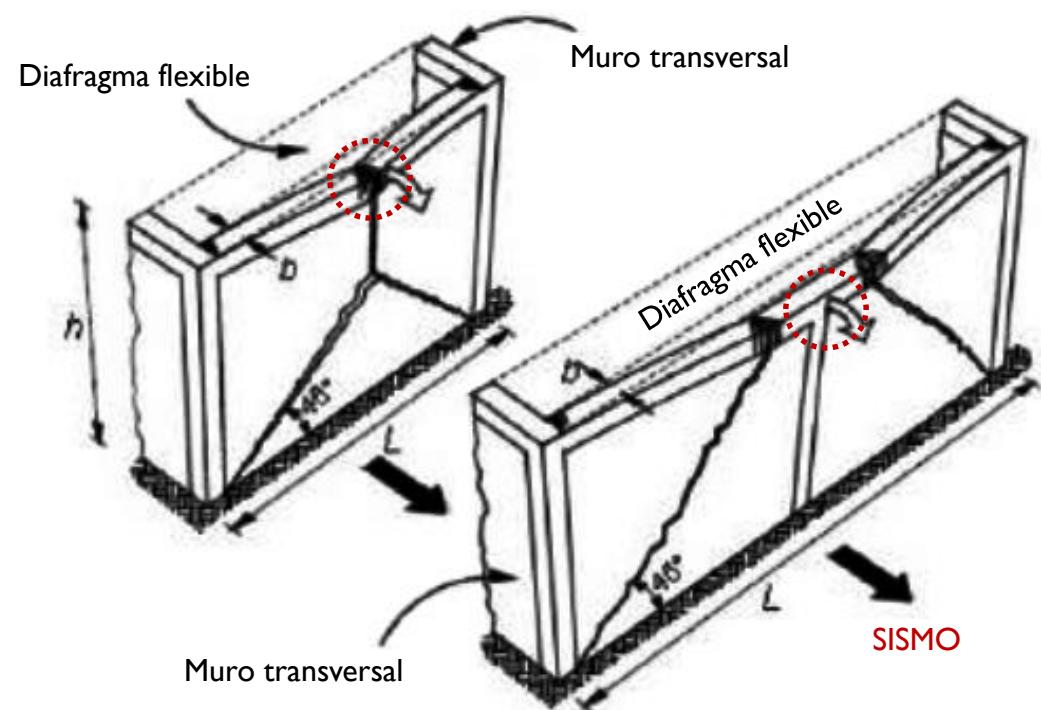
- Estas acciones son resistidas por el paño de albañilería **apoyado** en los elementos de confinamiento (pilares y cadenas).
- Para garantizar la condición de apoyo se deben **controlar las deformaciones de los elementos de confinamiento** (cadenas). ➡ Deformaciones menores al 2% con respecto a la altura de entrepiso o distancia entre cadenas sucesivas (Artículo 6.5.2 de la norma NCh2123).
- Los **momentos de flexión** que se producen en el paño de albañilería se determinan modelando el paño como una **losa simplemente apoyada** en los elementos de confinamiento. ➡ Artículo 6.5.1 de la norma NCh2123.
- El diseño ante estos momentos de flexión se realiza con las ecuaciones recomendadas para una **albañilería sin refuerzo**. La **tensión admisible de tracción por flexión** corresponde al 50% de F_{bt} (Artículo 6.5.1 de la norma NCh2123).
- Ante este tipo de acción, el comportamiento de un muro de albañilería confinada queda controlado por la **capacidad de tracción por flexión de la albañilería** considerando que el paño no tiene armaduras de refuerzo en su interior.

Acciones de cargas perpendiculares al plano del muro

□ Formas de falla



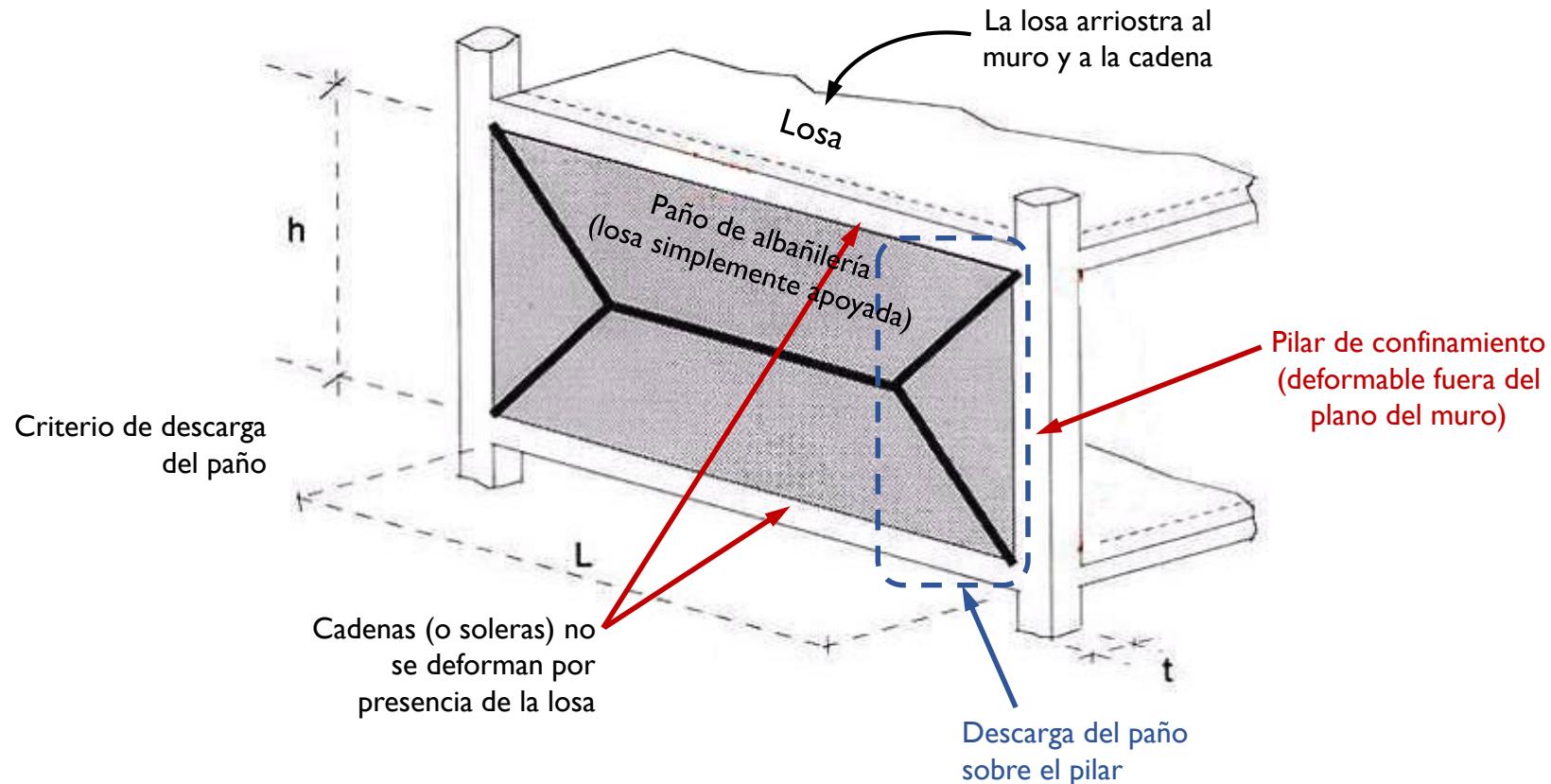
Caso con losa de piso



Caso sin losa de piso

Acciones de cargas perpendiculares al plano del muro

□ Diseño de los elementos de confinamiento



Acciones de cargas perpendiculares al plano del muro

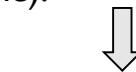
□ Comentarios

- Los **esfuerzos de flexión y de corte** que producen las descargas del paño de albañilería en los **elementos de confinamiento** se calculan modelándolos como **elementos uniaxiales**.
- Con los esfuerzos que resulten del cálculo anterior se **determinan las armaduras longitudinales y transversales** requeridas en los elementos de confinamiento en su **función de apoyo**.
- En la medida que los elementos de confinamiento **no se deformen fuera del plano del muro**, sólo se requieren las barras necesarias para resistir las **acciones en el plano del muro**.

Acciones de cargas perpendiculares al plano del muro

□ Calculo de un pilar por efectos de cargas perpendiculares al plano del muro

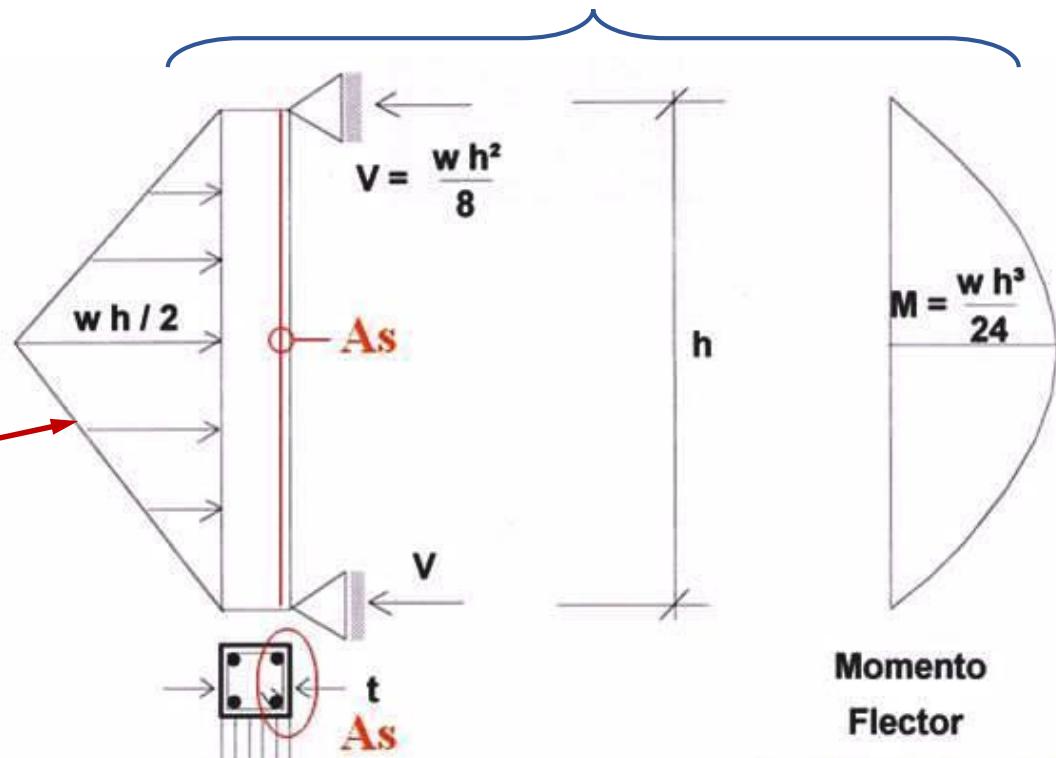
w = carga por unidad de área actuando perpendicular al plano del muro (uniforme).



$$w = C_s \cdot t \cdot \gamma_m$$

Descarga del paño de albañilería sobre el pilar

Modelo de análisis del pilar de confinamiento

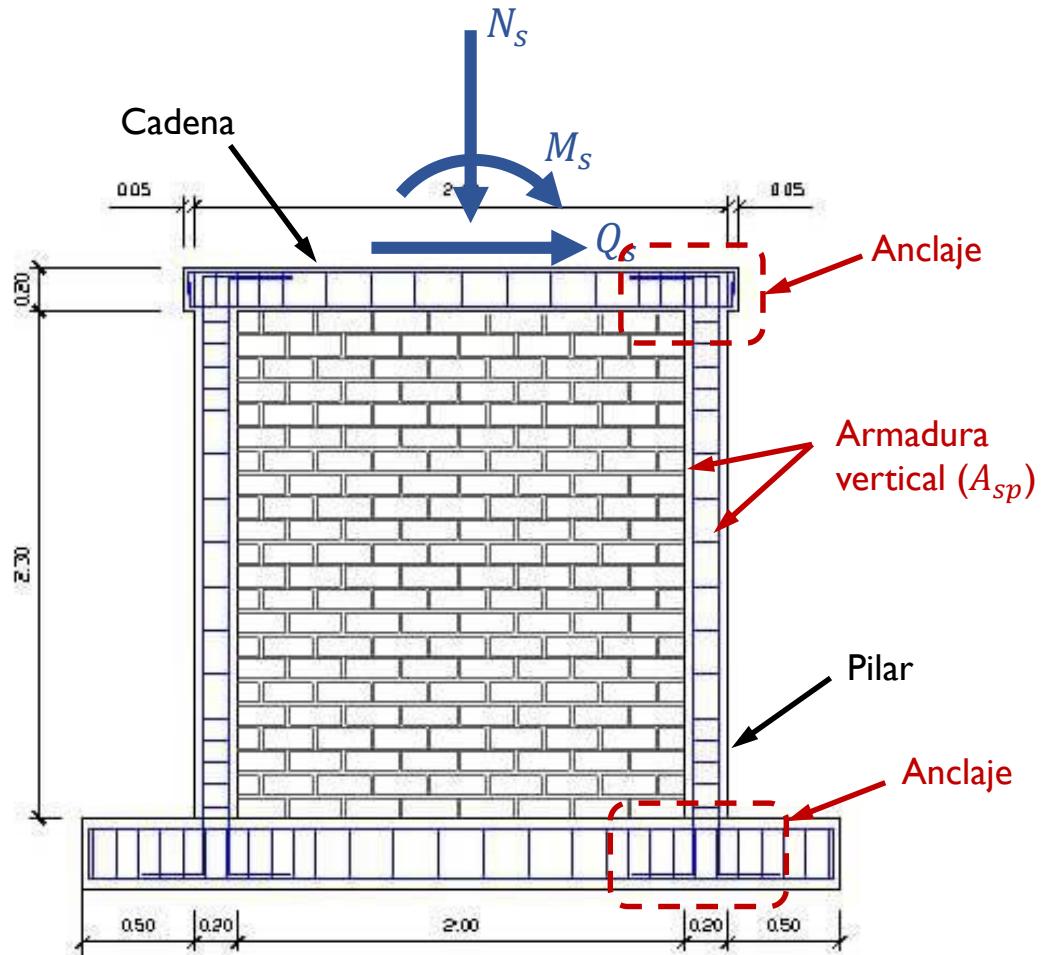


Diseño de muros de albañilería confinada ante acciones contenidas en su plano (según NCh2123)

- Las disposiciones de diseño de la norma NCh2123 se redactaron considerando como antecedentes las recomendaciones de los documentos siguientes :
 - i. Ordenanza General de Construcción y Urbanización. Versión actualizada y concordada del año 1977. Capítulos XX, XXI, XXII y XXIII.
 - ii. Diseño y construcción de estructuras de mampostería. Normas Técnicas Complementarias del Reglamento de Construcciones para el Distrito Federal. México, Julio 1977.
 - iii. Normas Argentinas para Construcciones Sismoresistentes. Parte III. Construcciones de Mampostería. Reglamento INPRES-CIRSOC 103, Noviembre 1983.
 - iv. Normas Técnicas de Edificación. Norma E-070: Albañilería. Instituto Nacional de Investigación y Normalización de la Vivienda. Lima, Perú, Enero 1982.

Diseño de muros de albañilería confinada ante acciones contenidas en su plano

- Por efecto de este tipo de acción, se debe considerar que en las **secciones transversales** de un muro de albañilería confinada se produce un estado de esfuerzo cuyas componentes son: N_s , Q_s y M_s , las cuales deben ser menores o iguales a la capacidad del muro (N_a , V_a M_{oa} y M_a).



Resistencia a la compresión axial

- Esta resistencia queda determinada por la contribución del paño de albañilería y de los pilares de confinamiento.
- Aceptando la hipótesis de Bernoulli, por la compatibilidad del estado de deformaciones axiales y considerando que las deformaciones axiales en el estado último en compresión de la albañilería y del hormigón, son semejantes, se puede aceptar:

$$N_n = A_m \cdot f'_m + n_p \cdot A_p \cdot f'_c$$

35% ~45%

Donde:

f'_m = resistencia a la compresión de la albañilería

f'_c = resistencia a la compresión del hormigón

A_m = área de la sección transversal del paño de albañilería

A_p = área de la sección transversal de un pilar de confinamiento

n_p = número de pilares del muro

Resistencia a la compresión axial

- La fuerza axial admisible definida por la norma NCh2123 es:

$$N_a = 0.4 \cdot f'_m \cdot A_{mb} \cdot \Phi_e$$

Donde:

A_{mb} = área de la sección transversal bruta del muro incluido los pilares

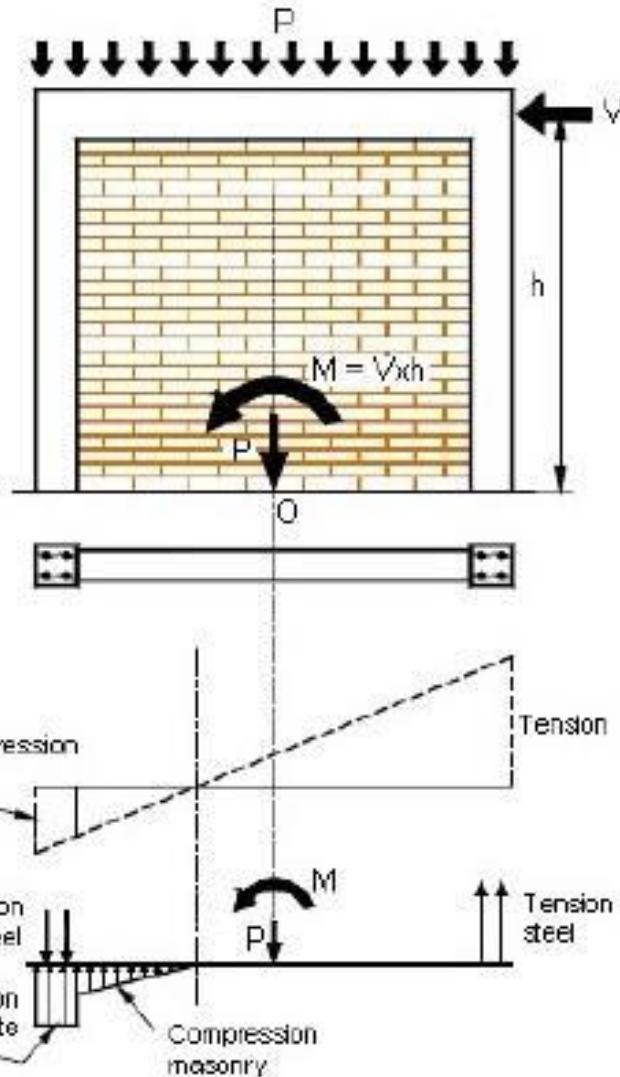
Φ_e = reducción por esbeltez

- Esto implica que el factor de seguridad (FS) es:

$$FS = \frac{N_n}{N_a}$$

Resistencia a la flexión (M_{oa} , M_a)

- La resistencia a la flexión de un muro de albañilería confinada es proporcionada por las **barras de refuerzo longitudinal** del **pilar de confinamiento** ubicado en el borde de la zona traccionada y por la **albañilería del paño y el pilar de hormigón** ubicado en la zona comprimida de la sección transversal del muro.
- Considerando la diferencia entre los módulos de elasticidad de la albañilería y del hormigón, **la mayor parte** de la resultante de las tensiones de la zona comprimida se ubica en el **pilar de hormigón**.



Resistencia a la flexión (M_{oa}, M_a)

- Teniendo en cuenta esta distribución de tensiones, el diseño a la flexión pura o compuesta de un muro de albañilería confinada se hace con **ecuaciones simplificadas**, como son las recomendadas por la norma NCh2123.
- En ellas se acepta que el momento de flexión es resistido por un par de fuerzas concentradas que actúan en el centroide de los pilares de confinamiento ubicados en los extremos del muro. Así el momento de flexión admisible queda determinado por las ecuaciones siguientes (según NCh2123):

A. Flexión pura

$$M_{oa} = 0.9 \cdot A_{sp} \cdot F_s \cdot d_1$$

Donde:

d_1 = distancia entre los centroides de los pilares ubicados en los bordes del muro

Resistencia a la flexión (M_{oa} , M_a)

B. Flexo-compresión:

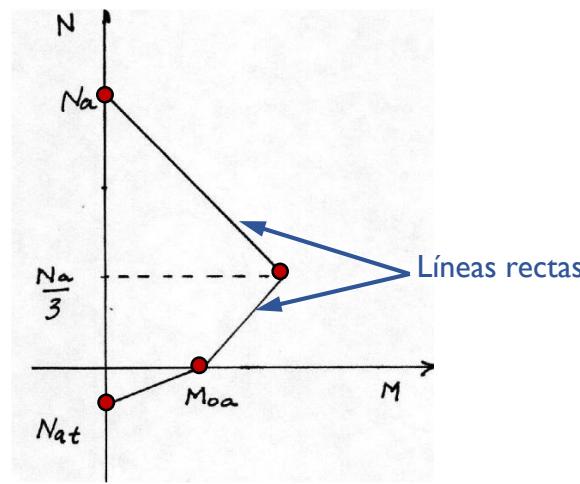
$$M_a = M_{oa} + 0.2 \cdot N_s \cdot d_u \quad \text{si } N_s \leq N_a/3$$

$$M_a = (1.5 \cdot M_{oa} + 0.1 \cdot N_a \cdot d_u)(1 - N_s/N_a) \quad \text{si } N_s > N_a/3$$

Donde:

d_u = altura útil del las barras longitudinales de refuerzo del pilar traccionado. Para calcular esta distancia se consideran las barras longitudinales de refuerzo del pilar **concentrada** en el centro de gravedad del pilar.

- Al usar estas fórmulas, el diagrama de interacción en la zona de compresión queda representado por **dos líneas rectas**, como se muestra en la figura.



Resistencia a la flexión (M_{oa} , M_a)

B. Flexo-compresión:

- A partir de las ecuaciones de M_{oa} y M_a , se obtiene el área requerida de refuerzo longitudinal de los pilares para resistir el momento de diseño solicitante M_{sd} . Para obtener esta área basta con igualar M_{sd} con M_a y despejar A_{sp} , contenido en M_{oa} , resultando:

$$A_{sp} = (M_{sd} - 0.2 \cdot N_s \cdot d_u) / (0.9 \cdot F_s \cdot d_1) \quad \text{si } N_s \leq N_a/3$$

$$A_{sp} = M_{sd} / (1.35 \cdot F_s \cdot d_1 (1 - N_s/N_a)) - 0.10 \cdot N_a \cdot d_u / (1.35 \cdot F_s \cdot d_1) \quad \text{si } N_s > N_a/3$$

Donde:

M_{sd} = 0.5 · M_s (ver artículo 6.6.1 de la norma NCh2123)

M_s , N_s = esfuerzos solicitantes

N_a = esfuerzo axial de compresión admisible

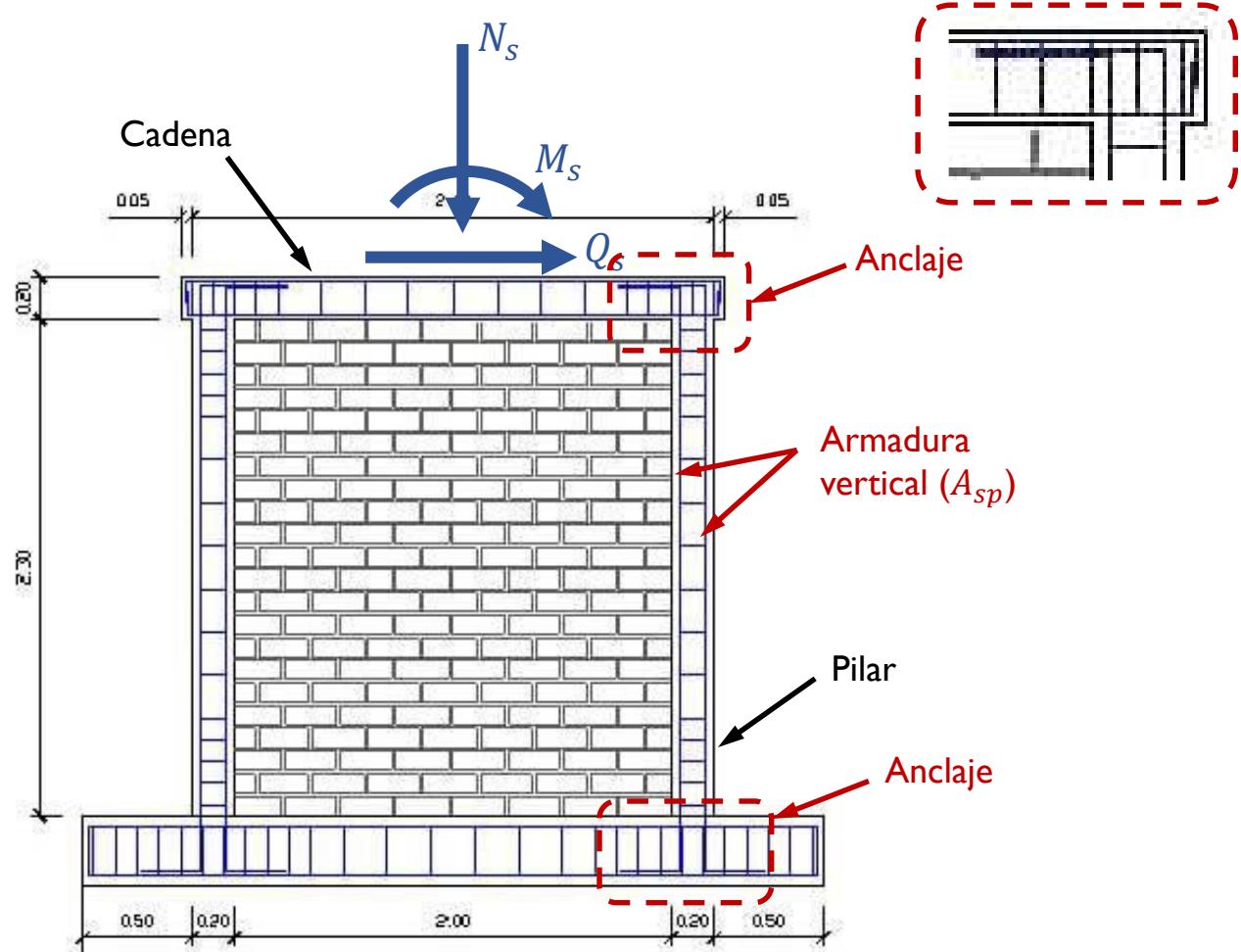
- Si en M_s interviene la acción sísmica (eventual), se puede usar $M_{sd} = M_{sd}/1.33$ en las ecuaciones de A_{sp} con la excepción de aquellos muros que resisten más del 45% de la acción sísmica que actúa en el piso (ver artículo 6.1e de la norma NCh2123).

Resistencia a la flexión (M_{oa} , M_a)

En este ejemplo:

$$d_1 = 2.2 \text{m}$$

$$d_u = 2.3 \text{m}$$



Resistencia a la flexo-tracción (N_{at})

- Si N_s es una fuerza de tracción, para determinar A_{sp} basta con considerar que el diagrama de interacción es lineal entre M_{oa} y N_{at} , como se muestra en el diagrama de interacción simplificado.

$$N_{at} = n_p \cdot A_{sp} \cdot F_s$$

Donde:

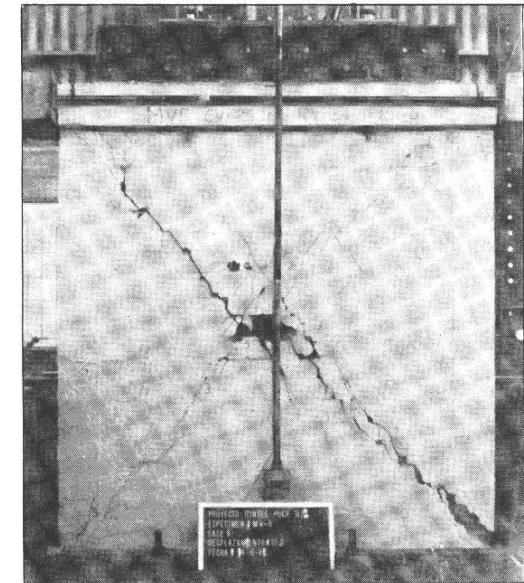
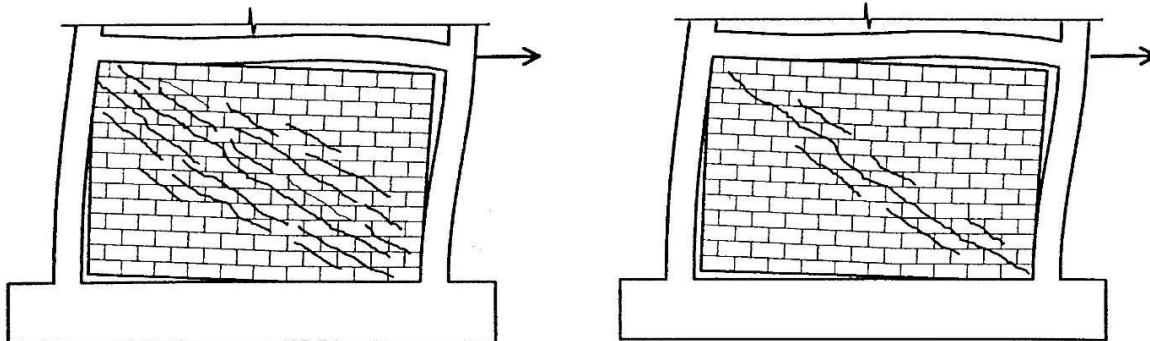
A_{sp} = área de barras de refuerzo longitudinal de un pilar

F_s = tensión admisible del acero = $0.5 \cdot F_y$ (según NCh2123)

- En ningún caso el área del refuerzo longitudinal, A_{sp} , debe ser menor que la mínima recomendada por las normas. Según NCh2123, el refuerzo longitudinal mínimo son 4 barras de acero de 10 mm de diámetro ($A_{sp} = 3.14 \text{ cm}^2$).

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

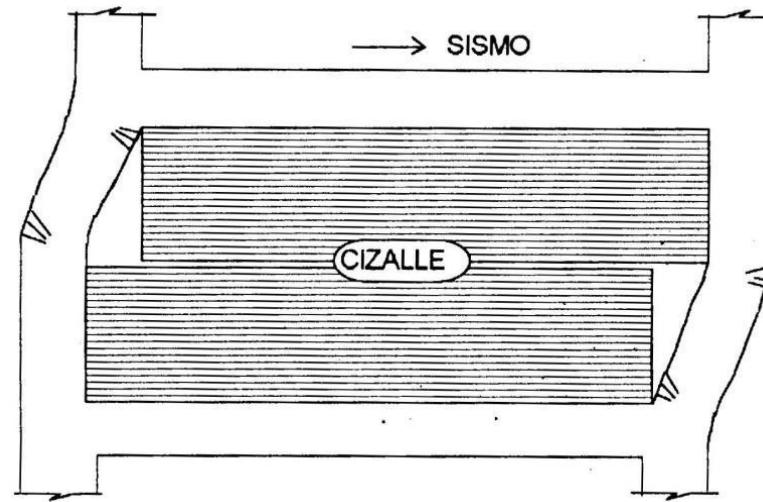
□ Tipos de fallas por corte



Falla de agrietamiento diagonal

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

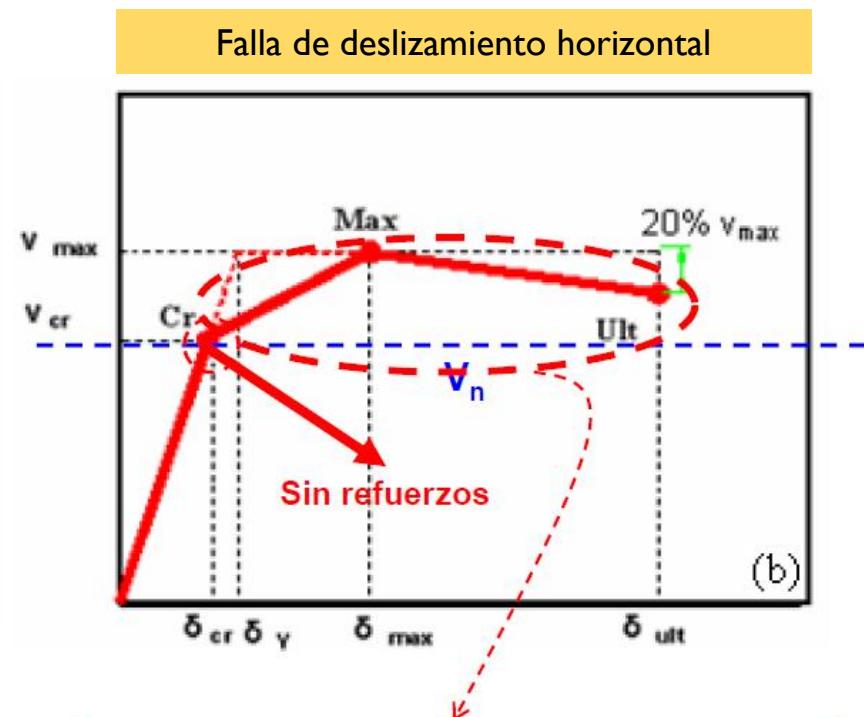
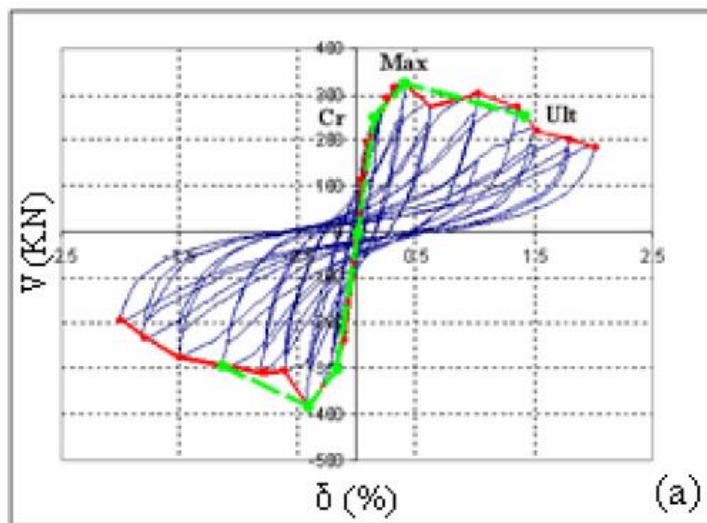
□ Tipos de fallas por corte



Falla de deslizamiento horizontal

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

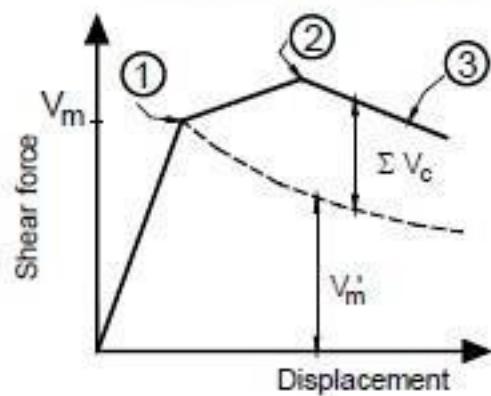
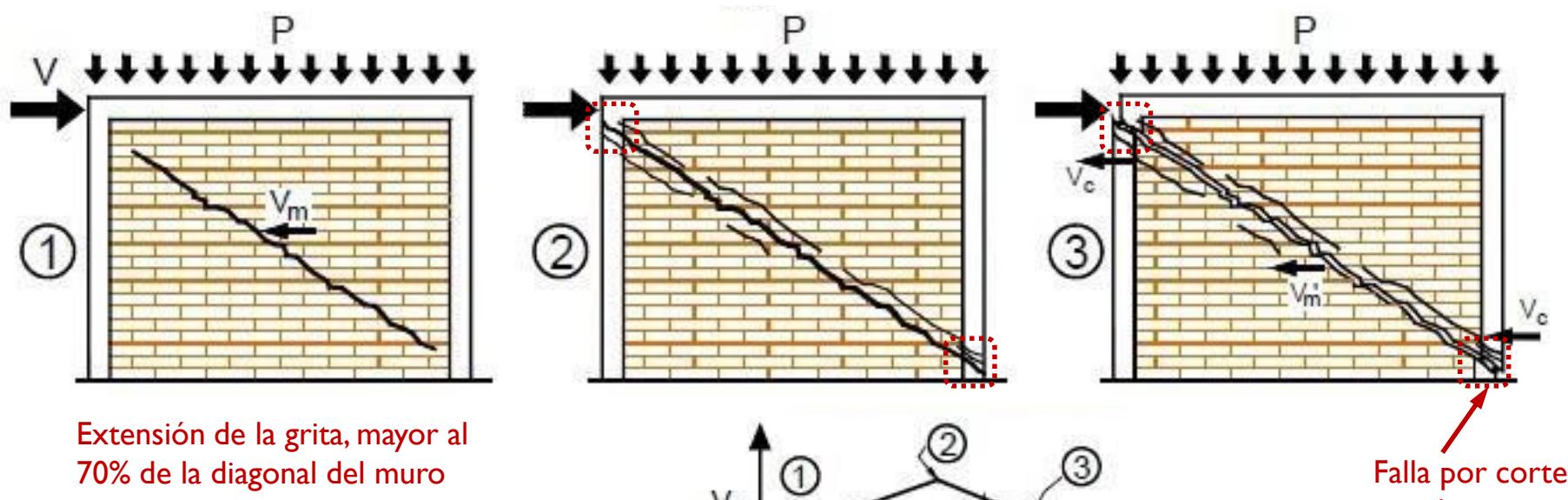
- Ciclos de histéresis en un muro de albañilería confinada con falla de agrietamiento diagonal.



Todo lo que pase en esta zona depende de las características los refuerzos (pilares de confinamiento) mientras no se trituren las unidades del paño de albañilería.

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Agrietamiento debido al corte



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada con falla de agrietamiento diagonal. Caso sin barras de refuerzo en el interior del paño (V_n):

- La resistencia al corte de un muro de albañilería confinada **sin barras de refuerzo horizontal en el interior del paño**, corresponde a la fuerza que produce el agrietamiento diagonal del paño de albañilería ($V_{agr} = V_{cr}$).
 - La capacidad resistente asociada a la **falla por agrietamiento diagonal** (V_n), está controlada por la:
 - a. **Adherencia** entre el mortero y la unidad
 - b. **Extensión del mortero en la superficie de adhesión**
 - c. **Presencia de carga vertical** (N_s)
 - d. **Eslitez** del muro, $M_s/(Q_s \cdot L)$
- $\left. \begin{array}{l} \text{a. Adherencia entre el mortero y la unidad} \\ \text{b. Extensión del mortero en la superficie de adhesión} \\ \text{c. Presencia de carga vertical } (N_s) \\ \text{d. Eslitez del muro, } M_s/(Q_s \cdot L) \end{array} \right\} \tau_m$

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso sin barras de refuerzo en el interior del paño (V_n):

- La ecuación para determinar la carga de agrietamiento es del **tipo empírica** y se ha obtenido de los resultados de pruebas estáticas, monótonas y cíclicas, de **muros de albañilería confinada** ensayados en voladizo.
- Las características de los muros ensayados son las siguientes:
 - **Dos pilares**, uno en cada extremo del muro,
 - **Cuatro barras longitudinales** en cada pilar,
 - **Sin refuerzo en la junta horizontal** del paño de albañilería,
 - Relación altura/longitud del muro (esbeltez) entre **0.7** y **1.2**,
 - Comportamiento **controlado por deformaciones de cortante**.

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso sin barras de refuerzo en el interior del paño (V_n):

- Las ecuaciones empíricas propuestas tienen la forma siguiente:

$$V_n = (\alpha \cdot \tau_m \cdot \beta + \gamma \cdot \sigma_0) \cdot A_{mb}$$

Donde:

α, β, γ = constantes empíricas

τ_m = resistencia básica de corte de la albañilería, medida sobre el área bruta del murete

σ_0 = tensión normal debido a la fuerza axial del tipo permanente

A_{mb} = área bruta de la sección transversal, incluido los pilares

- De acuerdo con los resultados de los muros de albañilería confinada ensayados en Chile, Raymondi (1990) recomienda los valores de α, β y γ siguientes:

$$\left. \begin{array}{l} \alpha = 0.45 \\ \beta = 1.00 \\ \gamma = 0.24 \end{array} \right\}$$

$$V_n = (0.45 \cdot \tau_m + 0.24 \cdot \sigma_0) \cdot A_{mb}$$

Ec. I

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso sin barras de refuerzo en el interior del paño (V_n):

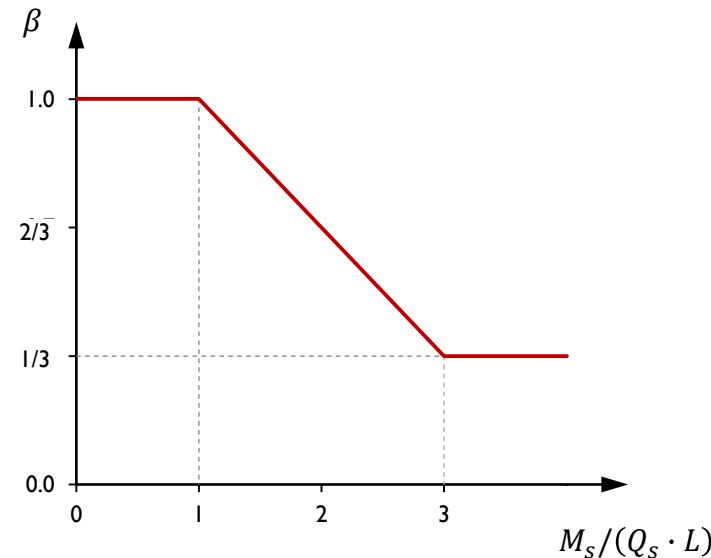
- El factor de reducción por esbeltez, β , se ha considerado igual a 1.0 en las ecuaciones de las normas de diseño y cálculo, con excepción de la norma peruana.
- La norma peruana recomienda usar la expresión siguiente:
 - De acuerdo con los resultados de ensayos recopilados en una base de datos 102 muros de albañilería confinada ensayados en diferentes países de Latinoamérica, Riahi, Elwood y Alcocer (2008) proponen:

$$\beta = 1.0 \quad \text{si } M_s/(Q_s \cdot L) \leq 1.0$$

$$\beta = (Q_s \cdot L)/M_s \quad \text{si } M_s/(Q_s \cdot L) > 1.0$$

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso sin barras de refuerzo en el interior del paño (V_n):
 - El valor recomendado por la norma peruana es menor que 1.0 cuando $M_s/(Q_s \cdot L)$.



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso con barras de refuerzo en el interior del paño de albañilería (V_{nr}):

➤ Si se desea **aumentar** la capacidad resistente al corte de un muro de albañilería confinada más allá de la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería, se deben colocar **barras de refuerzo horizontal** en las juntas horizontales de mortero en una **cantidad suficiente** para incrementar la resistencia de corte por **sobre la fuerza de agrietamiento diagonal**.



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso con barras de refuerzo en el interior del paño de albañilería (V_{nr}):
 - Para determinar la cuantía de barras de refuerzo se puede tener en cuenta la ecuación recomendada por la norma mexicana (2004) obtenida de los resultados de muros ensayados en el CENAPRED (Méjico):

$$V_{nr} = V_{nRDF} + \eta \cdot \rho_h \cdot \sigma_y \cdot A_{mb}$$

Donde:

η = factor de eficiencia del refuerzo horizontal

$\rho_h = A_{sh}/(s \cdot t)$

A_{sh} = área de las barras de refuerzo horizontal colocada en una junta horizontal de mortero

σ_y = tensión de fluencia de las barras de refuerzo horizontal , en kgf/cm²

s = separación entre las armaduras horizontales

t = espesor del muro

A_{mb} = área de la sección transversal bruta del muro

$V_{nRDF} = (0.5\tau_m + 0.3\sigma_0) \cdot A_{mb} \leq 1.5\tau_m \cdot A_{mb}$

σ_0 = tensión normal debido a la fuerza axial

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso con barras de refuerzo en el interior del paño de albañilería (V_{nr}):

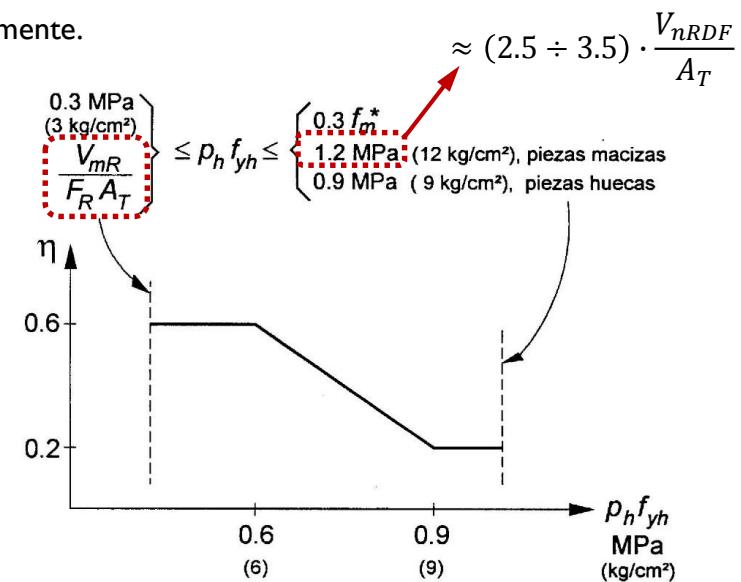
➤ El factor de eficiencia del refuerzo horizontal (η) se determina con la expresión siguiente:

$$\eta = 0.6 \quad \text{si} \quad \rho_h \cdot \sigma_y \leq 0.6 \text{ MPa}$$

$$\eta = 0.2 \quad \text{si} \quad \rho_h \cdot \sigma_y > 0.9 \text{ MPa}$$

Nota: Para valores de $\rho_h \cdot \sigma_y$ entre 0.6 MPa y 0.9 MPa interpolar linealmente.

- Las cuantías mínima y máxima del acero de refuerzo horizontal, ρ_h , no será inferior a $0.3/\sigma_y$, ni al valor que resulte de la expresión $V_{nRDF}/(\sigma_y \cdot A_{mb})$
- En ningún caso ρ_h será mayor que $0.3f'_m/\sigma_y$, ni que $1.2/\sigma_y$ para unidades macizas, ni que $0.9/\sigma_y$ para unidades huecas.



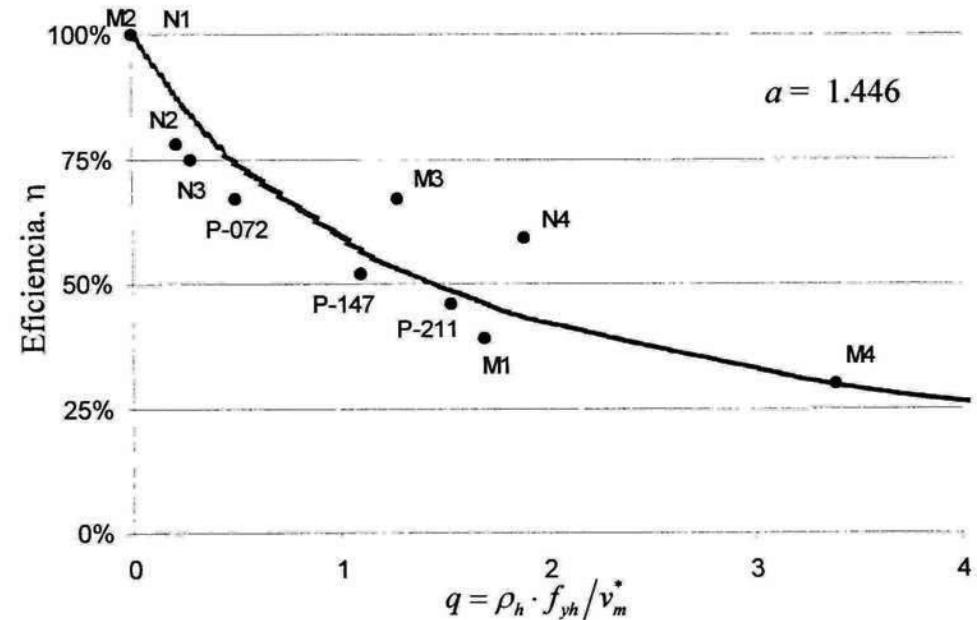
Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso con barras de refuerzo en el interior del paño de albañilería (V_{nr}):
- De la figura anterior se observa que la eficiencia es independiente de las características mecánicas de la albañilería. Si se considera las características de la albañilería, Perez Martinez (2010) [3], propone usar el parámetro q , resultando:

$$\eta = \frac{a}{a+q} = \frac{1.446}{1.446+q} \times 100 \quad [\%]$$

Donde:

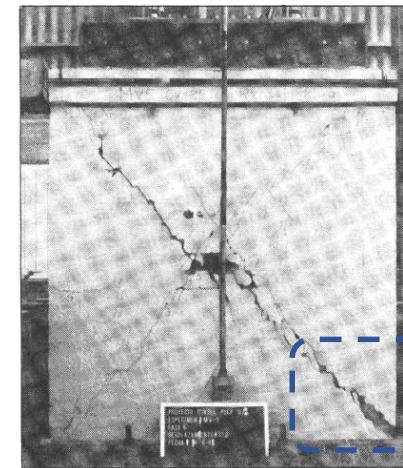
$$q = \rho \cdot \frac{f_{yh}}{v_m}$$



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Resistencia al corte de un muro de albañilería confinada. Caso con barras de refuerzo en el interior del paño de albañilería (V_{nr}):

- La presencia de refuerzo horizontal en el interior del paño además contribuye a:
 - i. **Distribuir** el agrietamiento diagonal, lo que significa reducir el **espesor de las grietas**,
 - ii. **Reducir** la posibilidad de un colapso parcial del paño de albañilería, como ocurre en los paños construidos con ladrillos perforados de pared delgada y con bloques huecos, y
 - iii. **Reducir** la **propagación de las grietas diagonales** al interior de los pilares de confinamiento.



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Esfuerzo de corte admisible según NCh2123 (V_a):

- Con el propósito de evitar el agrietamiento diagonal cuando ocurran **sismos moderados**, es necesario **controlar la densidad de muros** de un edificio construido con muros de albañilería confinada.
- Teniendo en cuenta este objetivo, las normas de diseño y cálculo de edificios de albañilería confinada recomiendan que las fuerzas de corte solicitante Q_s **no superen** una fuerza de corte admisible V_a .
- El esfuerzo de corte admisible recomendado por la norma NCh2123 está dado por la ecuación:

$$V_a = (0.23 \cdot \tau_m + 0.12 \cdot \sigma_0) \cdot A_{mb} \leq 0.35 \cdot \tau_m \cdot A_{mb}$$

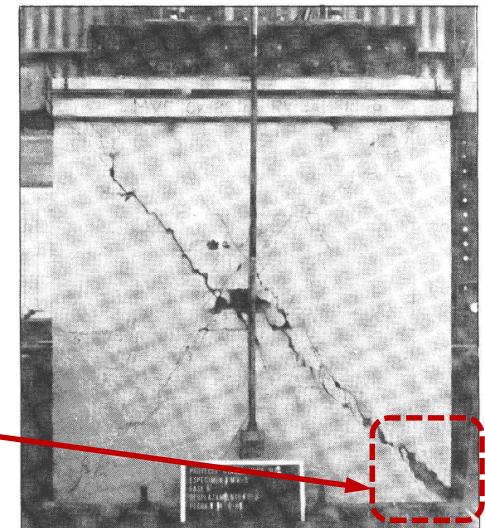
- Este valor de V_a es **del orden de un 50%** del valor de V_n (ver Ec. 1), lo que es equivalente a un FS de 2.

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

- Diseño al corte de los elementos de confinamiento ante las acciones contenidas en el plano del muro.

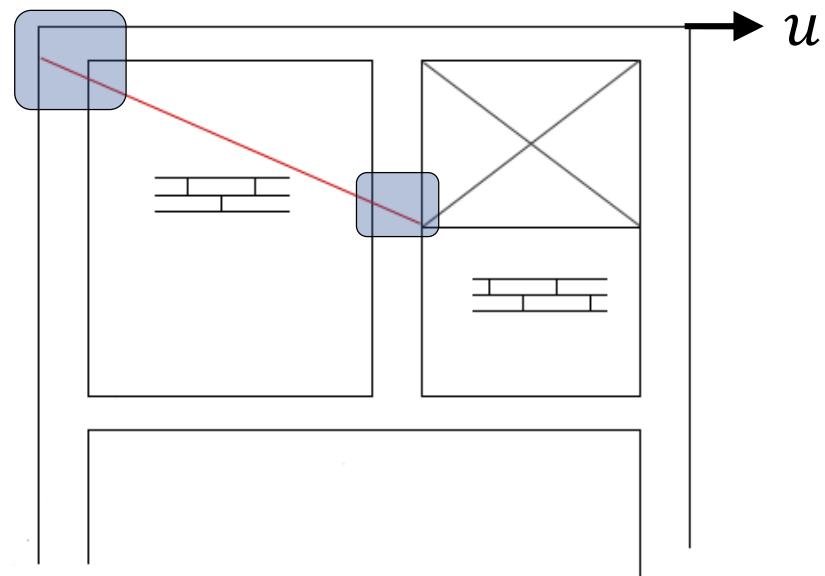
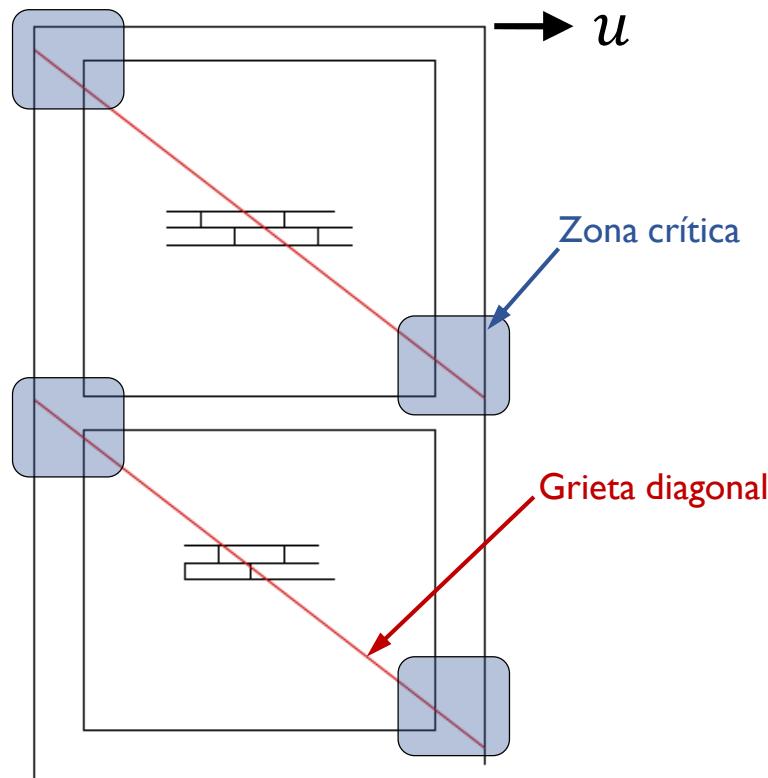
- Objetivos

- Este diseño está orientado a determinar:
 1. La **dimensión** de la sección transversal de hormigón del pilar: b_p, h_p .
 2. La **armadura transversal (estribos) en las zonas críticas**, A_{hp} (ver Figura), zonas ubicadas a lo largo del pilar o de la cadena por donde penetra la grieta diagonal que se produce en el paño de albañilería.



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Zonas críticas

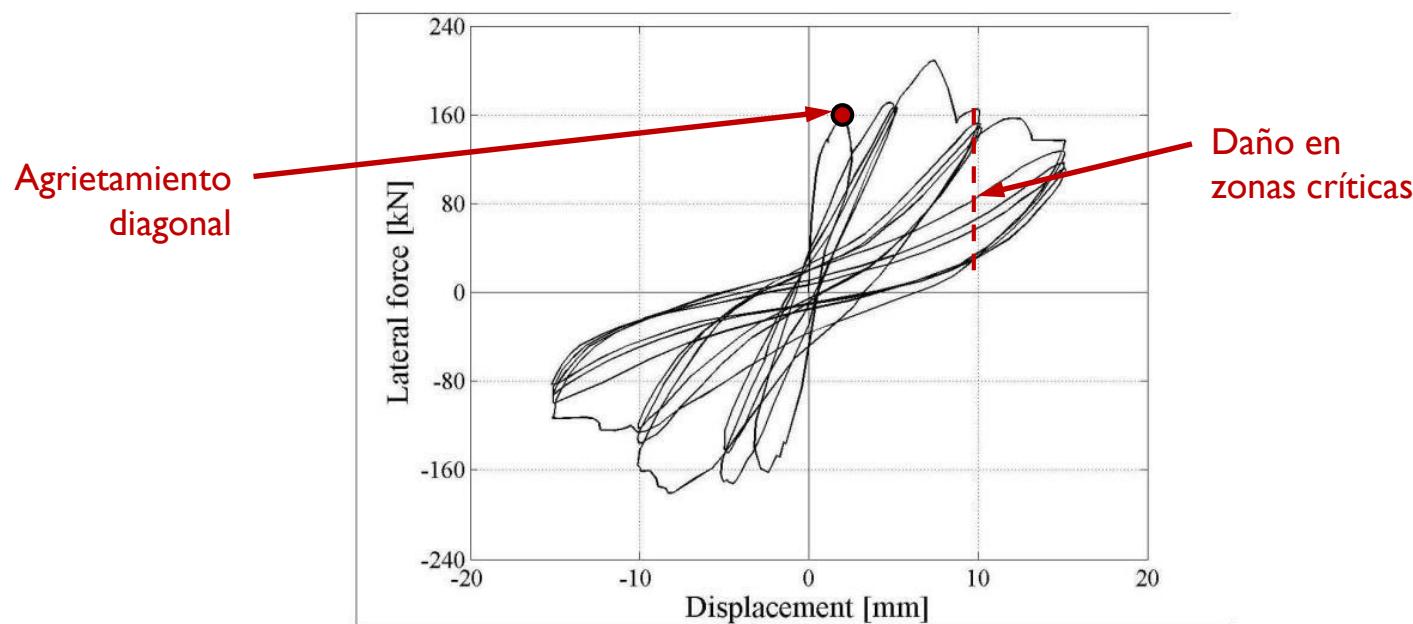


“El aplastamiento del concreto, el pandeo o fractura del refuerzo longitudinal del pilar y el aplastamiento de la albañilería (trituración) son los factores que causan la degradación de resistencia de los muros de albañilería confinada.”

Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Criterio de diseño

- Evitar que se produzca un estado límite de colapso: Para ello los elementos de confinemento deben diseñarse de modo que no se propaguen las grietas del paño de albañilería en las zonas críticas de estos elementos. Así las zonas críticas deben ser capaces de resistir la carga de agrietamiento diagonal del paño de albañilería que confinan.



Diseño al corte de muros de albañilería confinada

□ Mecanismo de Falla

- Para determinar las **fuerzas de corte** solicitantes en las zonas críticas de los pilares de confinamiento (V_p) una vez que se produce el agrietamiento diagonal (V_{agr}), se acepta el **mecanismo de falla** mostrado en la figura.
- Si se desprecia la contribución de la fricción a lo largo de la grieta, por equilibrio se cumple:

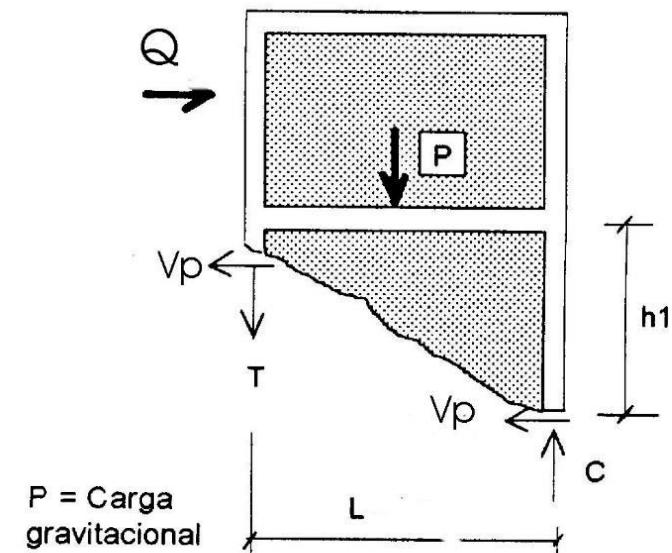
$$2V_p = Q = V_{agr}$$

- De esto resulta:

$$V_p = V_{agr}/2 \approx V_a \text{ NCh2123}$$

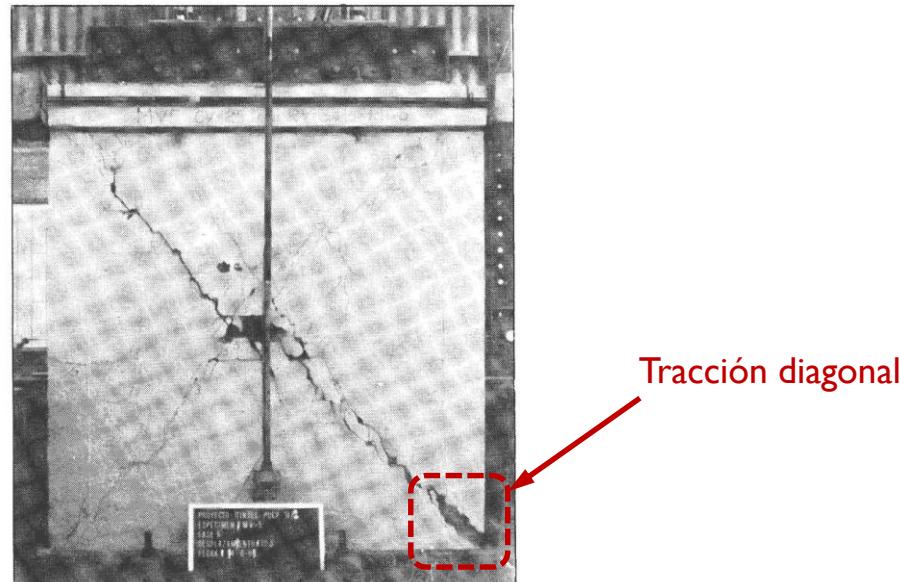
Artículo 7.7.6:

“El esfuerzo de corte que debe resistir **cada pilar** (V_p) en las zonas críticas debe ser el menor valor entre el esfuerzo de corte admisible (V_a) del paño de albañilería confinado por el pilar, sin considerar la amplificación del 33.3%, y 1.33 veces el esfuerzo de corte solicitantes en el paño de albañilería confinado por el pilar



Diseño al corte de la zona crítica

- El diseño al corte de una zona crítica se realiza con las **disposiciones del diseño a la rotura de los elementos de hormigón armado (ACI-318)**, considerando que el estado que se analiza corresponde a un estado límite de resistencia del muro.
- De acuerdo con las ecuaciones recomendadas por la norma NCh2123, el diseño se realiza aceptando que la falla en la zona crítica es por **tracción diagonal**.



Diseño al corte de la zona crítica

□ Cálculo de la sección transversal mínima requerida de hormigón

- Teniendo en cuenta las limitaciones del diseño al corte de un elemento de hormigón armado, se debe contar con una **sección mínima de hormigón** para resistir V_p . El área de esta sección dependerá del **largo del paño de albañilería** y está dada por ACI 318 (2008, Capítulo XI).

$$V_p = [0.53 \cdot \sqrt{f'_c} + 2.2 \cdot \sqrt{f'_c}] \cdot b_p \cdot d_p \quad \text{en kgf/cm}^2$$

Contribución del hormigón en la resistencia al corte

Máxima contribución que acepta la norma ACI los estribos

$$\Rightarrow V_p = [2.73 \cdot \sqrt{f'_c}] \cdot b_p \cdot d_p$$

Donde:

b_p = es el ancho del pilar, normalmente igual al espesor del muro (t).

d_p = es la altura útil de la sección transversal del pilar

f'_c = es la resistencia cilíndrica a la compresión del hormigón del pilar.

Diseño al corte de la zona crítica

- Cálculo de la sección transversal mínima requerida de hormigón

➤ Despejando d_p se obtiene:

$$d_p = \frac{V_p}{2.73 \cdot b_p \cdot \sqrt{f'_c}} \text{ en kgf/cm}^2$$

f'_c en kgf/cm², V_p en kgf y b_p en cm

➤ Si el recubrimiento de la armadura longitudinal del pilar es r_p , la altura mínima del pilar es:

$$h_{p\min} = \left[\frac{V_p}{2.73 \cdot b_p \cdot \sqrt{f'_c}} + r_p \right] \geq 20 \text{ cm (Nch2123)}$$

Diseño al corte de la zona crítica

□ Cálculo de los estribos de una zona crítica

- Determinada la **altura del pilar**, h_p , la cuantía de estribos de una zona crítica se determina con la expresión recomendada por la norma ACI-318:

$$V_p = V_{cp} + V_{sp}$$

Donde:

$$V_{cp} = 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_p \cdot d_p \text{ kgf/cm}^2$$

$$V_{sp} = \sigma_y \cdot A_{sp} \cdot d_p / s_p$$

$$d_p = h_p - r_p$$

s_p = separación entre estribos en la zona crítica del pilar.

σ_y = tensión de fluencia del acero de los estribos.

- Resultando:

$$A_{ep} = [V_p - 0.53\sqrt{f'_c} \cdot b_p \cdot d_p] \cdot s_p / (\sigma_y \cdot d_p) \geq 2\phi 6 \text{ mm a } 10 \text{ cm (NCh2123)}$$

Considerando que los estribos son de **dos ramas**, el diámetro de los estribos se determina con:

$$d_{ep} = \sqrt{2A_{ep}/\pi}$$

Recubrimientos en elementos de confinamiento

Según D.S.60:

Ubicación del hormigón	Tipo de armadura	Condiciones normales	Condiciones severas
Hormigón expuesto al suelo o al aire libre	Barras $\phi 16$ o menores	30	40
Hormigón no expuesto al aire libre ni en contacto con el suelo	Vigas, columnas: Armadura principal Amarras, estribos, zunchos	30 20	40 30

Condiciones severas:

- Interior de edificios donde la **humedad es alta** o donde existe riesgo de presencia temporal de vapores corrosivos.
- Condiciones atmosféricas industriales o **marítimas corrosivas**.

Nota: El recubrimiento se mide desde la superficie del hormigón hasta la **superficie exterior del acero**.

Consecuencias de un mal diseño de los pilares

□ Uso de pilares de 14X14 cm

- **Efecto:** Penetración de la grieta del paño una vez que se agrieta el muro.
- **Consecuencias:** Esta situación produce deformaciones permanentes en el sistema, lo que impide abrir las puertas y las ventanas. Además pone en juego la estabilidad de la estructura (**colapso**) si la falla ocurre en un porcentaje importante de los muros de un piso.

Villa del Mar
San Antonio
(27F 2010)



Consecuencias de un mal diseño de los pilares

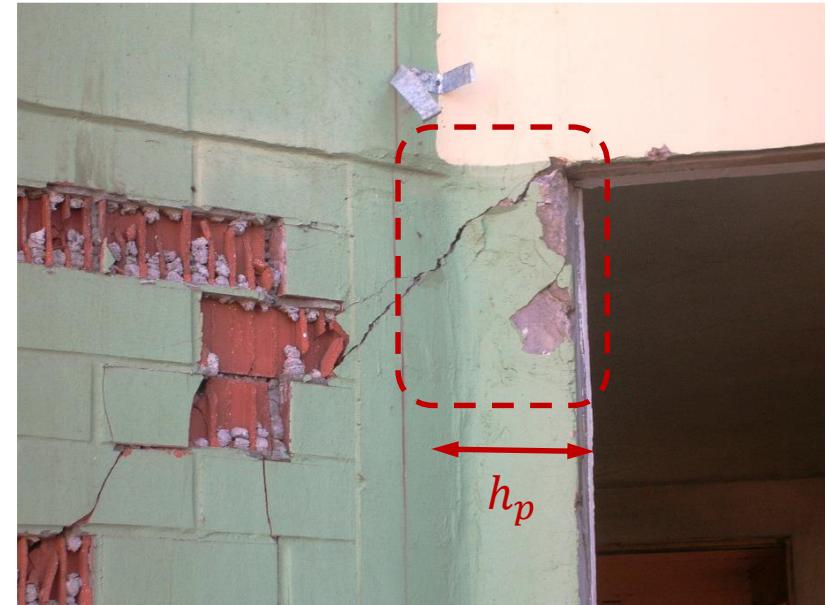
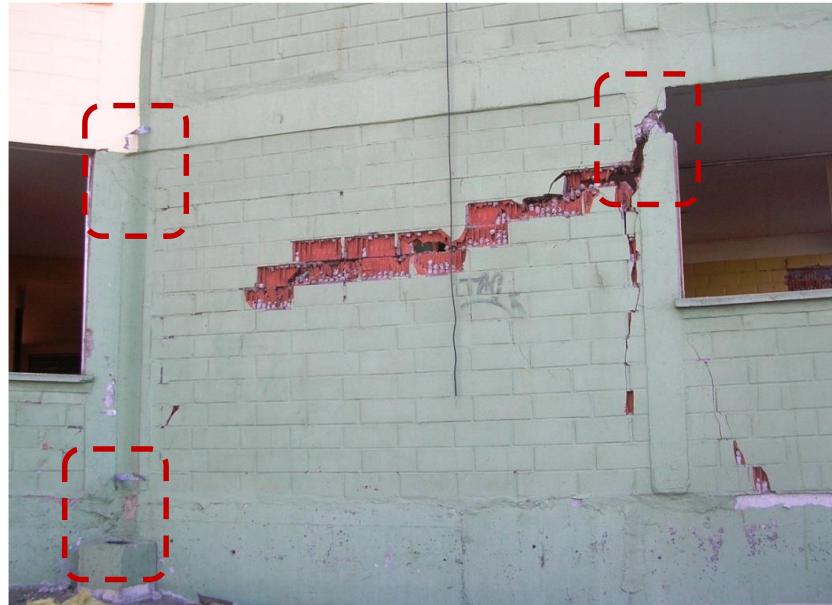
□ Zonas criticas con escaso refuerzo de estribos

- **Efecto:** Penetración de la grieta del paño una vez que se agrieta el muro.
- **Consecuencias:** Esta situación produce un daño severo en el pilar de confinamiento. Este daño severo del pilar se traduce en un severo agrietamiento y deformaciones permanentes del muro.



Conjunto 26 de Septiembre - Santa Cruz (27F 2010)

Consecuencias de un mal diseño de los pilares



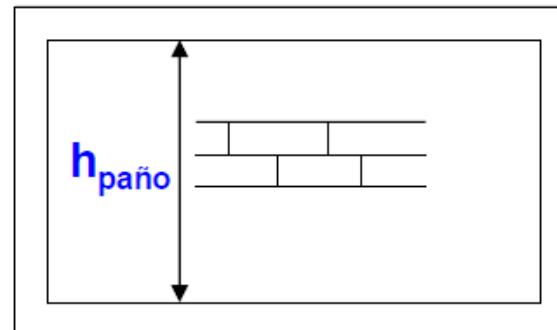
Villa del Mar, San Antonio (27F 2010)

Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Espesor de los muros (t)

$$t \geq \frac{h_{paño}}{25} \geq \begin{cases} 14 \text{ cm} & \text{con unidades hechas a máquina} \\ 15 \text{ cm} & \text{con unidades hechas a mano} \end{cases}$$

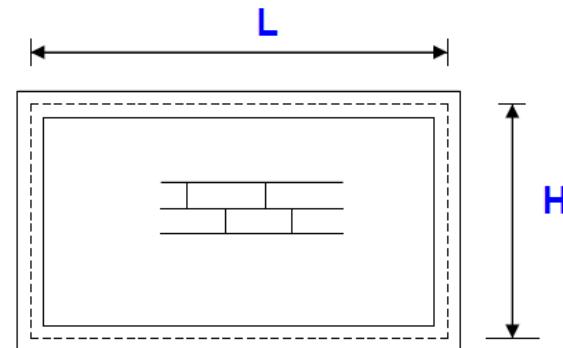
$h_{paño}$ = menor distancia entre los bordes internos de los elementos paralelos de confinamiento del paño



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Dimensión máxima de los paños de albañilería

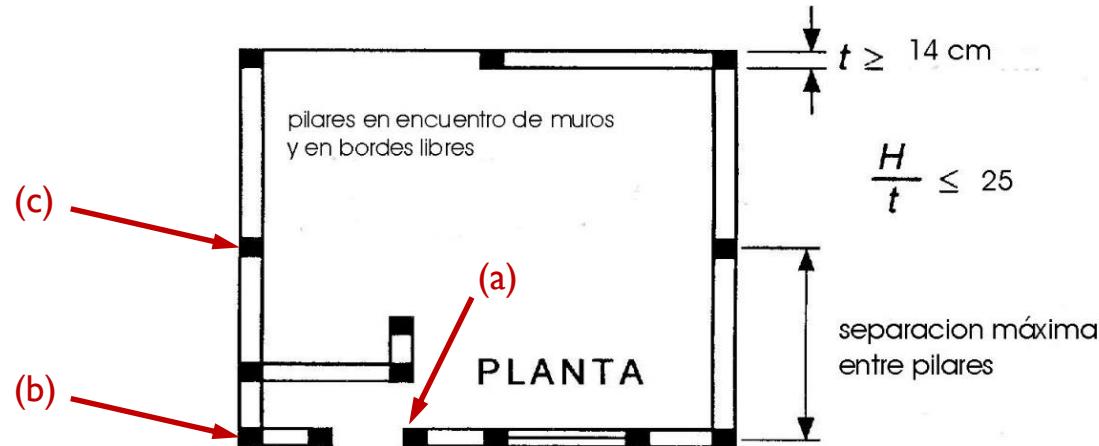
- Las dimensiones de un paño de albañilería quedan determinadas por la distancia entre los ejes de sus elementos de confinamiento, pilares y cadenas.
- El área y la dimensión horizontal máxima de un paño deben ser (acapite 7.3.2):
 - Área del paño en su plano: $L \cdot H \leq 12.5m^2$
 - Dimensión horizontal máxima del paño: $L \leq 6m$



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Ubicación de los pilares:

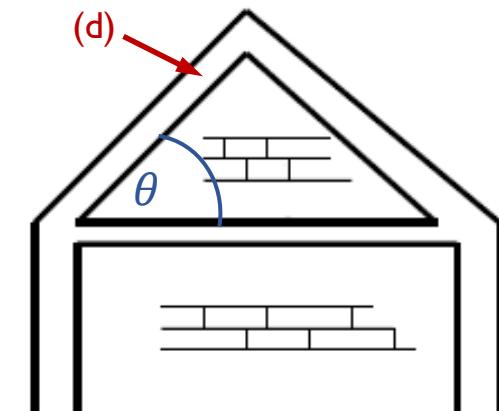
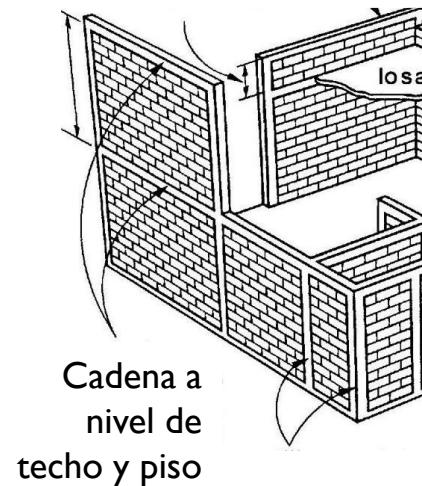
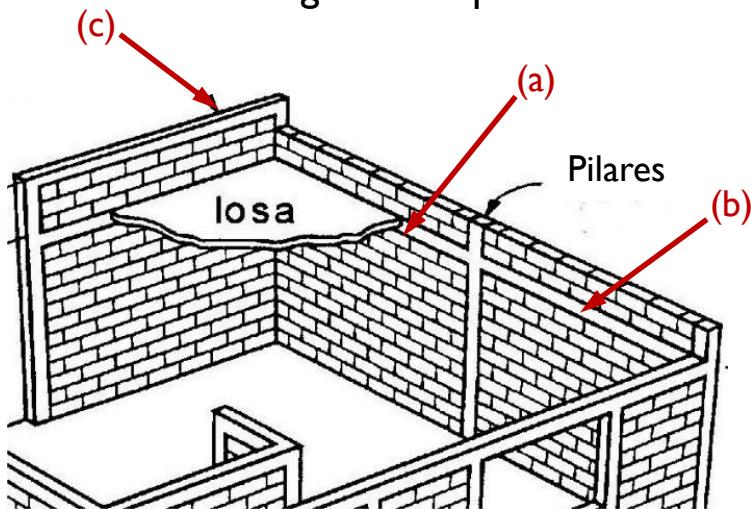
- Los pilares se deben ubicar en
 - a. Todos los bordes libres: por ejemplo rasgo de puertas.
 - b. Todas las intersecciones de muros.
 - c. En el interior del paño de albañilería para cumplir con las restricciones de 7.3.2.



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Ubicación de las cadenas

- a. A nivel de la techumbre y de los pisos. Los cimientos y los sobrecimientos de hormigón desempeñan la función de una cadena.
- b. En el interior de un paño de albañilería para cumplir con las restricciones de 7.3.2.
- c. En el borde superior de todo piñón, antetecho o saliente (pretiles) que sobrepase el nivel del cielo del último piso.
- d. Para completar el triángulo en el caso de una cadena formada por dos tramos inclinados, cuando la desviación de cualquiera de los tramos, medida con respecto a la base del triángulo es superior a $\theta=15^\circ$.



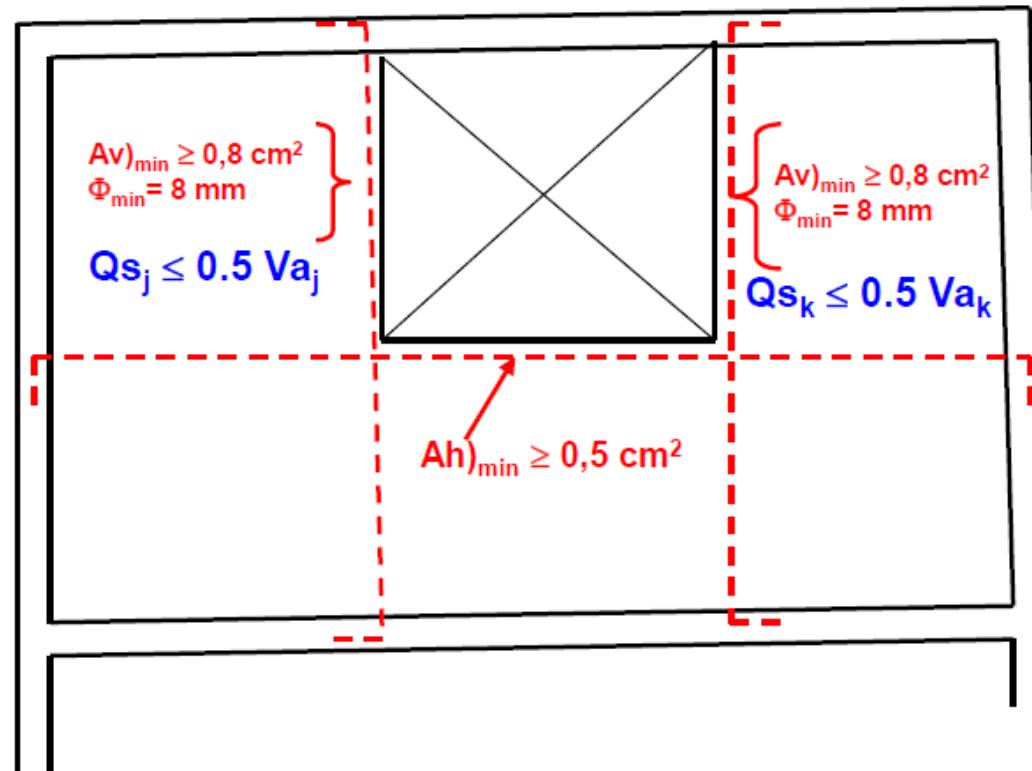
Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Refuerzo de aberturas

- Los refuerzos de las aberturas deben ser elementos de H.A. o armaduras incluidas en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero.
- Sólo se aceptan armaduras incluidas en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero cuando el esfuerzo de corte ($Q_s)_i$ en los elementos de un muro adyacentes a la abertura sea menor que el 50% de su valor admisible ($V_a)_i$.
- La armadura vertical y horizontal debe anclarse en los elementos de confinamiento, es decir debe extenderse a todo lo largo o a todo lo alto del muro.
- El área mínima de la armadura vertical en los bordes debe ser igual a 0.8 cm^2 y el diámetro mínimo debe ser igual a 8 mm.
- El área mínima de la armadura horizontal debe ser igual a 0.5 cm^2 .

Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

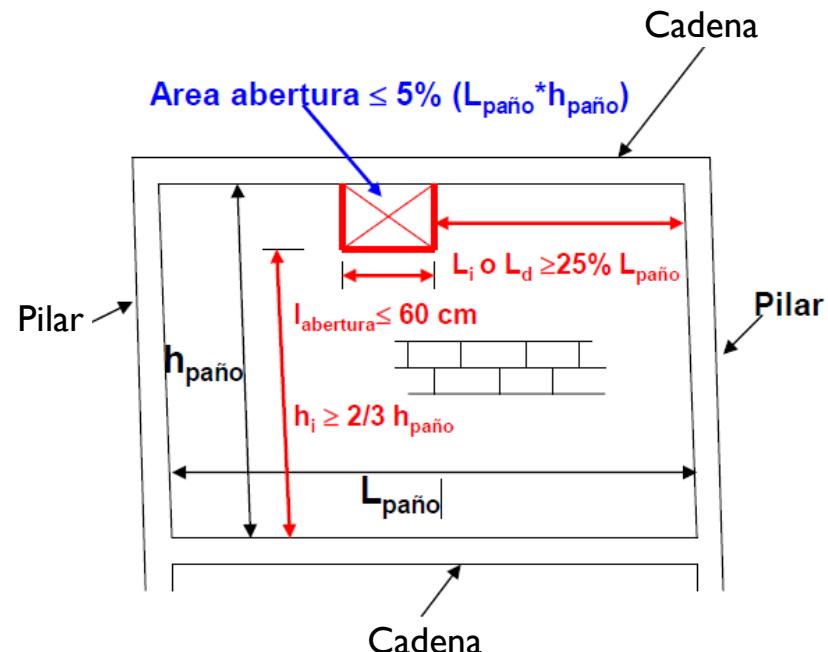
- Refuerzo de aberturas con armaduras incluidas en los huecos de las unidades y en las juntas horizontales de mortero.



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Aberturas sin refuerzo

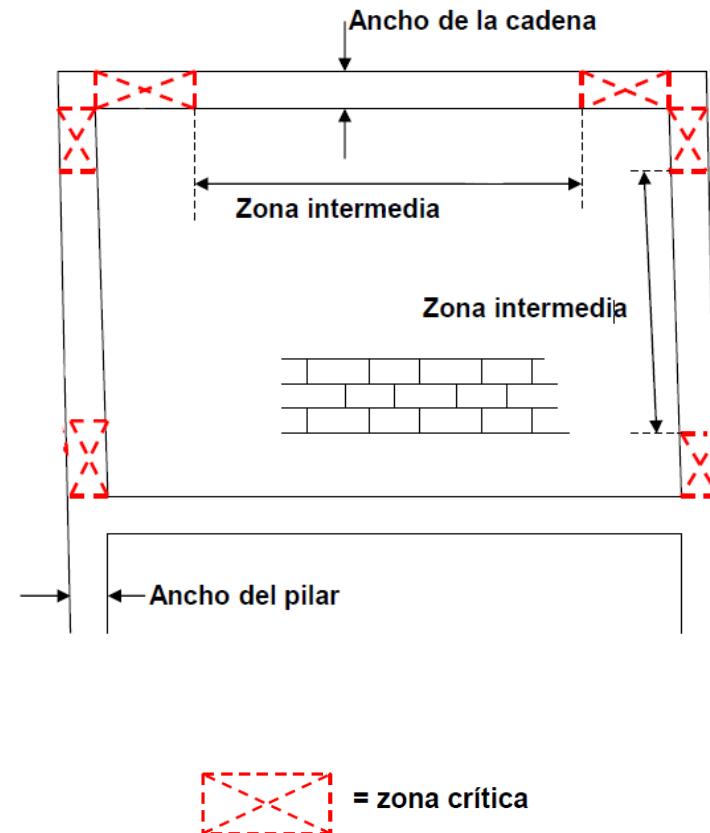
- Se puede prescindir de los refuerzos de la abertura cuando:
 - a. El área de la abertura es **menor o igual al 5% del área del paño**.
 - b. La longitud del lado mayor de la abertura es **igual o menor que 60 cm**.
 - c. La distancia entre el pilar vecino a la abertura y el borde vertical de la abertura es **mayor o igual al 25% de la longitud del paño**.
 - d. La distancia entre el borde horizontal inferior de la abertura y el borde horizontal inferior del paño de albañilería es **mayor o igual a 2/3 de la altura del paño**.



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

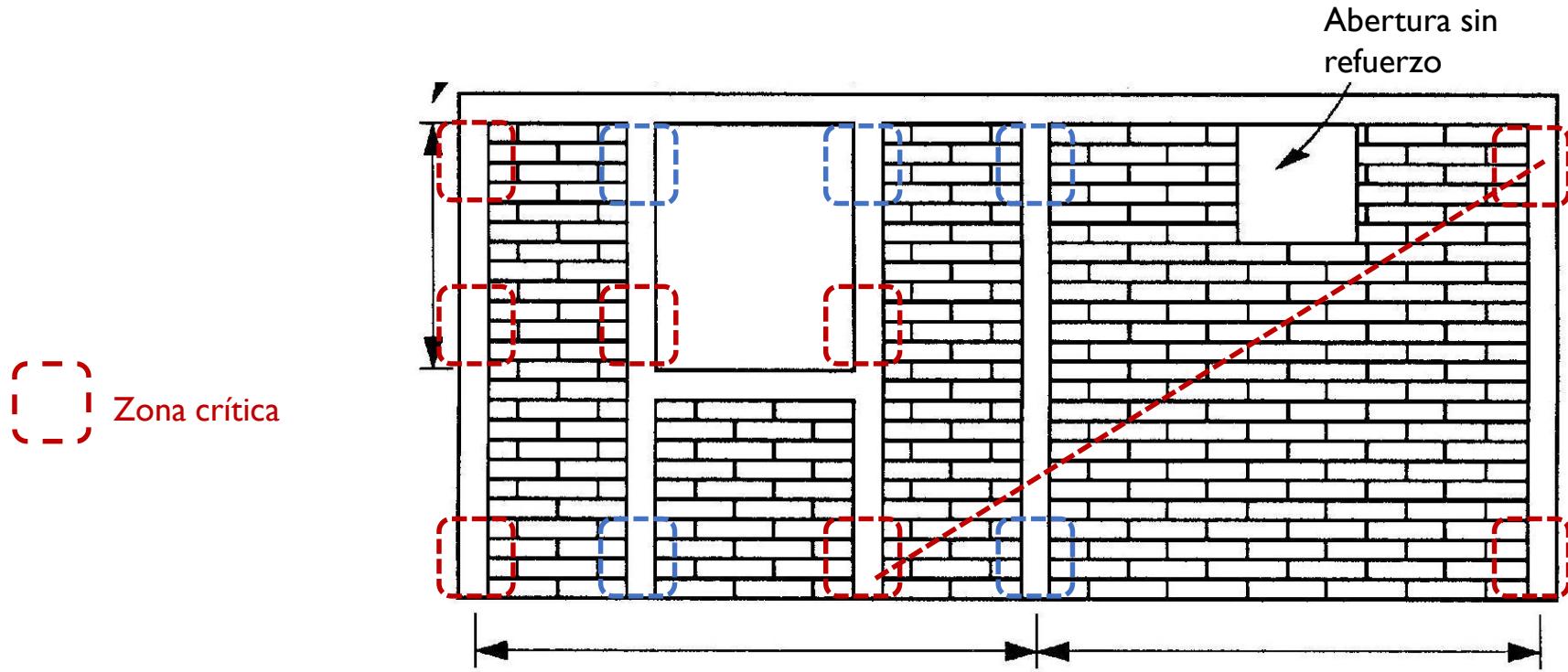
□ Zonas críticas en pilares y cadenas sin losa de H.A.

- La longitud de la zona crítica de un pilar, medida desde el borde interno de las cadenas, debe ser mayor o igual al mayor valor entre dos veces al ancho del pilar y 60 cm.
- La longitud de la zona crítica de una cadena, medida a partir del borde interno del pilar, debe ser 60 cm.
- En caso de existir una losa maciza en el piso, en la cadena **no debe considerarse zonas críticas**.



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Zonas críticas de los pilares



Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

□ Dimensiones mínimas de los pilares y cadenas

- Los pilares deben tener un espesor mayor o igual que el espesor del muro y un ancho mayor o igual que 20 cm.
- Las cadenas deben tener un espesor mayor o igual que el espesor del muro y un ancho mayor o igual que 20 cm.

□ Detalle de las armaduras de refuerzo de los pilares y cadenas

- Armadura longitudinal mínima $4\phi 10$ mm.
- El diámetro mínimo de los estribos debe ser 6 mm.
- La separación máxima entre estribos es:
- Cadenas:
 - zona crítica: 10 cm
 - zona intermedia: 20 cm
- Pilares.
 - zona crítica: 10 cm
 - zona intermedia: 20 cm
- En edificios de uno y dos pisos, la separación máxima entre estribos es de 20 cm cuando $Q_{sk} \leq 0.5V_{ak}$.

Limitaciones de diseño de un muro de A.C. (según NCh2123)

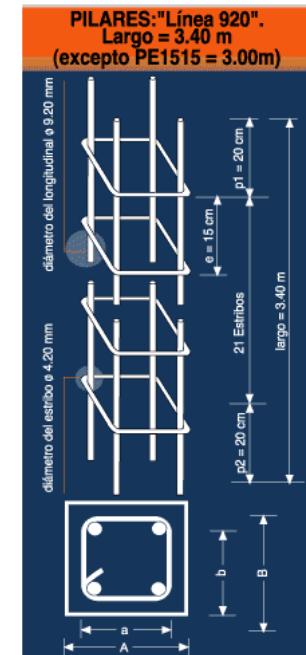
- Uso de canastillos prefabricados con armaduras electro-soladas en pilares y cadenas

➤ Se puede usar armadura de acero AT-56-50-H cuando:

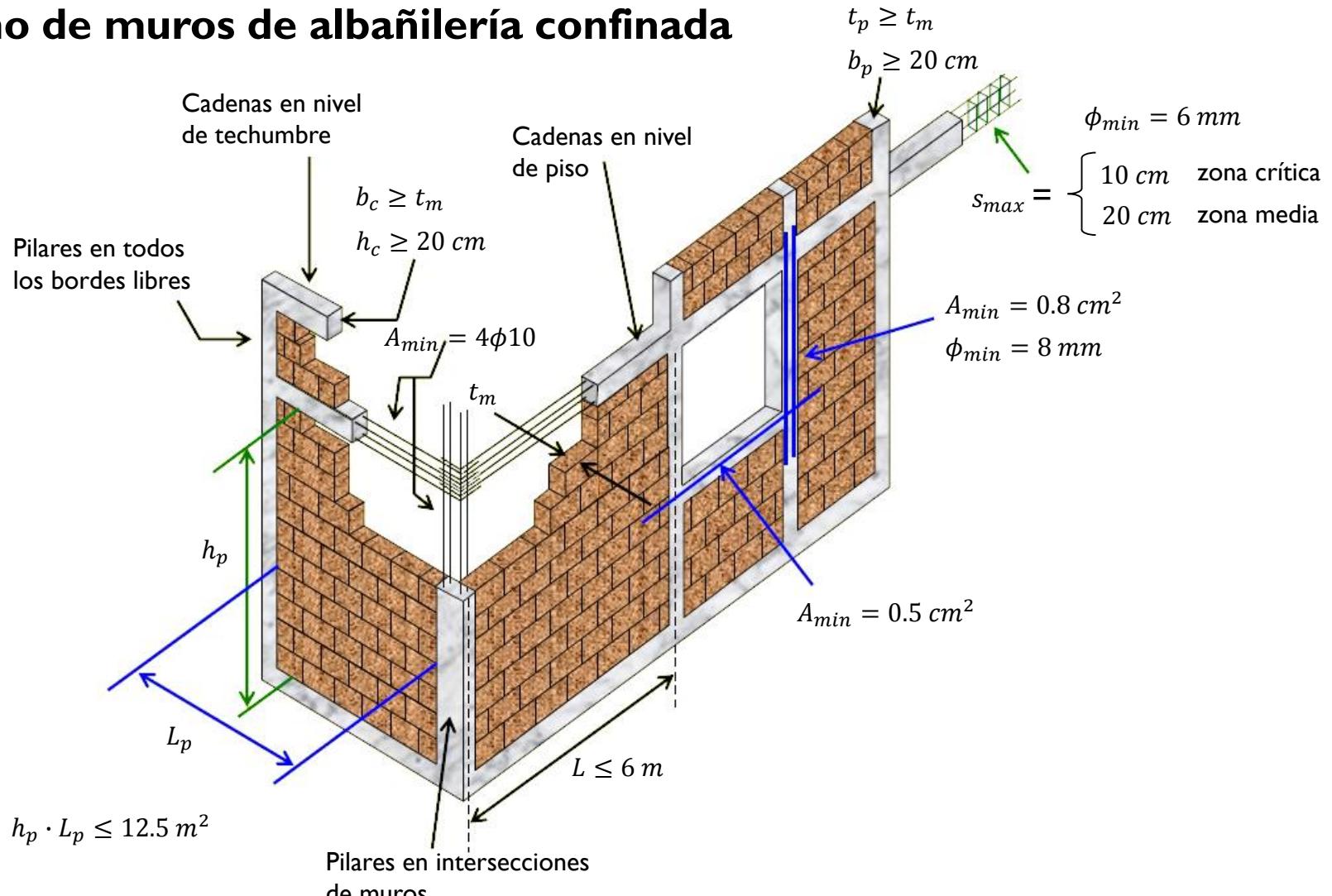
Pilares: La tensión de tracción sea menor o igual que el 25% de σ_y .

Cadenas: La tensión de tracción sea menor o igual que el 40% de σ_y .

- El diámetro mínimo de la armadura longitudinal debe ser **8 mm**.
- El diámetro mínimo de los estribos debe ser **4,2 mm**.



Diseño de muros de albañilería confinada



Resumen diseño de muros de albañilería confinada

A. Caso de verificación

➤ Datos:

1. Dimensiones del muro ([largo](#), [espesor](#), [altura](#))
2. Dimensiones elementos de confinamiento ([ancho](#) y [espesor](#))
3. Recubrimiento barras de refuerzo longitudinal y transversal
4. Barras de refuerzo de los elementos de confinamiento ([diámetro](#), [separación entre estribos](#))
5. Solicitaciones en el muro: N_s , Q_s , M_s (datos obtenidos del análisis del edificio)
6. Calidad de los materiales:
 - albañilería (f'_{m} , τ_m)
 - hormigón (f'_{c})
 - acero (f_y)



En caso de no disponer de estos datos, se deberá prospectar la estructura (ensayos de laboratorio)

Resumen diseño de muros de albañilería confinada

A. Caso de verificación

➤ Cálculos

1. Momento de diseño: M_{sd} \Rightarrow considerar 50% de $M_{s,sismico}$
2. Dibujar diagrama de interacción del muro: N_a, M_a, M_{oa} ([ecuaciones de norma NCh2123](#))
3. Ubicación del punto (N_s, M_{sd}) en el diagrama de interacción.
 - 3.1 Si está ubicado dentro o sobre la curva de interacción \Rightarrow **OK**
 - 3.2 Si está fuera del diagrama de interacción \Rightarrow **NO VERIFICA**
4. Cálculo de V_a ([ecuación de norma NCh2123](#))
 - 4.1 Si $V_s > V_a \Rightarrow$ **NO VERIFICA**
 - 4.2 Si $V_s \leq V_a \Rightarrow$ **OK**

Resumen diseño de muros de albañilería confinada

A. Caso de verificación

➤ Cálculos

5. Zonas críticas pilares

5.1 Altura pilar para resistir V_p (menor valor entre $1.33 \cdot V_s$ y V_a).

- i. Si $h_{p,min} \leq$ altura pilar \rightarrow OK
- ii. Si $h_{p,min} >$ altura pilar \rightarrow NOVERIFICA

5.2 Separación de estribos (dato del plano)

- i. Menor o igual a 10 cm \rightarrow OK
- ii. Mayor que 10 cm \rightarrow NOVERIFICA

5.3 Diámetro mínimo requerido (d_{ep}) para resistir V_p

- i. Si $d_{ep} \leq$ diámetro usado \rightarrow OK
- ii. Si $d_{ep} >$ diámetro usado \rightarrow NOVERIFICA

Resumen diseño de muros de albañilería confinada

B. Caso de diseño

➤ Datos e incognitas

1. Dimensiones del muro (**largo, espesor, altura**)
2. Dimensiones elementos de confinamiento (**altura, espesor = t**)
3. Recubrimientos barras de refuerzo de los elementos de confinamiento
4. Barras de refuerzo de los elementos de confinamiento (**diámetro barras longitudinales y transversales, separación entre estribos en las zonas críticas**)
5. Solicitaciones en el muro: N_s , Q_s , M_s (datos obtenidos del análisis del edificio)
6. Calidad de los materiales:
 - albañilería (f'_{m}, τ_m)
 - hormigón (f'_{c})
 - acero (f_y)

Resumen diseño de muros de albañilería confinada

B. Caso de diseño

➤ Diseño al corte

I. Verificación del corte:

- 4.1 Si $V_s > V_a \Rightarrow$ **REVISAR ESTRUCTURACIÓN**
- 4.2 Si $V_s \leq V_a \Rightarrow$ **OK**

2. Zonas críticas pilares

- 2.1 Altura mínima pilar para resistir V_p (**menor valor entre $1.33 \cdot V_s$ y V_a**).

$$h_{p,min} \geq 20 \text{ cm}$$

- 2.2 Separación de estribos

Menor o igual a 10 cm

- 2.3 Diámetro mínimo del estribo (d_{ep}) requerido para resistir V_p con el ancho y la separación de estribos elegidos.

$$6 \text{ mm} \leq d_{ep} \leq 8 \text{ mm}$$

Resumen diseño de muros de albañilería confinada

B. Caso de diseño

➤ Diseño a flexión

1. Momento de diseño: $M_{sd} \rightarrow$ considerar 50% de $M_{s,símico}$
2. Cálculo barras longitudinales de los pilares Asp:

con N_s , M_{sd} , y N_a , M_a , M_{oa} (ecuaciones de norma NCh2123)



$$A_{sp} = (M_{sd} - 0.2 \cdot N_s \cdot d_u) / (0.9 \cdot F_s \cdot d_1) \quad \text{si } N_s \leq N_a/3$$

$$A_{sp} = M_{sd} / (1.35 \cdot F_s \cdot d_1 (1 - N_s/N_a)) - 0.10 \cdot N_a \cdot d_u / (1.35 \cdot F_s \cdot d_1) \quad \text{si } N_s > N_a/3$$



$$A_{sp} \geq 3.14 \text{ cm}^2 (4\phi10)$$

Ejemplo de diseño de un muro de albañilería confinada

- Diseñe el muro de albañilería confinada de la figura según las disposiciones y limitaciones que establece la norma NCh2123.
- El alcance del diseño solicitado se refiere a todas las componentes del estado de esfuerzo y a las zonas críticas de los pilares y cadenas de confinamiento.
- Considere que los estribos de los pilares en las zonas críticas son armaduras de 6 mm de diámetro y están distanciados a 10 cm.

Datos:

- Estado de esfuerzos en la sección más solicitada del muro debido a acciones que actúan en el plano del muro:

$$M_s = 45 \text{ tonf-m}$$

$$N_s = 20.0 \text{ tonf}$$

$$Q_s = 9.0 \text{ tonf}$$

Tanto M_s como Q_s se deben a la acción del sismo y han sido determinados aplicando la norma NCh433. En cambio N_s se debe sólo a la acción de las cargas permanentes (peso propio y sobrecargas)

- El muro pertenece a un edificio en que **ningún muro resiste más del 45% del corte del piso** y que tiene losas de hormigón armado construidas monolíticamente con las cadenas en todos los pisos. \Rightarrow **No hay zonas críticas en cadenas (ver punto 7.7.3)**

Ejemplo de diseño de un muro de albañilería confinada

□ Materiales

➤ Albañilería:

- El muro se construye con unidades cerámicas del tipo rejilla con huecos.
- La resistencia prismática de la albañilería es $f'_{m} = 65 \text{ kgf/cm}^2$
- La resistencia básica de corte, $\tau_m = 5.0 \text{ kgf/cm}^2$

➤ Acero:

- A63-42H

➤ Hormigón:

- Resistencia cilíndrica, $f'_{c} = 200 \text{ kgf/cm}^2$
- Recubrimiento armadura longitudinal: 1.5 cm

□ Muro:

- Espesor: $t = 14 \text{ cm}$
- Altura: 240 cm
- Largo: $L = 440 \text{ cm}$ (Incluido los pilares)
- Altura de pandeo : $h_p = 240 \text{ cm}$

