

**CI5223 – DISEÑO DE ALBAÑILERÍA ESTRUCTURAL**

# **DISEÑO ESTRUCTURAL**

*Primavera 2018*



**Thomas Sturm Moreira**  
[thomas.sturm@idiem.cl](mailto:thomas.sturm@idiem.cl)



FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS  
UNIVERSIDAD DE CHILE

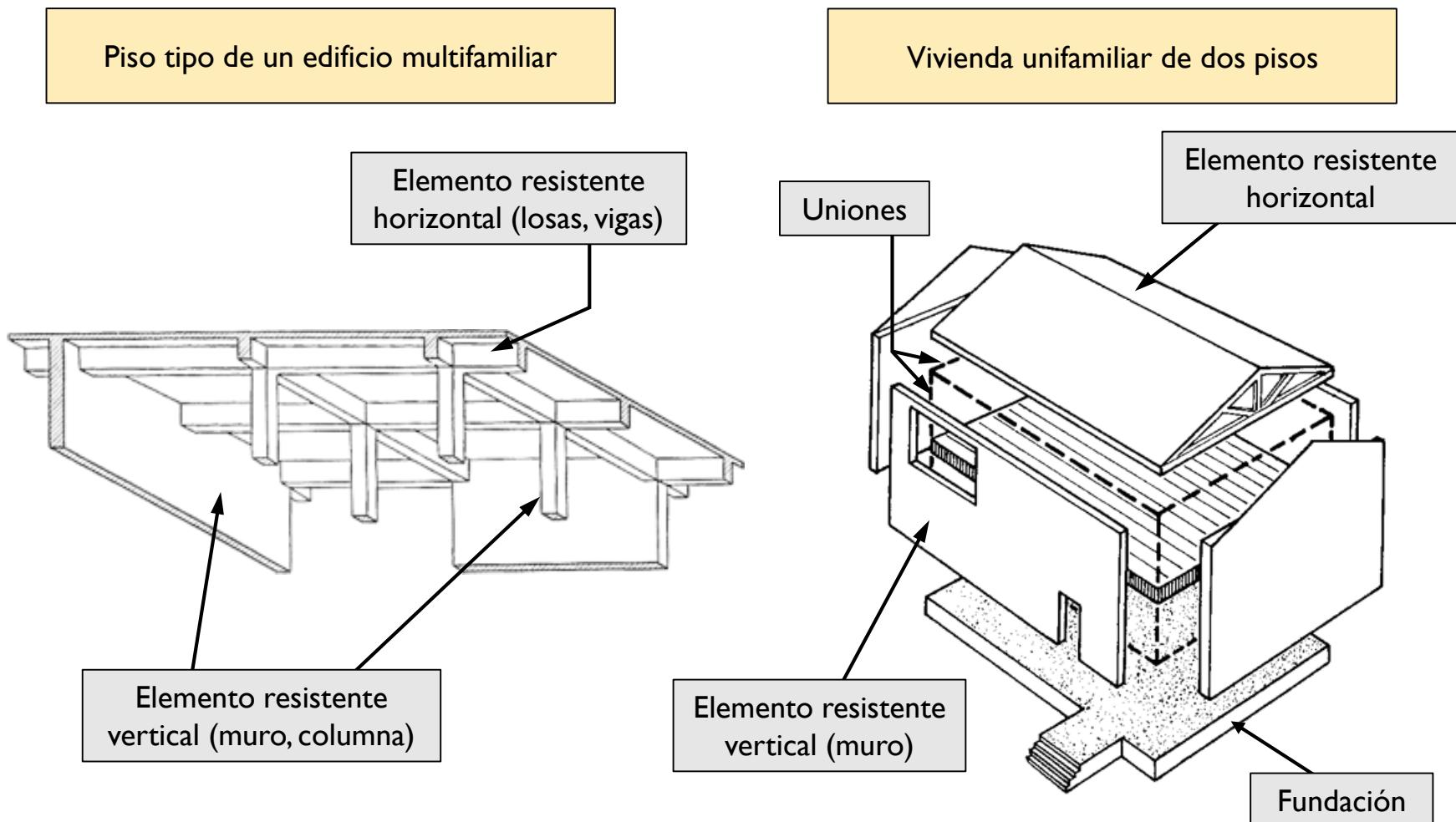
**idiem**<sup>®</sup>

## Objetivo

- Lograr un buen desempeño (comportamiento) de la estructura de un edificio de acuerdo su función/uso.

\*En este momento se está elaborando un documento por parte de ACHISINA para definir una metodología de diseño por desempeño

# Estructura de un edificio de uso habitacional



# ¿Qué se entiende por un buen desempeño?

## I. Control del daño

- Evitar el **agrietamiento** en los muros ante las acciones externas de ocurrencia normal (peso propio, sobrecargas de uso, sismos frecuentes o *moderados*<sup>(1)</sup>) de modo de garantizar la continuidad de funcionamiento.

---

- El agrietamiento de los muros está controlado por la **capacidad resistente** de la ALBAÑILERÍA (resistencia a la tracción de la albañilería, es decir por la **adherencia mortero-unidad y la resistencia a la tracción de la unidad**).
- Para **controlar el daño** de un edificio (agrietamiento) se debe controlar la **calidad** de los materiales (unidades y mortero) y la **cantidad** de muros (densidad de muros) que soportan las acciones externas.
- Al producirse el agrietamiento de un muro se produce un **fuerte deterioro de la rigidez** del muro.

<sup>(1)</sup> e.g. Sismos moderados o frecuentes: Sismos de hasta 0.2g de aceleración máxima en suelo duro.

# ¿Qué se entiende por un buen desempeño?

## I. Evitar el Colapso

- Evitar el **colapso parcial** o **total** de la estructura ante las acciones eventuales de carácter extremo (*sismos severos o raros*<sup>(2)</sup>, poco frecuentes) con ello se protege la integridad física de sus ocupantes.
- 

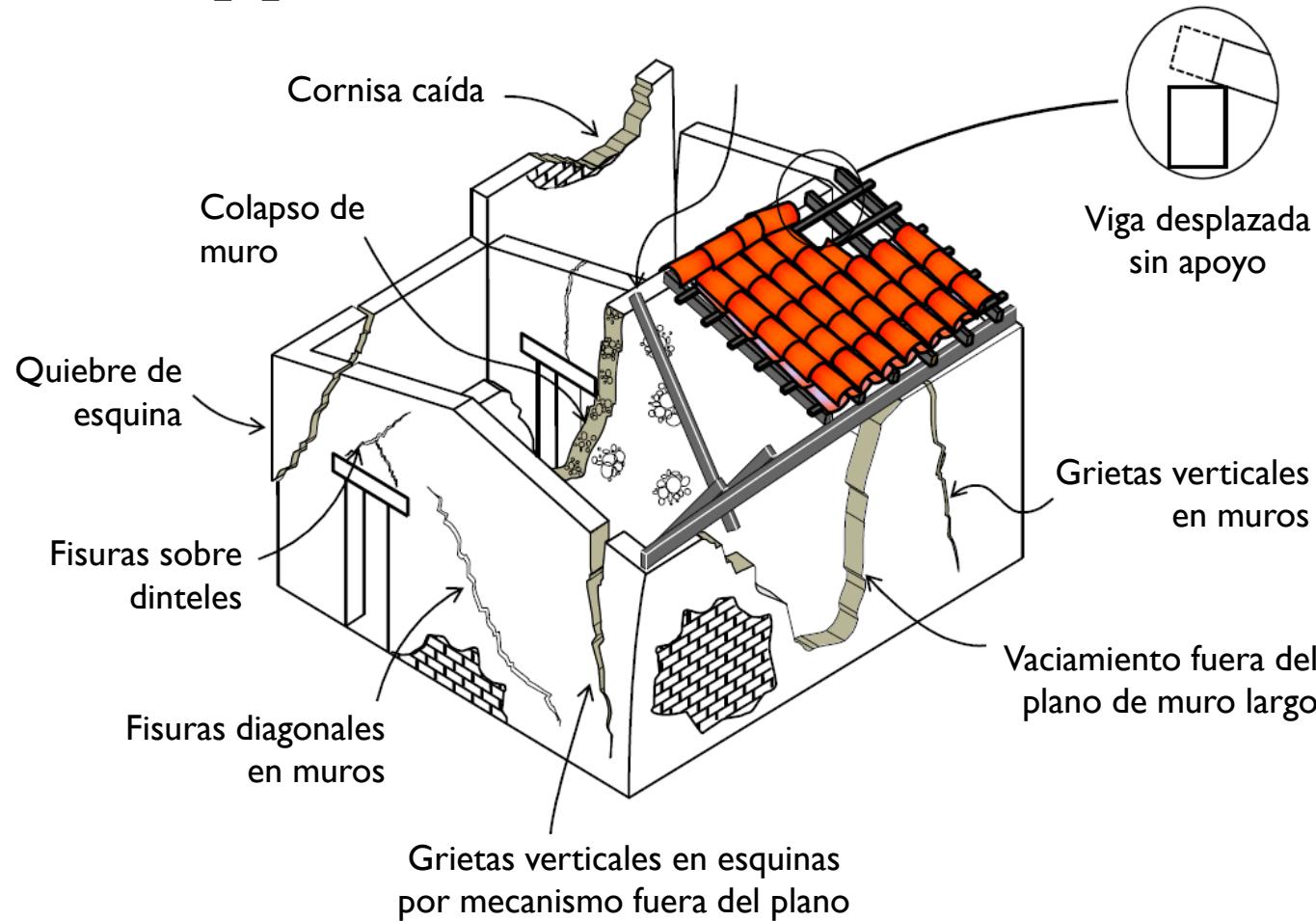
- Esta posibilidad se logra con los **refuerzos** (barras de acero y elementos de confinamiento) o con una **alta densidad de muros** (gran resistencia) cuando no se usan refuerzos (e.g. edificios patrimoniales).
- La **cuantía, la ubicación y el detallamiento** de los refuerzos es fundamental.
- Ante este tipo de acciones los muros de albañilería se **agrietan** por lo cual la contribución de la albañilería a la resistencia se ha agotado o se ha degradado en parte importante.

<sup>(2)</sup> e.g. Sismos severos: sismos con aceleración máxima del orden de 0.4g en suelo duro

## Comentarios

- Aun cuando las **DOS condiciones** destacadas están dentro de los objetivos perseguidos por las normas de diseño en la actualidad, se ha podido comprobar que ellas no satisfacen **las expectativas** de los usuarios de estas obras civiles en las últimas décadas.
- **Experimentalmente** se ha observado que el nivel de daño estructural es función de los valores que alcancen **las deformaciones** cuando actúan las acciones externas. De este modo tanto la **extensión** como el **ancho** de las grietas en un muro se incrementa conforme su deformación aumenta.
- Por lo anterior, en el futuro los procedimientos de diseño deberán **controlar las deformaciones** para garantizar un determinado **nivel de daño** de la estructura y de sus contenidos y terminaciones, lo cual dependerá del **nivel de desempeño** que demande su función.
- En el caso de los edificios de albañilería de uso habitacional el nivel de deformación deberá establecerse de modo de que se **evite el colapso parcial** de los muros y que la **recuperación** después que ocurra un sismo severo (terremoto o mega-terremoto) sea **económicamente viable**.

## Ejemplos de daño [I]

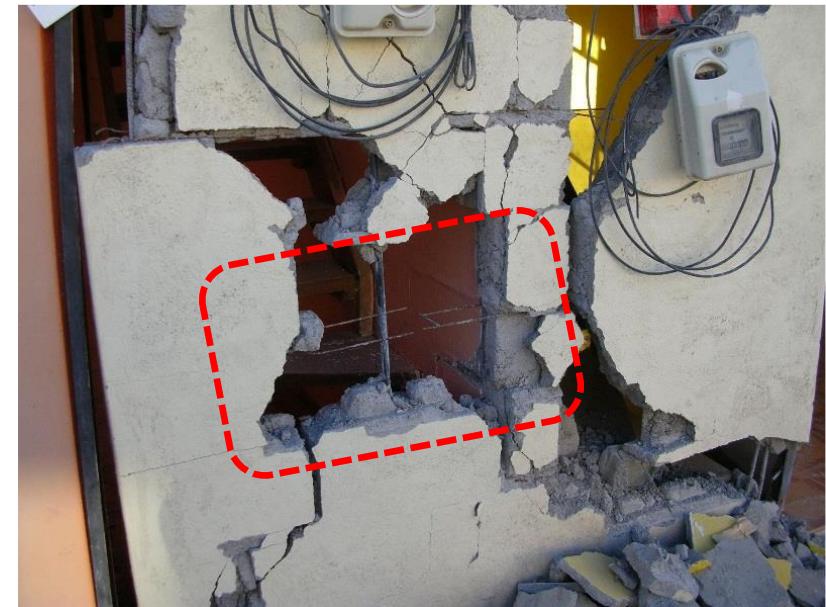


## Daños terremoto de Tarapacá 2005 ( $I_{MSK} = VII$ )

! Daño inaceptable !



Grietas entre vanos



Daño en machón

Bloques huecos de hormigón

## Daños terremoto del Maule de 2010 (27F, $I_{MSK} = VIII$ )

! Daño inaceptable !



Daño en paño de muro, primer piso



Colapso parcial de paño de muro, primer piso

Ladrillo cerámico hecho a máquina

## Daños terremoto del Maule de 2010 (27F, $I_{MSK} = VIII$ )

! Daño inaceptable !



Fisuras diagonales y daño de cornisa



Falla de muro entre vanos

Ladrillo cerámico hecho a máquina

## Colapso total

! Daño inaceptable !



Colombia, Popayán (1983), conjunto de 4 pisos.



Chile, Santa Cruz (2010), conjunto de 3 pisos.

Colapso total

## Daños en Alto Hospicio: Terremoto de Iquique de 2014 ( $M_w=8.2$ )



Familias acampando al frente de sus hogares



Machón con grieta diagonal en vano



Fisura horizontal

Bloques huecos de hormigón

## Daños en edificio de 3 pisos de albañilería terremoto 3/3/85



Fisuras diagonales



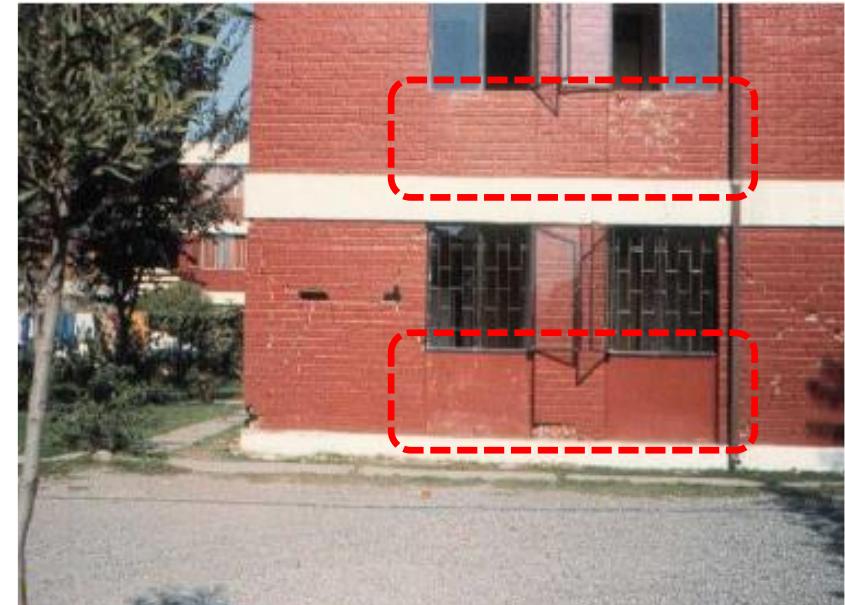
Fisuras diagonales

Melipilla

## Daños en edificio de 3 pisos de albañilería terremoto 3/3/85



Edificios de albañilería armada



Fisuras diagonales

Ñuñoa

## Etapas de un diseño estructural

1. Etapa conceptual
2. Análisis o Cálculo      → Computador (Programa ¿ ?)
3. Dimensionamiento      → Computador (Programa ¿ ?)
4. Planos                      → Computador (**Detallamiento** ¿ ?)

## Etapa conceptual: pasos

1. Elección del **sistema estructural** → muros y sistema de pisos
2. Definición de la **forma, cantidad, continuidad y distribución de los muros y aberturas** que forman el sistema estructural en planta y en elevación → **configuración y estructuración.**
3. Elección de los **materiales** (**unidad de albañilería, mortero, hormigón de relleno**)
4. Elección de la **modalidad de refuerzo** (**sin armar, armada o confinada**).
5. Elección del tipo de **unión entre los elementos** del sistema resistente (**muros, sistema techumbre y sistema de pisos**).
6. Elección de las **terminaciones** (**estucos, cielo, sobrelosas, pisos, etc.**) → masas
7. Elección del tipo de **fundación**.
8. Especificaciones para el **control de la ejecución.**

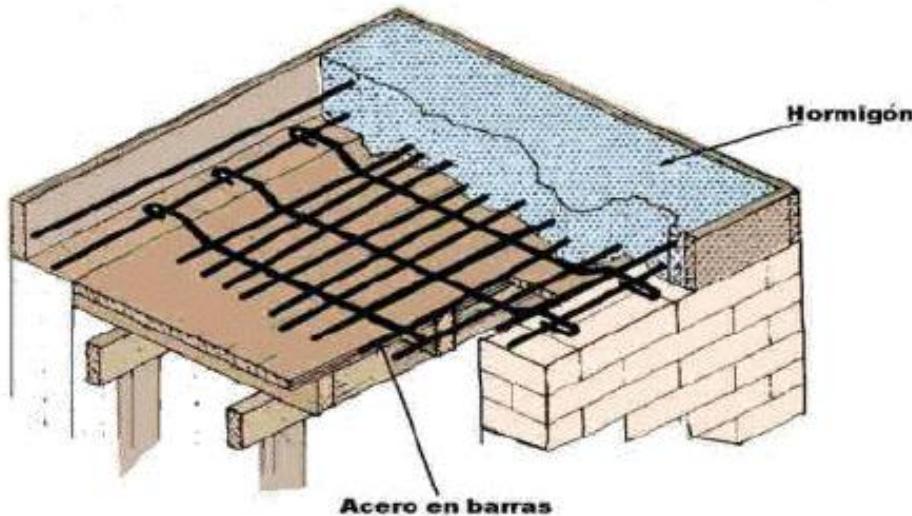
## Elección del Sistema Estructural

- a. Muros (Subestructura vertical).
- b. Sistemas de piso (Subestructura horizontal).

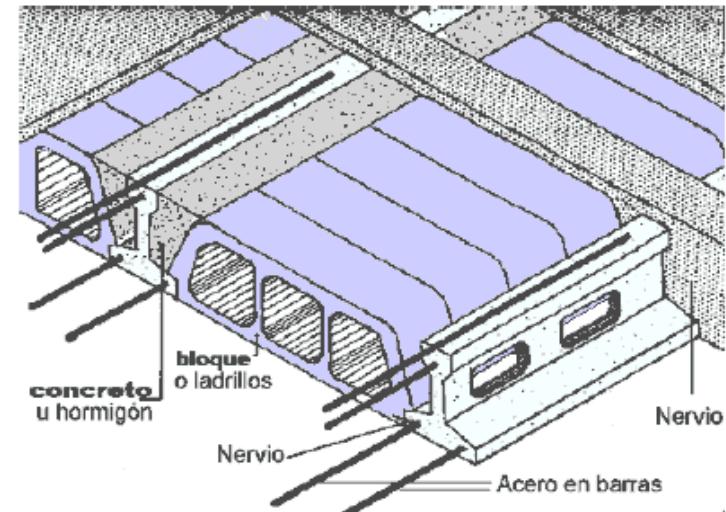


## Subestructura horizontal

- Usar sistemas de pisos del tipo rígido en su plano.

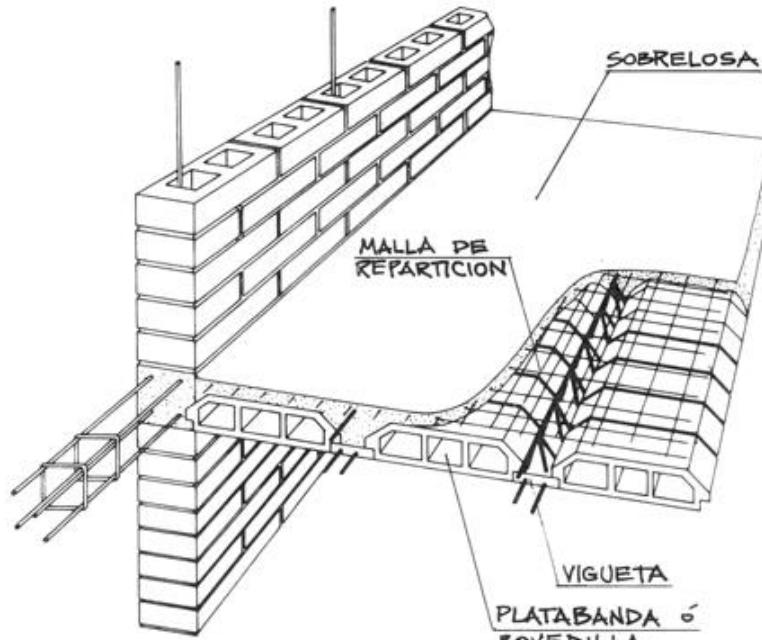


Losa colocada *in-situ*



Losa prefabricada

## Losas prefabricadas



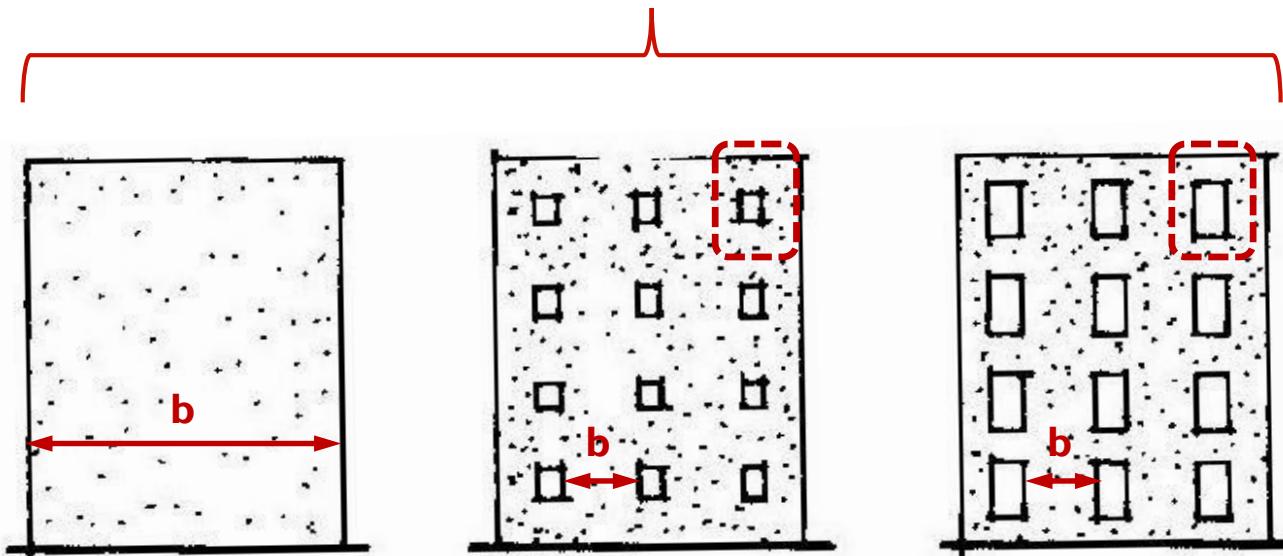
Detallamiento



Ejemplo en obra

## Subestructura vertical

Muros

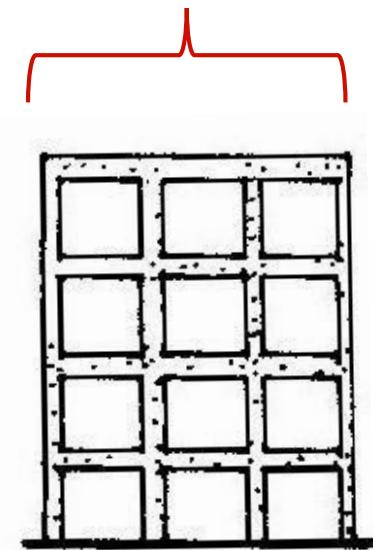


$$\text{Muros: } \frac{b}{t} > 6$$

$$b \geq 120\text{cm}$$

Aberturas: ¿tamaño, ubicación, refuerzos?

Marco

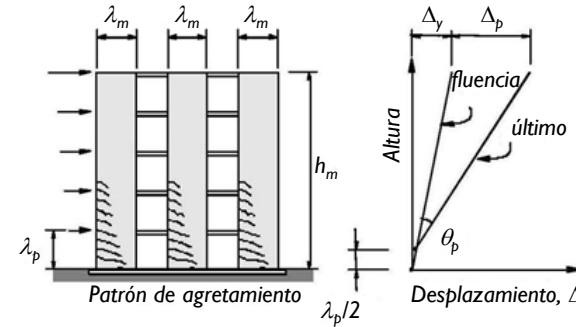


$$\text{Columnas: } \frac{b}{t} < 3$$

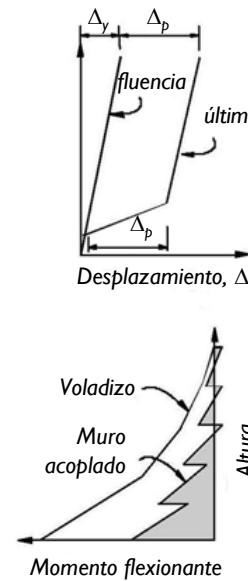
Aumento de tamaño de aberturas

## Comportamiento de muros ante cargas laterales [2]

Muros en voladizo

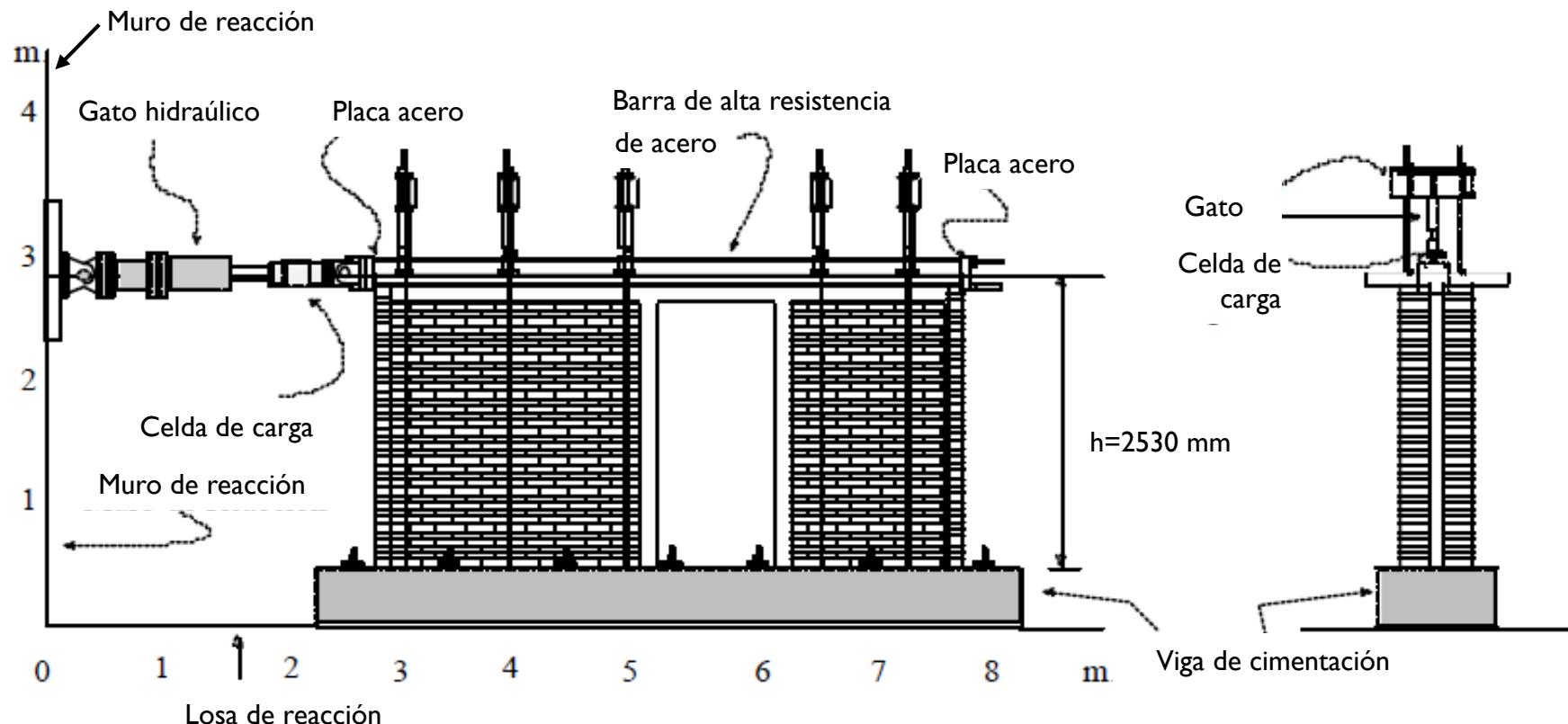


Muros acoplados

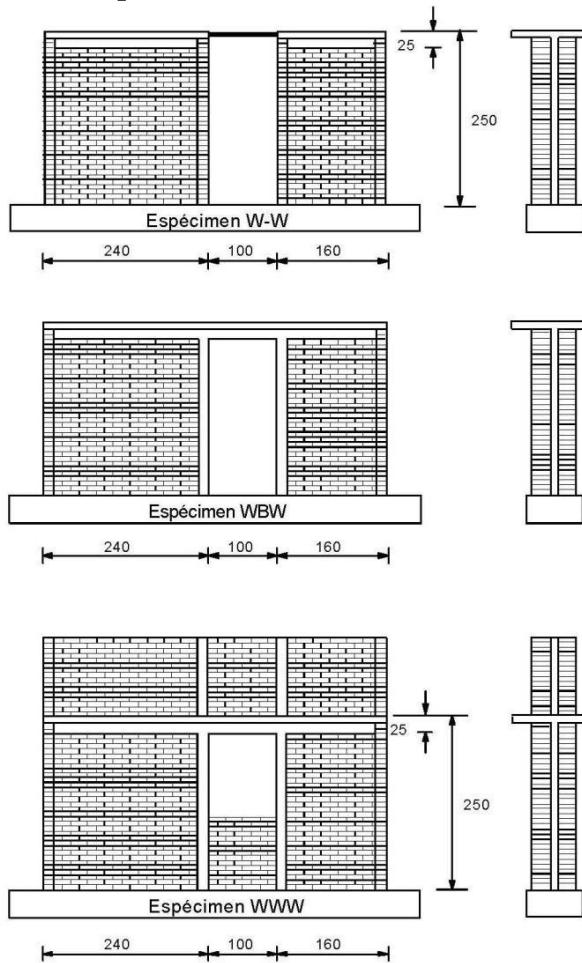


← Sistema más común

## Ensayo de muros con carga en el plano [3]

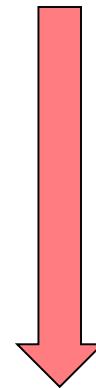


## Ensayo de muros con distinto grado de acoplamiento a flexión [3]

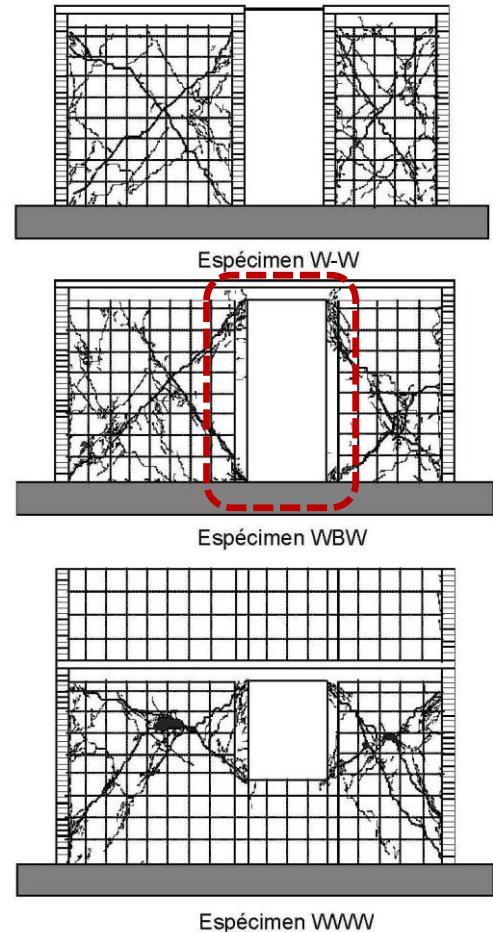


Especimen

Sin acoplamiento



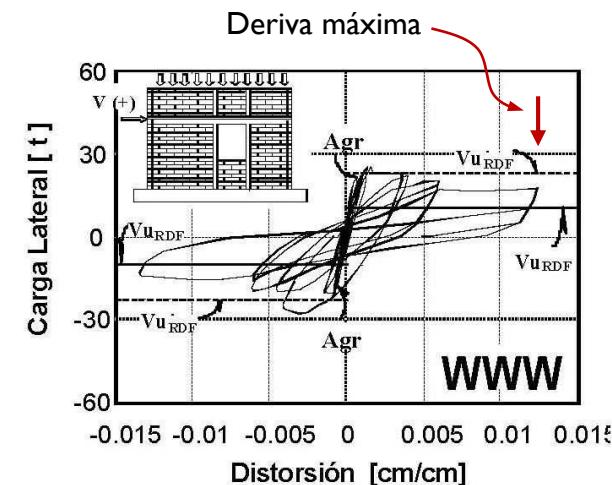
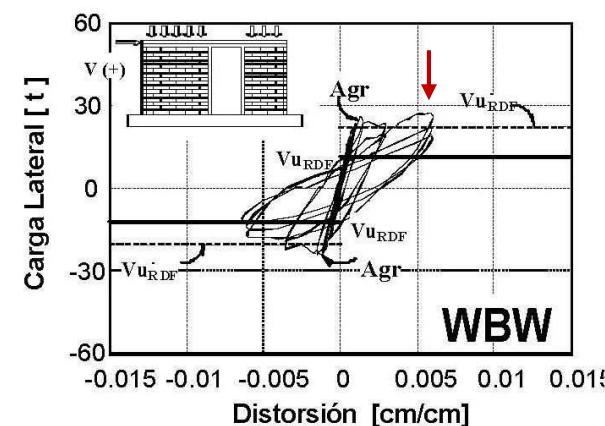
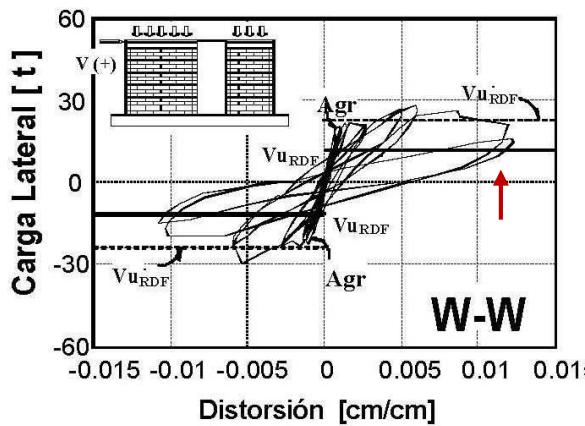
Mayor acoplamiento



Resultados de ensayos

## Ensayo de muros con distinto grado de acoplamiento a flexión [3]

### □ Curvas histeréticas\*



Respuesta ante carga lateral alternada (**sismo**).

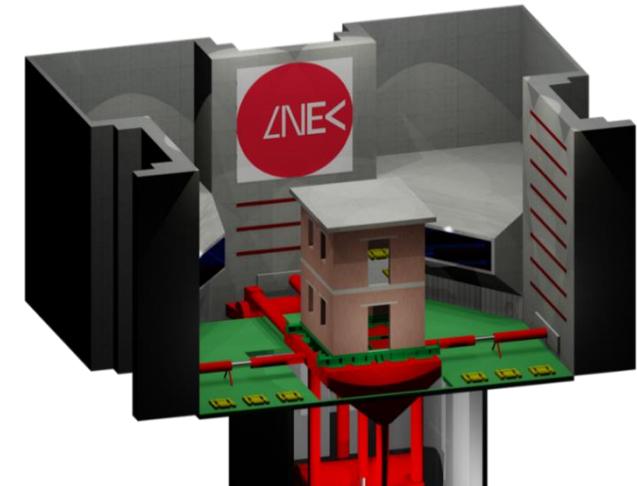
\*Histéresis: Fenómeno por el que el estado de un material depende de su historia previa y que se manifiesta por el retraso del efecto sobre la causa que lo produce.

## Comentarios:

- Las construcciones de mampostería tienen muros con **aberturas** en forma de puertas o ventanas.
- La presencia de aberturas genera muros con distinto grado de acoplamiento producto de la rigidez de los elementos horizontales.
- Ante cargas sísmicas los daños pueden ocurrir en los machones o mochetas adyacentes a las aberturas (**elementos verticales**) o en el sistema viga-alfeizar o viga-pretil (**elementos horizontales**).
- Los edificios de albañilería se caracterizan por **una concentración del desplazamiento inelástico**, y por tanto del daño en los machones ubicados de un **nivel determinado**, generalmente en el **primer piso**.
- Para este tipo de comportamiento la **ductilidad de desplazamiento es moderada**.
- El comportamiento de los muros está controlado por las **deformaciones** producidas por las **fuerzas de corte** aún en los muros no acoplados a flexión (muro en voladizo) debido a la **reducida esbeltez del muro ( $H/L$ )**.

## Ensayo de estructura en mesa sísmica

- Daño observado (Leite & Lourenço, 2012)



## Ensayo de estructura en mesa sísmica



© HMS - Historical Masonry Structures (University of Minho)

**Out-of-plane assessment of existing  
masonry buildings:  
Shaking table test on a stone structure**



Institute for Sustainability and  
Innovation in Structural Engineering



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia



## Ensayo de estructura en mesa sísmica



© HMS - Historical Masonry Structures (University of Minho)

**Out-of-plane assessment of existing  
masonry buildings:  
Shaking table test on a brick structure**



Institute for Sustainability and  
Innovation in Structural Engineering



Universidade do Minho  
Escola de Engenharia



## Ensayo de estructura en mesa sísmica



**Performance of masonry infills in reinforced concrete structures**

Unreinforced double leave infill wall solution



## Ensayo de estructura en mesa sísmica [3]

### Daño observado



## Ensayo de estructura en mesa sísmica [3]

### Daño observado

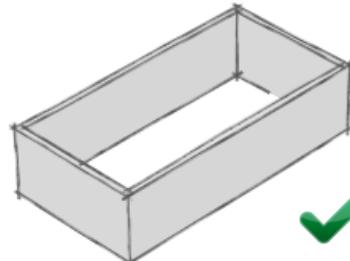


## Configuración y estructuración

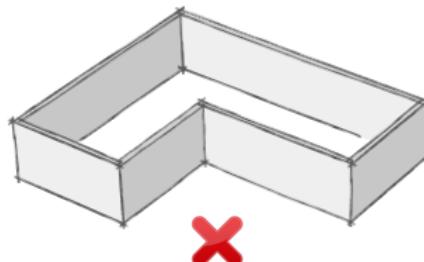
- a. Forma y dimensiones de la planta y de la elevación.
- b. Distribución y densidad (cantidad) de muros.
- c. Ubicación y tamaño de aberturas.



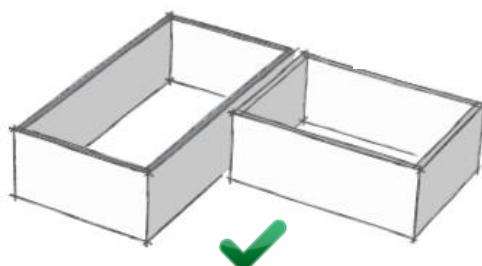
## Forma de la planta



Usar formas simples (e.g. rectangular, cuadrada).

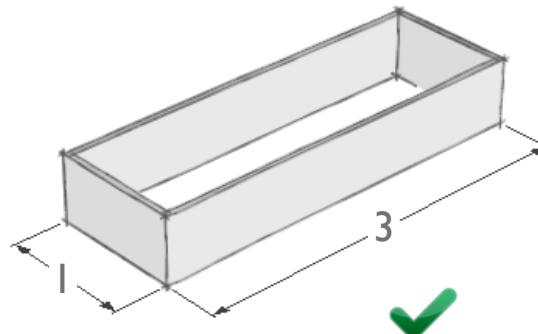


Evitar el uso de plantas en forma de: L o U o formas más complejas.

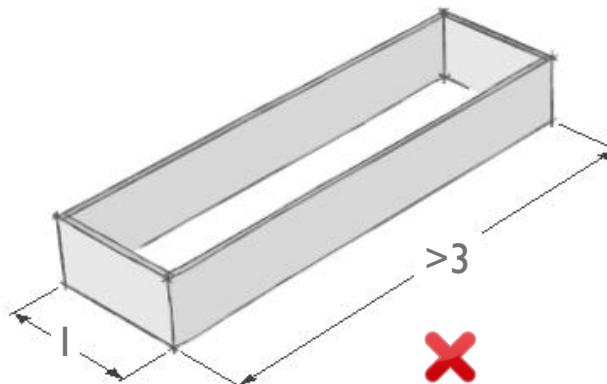


Reducir las plantas de formas complejas en formas simples utilizando juntas de construcción

## Dimensiones de la Planta

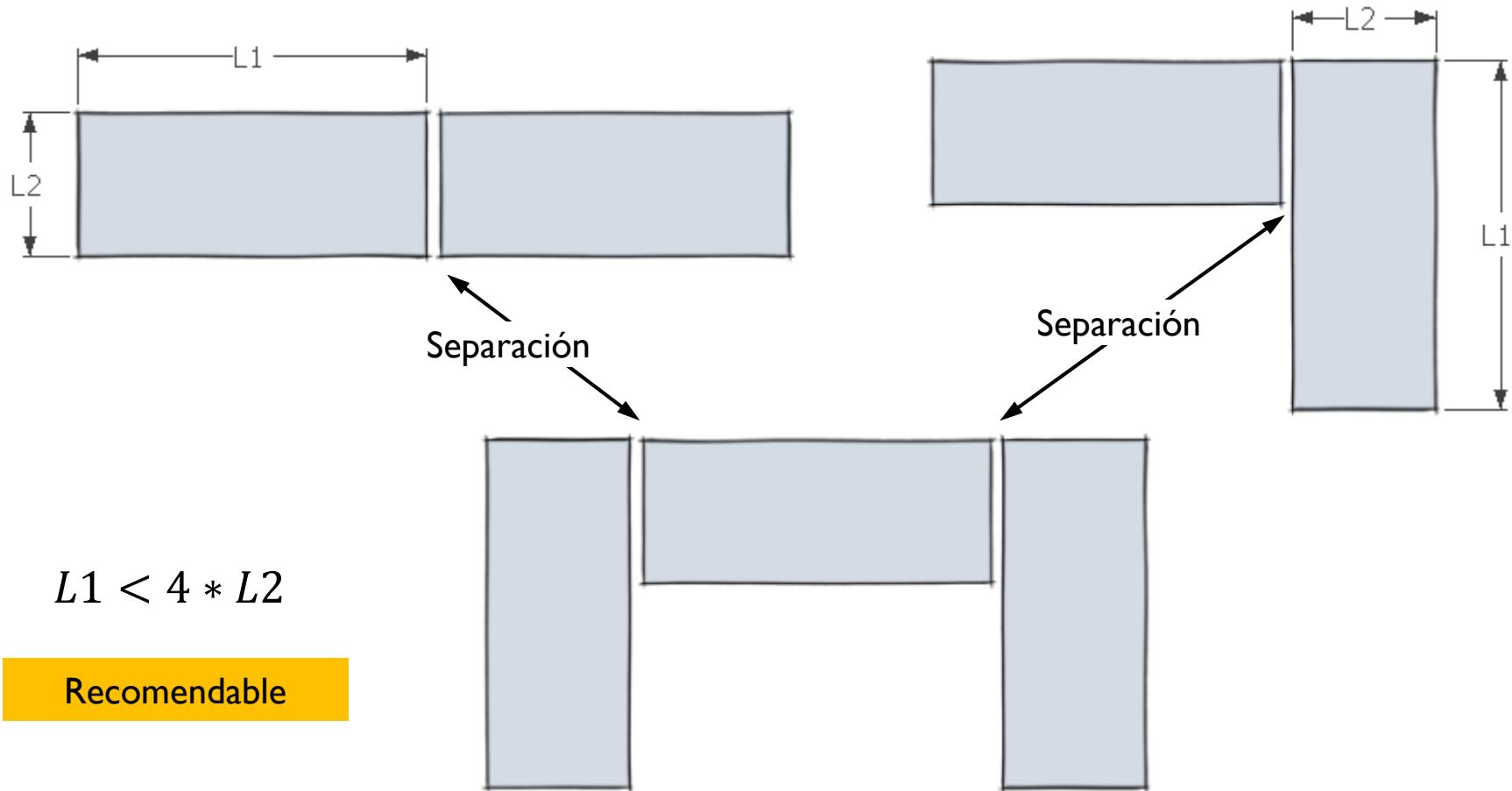


Evitar el uso de plantas largas y angostas.

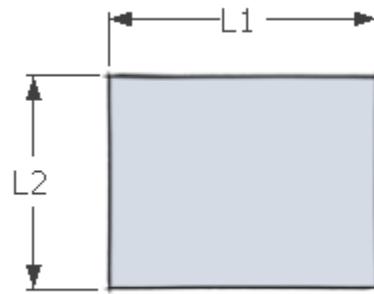


El largo de la planta no debe ser mayor que 3 veces su ancho.

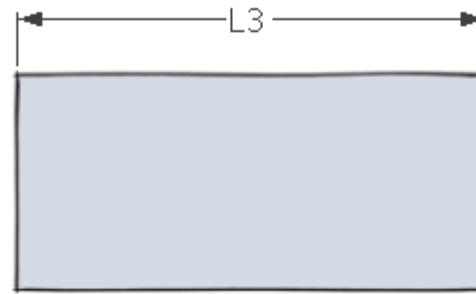
## Dividir en cuerpos rectangulares



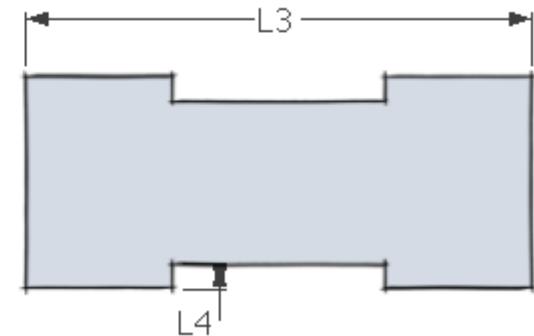
## Propiedades de cada cuerpo



$$L_2 \sim L$$



$$L_3 < 4 * L_2$$

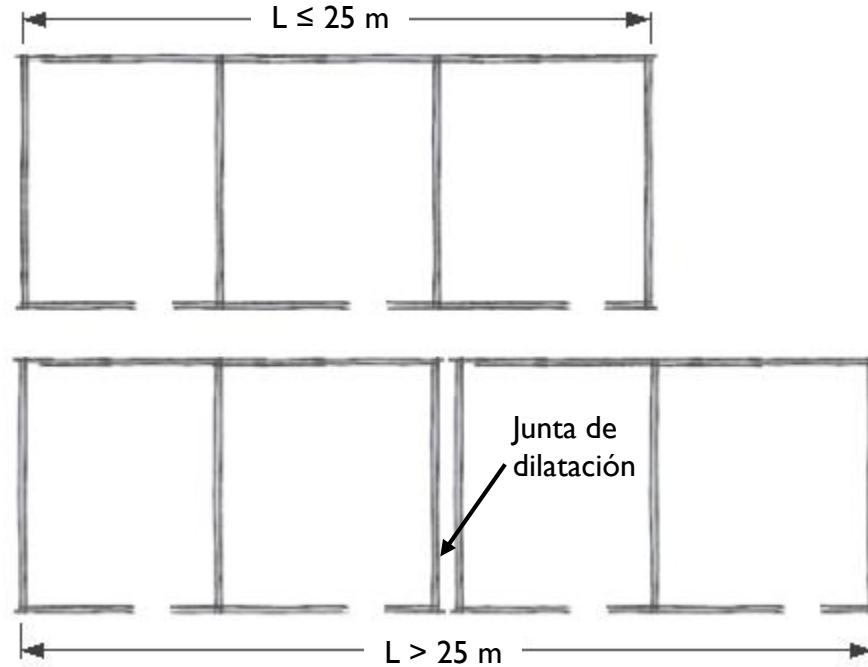


$$\begin{aligned} L_3 &< 4 * L_2 \\ L_4 &< \frac{L_2}{4} \end{aligned}$$

Recomendable

## Propiedades de cada cuerpo

- El uso de juntas de construcción en plantas alargadas, reduce los riesgos de **agrietamiento** derivados de cambios volumétricos debido a retracción (juntas de control) o temperatura (juntas de expansión) y a la concentración de tensiones.

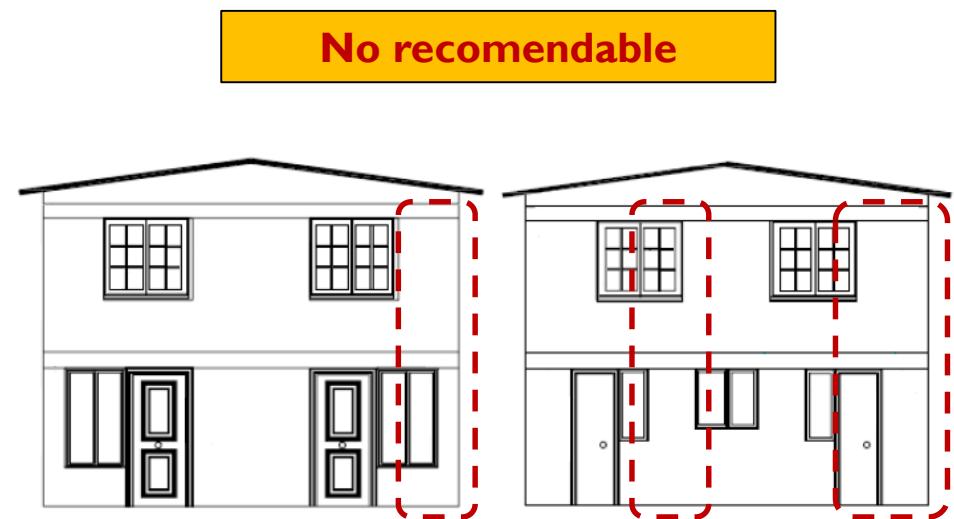


## Elevación

- Los edificios se diferencian en elevación por su **forma**, y por las **dimensiones** y la **continuidad** de sus elementos (muros).



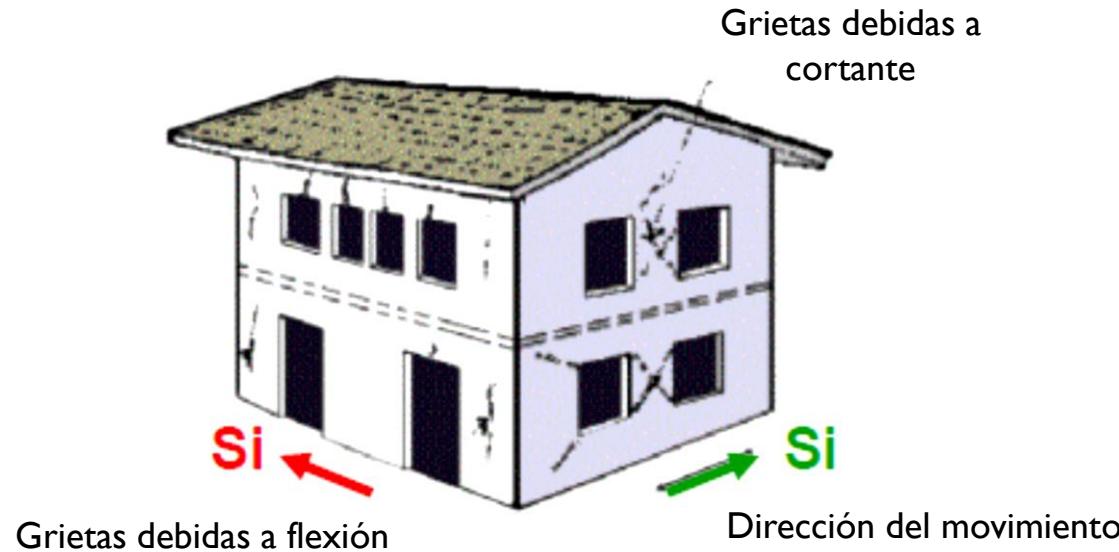
Configuración continua



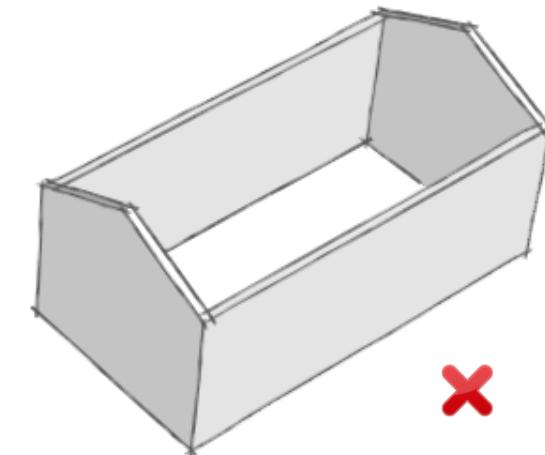
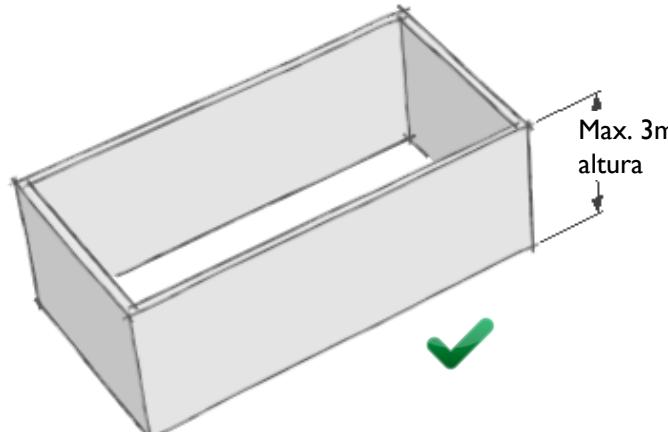
Configuración discontinua

## Elevación

- Privilegiar la **continuidad** y **homogeneidad** de los muros que forman la estructura resistente.
  - a. Continuidad: Los muros y las aberturas deben mantener su ubicación a lo alto del edificio. ➔ Evitar que desaparezca algún muro, especialmente a nivel del **primer piso**.
  - b. Homogeneidad: Conservar la modalidad de refuerzo.



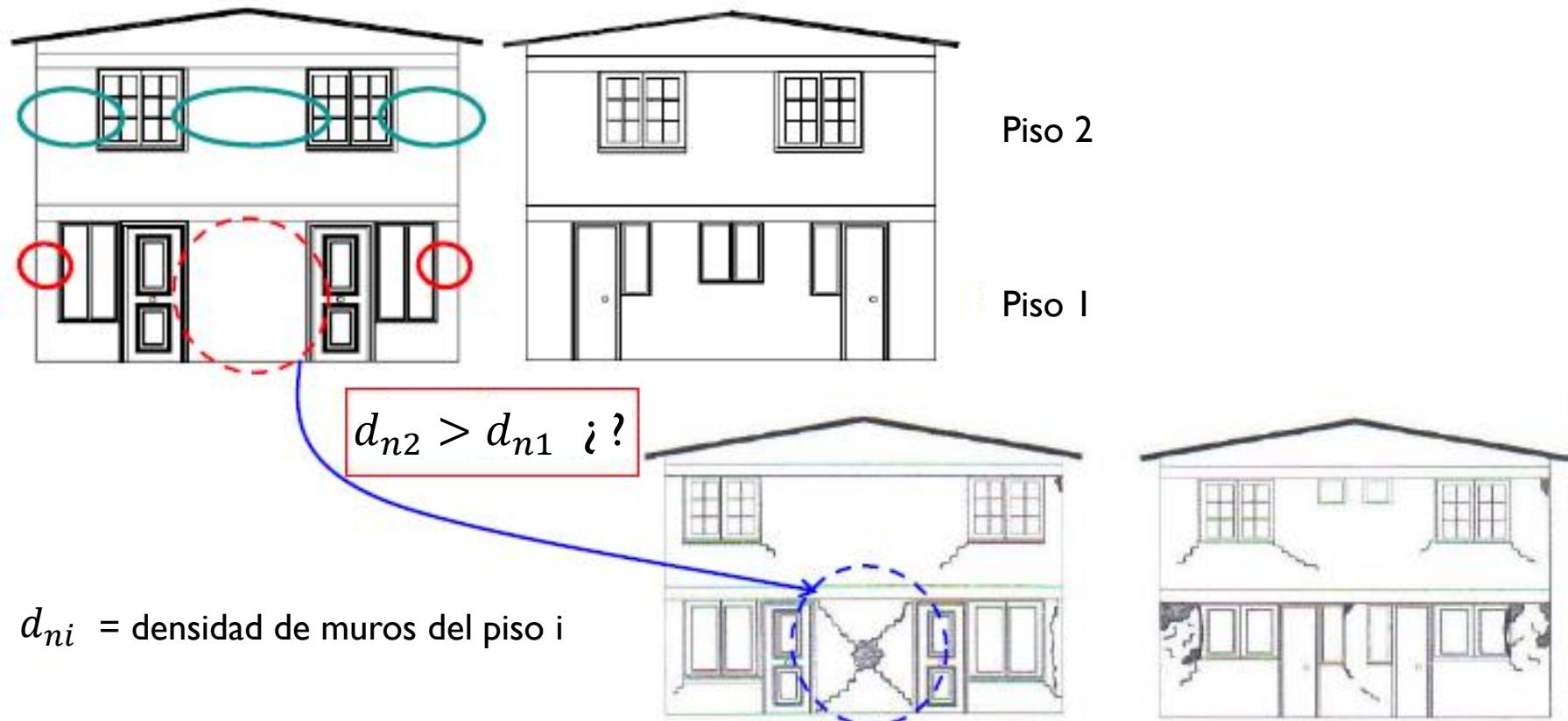
## Forma en elevación: Altura



Mantener la altura de todos muros de un piso por debajo de los 3 m.

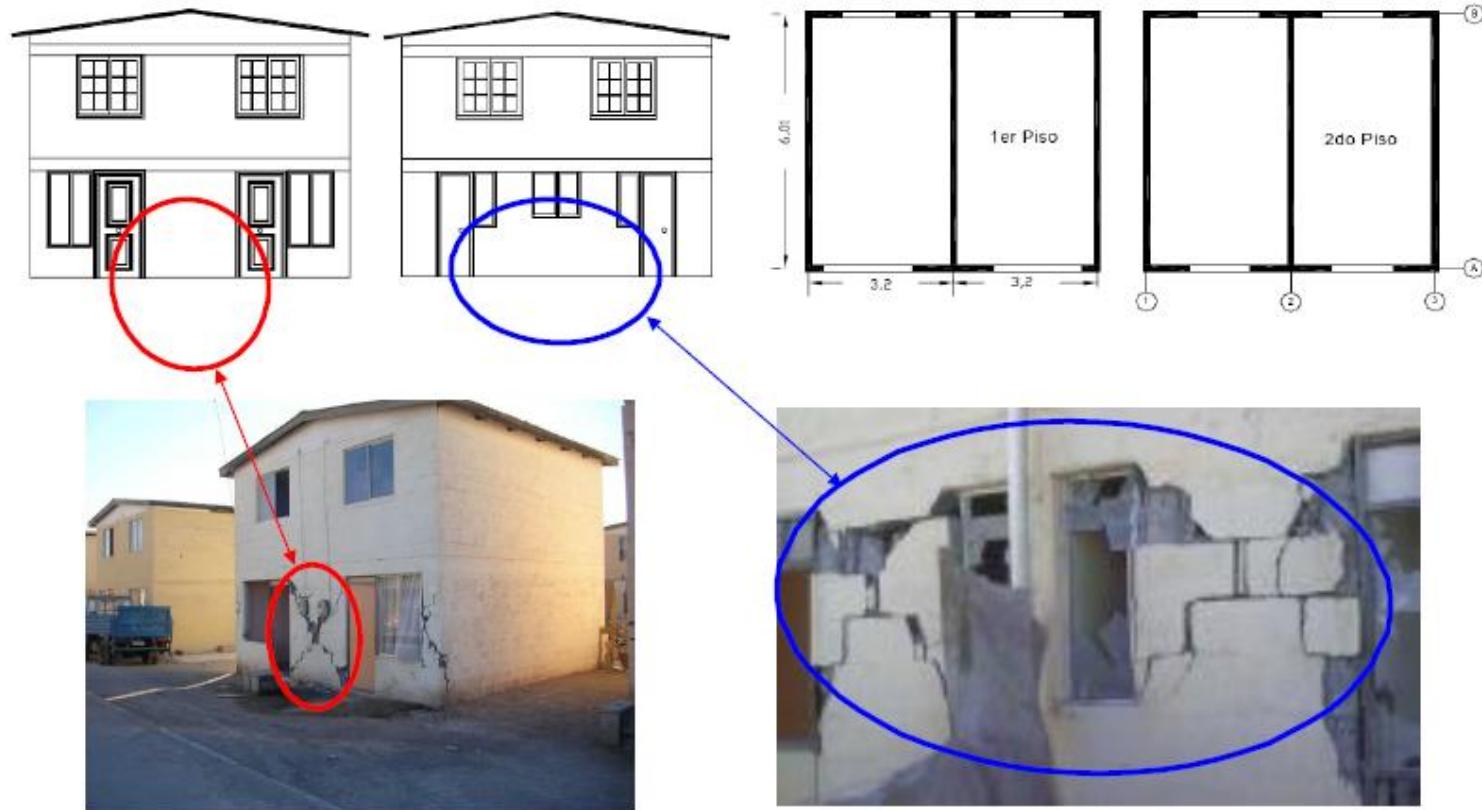
Evitar el uso de muros tímpanos.

## Elevación Discontinua

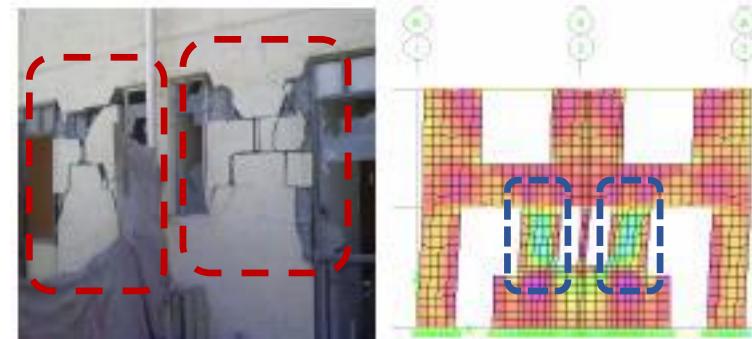
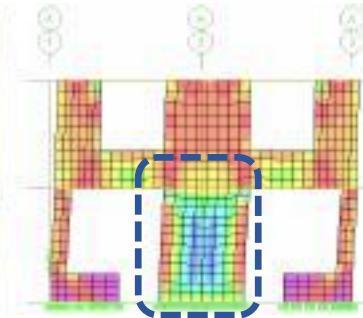
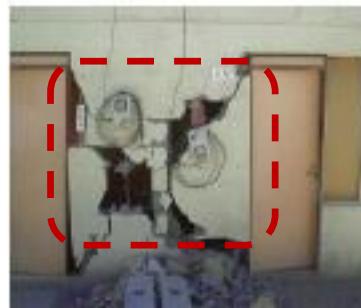


## Villa Sta. Ana – Pozo Almonte

- Terremoto de Tarapacá de 2005

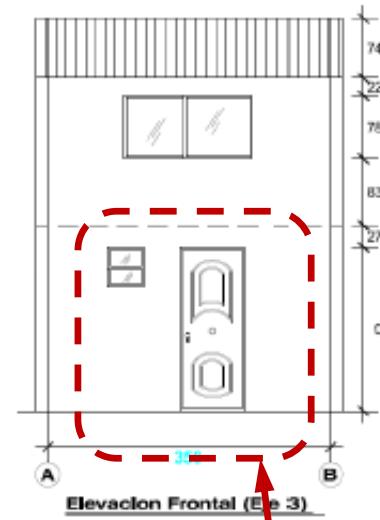


## Resultados del análisis de las elevaciones discontinuas\*



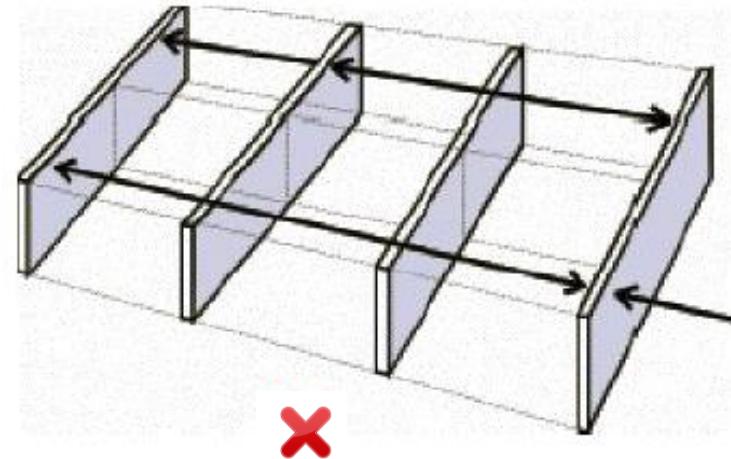
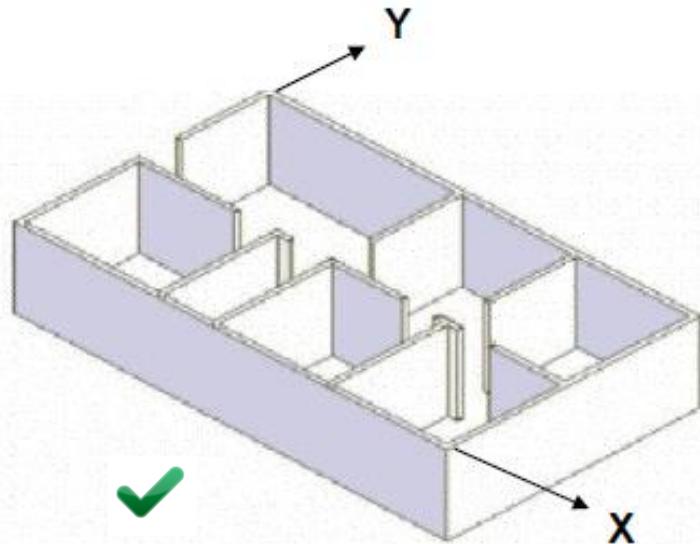
\*Memoria de profesor Jorge Omerovic,  
Universidad del Norte

# Villa Los Andes – Tocopilla - Terremoto de Tocopilla de 2007



## Estructuración - Distribución de los muros

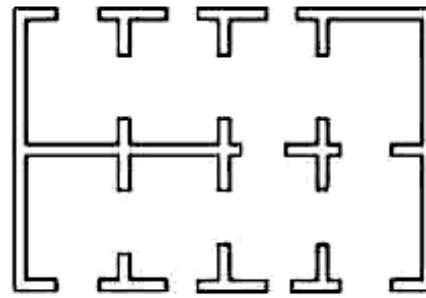
- Los muros de albañilería se deben **distribuir** en la planta del edificio en **dos direcciones** que sean ortogonales entre sí y en **forma simétrica** para reducir los efectos de **torsión sísmica**.



$$d_{n_X} \cong d_{n_Y}$$

## Estructuración - Distribución de los muros

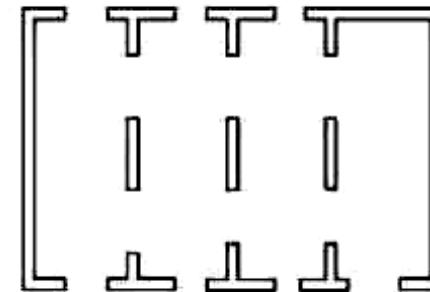
- Muros en ambas direcciones



Recomendable

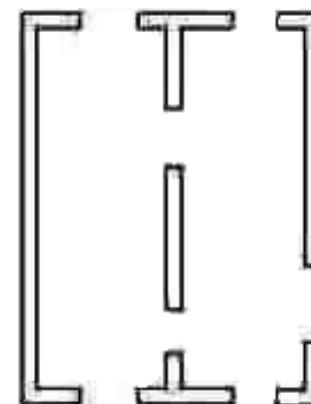
Recomendable

- Muros en una dirección predominantemente



No recomendable

↔  
débil

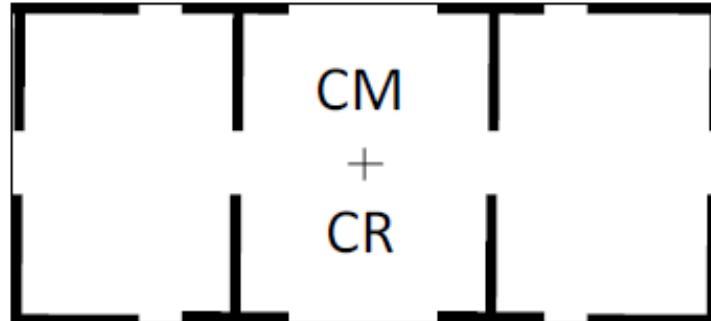


No recomendable

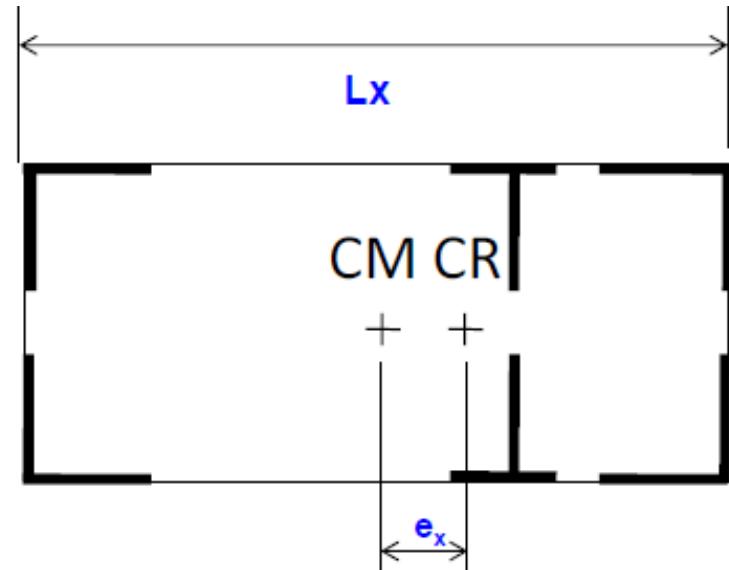
↔  
débil

## Estructuración - Distribución de los muros

Plantas simétricas



Plantas asimétricas

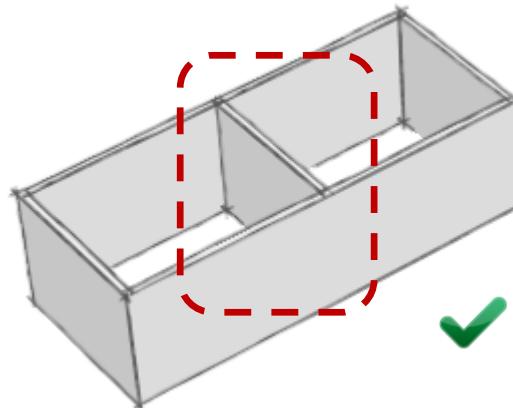


$$e_x \geq 0.10L_x$$

Recomendable

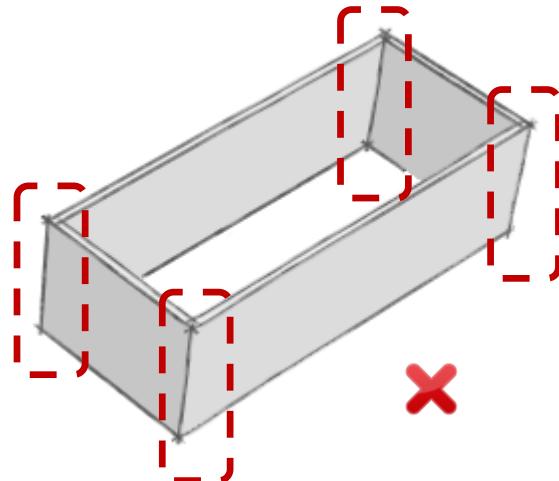
No recomendable

## Conexión de los muros



### Muros interiores

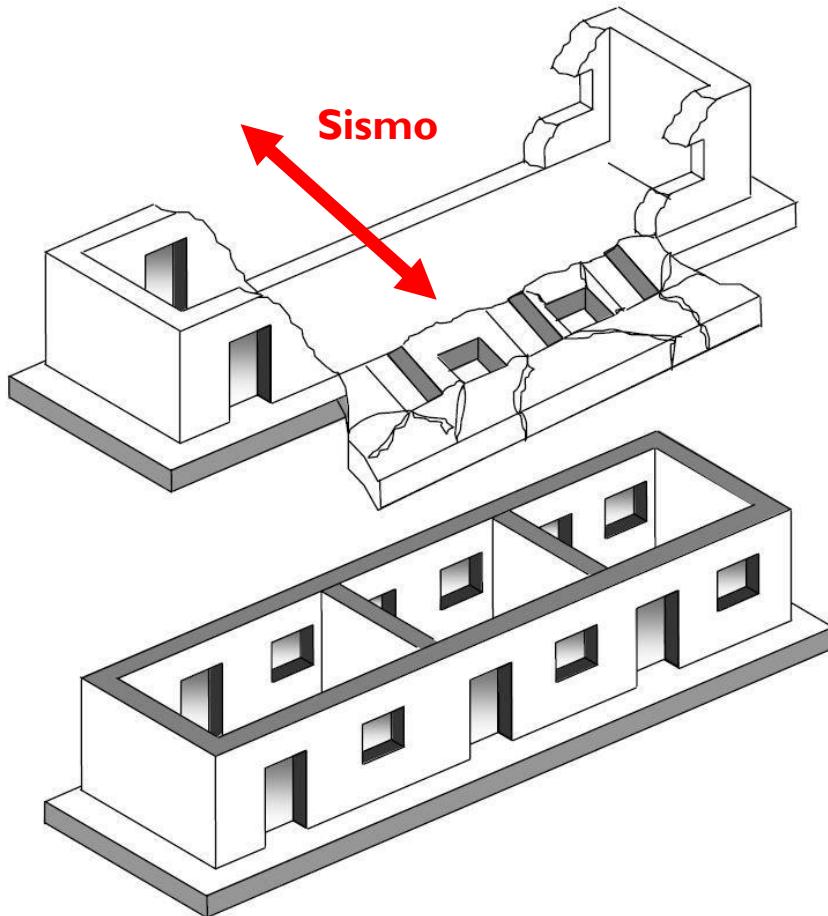
- Usar muros interiores contribuye a rigidizar tanto al edificio en su conjunto como a cada muro.



### Conexión entre muros

- Conectar todos los muros entre sí.

## Efecto de los muros interiores



- Los muros interiores evitan el daño de los **muros de fachada** por la acción sísmica perpendicular a su plano.

## Efecto de la conexión entre muros

- Daño por mala conexión entre muros.



## Densidad de muros, $d_n$

- Una adecuada densidad de muros evita tanto el **agrietamiento** durante sismos de intensidad moderada ( $I_{MM} = VI$  a  $VII$ ) como **una demanda de desplazamiento** ( $\Delta u$ ) desproporcionada con la capacidad de deformación máxima de los muros durante un sismo severo (➡ Distorsiones de piso o derivas,  $\Delta u/h$ , **iguales o mayores que 0.5%** cuando la falla de corte controla el comportamiento).

$$d_{n1} = \frac{\sum_{i=1}^m A_{mi} \times (FC_{mat})_i}{n \times A_p} \times 100 \quad [\%]$$

$d_{n1}$  = densidad de muro en el primer piso

$m$  = número de muros en la dirección analizada.

$A_{mi}$  = área de la sección transversal del muro “i” del primer piso en la dirección analizada.

$FC_{mat}$  = factor de corrección por capacidad resistente del material usado en la construcción del muro “i” (tabulado).

$n$  = número de pisos del edificio.

$A_p$  = área de la planta del edificio.

## Factor de corrección ( $FC_{mat}$ )

- En la siguiente tabla se muestran los valores del factor de corrección según el tipo de unidad de albañilería usado en la construcción del muro.

Tipo de unidad	Resistencia básica de corte $\tau_m$ [MPa]	Factor de Corrección $FC_{mat}$
Cerámica hecho a máquina	0.50	1.0
Ladrillo fiscal	0.25	0.5
Bloques de hormigón	0.20	0.4

## Relación entre nivel de daño y densidad de muros

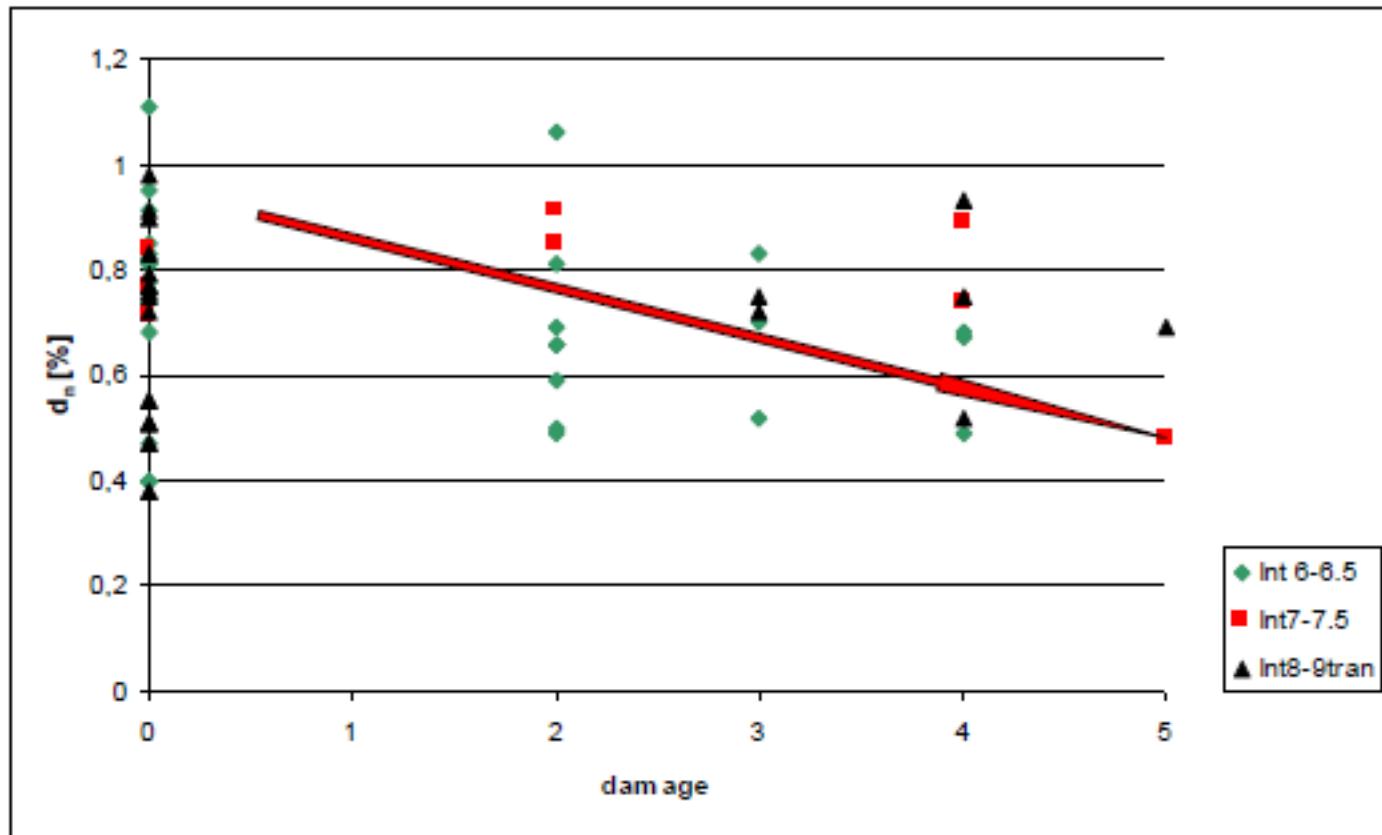
- La densidad de muros por unidad de piso en cada dirección de la planta del primer piso de un edificio de albañilería es un antecedente que permite diagnosticar el desempeño de un edificio de albañilería.
- La experiencia reunida en los últimos 25 años (Chile, México, Perú), ha permitido establecer una relación entre la densidad de muros y el daño que se puede esperar.

Tabla: Relación entre la densidad de muros por unidad de piso y el nivel de daño de edificios de albañilería [4].

Nivel de Daño	Grado de daño	$d_{n1} [\%]$
Leve	0 - I	$1.0 \leq d_{n1}$
Moderado	2	$0.8 \leq d_{n1} < 1.0$
Severo	3	$0.5 \leq d_{n1} < 0.8$
Grave	4 - 5	$d_{n1} < 0.5$

$d_{n1} > 1.2\%$  óptimo

## Relación entre nivel de daño y densidad de muros [5]



## Escala de daños para muros de albañilería estructural

Grado de daño	Descripción del daño
G0 - Sin daño	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Sin daño</li> </ul>
G1 - Daño Leve	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grietas finas en estucos.</li> <li>▪ Caída de trozos de estuco en zonas limitadas.</li> </ul>
G2 - Daño Moderado	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Pequeñas grietas en muros de albañilería.</li> <li>▪ Desprendimiento de grandes trozos de estucos en zonas extendidas.</li> </ul>
G3 - Daño Severo	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Grietas de gran espesor en muros de albañilería.</li> <li>▪ Trituración de unidades de albañilería con huecos.</li> <li>▪ Grietas finas en las zonas críticas de los pilares de confinamiento y en la cabeza de compresión de los muros de albañilería armada.</li> </ul>
G4 - Destrucción Parcial	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Caída de trozos del paño de albañilería.</li> <li>▪ Trituración extendida de las unidades vecinas a las grietas.</li> <li>▪ Grietas de gran espesor en las zonas críticas de los pilares de confinamiento y en la cabeza de compresión de los muros de albañilería armada.</li> <li>▪ Los muros interiores y exteriores se parten produciéndose desplomes entre sus trozos</li> </ul>
G5 - Colapso	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Colapso de más de un muro del edificio.</li> </ul>

## Grado de daño G2

- Pequeñas grietas en muros de albañilería.
- Desprendimiento de grandes trozos de estucos en zonas extendidas.



## Grado de daño G3

- Grietas de gran espesor en muros de albañilería.
- Trituración de unidades de albañilería con huecos.
- Grietas finas en las zonas críticas de los pilares de confinamiento y en la cabeza de compresión de los muros de albañilería armada.



## Grado de daño G4

- Caída de trozos del paño de albañilería.
- Trituración extendida de las unidades vecinas a las grietas.
- Grietas de gran espesor en las zonas críticas de los pilares de confinamiento y en la cabeza de compresión de los muros de albañilería armada.
- Los muros interiores y exteriores se parten produciéndose desplomes entre sus trozos

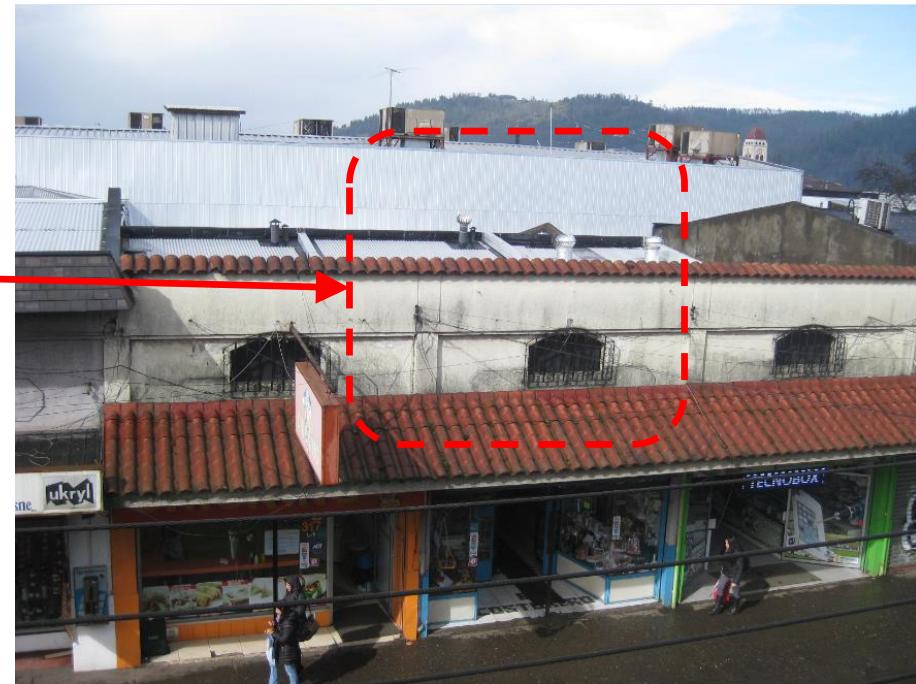


## Grado de daño G5

- Colapso de más de un muro del edificio.

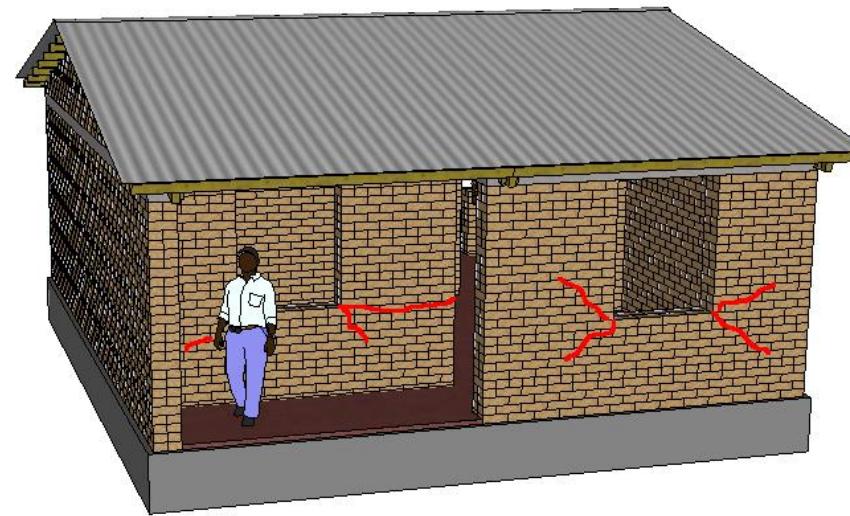


## Vulnerabilidad de antepechos

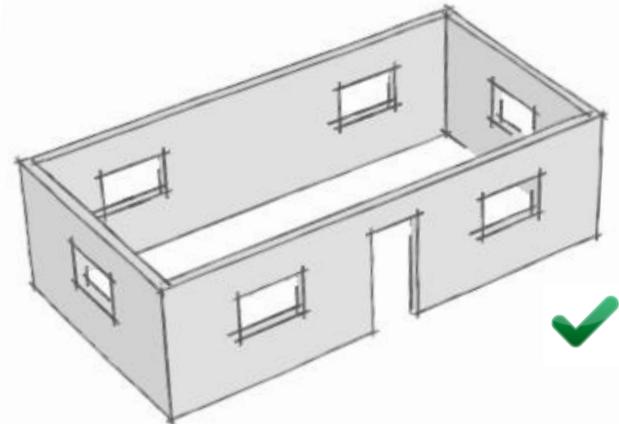


## Aberturas: Ventanas y puertas

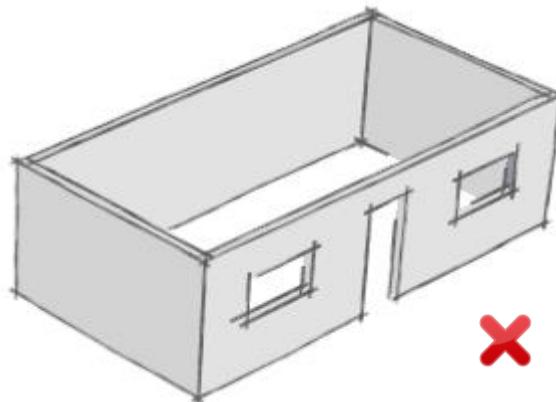
- La presencia de aberturas **reduce la resistencia y la estabilidad** de un muro por ello su **distribución, ubicación y tamaño** deben establecerse cuidadosamente.
- Las aberturas deben **reforzarse**.



## Aberturas: Distribución

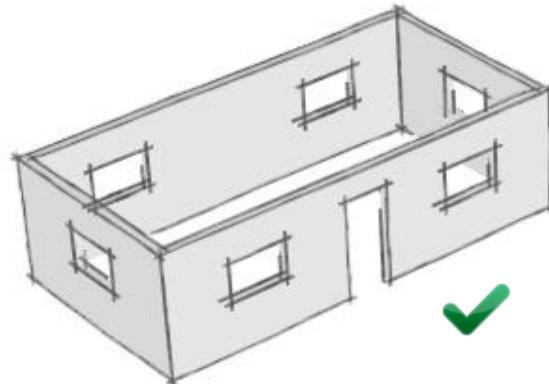


- Las aberturas deben distribuirse en todas las caras del edificio.

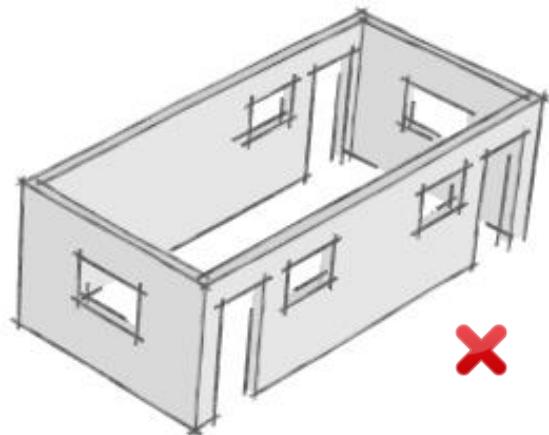


- Las aberturas no deben concentrarse en una cara.

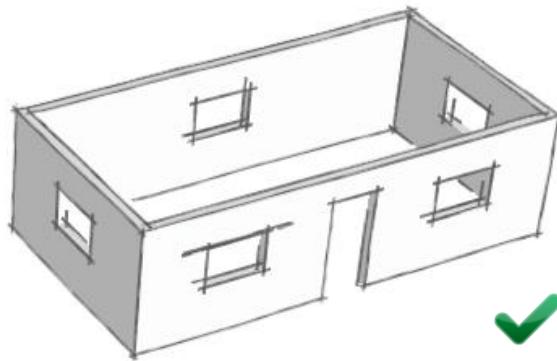
## Aberturas: Ubicación



- Las aberturas deben mantenerse a una “distancia correcta” de las esquinas y entre ellas.

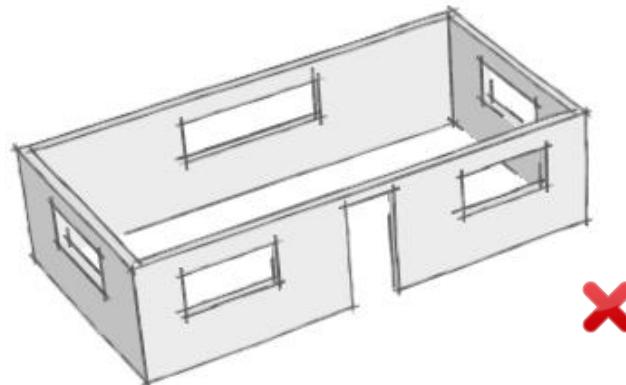


## Aberturas: Tamaño



- Las aberturas deben ser de dimensiones pequeñas.

$$A_{abertura}/A_{piso} \leq 5\%$$



- Aberturas de grandes dimensiones debilitan la capacidad resistente del edificio al reducir la densidad de muros.

## Elección y control de los materiales y de los refuerzos

- a. **Materiales:** Unidades, mortero de junta y hormigón de relleno.
- b. **Refuerzos:** Barras de refuerzo y elementos de confinamiento.



## Modalidades de refuerzo

- Albañilería Confinada (1930  )



Conjunto en Ruta del Sol,  
sector de Rinconada de Maipú

## Albañilería Confinada

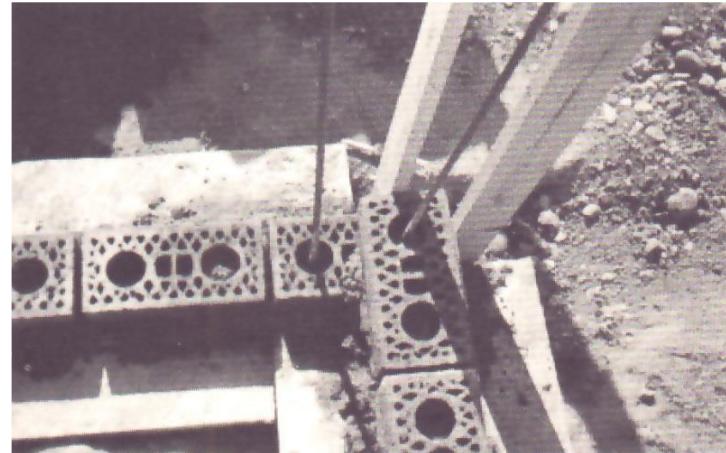


## Albañilería Confinada

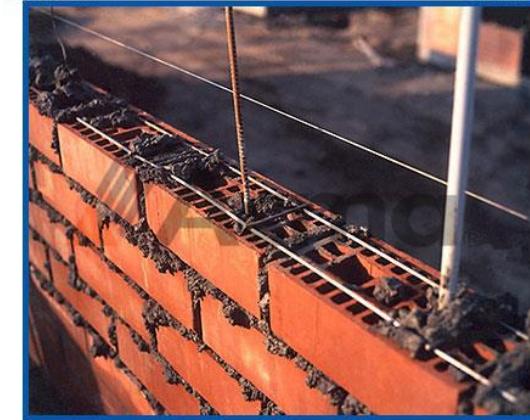


## Albañilería Armada

- 1970 en adelante



Acma

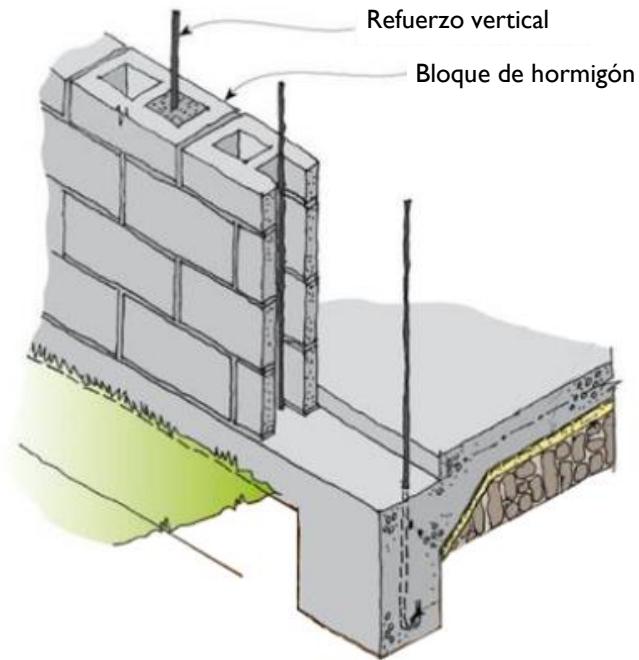


Escalerilla

## Albañilería Armada



- Muro de albañilería armada construido con bloques huecos de hormigón.



## Comentarios

- La cantidad, ubicación y distribución de los refuerzos determinan el **comportamiento estructural** de los muros que forman la estructura resistente, identificándose dos tipos de comportamiento: **frágil** y **dúctil**.
- El comportamiento es **frágil** cuando la **capacidad de deformación** más allá del nivel al cual se alcanza la resistencia es prácticamente **nula**.
- Para lograr un comportamiento **dúctil** se debe:
  1. Usar **cuantías mínimas** de refuerzo.
  2. Cuidar la **distribución y ubicación** de los refuerzos en los paños de albañilería.
  3. Cuidar el **detalle** de los refuerzos (recubrimiento, anclaje y empalme de las barras de refuerzo, separación de las barras de refuerzo y de los elementos de confinamiento).

## Comentarios

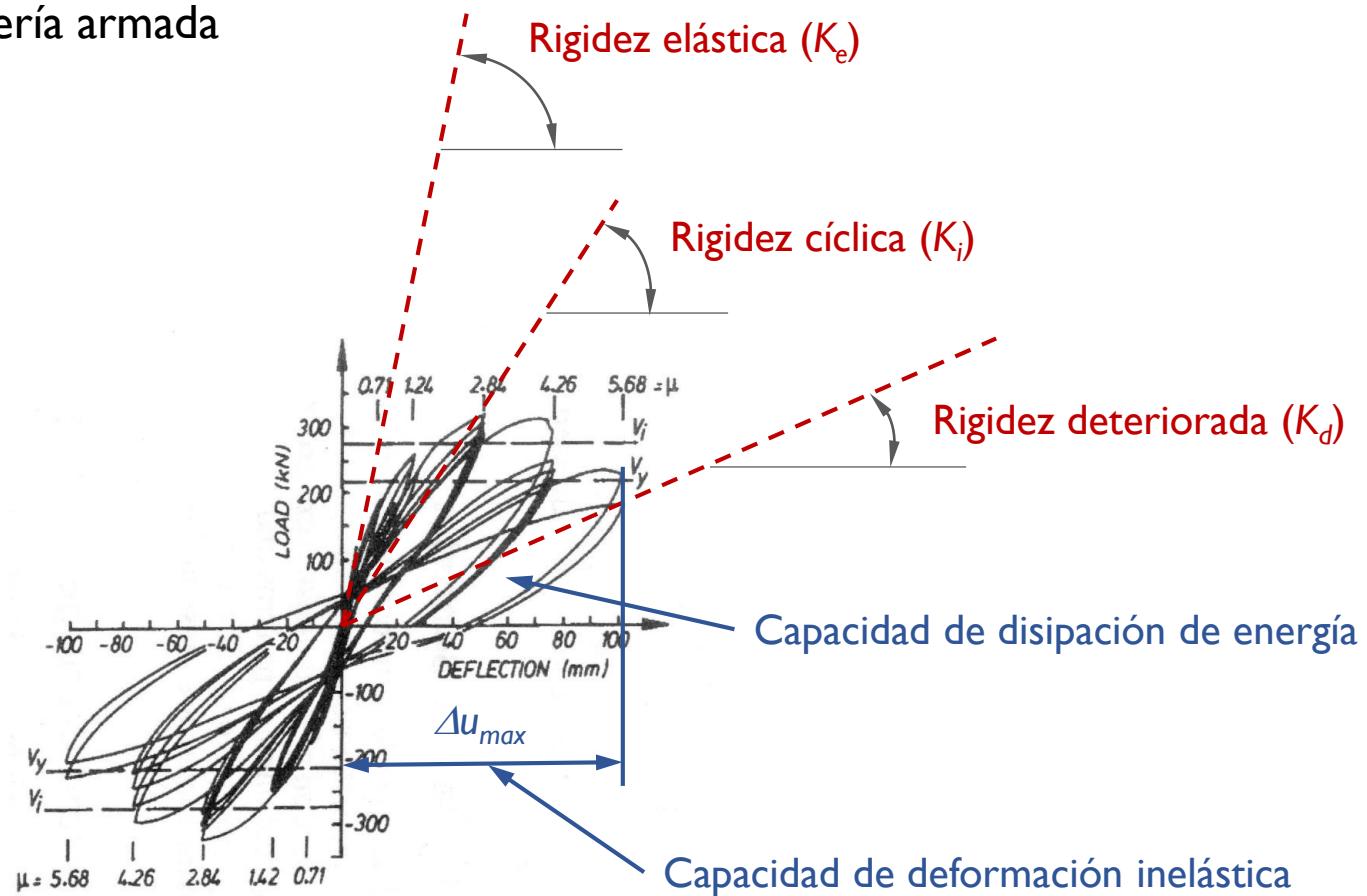
- En términos prácticos, el **comportamiento estructural** se caracteriza en términos de 4 propiedades:

1. Resistencia
2. Rigidez
3. Capacidad de deformación inelástica,  $\Delta u$ .
4. Capacidad de disipación de energía

## Comportamiento estructural

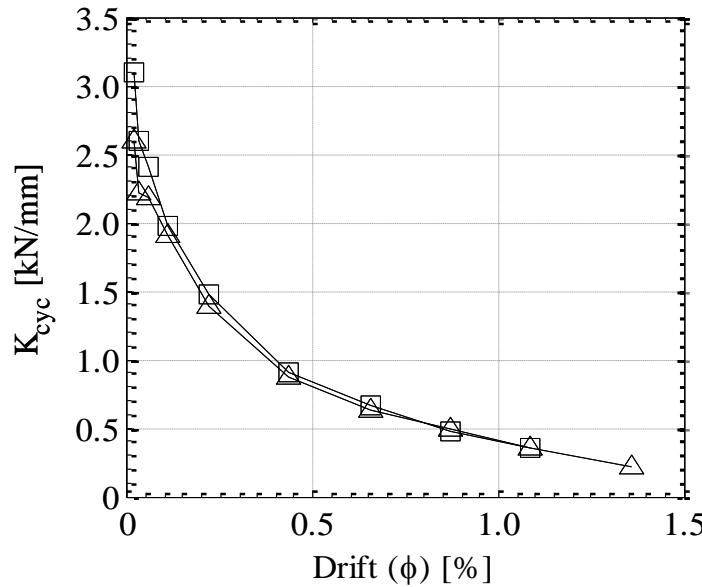
### □ Muro de albañilería armada

Simetría en el comportamiento

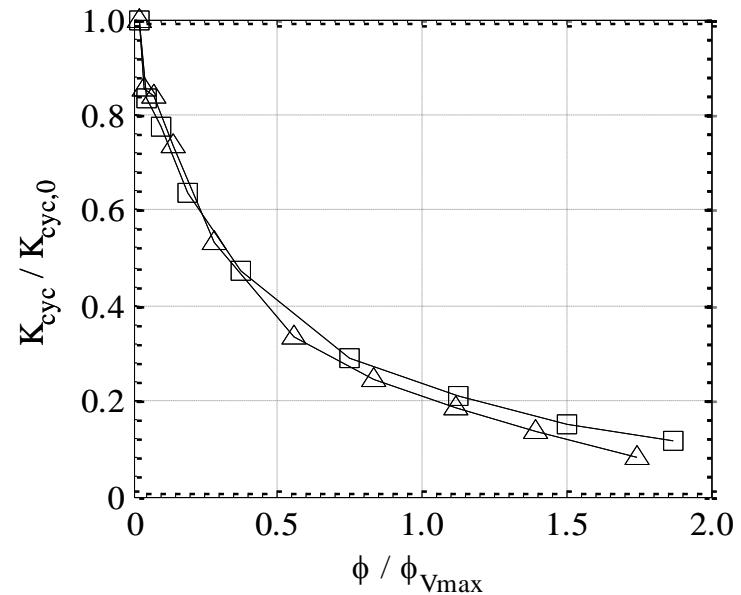


## Rigidez cíclica

- Reducción de rigidez en cada ciclo



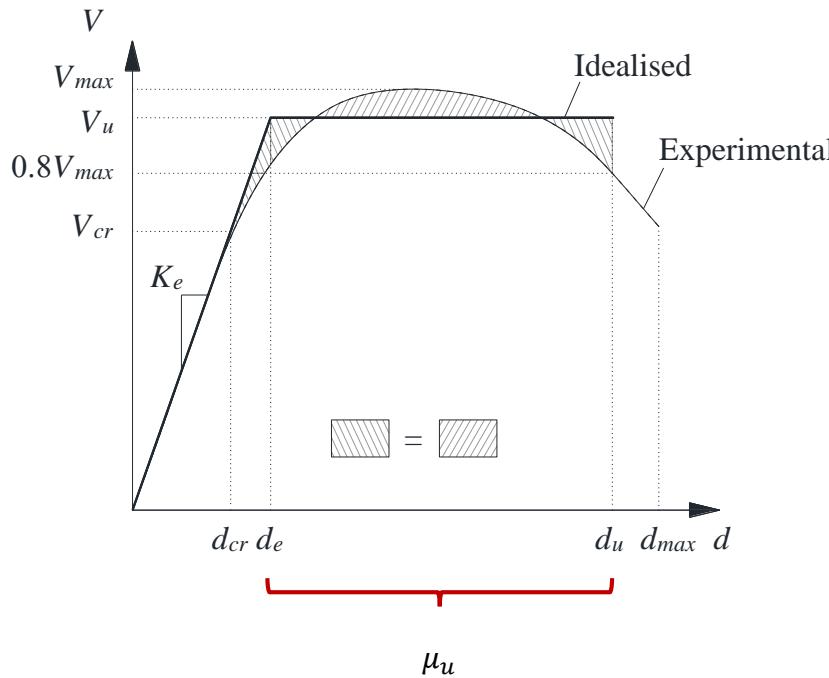
Valores absolutos



Valores normalizados

# Factor de ductilidad

- Determinación de la carga última y factor de ductilidad (sistema perfectamente plástico, idealización bilineal)



1) Factor de límite de fisuración:

$$C_{cr} = \frac{V_{cr}}{V_{max}}$$

2) Rigidez elástica:

$$K_e = \frac{V_{cr}}{d_{cr}}$$

3) Carga última:

$$V_u = K_e \left( d_{max} - \sqrt{d_{max}^2 - \frac{2A_{env}}{K_e}} \right)$$

4) Desplazamiento límite elástico:

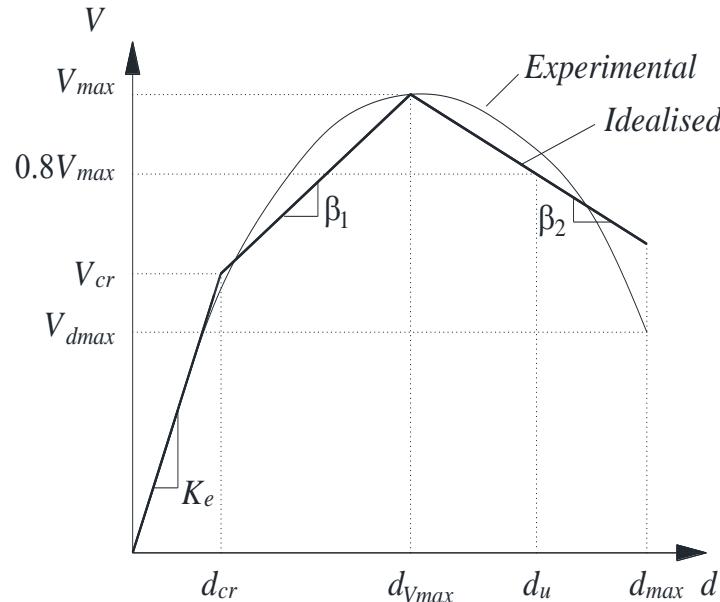
$$d_e = \frac{V_u}{K_e}$$

5) Factor de ductilidad:

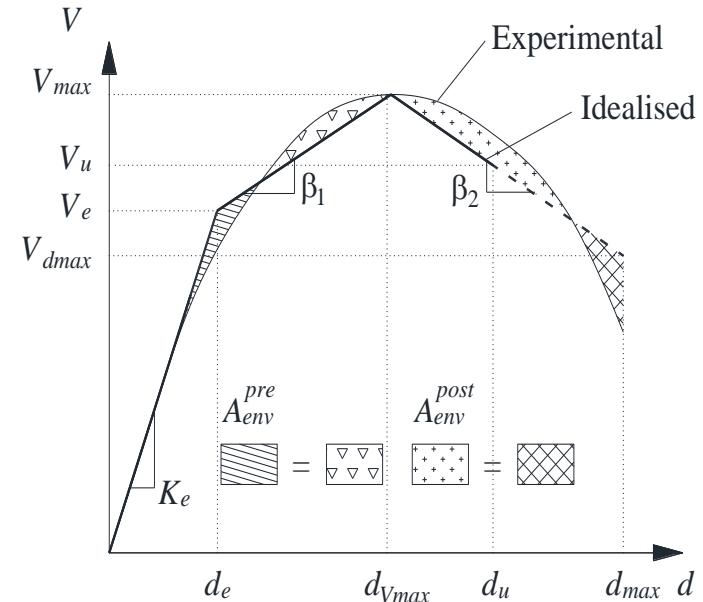
$$\mu_u = \frac{d_u}{d_e}$$

# Factor de ductilidad

## ☐ Idealización trilineal



Método de Tomažević [6]

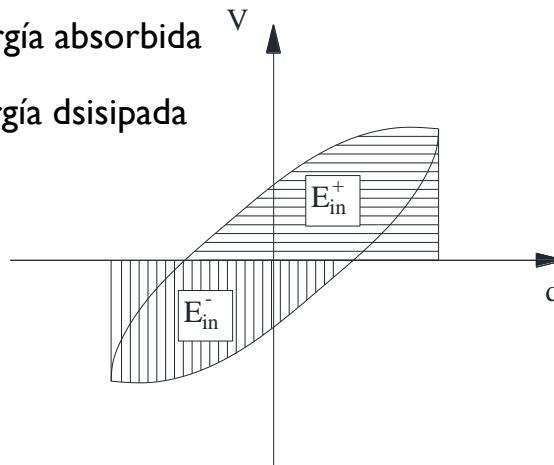


Método de Moreira [7]

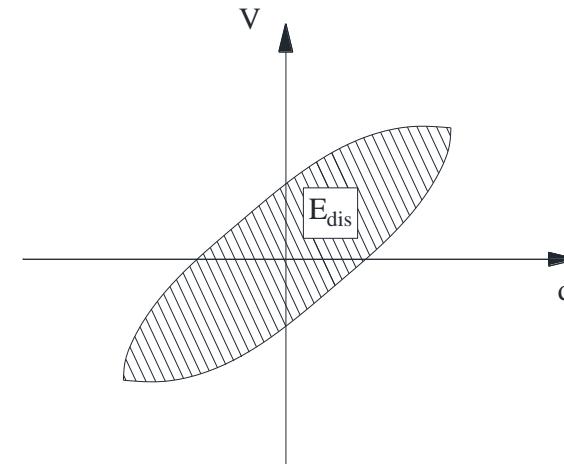
## Capacidad de disipación de energía

- Determinación de la energía disipada [5].

$E_{in}$  = Energía absorbida



$E_{dis}$  = Energía disipada

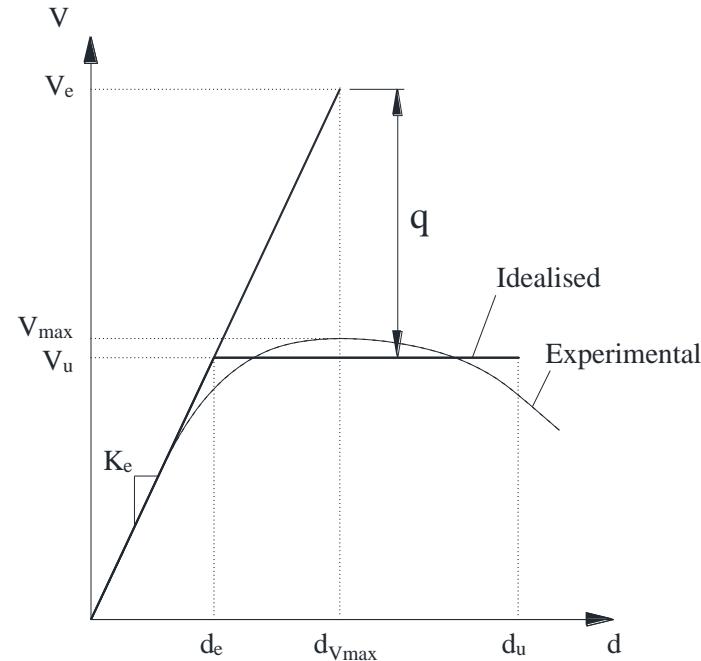


Energía de entrada al sistema en un ciclo

Energía disipada en un ciclo

## Factor de comportamiento

- Metodología para determinar el factor de comportamiento



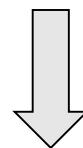
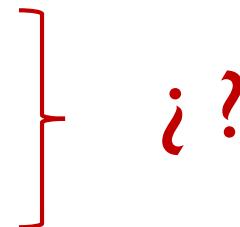
Factor de comportamiento:

$$q = \frac{V_e}{V_u}$$

## ¿Como reforzar?

### □ Posibilidades:

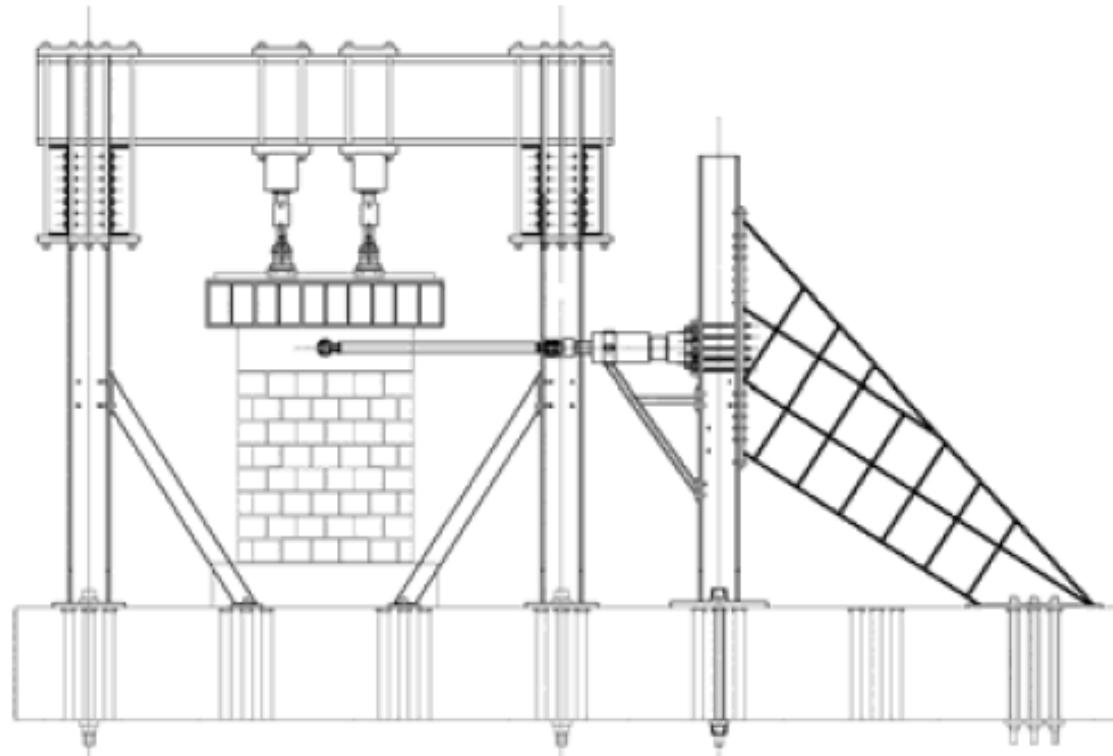
- Alb. Armada
- Alb. Confinada
- Combinaciones de ambas



Evidencia experimental

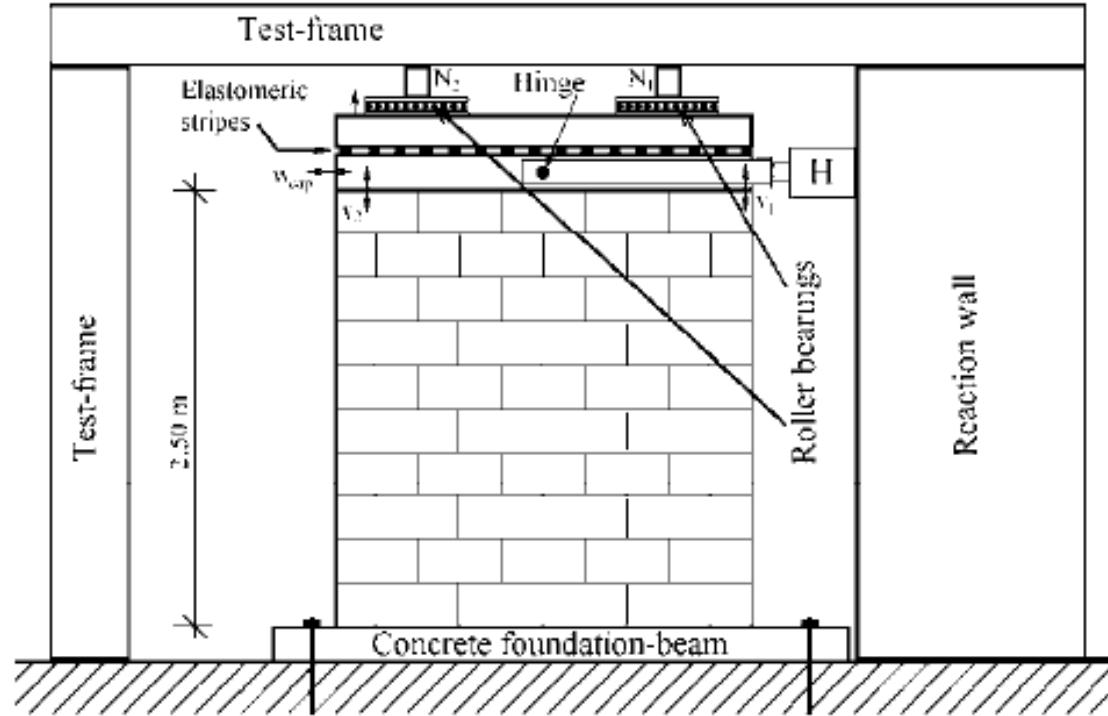
## Dispositivos para realizar ensayos

### □ Marco de reacción



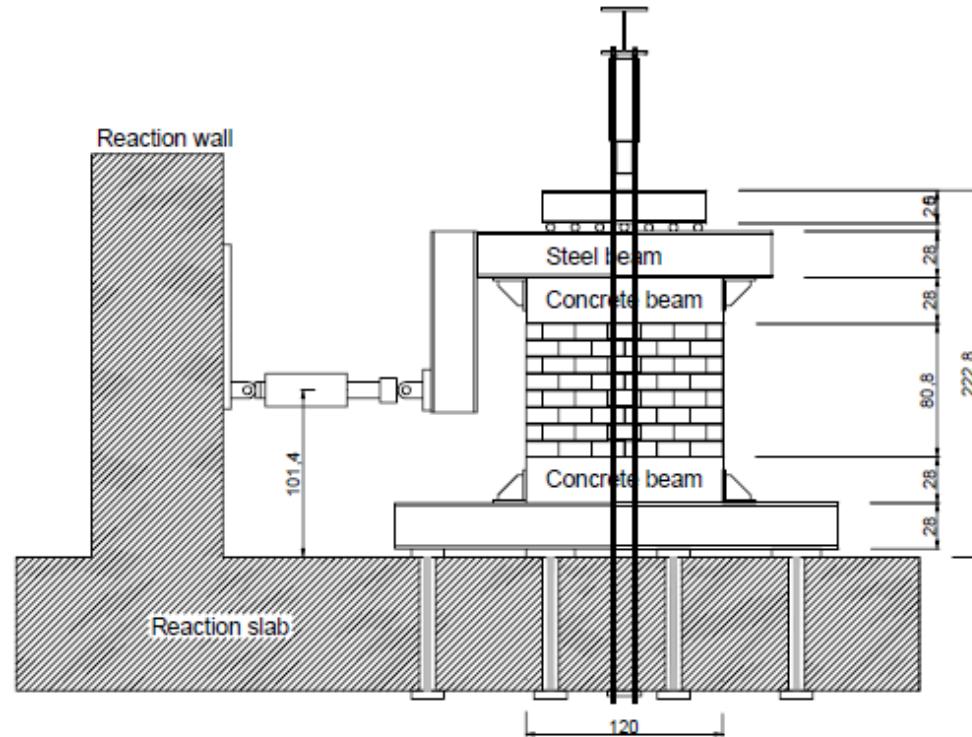
# Dispositivos para realizar ensayos

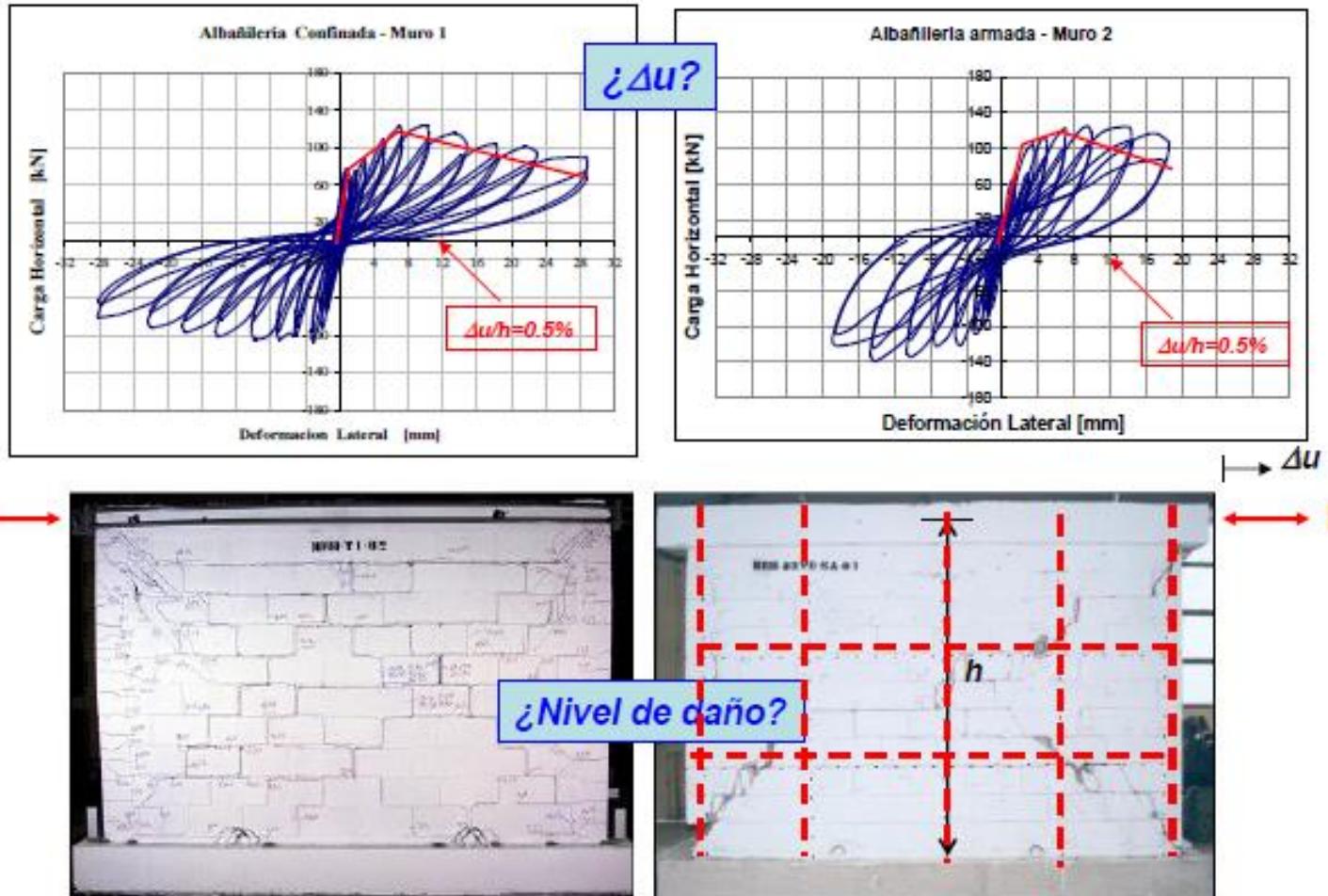
## □ Marco-muro de reacción



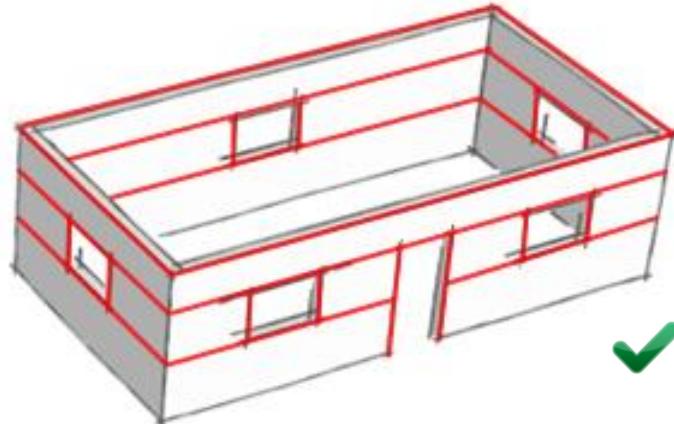
# Dispositivos para realizar ensayos

## □ Muro de reacción

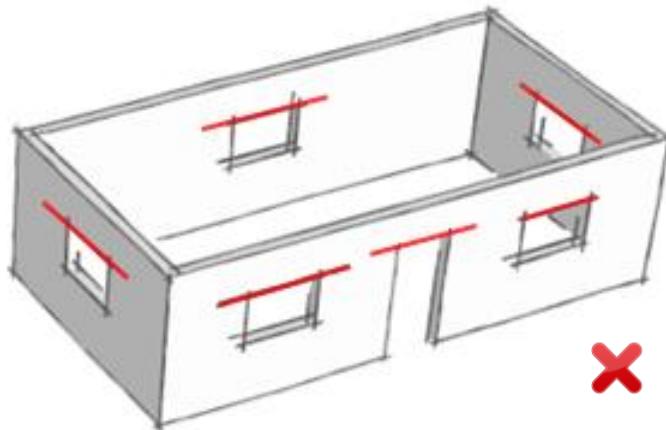




## Refuerzo de aberturas (ventanas & puertas)

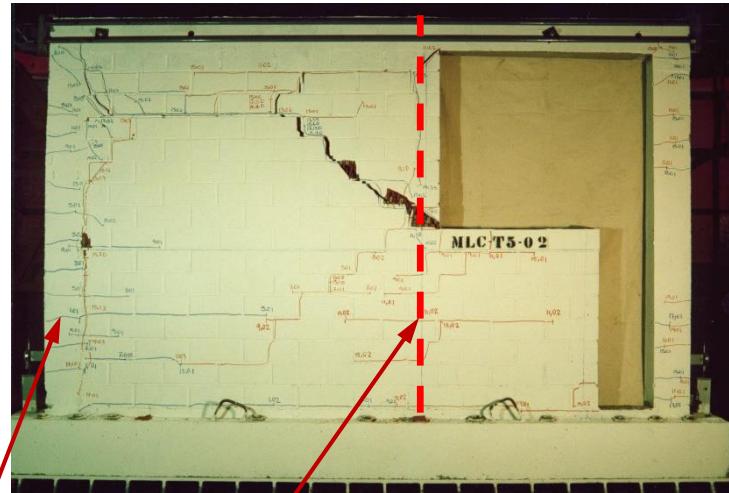


- Los refuerzos deben ser continuos para mantener la integridad del edificio.



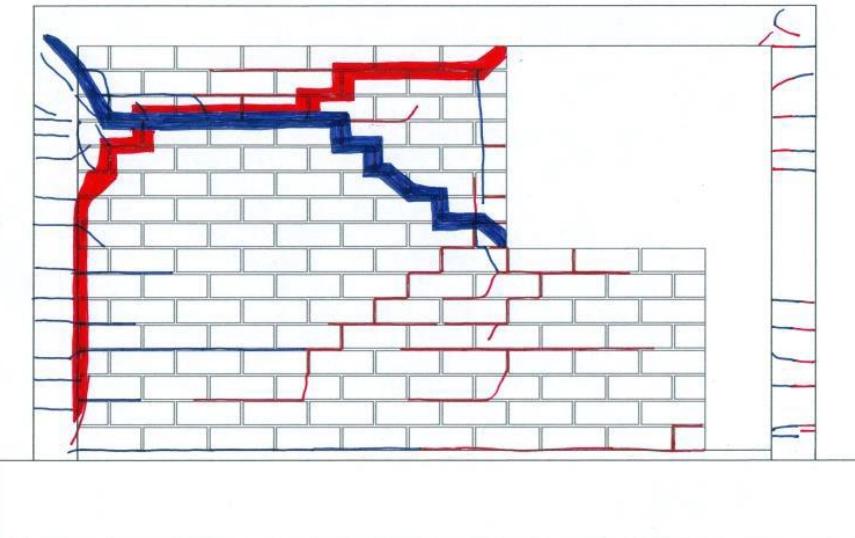
## Refuerzo de aberturas (ventanas & puertas)

- Consecuencias de no reforzar con pilares de confinamiento las aberturas [8]



Pilar

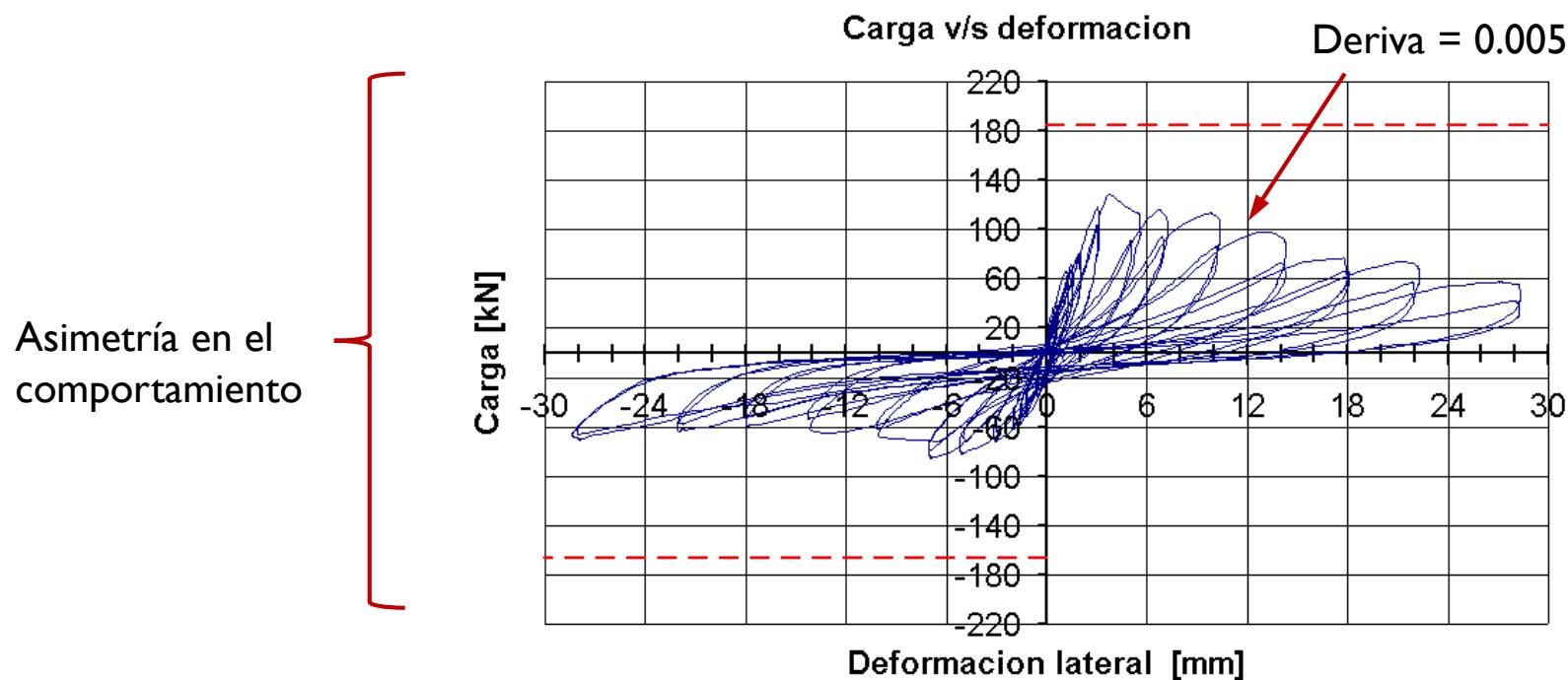
Armadura vertical



Albañilería confinada

## Refuerzo de aberturas (ventanas & puertas)

- Consecuencias de no reforzar con pilares de confinamiento las aberturas [8]



## Unión entre los elementos

- La unión debe ser entre muros, pisos y techumbre. El edificio debe **trabajar como un todo** ante las acciones externas (e.g. sismo), con ello se evita el colapso parcial o total del sistema. → **Colocar refuerzos y elementos de unión.**



Albañilería sin refuerzos

Daños por falta de elementos  
de unión  
(Valparaíso 1906)



No hay integridad global

## Daños terremoto Darfield (NZ) de 2010 (M=7.1)

- Albañilería sin refuerzos



(b)



(b)

## Daños terremoto Darfield (NZ) de 2010 (M=7.1)

- Albañilería sin refuerzos



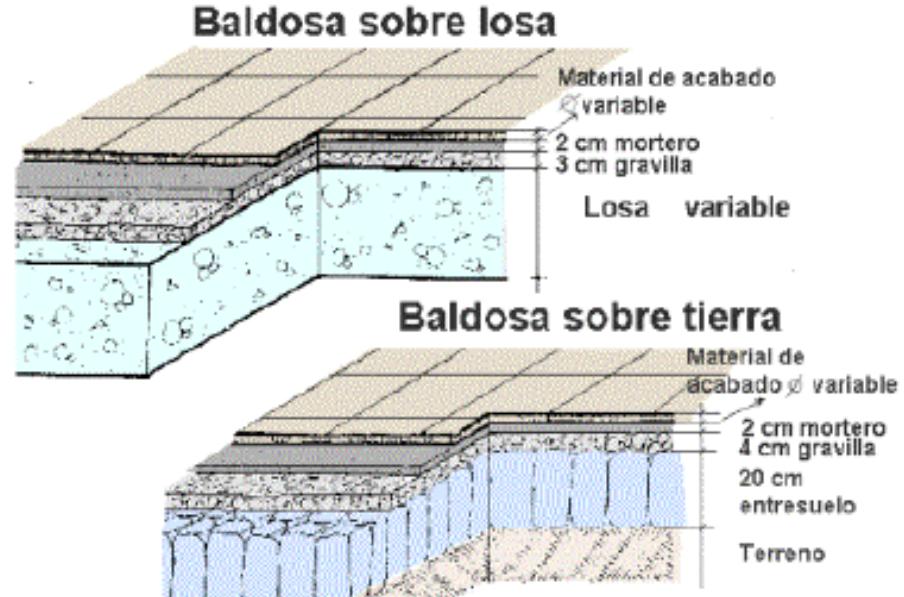
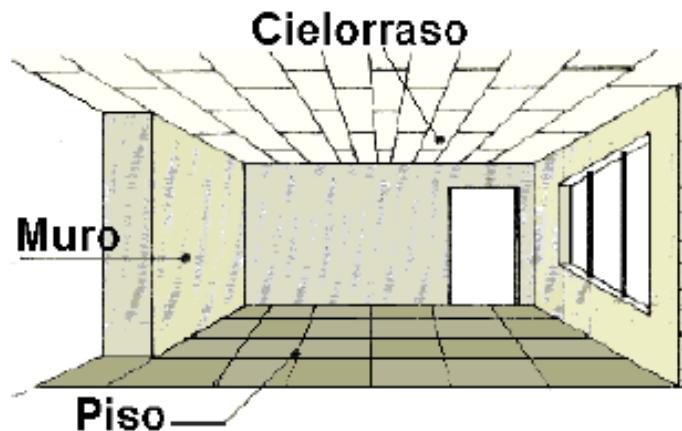
## Daños en 27F (Chile) 2010 (M=8.8)

- Albañilería sin refuerzos (Concepción)



## Elección de terminaciones

Masas    → demanda sísmica



Peso sísmico piso tipo:  $W_{PT} = 6.5 \sim 7.5 \text{ kN/m}^2$

Peso sísmico techumbre:  
 $\sim 0.7 W_{PT}$  (con losa de H.A.)  
 $\sim 0.4 W_{PT}$  (sin losa de H.A.)

## Especificaciones para el control de la ejecución

- Recomendaciones para controlar la ejecución desde el punto de vista de los **detalles de construcción** (juntas de construcción, relleno de huecos, tratamiento de los materiales, empalmes y anclajes de las barras de refuerzo), de la materialización de las **instalaciones** y de la **mano de obra**, entre otros.

**“Una mala ejecución puede significar un deterioro en la resistencia ( $R_{es}$ ) y rigidez ( $K$ ) mayor que un 50%.”**

M.R.Maheri [9]

## ¿Calidad de la ejecución?

- ☐ Juntas verticales sin mortero



## Muros sin junta vertical

- Ladrillos hechos a máquina



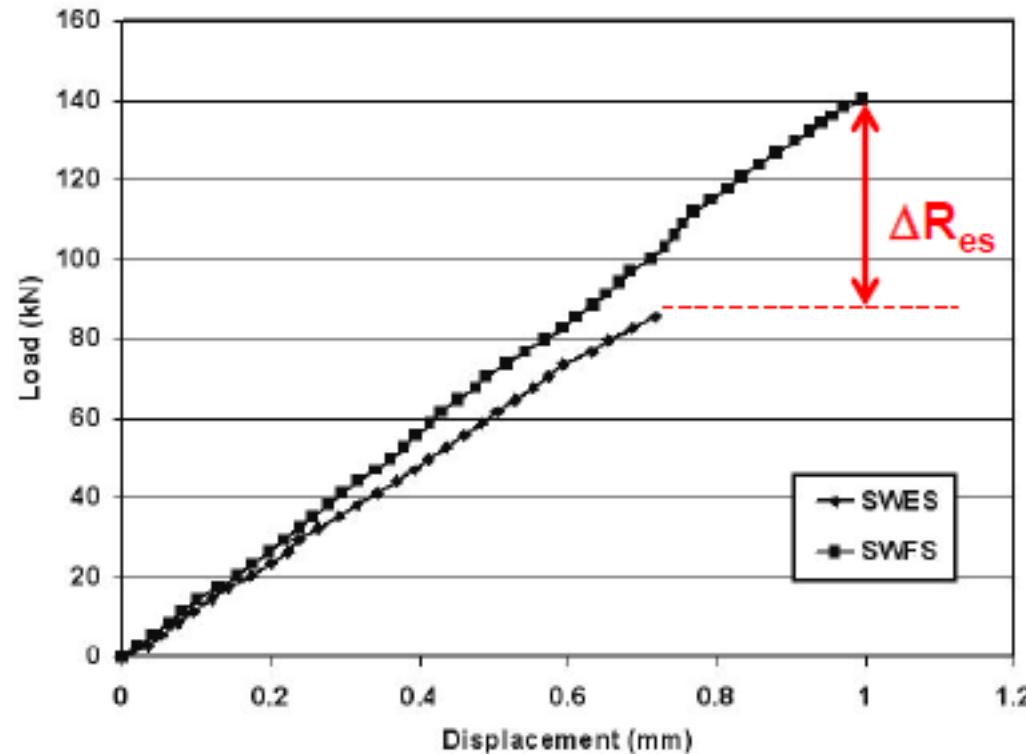
Muro sin junta vertical



Muro con junta vertical

## Muros sin junta vertical

- Ladrillos hechos a máquina



## Muros sin junta vertical

- Unidad artesanal



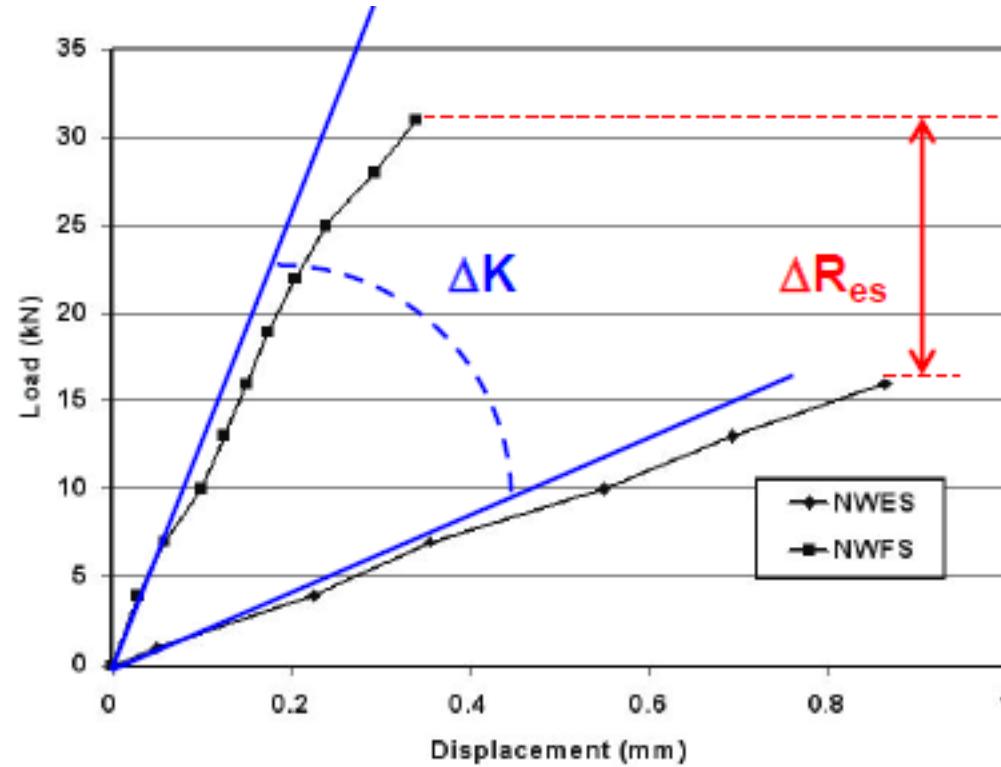
Muro sin junta vertical



Muro con junta vertical

## Muros sin junta vertical

- Unidad artesanal



## Elección del tipo de fundación

- Controlar los asentamientos diferenciales.
- Usar fundaciones de los muros adecuadas a las condiciones locales (suelo de fundación), de preferencia del tipo **corrida o continua**.
- Evitar construir sobre **arcillas expansibles o arenas saturadas licuables**.



Daños en suelo licuado. Tambo de Mora - Perú. Pisco 2007



(c)  
Daños por asentamiento de suelo. Darfield (NZ) 2010

## Referencias

- [1] CENAPRED (2000): “Métodos de refuerzo para la vivienda rural de Autoconstrucción. Primera jornada nacional de simulacros para la prevención de riesgos”. Centro Nacional de Prevención de Desastres, Ciudad de México.
- [2] Paulay, T. & M.J.N. Priestley (1992): “Seismic Design of Reinforced Concrete and Masonry Buildings”. John Wiley & Sons.
- [3] Alcocer S.M., R. Meli, T.A. Sánchez, L.E. Flores (1994): “Comportamiento ante cargas laterales de sistemas de muros de mampostería confinada con diferentes grados de acoplamiento a flexión”. Centro Nacional de Prevención de Desastres de México.
- [4] Jaramillo C. (2011): “Estudio de los efectos del terremoto del 27 de febrero de 2010 en las viviendas de la Sexta Región”. Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.
- [5] Astroza M., O. Moroniet, S. Brzev y J. Tanner (2012): “Seismic Performance of Engineered Masonry Buildings in the 2010 Maule Earthquake”. Earthquake Spectra: June 2012, Vol. 28, No. S1, pp. S385-S406.
- [6] Tomažević, M.; Lutman, M.; Petkovic, L. (1996): “Seismic behavior of masonry walls: experimental simulation”. Journal of Structural Engineering, 122 (9), 1040-1047.

## Referencias

- [7] Moreira, S. (2014): "Seismic retrofit of masonry-to-timber connections in historical constructions". Tesis de doctorado, Universidad de Minho, Portugal.
- [8] Ogaz O. (2004): "Estudio experimental de muros de albañilería con aberturas y cuantía reducida de refuerzo sujetos a carga lateral alternada". Memoria para optar al título de Ingeniero Civil, Universidad de Chile, Santiago.
- [9] Maher M.R. et al. (2011): "The influence of mortar head joints on the in-plane and out-of-plane seismic strength of brick masonry walls". IJST, Transactions of Civil and Environmental Engineering, Vol. 35, No. C1, pp 63-79