



# Diseño a la Rotura por Carga Sísmica Coplanar



San Bartolomé

## INTRODUCCIÓN A LA NORMA E.070



**Albañilería Armada**



**Albañilería Confinada**

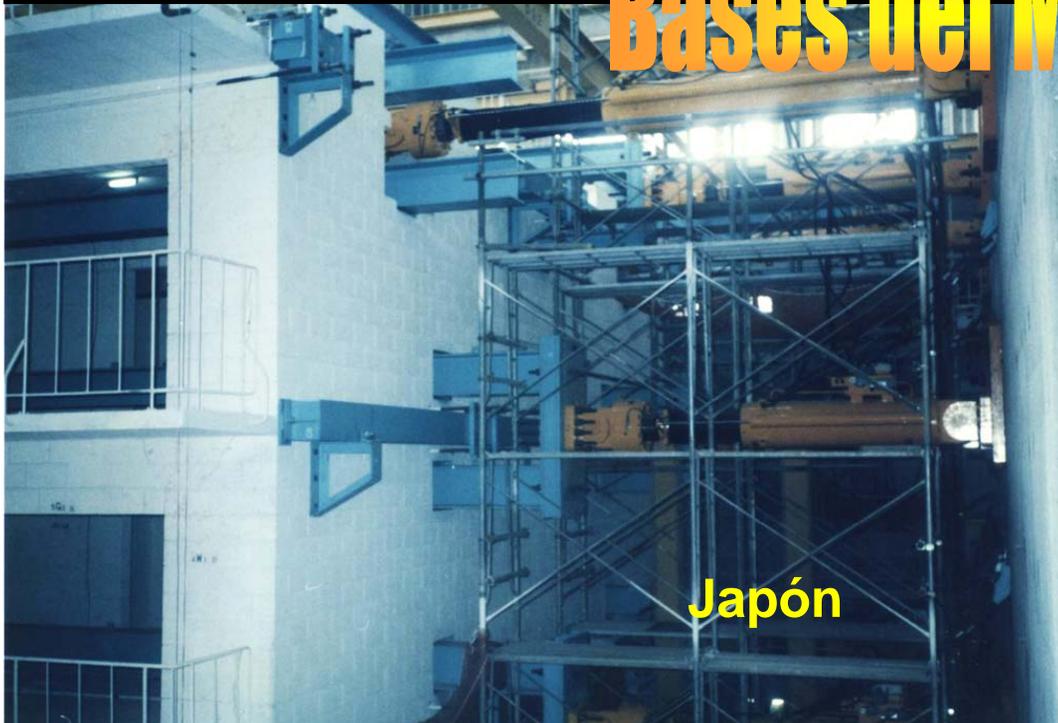


Lecciones dejadas por los sismos



Resultados experimentales

# Bases del Método



Japón



Estudios teóricos

# ¿Porqué diseñar a la Rotura?

La norma de 1982 empleaba un método de diseño elástico admitiéndose que el cortante actuante, para  $c = 0.16$ , no debía ser mayor que el cortante admisible, con  $FS = 2$ .

Norma E.030,  $c = ZUSC / R = 0.16 \rightarrow a = 0.12g$

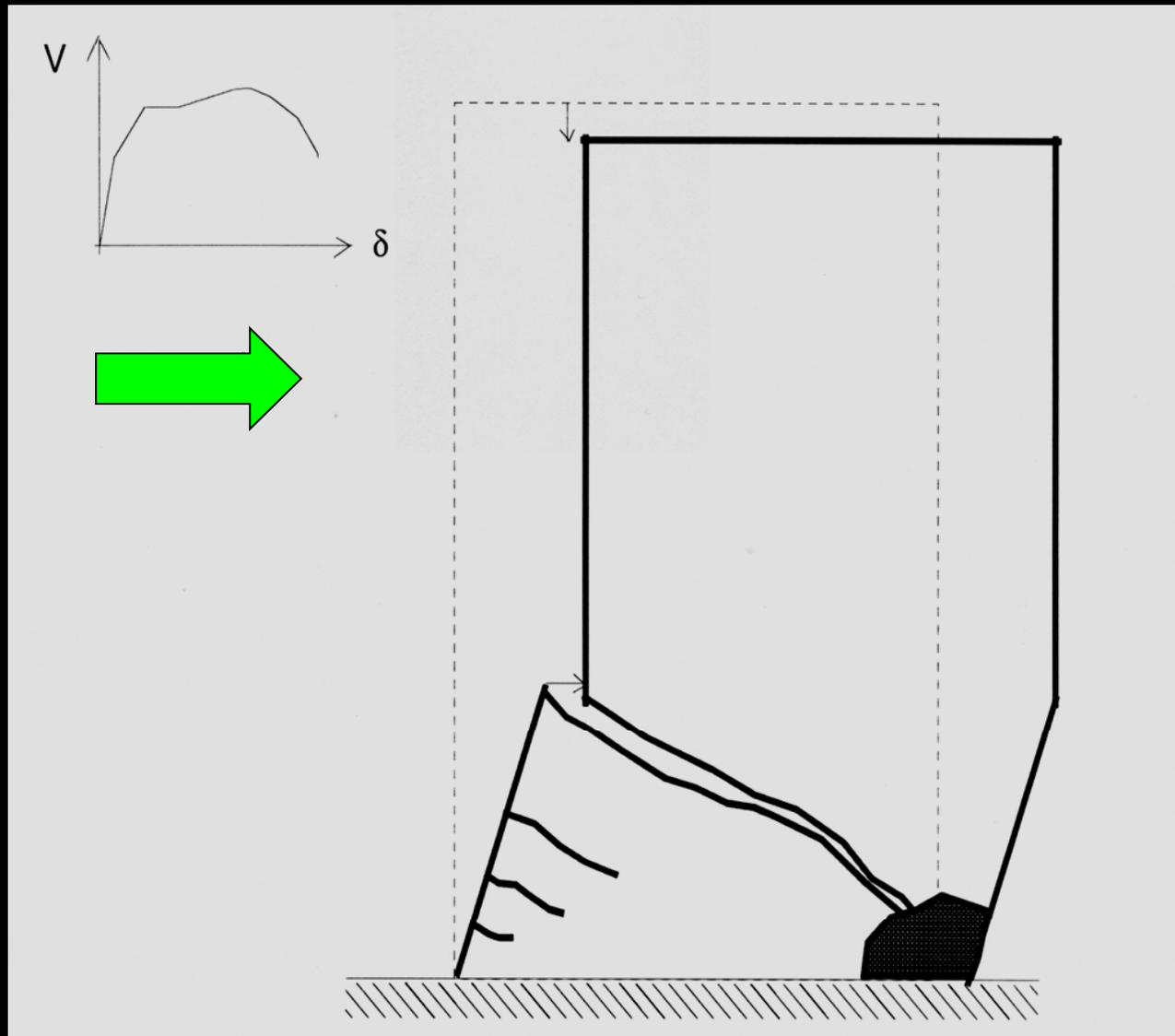
(para  $R = 6$ ,  $Z = 0.4$ ,  $U = 1$ ,  $S = 1$ ,  $C = 2.5$ )  $\rightarrow V < Va = VR / FS$

SI OCURRIESE EN EL PERÚ UN SISMO COMO EL DE 1985 EN CHILE, CON  $a = 0.65g$ , los esfuerzos se incrementarían:

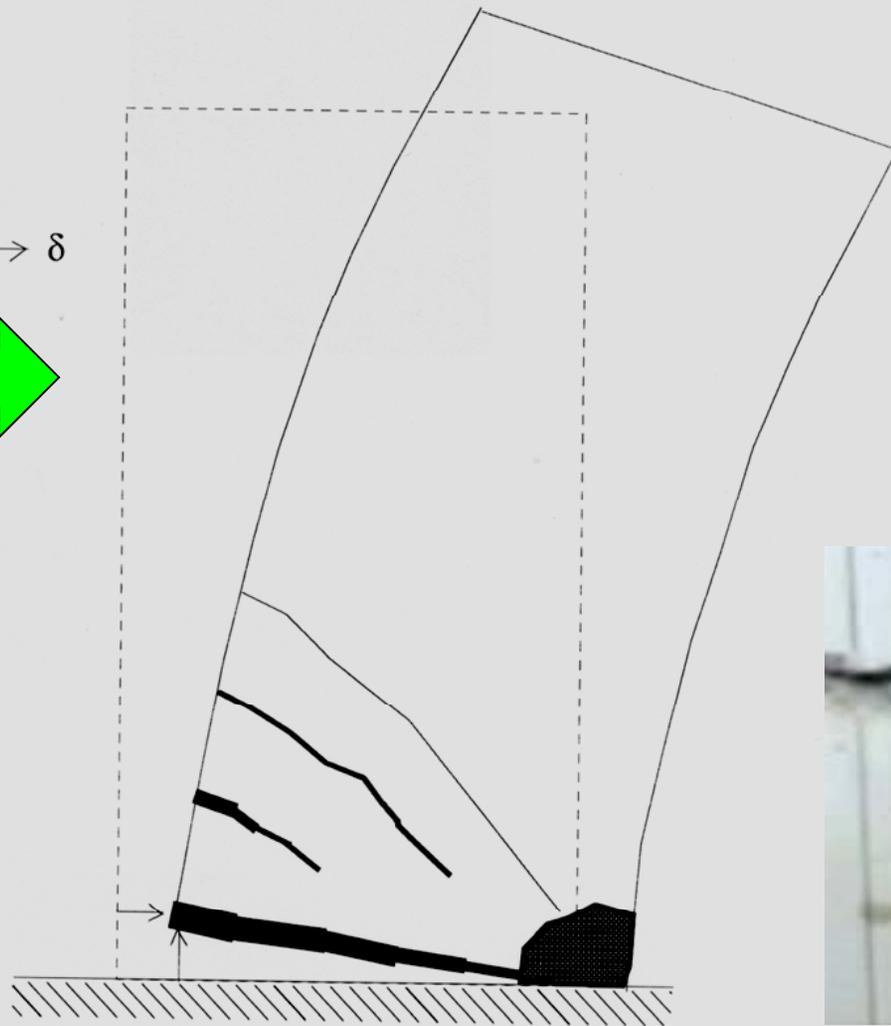
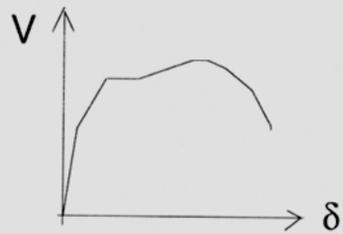
$$0.65g / 0.12g = 5.4 > FS = 2$$



LOS MUROS FALLARÍAN POR CORTE



**FALLA POR CORTE Y SUS DERIVACIONES  
(deslizamiento y giro con la trituración del talón  
y pandeo del refuerzo vertical)**



## FALLA POR FLEXIÓN Y SUS DERIVACIONES

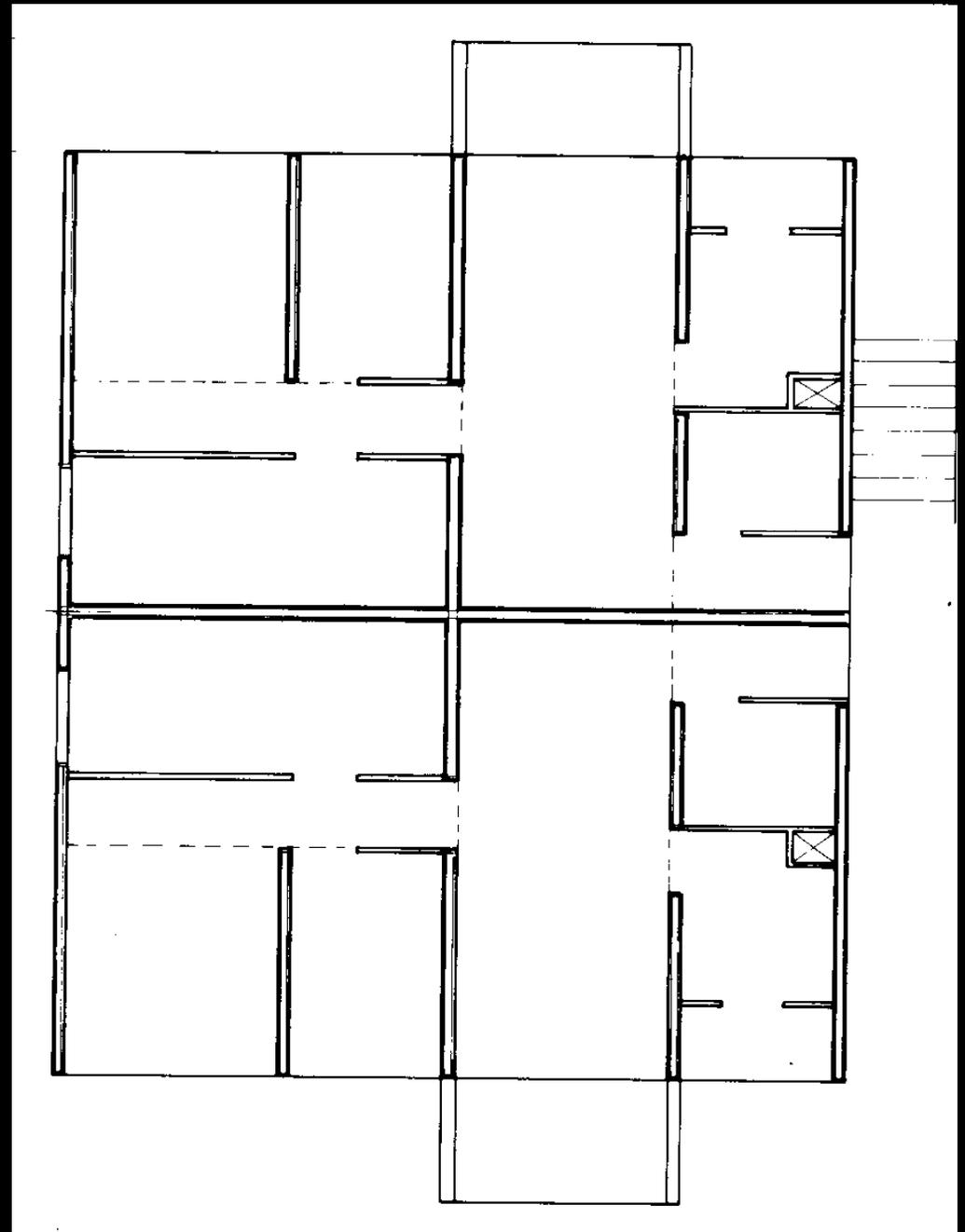
Trituración del talón  $\rightarrow$  pandeo del refuerzo vert.

Deslizamiento  $\rightarrow$  cizalle del refuerzo vertical

Ejemplo de una  
Falla por Flexión:

POBLACIÓN  
CANAL BEAGLE,  
CHILE, 1985

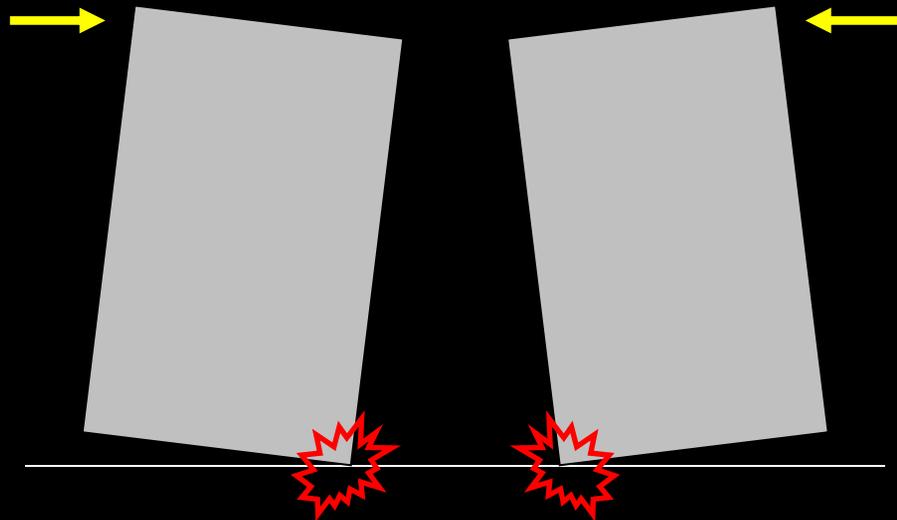
**EDIFICIOS DE 4  
Y 5 PISOS,  
ESTRUCTURADOS  
CON PLACAS DE  
CONCRETO ARMADO**



**fisuras por corte  
en las placas**



**FALLA POR  
FLEXOCOMPRESIÓN  
CON TRITURACIÓN  
DE TALONES Y  
PANDEO DEL  
REF. VERTICAL**





**FALLA POR FLEXIÓN  
QUE DEGENERÓ EN  
DESLIZAMIENTO**



**ROTURA POR CIZALLE  
DEL REF. VERTICAL**



## PLACAS

### Fallas por Deslizamiento



## Defectos en la Construcción

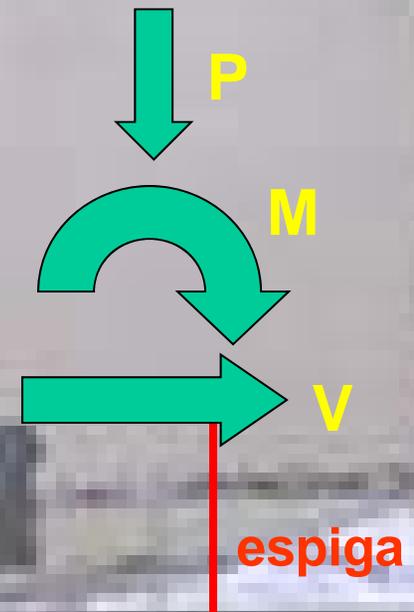
segregación  $f'c = ??$



juntas lisas y traslape

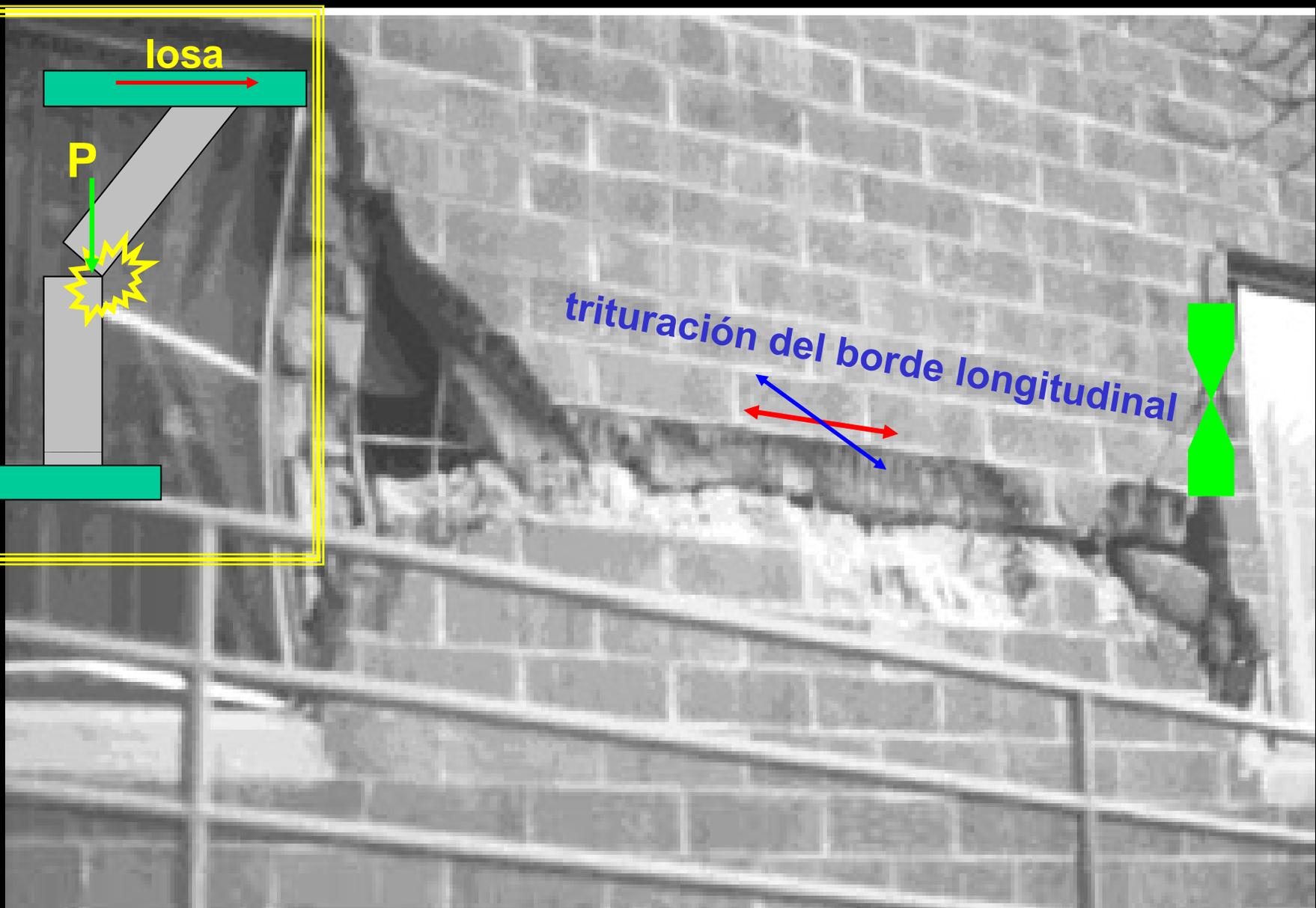
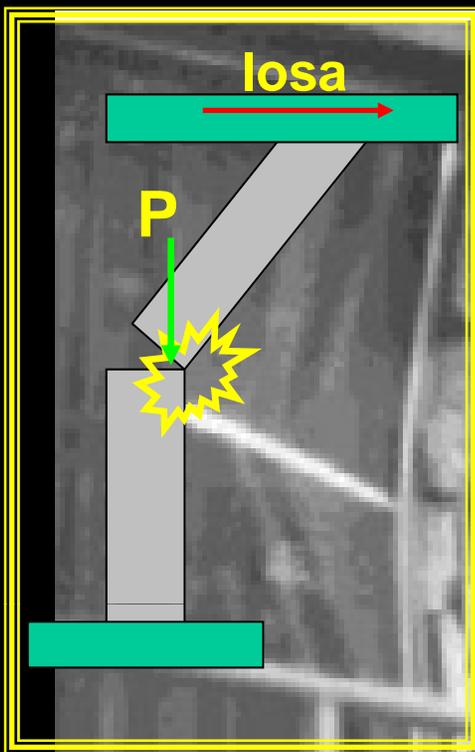
## Defectos en el Diseño Estructural

El refuerzo vertical debería diseñarse para que absorba la acción simultánea de  $M$  y  $V$





**FALLA POR DESLIZAMIENTO EN ALBAÑILERÍA ARMADA,  
CON DISLOQUE POR SISMO ORTOGONAL, CHILE, 1985**

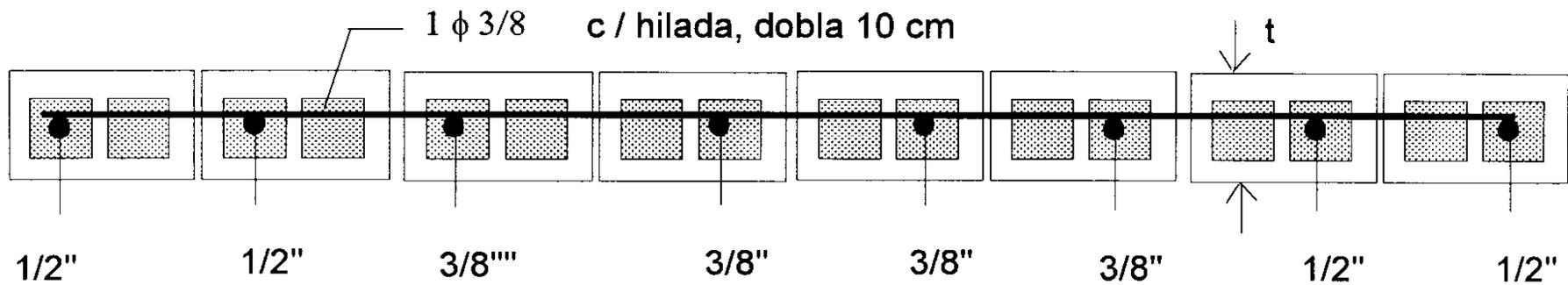


**Disminución sustancial del área de corte en una falla tipo reloj de arena, causada primeramente por deslizamiento. Northridge.**



**Disminución sustancial del área de corte en una falla tipo reloj de arena y pandeo del refuerzo vertical interno. Chile-2010.**

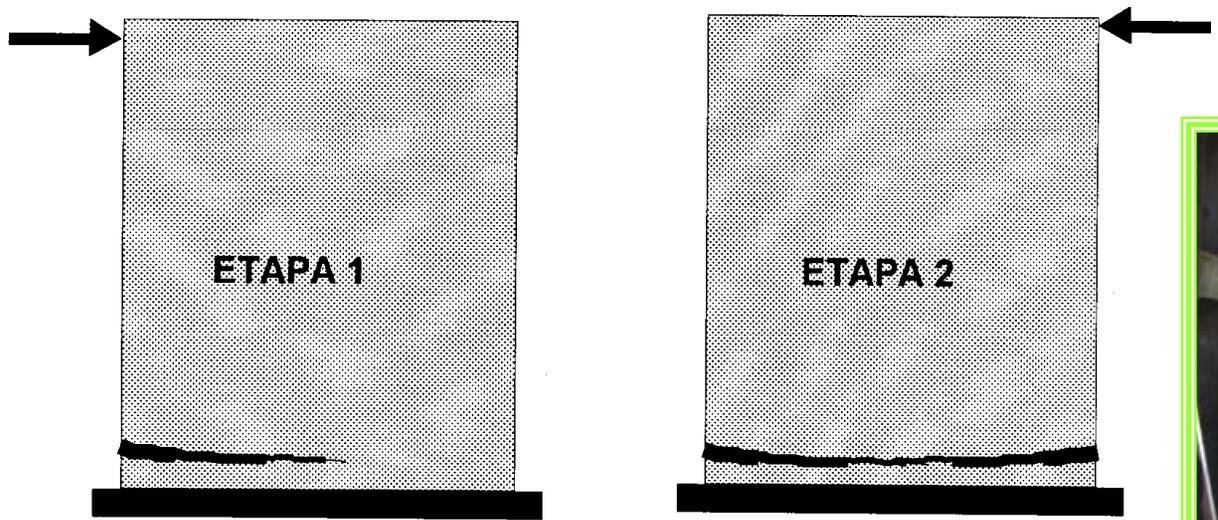




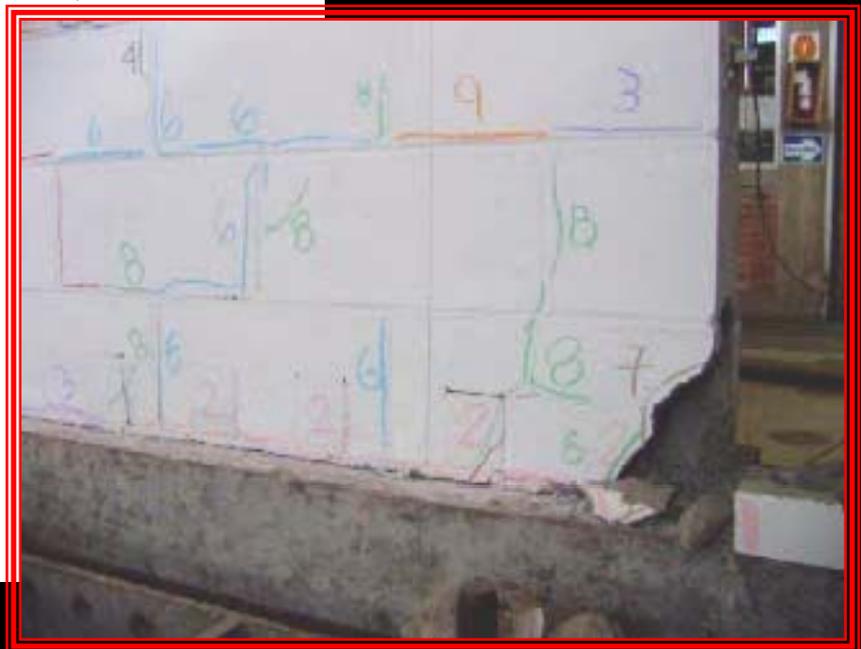
***DISPOSICIÓN USUAL DEL REFUERZO VERTICAL EN MUROS ARMADOS***

**Normas: USA,  
Nueva Zelanda.  
El refuerzo se  
distribuye a lo  
largo del muro.  
En los extremos  
el refuerzo es  
escaso.**





ENSAYOS EN MUROS ARMADOS CON REF. VERT. DISTRIBUIDO (no controlan el corrimiento de la fisura longitudinal producida por flexión)



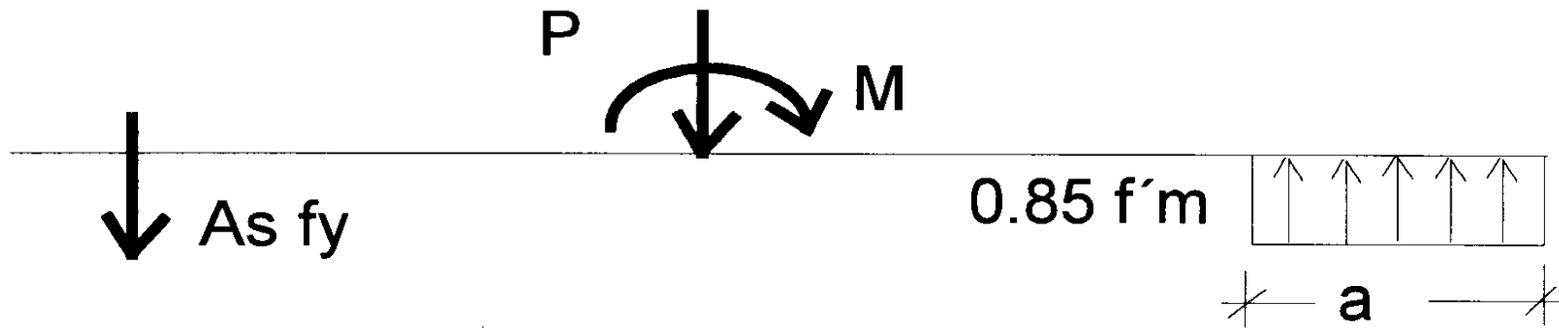


**CONCENTRACIÓN  
DEL REF. VERT. EN  
EXTREMOS, SIN  
REFUERZO EN EL  
INTERIOR.**

**En las normas japonesa y mexicana, se concentra el refuerzo en los extremos.**



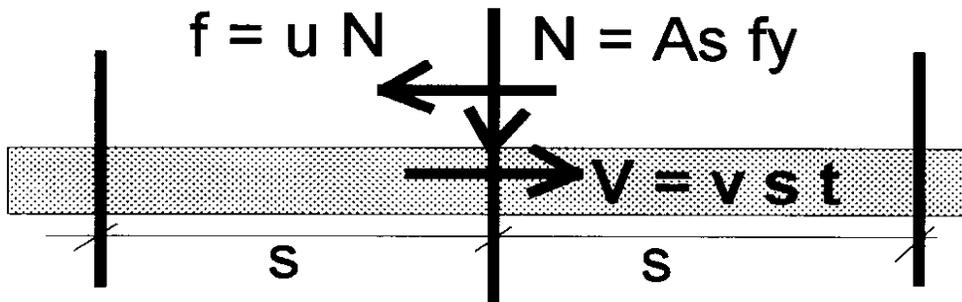
**deslizamiento**



**DISEÑO CONCENTRANDO EL REFUERZO POR FLEXIÓN EN EXTREMOS**

**s**

**Norma peruana E.070**



$$v s t = u A s f_y$$

$$\frac{A s}{s t} = \frac{v}{\mu f_y} = 0.001$$

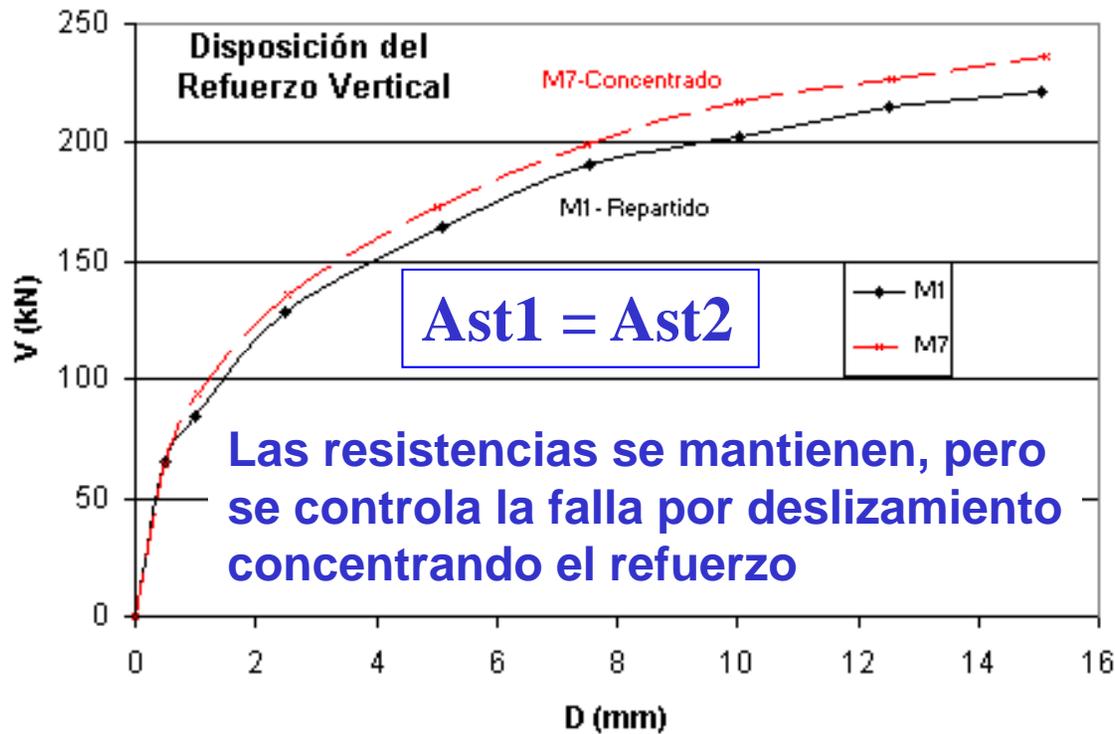
**CUANTÍA DE REFUERZO VERTICAL MÍNIMA POR CORTE -FRICCIÓN EN LA ZONA CENTRAL, CONSIDERANDO  $v = 4.2 \text{ Kg/cm}^2$  Y  $u = 1$**



Repartido: Ast1

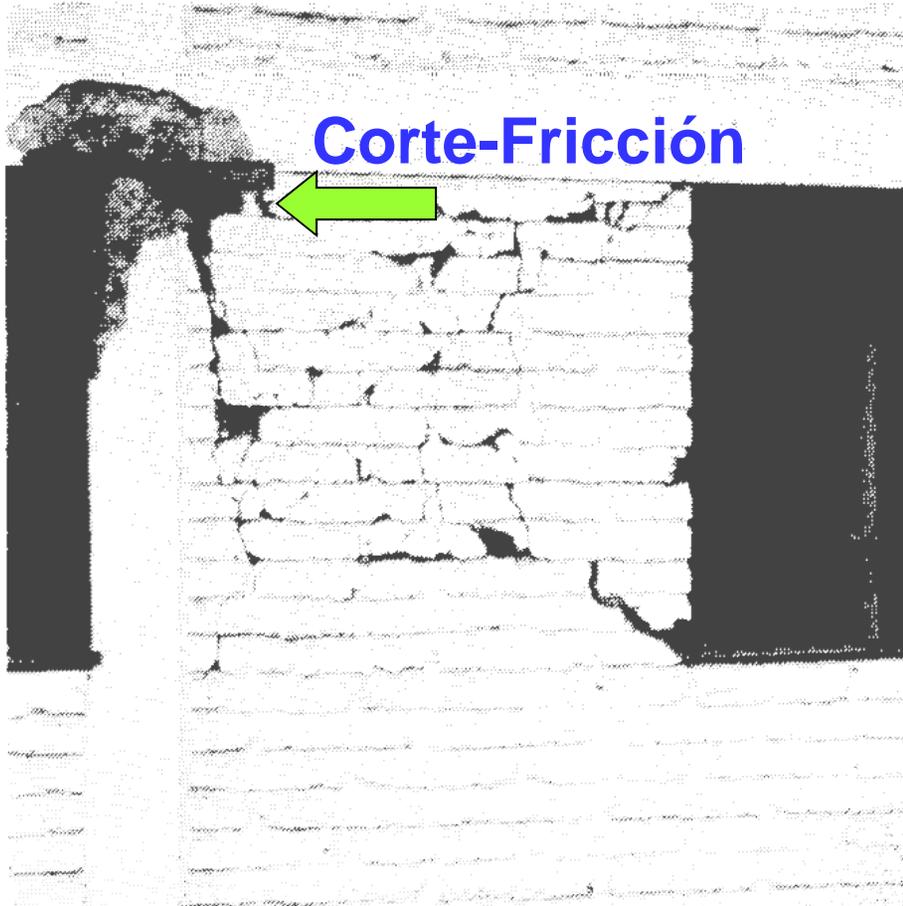


Concentrado: Ast2





**MURO CONFINADO, FALLA POR CORTE QUE DEGENERÓ EN DESLIZAMIENTO**

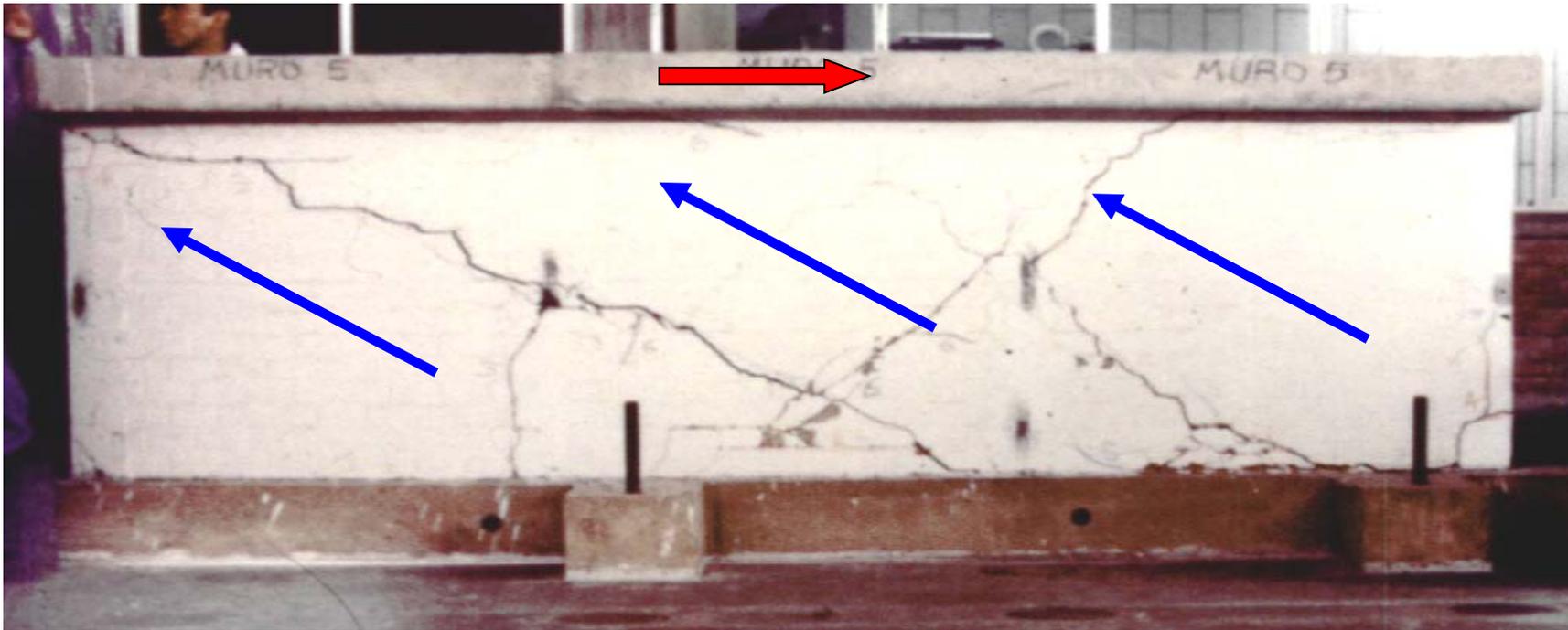


## FALLA POR CORTE-FRICCIÓN EN LA UNIÓN SOLERA-COLUMNA, Chile, 1985



**FALLA POR CORTE-  
FRICCIÓN EN LA BASE.  
Los estribos no funcionan  
para este tipo de falla.**

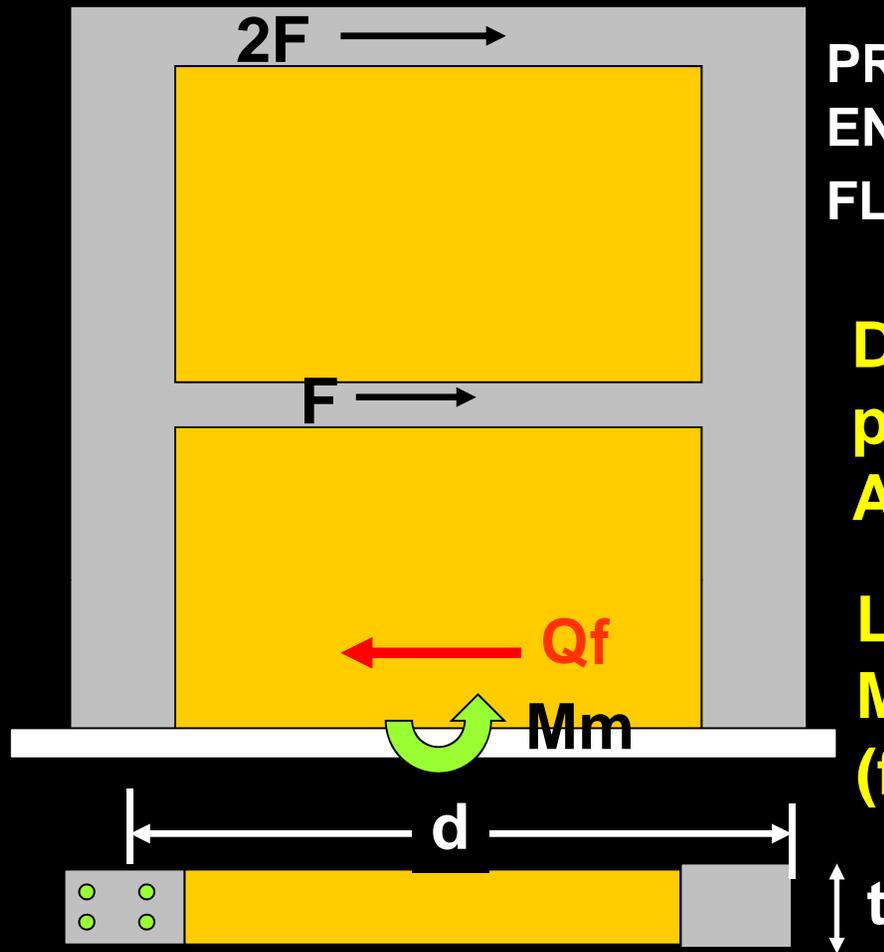




**POTENCIAR LAS COLUMNAS  
EXTREMAS PARA IMPEDIR  
EL DESLIZAMIENTO, DE ESTA  
MANERA LAS FRANJAS NO  
AGRIETADAS CONTINUARÁN  
APORTANDO RESISTENCIA**



# **Predicción de Resistencias y del Tipo de Falla**



**PREDICCIÓN DE LA RESISTENCIA  $Q_f$  EN EL MECANISMO DE FALLA POR FLEXIÓN EN UN MURO EN VOLADIZO**

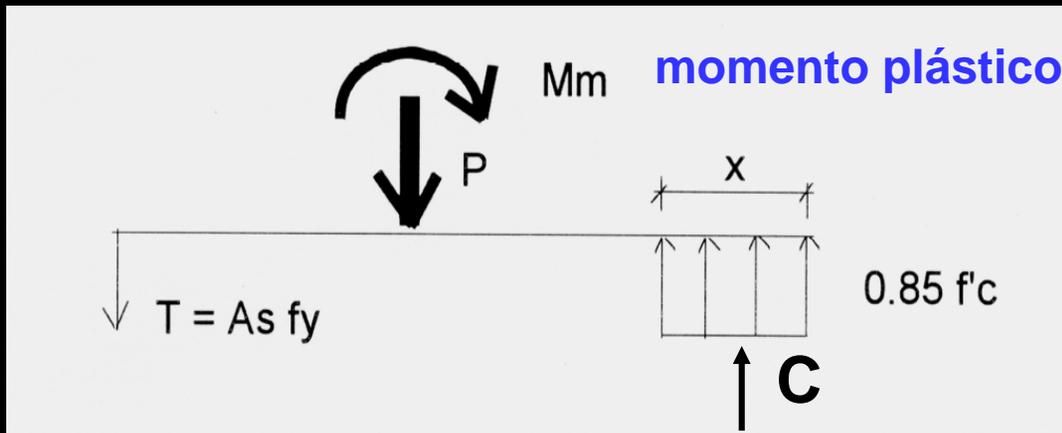
**Determinación de “ $M_m$ ” por equilibrio:**

$$A_s f_y + P = C = 0.85 f'_c t x \rightarrow x$$

**Luego:**

$$M_m = A_s f_y (d - x/2) + P (L - x)/2$$

(función de  $A_s$  y  $P$ )

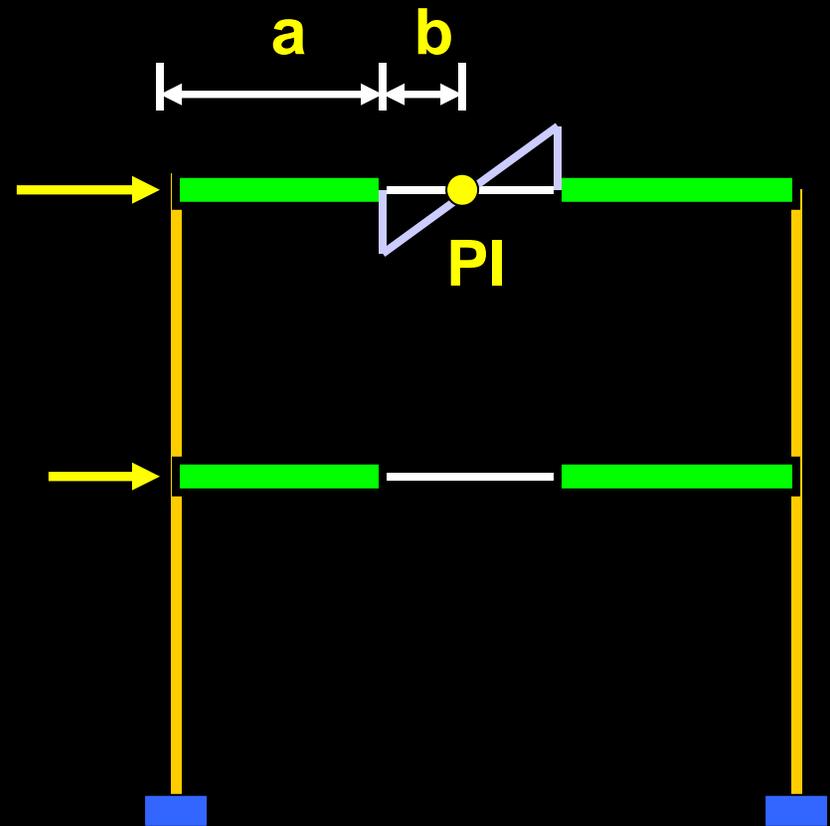


**Equilibrio global:**

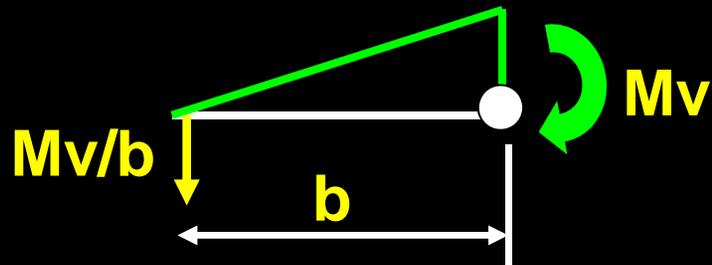
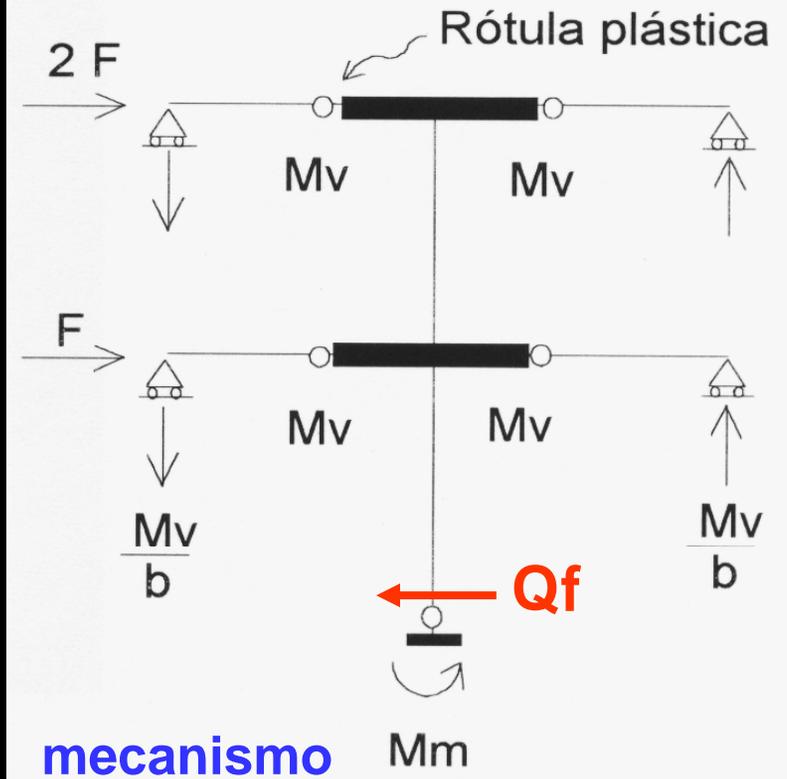
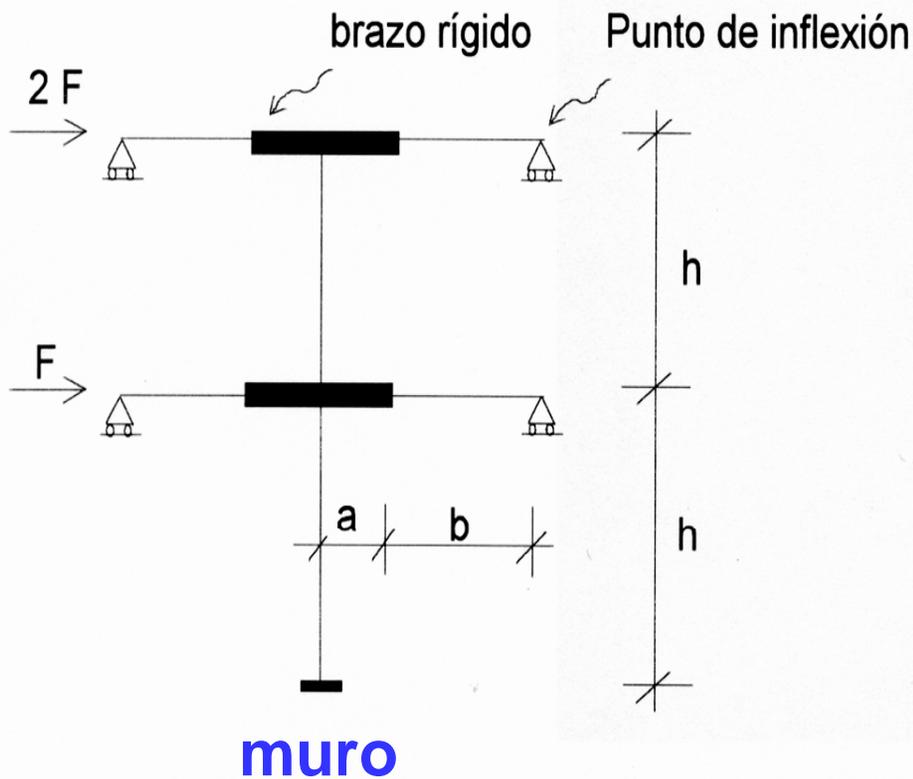
$$M_m = \sum F_i h_i \rightarrow F \rightarrow$$

$$Q_f = \sum F_i$$

Para un caso más complicado, donde hay vigas dinteles:



se asume que los puntos de inflexión están localizados el el centro de las vigas



Por equilibrio global se halla  $F$ , luego:  $Qf = \sum Fi$

En general,  $Qf$  es función de  $Mm$ , y  $Mm$  es función de  $As$  y  $P$

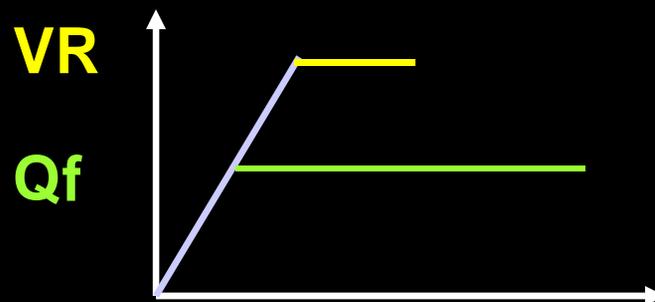
# PREDICCIÓN DEL TIPO DE FALLA

**$Q_f$  = CORTANTE ASOCIADO AL MECANISMO DE FALLA POR FLEXIÓN (depende de  $A_s$  y  $P$ )**

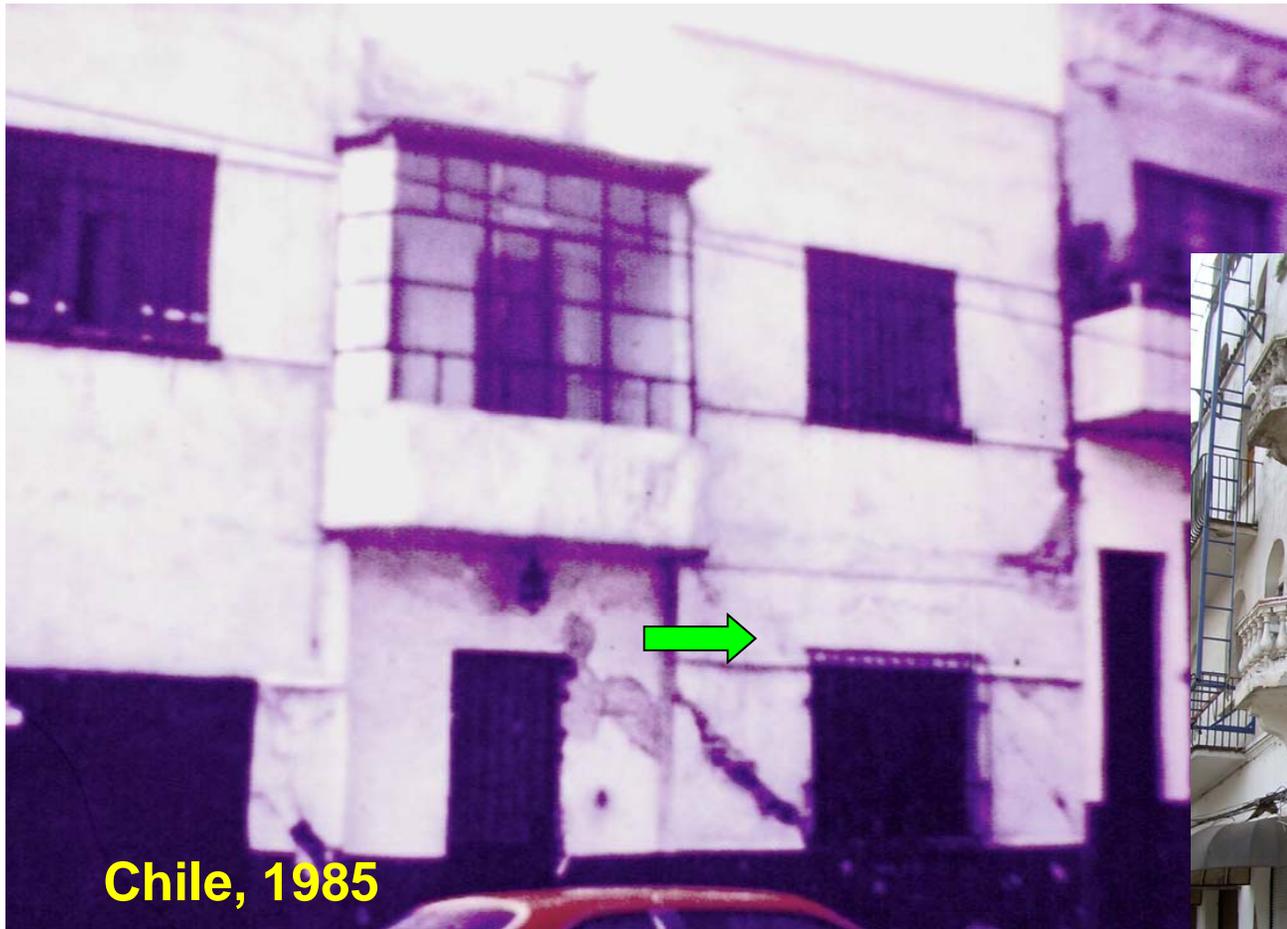
**$VR$  = CORTANTE ASOCIADO AL MECANISMO DE FALLA POR CORTE (fórmula empírica)**

**TEÓRICAMENTE:**

**sí  $Q_f < VR$             ¡ FALLA POR FLEXIÓN !**



**Sin embargo, ...**



**ALBAÑILERÍA CON “As = 0”, FALLA POR CORTE**

CONSTRUCCIONES  
DE  
ALBAÑILERIA

-Comportamiento Sísmico y  
Diseño Estructural-

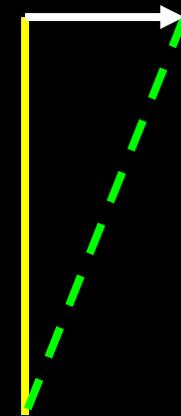
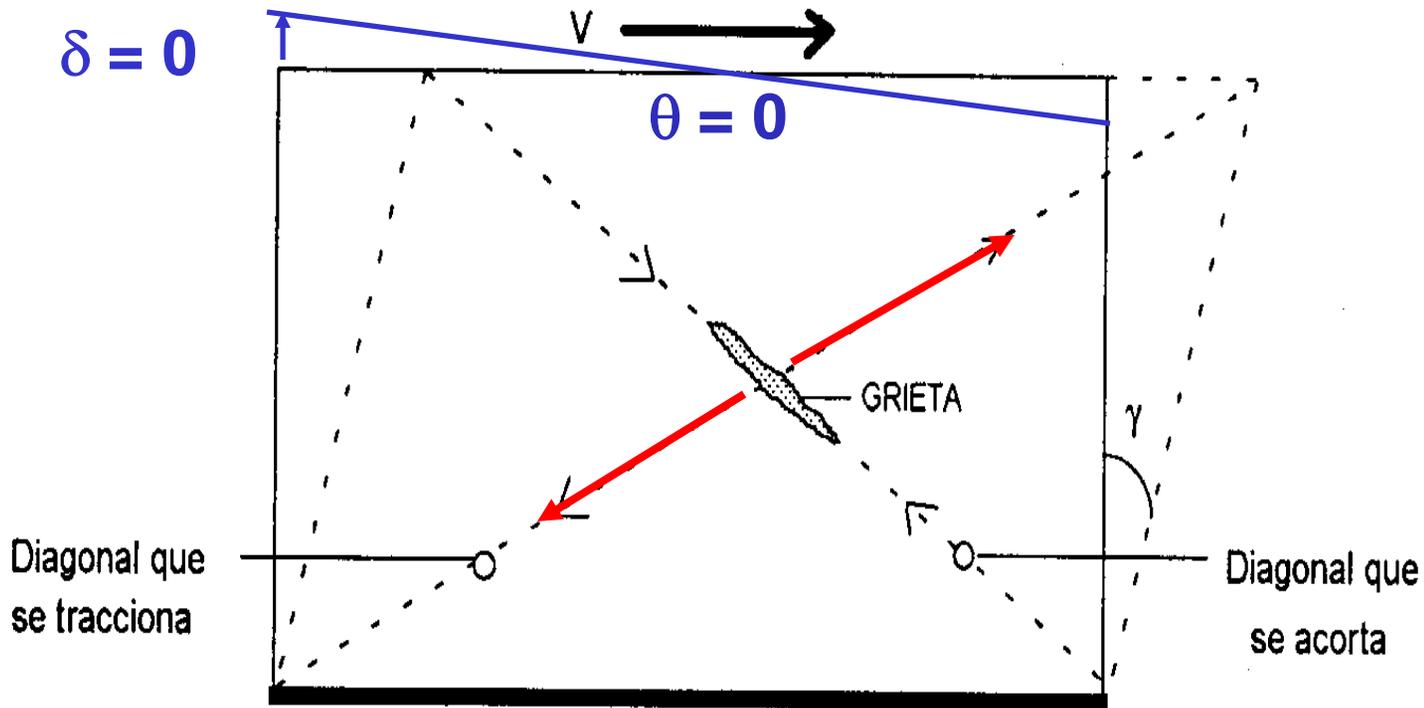
ANGEL SAN BARTOLOME



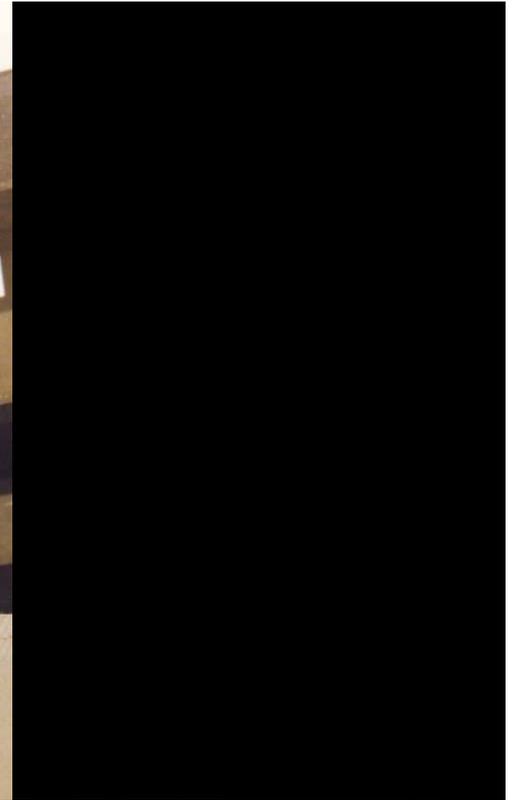
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERU  
FONDO EDITORIAL 1994



En un estado de corte puro, el refuerzo vertical no trabaja.



**DISTORSIÓN ANGULAR POR CORTE PURO**



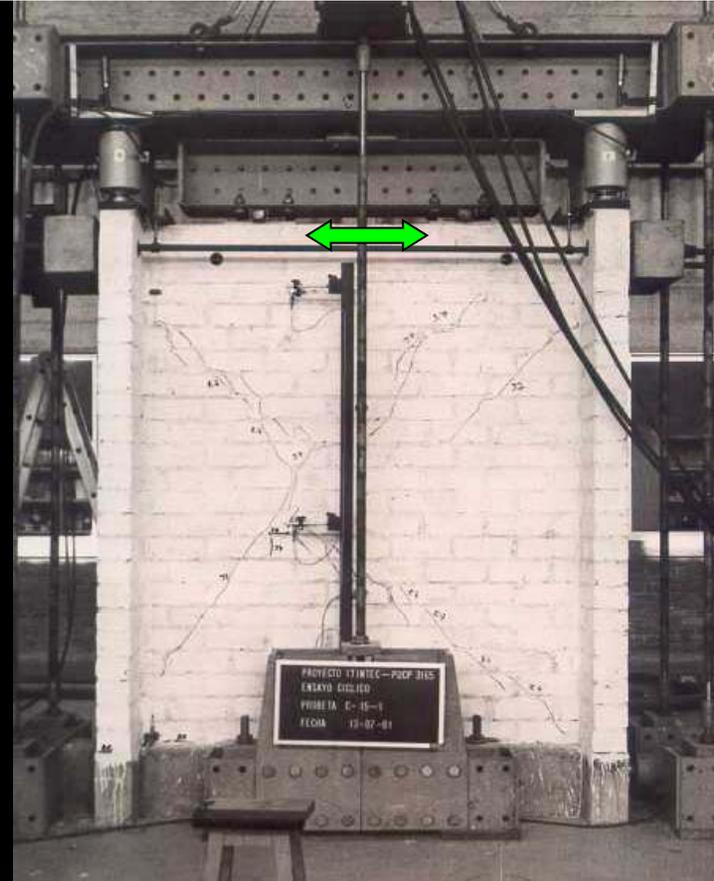
**ALBAÑILERÍA NO REFORZADA  
CON ALTA DENSIDAD DE MUROS  
se deforma principalmente por corte**

**CONTEMPLADO EN EL DISEÑO  
A LA ROTURA**



# Albañilería No Reforzada

Falla controlada en desplazamiento por el actuador. En un edificio, la losa de techo conecta a todos los muros, y los reforzados son los que controlan el desplazamiento de los no reforzados, éstos podrían ser incluso portante de carga vertical.

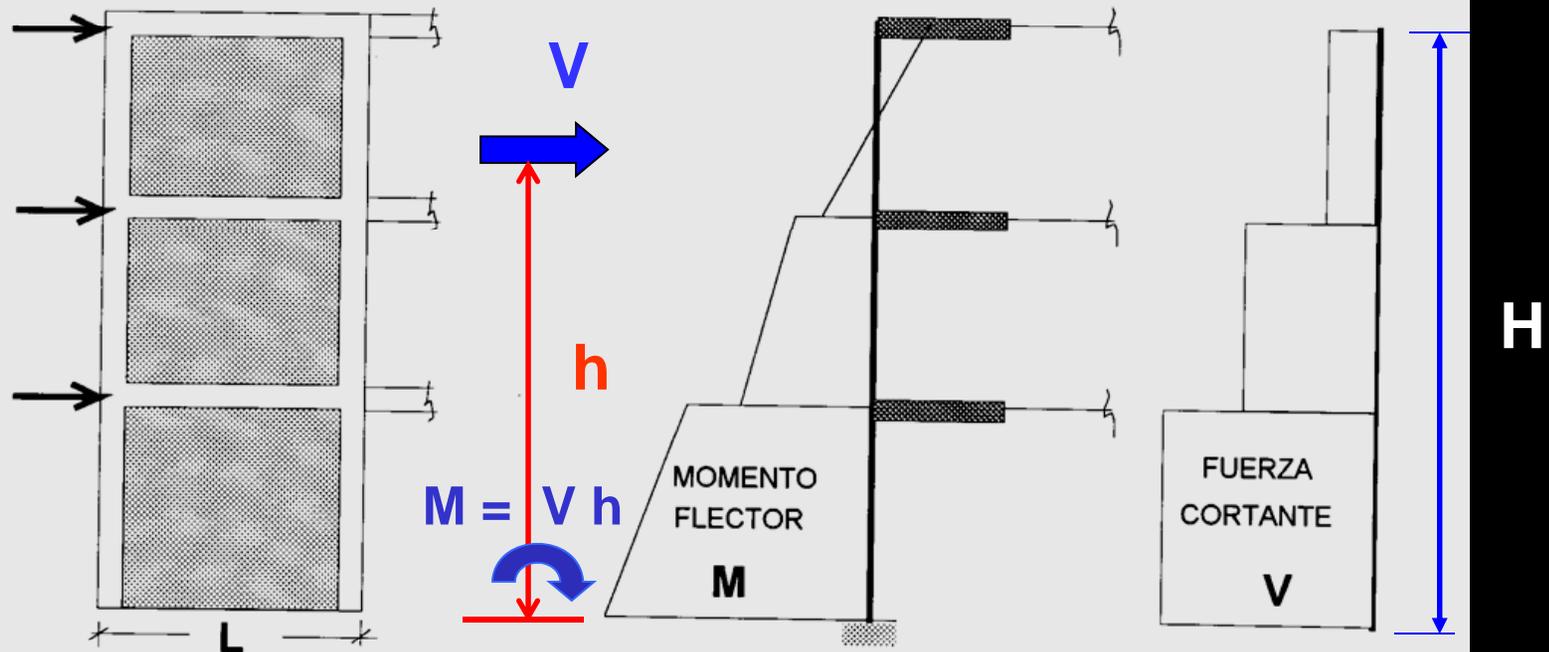


# Parámetros que intervienen en el Comportamiento Sísmico

¿PORQUÉ  
FALLA EL  
PRIMER PISO?



# Efectos de la Esbeltez sobre la Resistencia al Corte



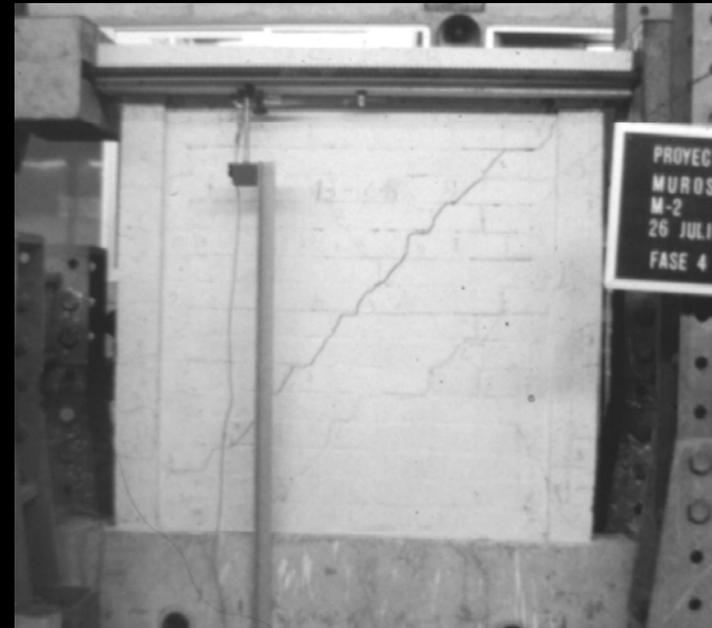
$$\text{Esbeltez} = \frac{M}{V L} = \frac{V h}{V L} = \frac{h}{L}$$

Esbeltez para acciones coplanares, "h" es una fracción de H

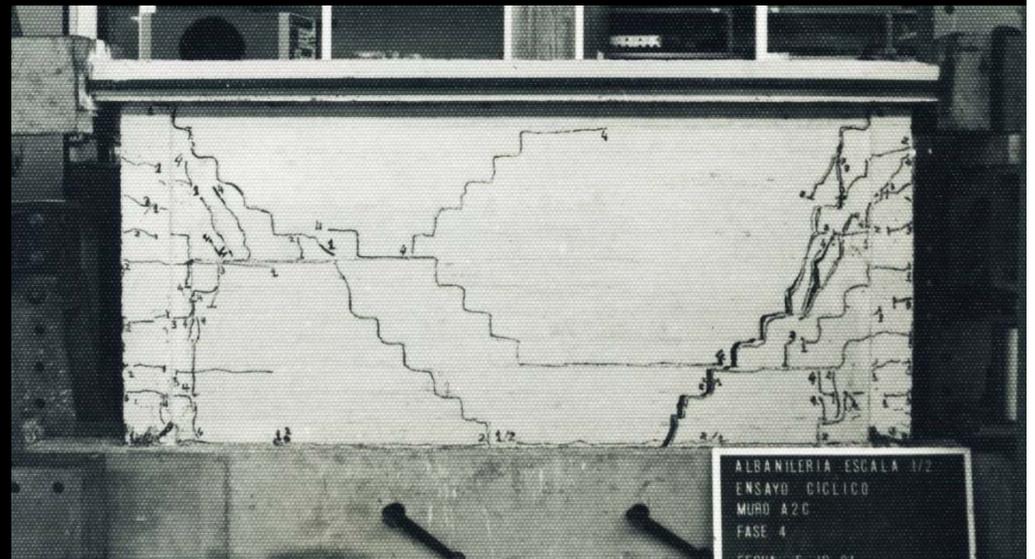
# ESTUDIO EXPERIMENTAL DE LA ESBELTEZ

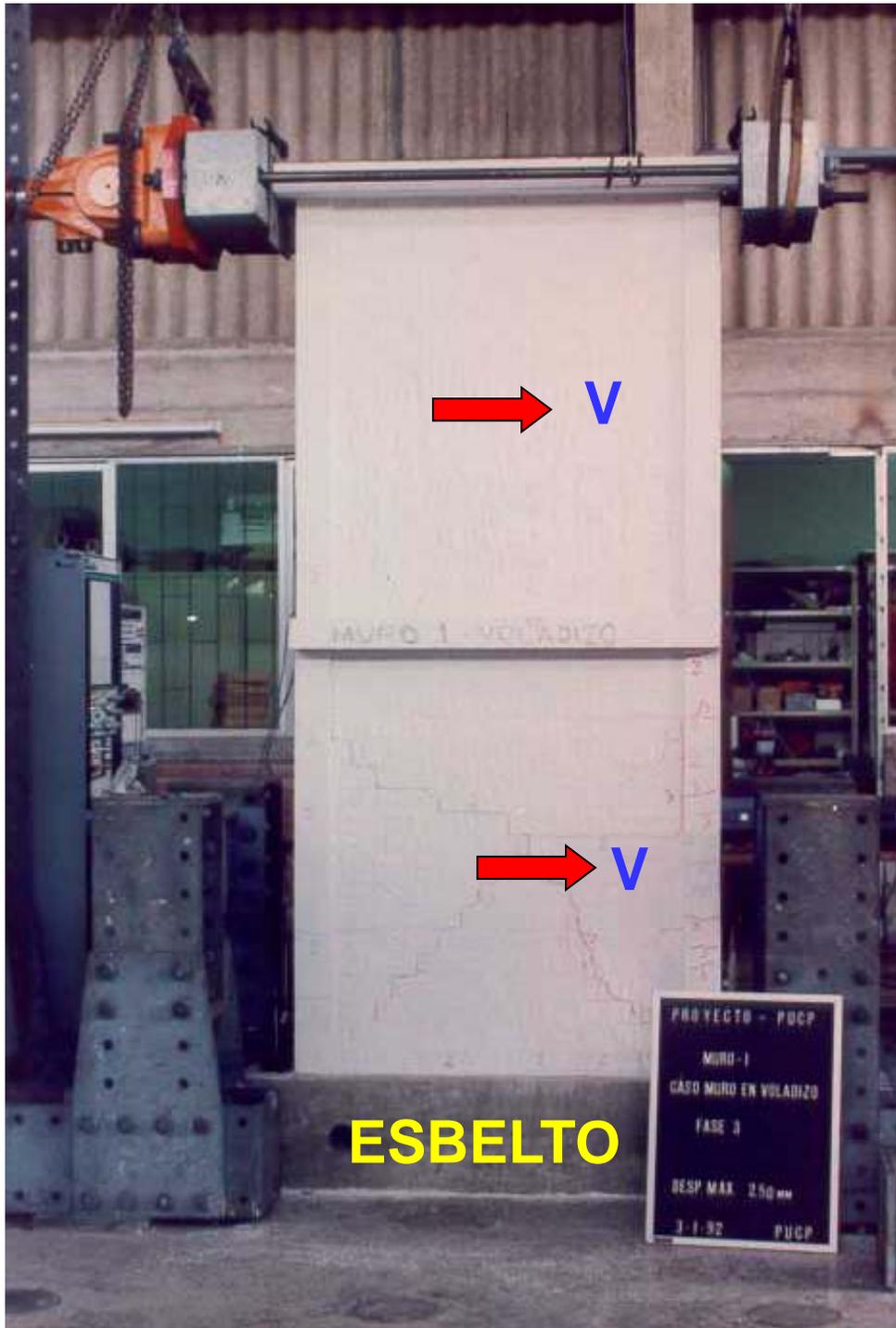


**ALARGADO**



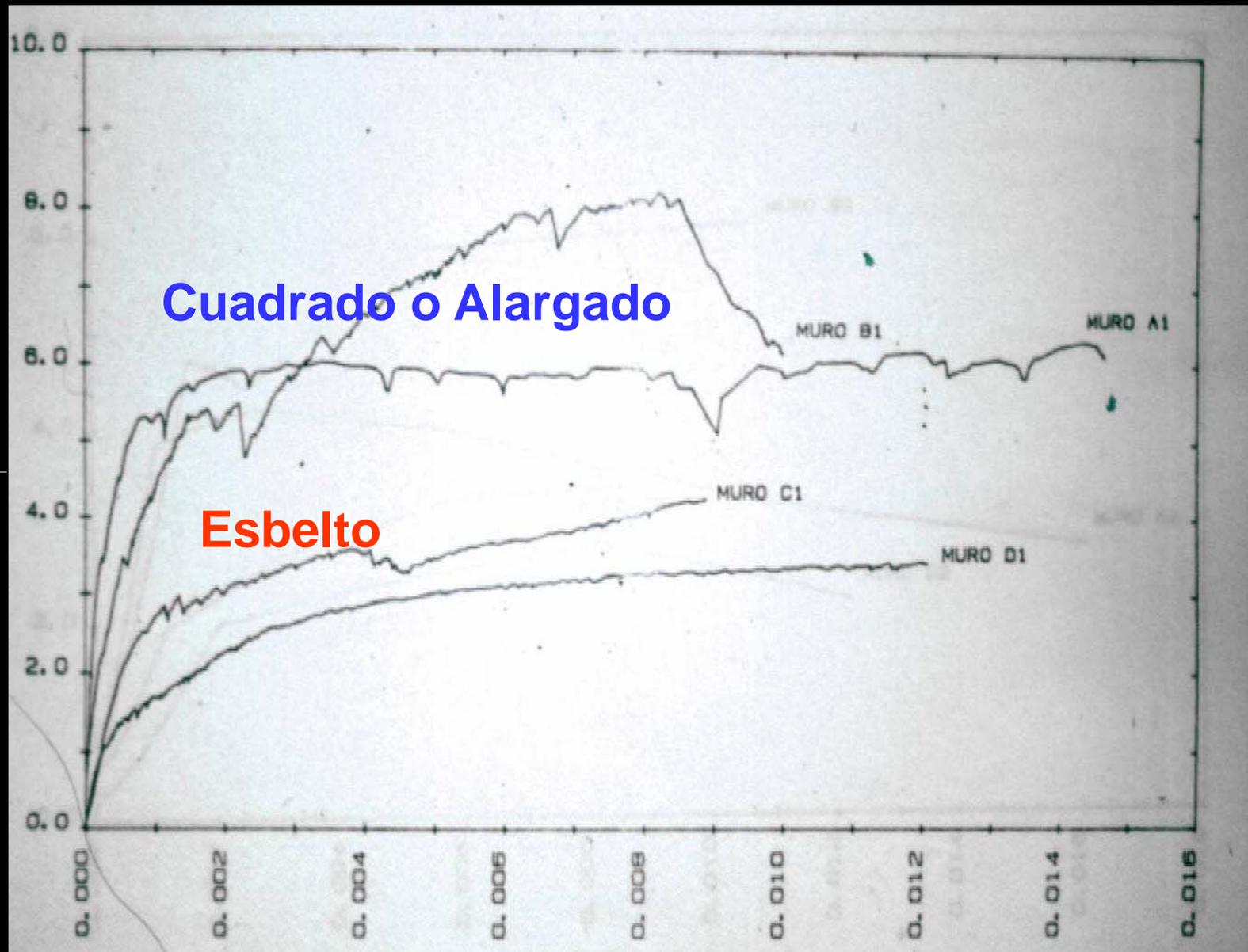
**CUADRADO**





**M1 > M2**

**Esf.  
Cort.  
(kg/cm<sup>2</sup>)**

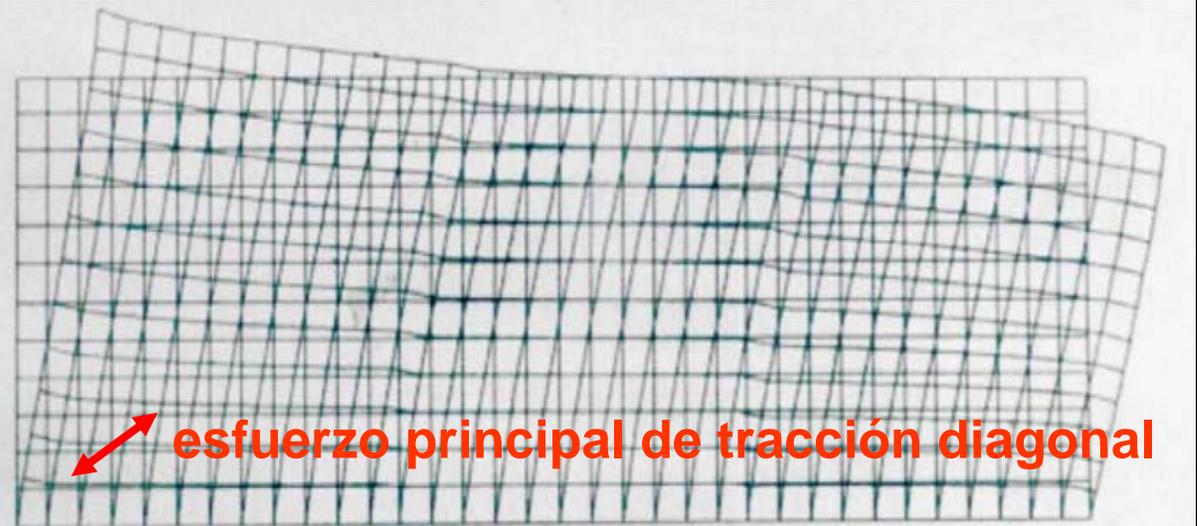
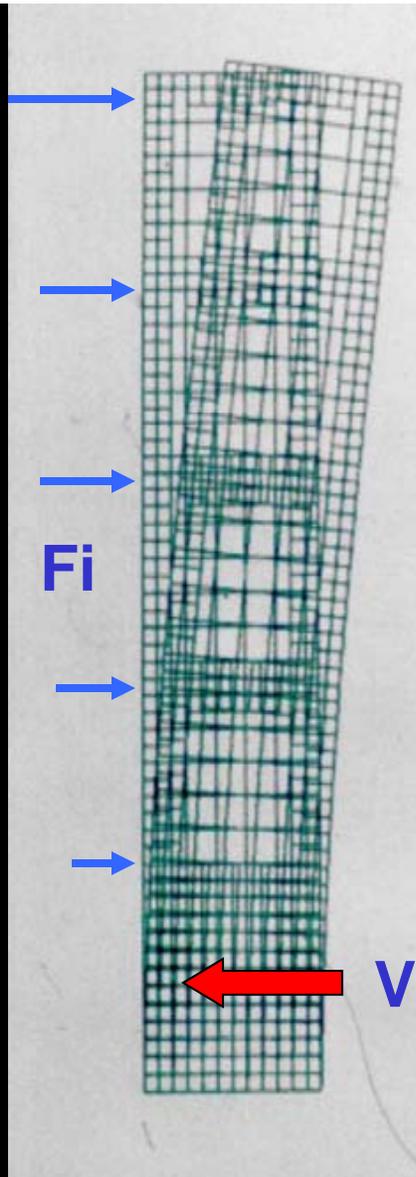


**DERIVA ANGULAR**

**ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS  
DE 15 MUROS CONFINADOS, SUPONIENDO  
EL MISMO ESFUERZO CORTANTE  
EN EL PRIMER PISO ( $\tau$ )**

$$V = \tau t L$$

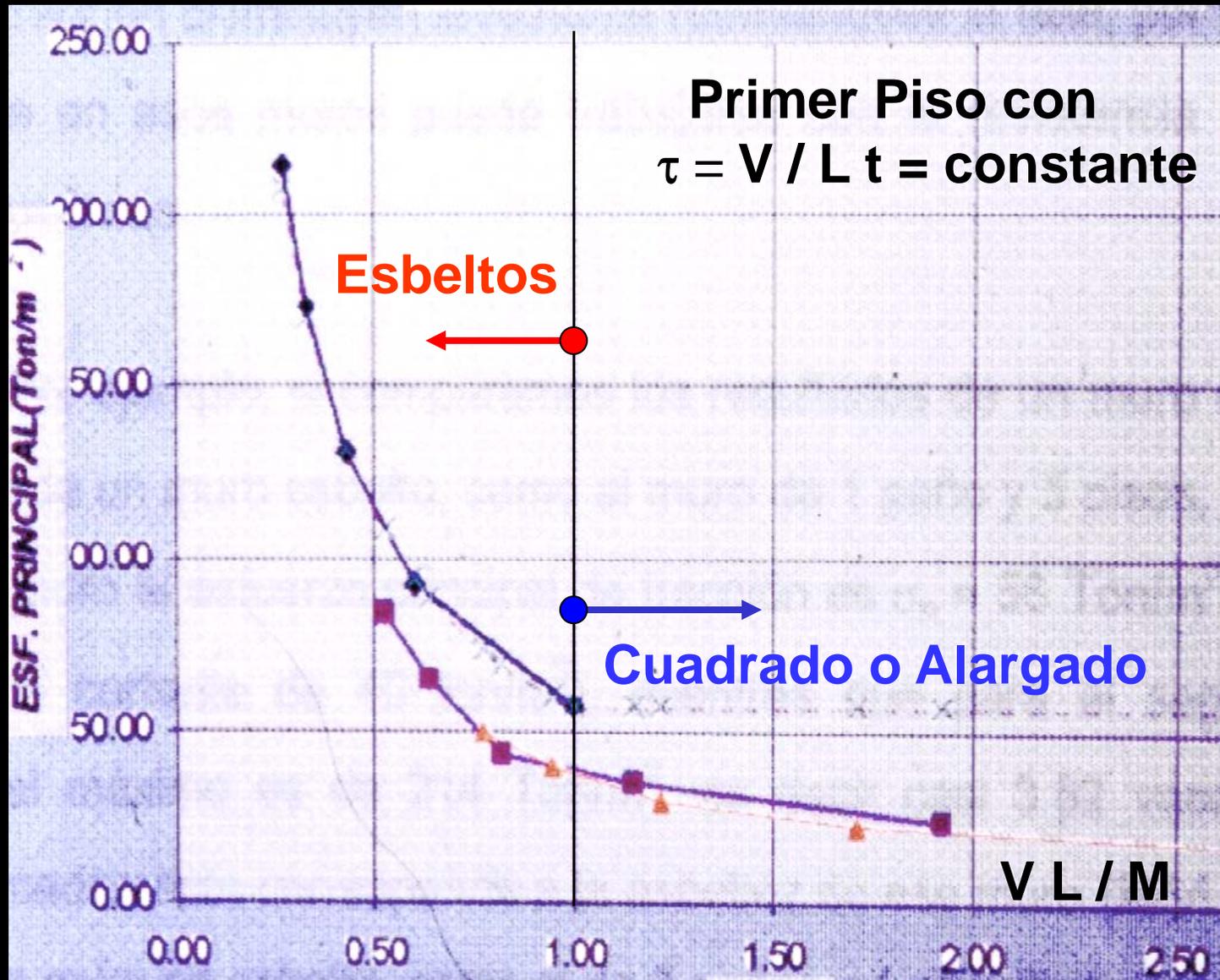
$$F_i = i V / \sum i$$

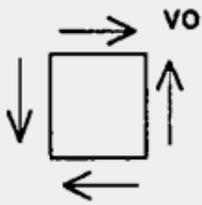


**5 PISOS y 1 PAÑO**

**3 PISOS y 3 PAÑOS**

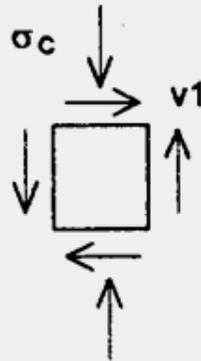
# ESFUERZO DE TRACCIÓN DIAGONAL vs $V L / M$





$$\sigma_p = v_0$$

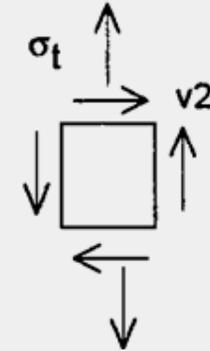
CORTE PURO



$$v_1 = \sqrt{(\sigma_p^2 + \sigma_p \sigma_c)}$$

$$v_1 > v_0$$

CORTE + COMPRESION

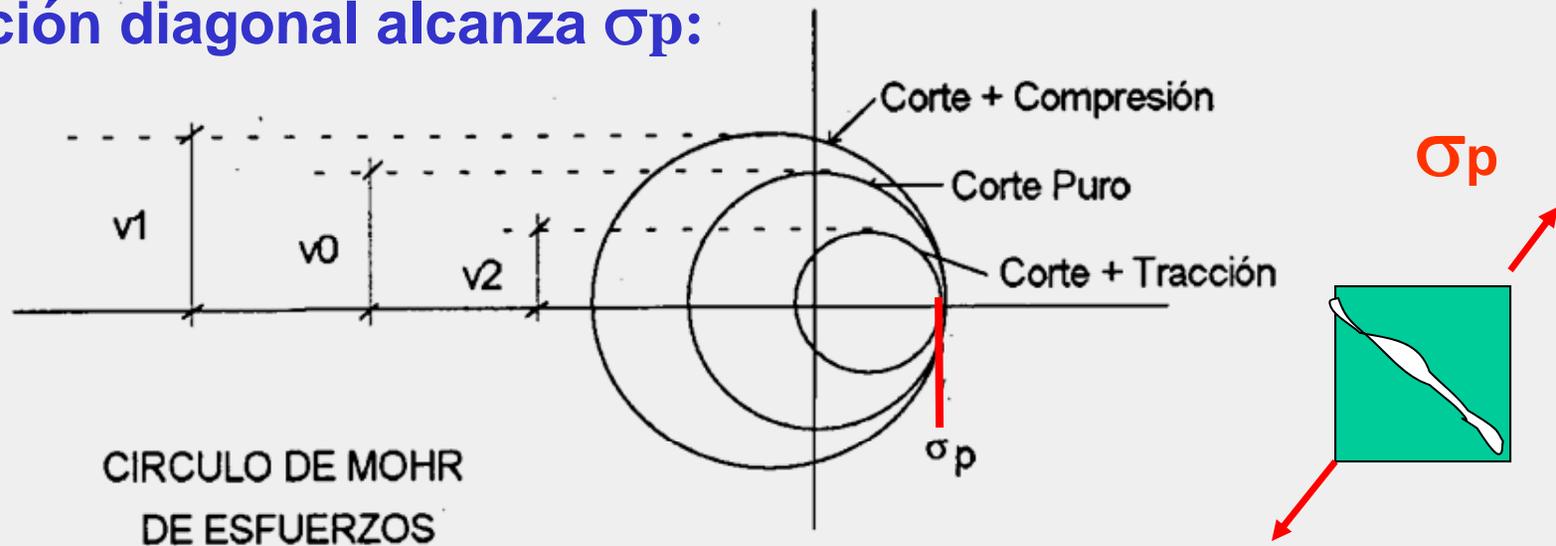


$$v_2 = \sqrt{(\sigma_p^2 - \sigma_p \sigma_t)}$$

$$v_2 < v_0$$

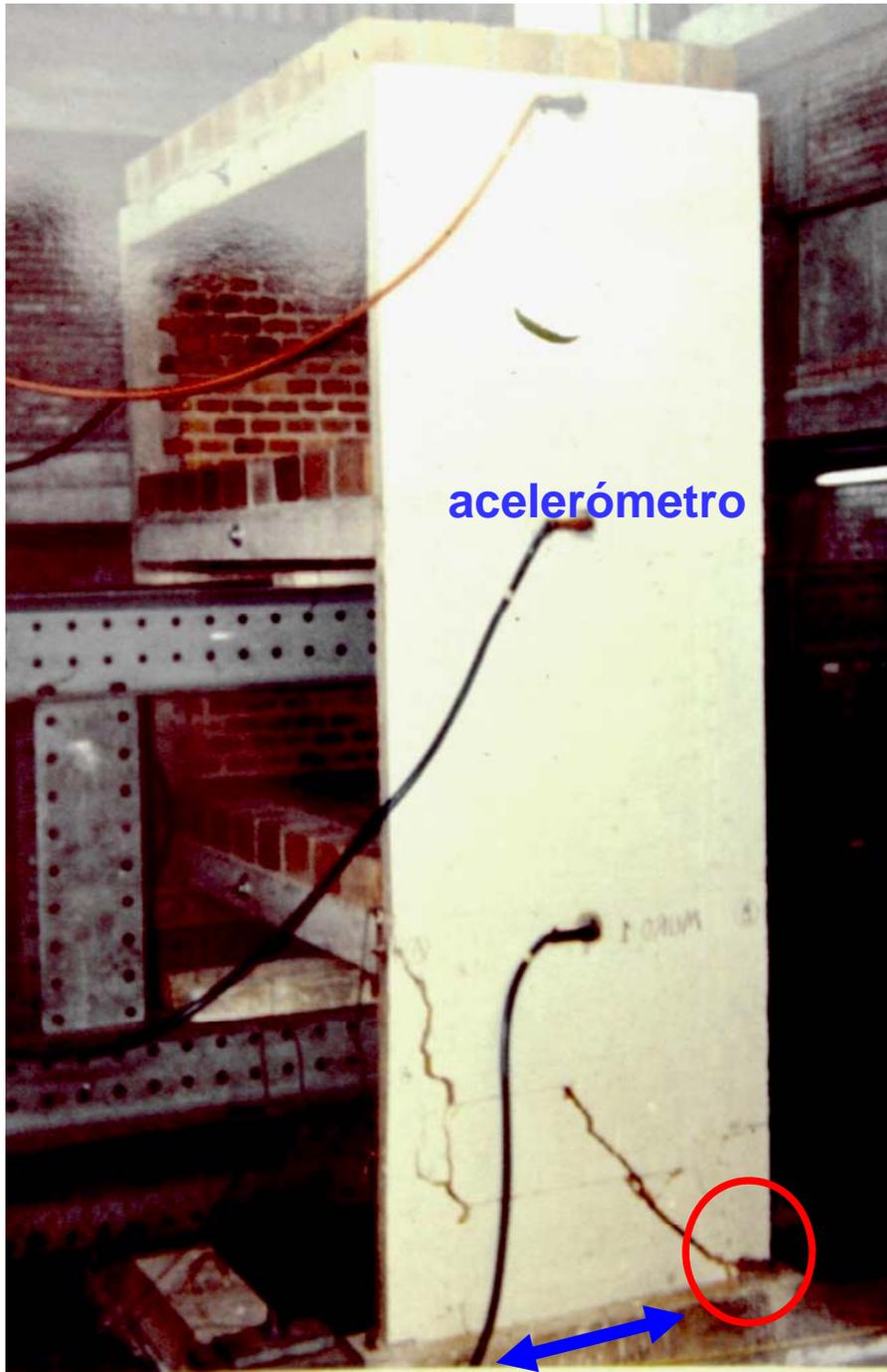
CORTE + TRACCION

Admitiéndose para los 3 casos que la falla se produce cuando la tracción diagonal alcanza  $\sigma_p$ :



## ENSAYO EN MESA VIBRADORA DE UN MÓDULO ESBELTO



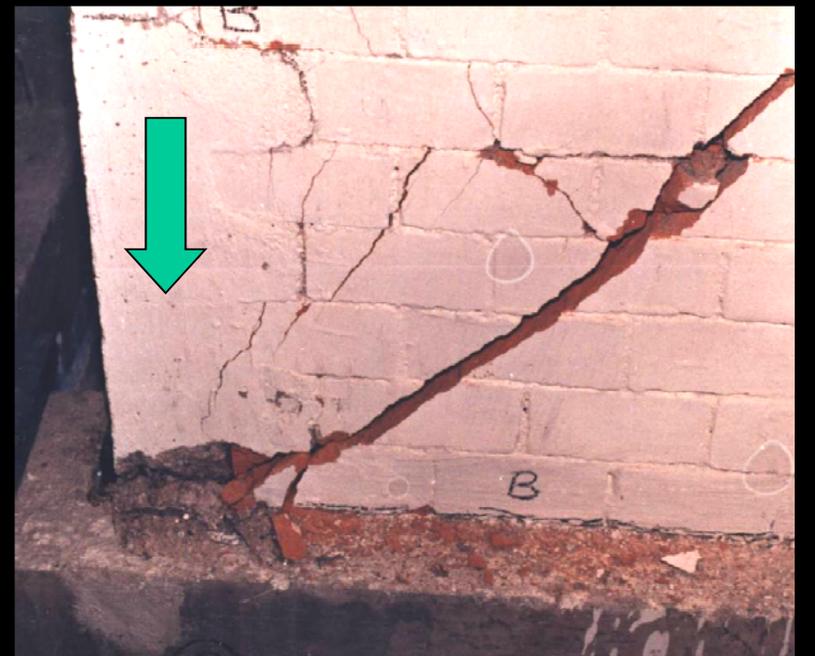


**Se obtuvo:**

**$Q_1 > VR_1 \rightarrow$  falla del piso 1**

**$Q_i < VR_i \rightarrow$  no fallan los pisos superiores**

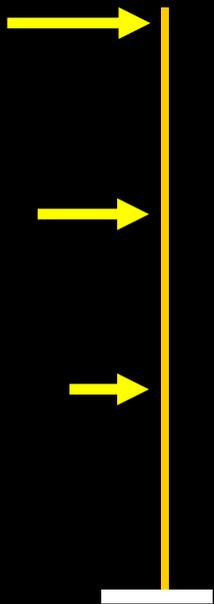
**Aplastamiento del Talón**



Los estribos deben diseñarse para evitar la falla por compresión del núcleo de concreto.



# VARIACIÓN DE LAS FUERZAS DE INERCIA

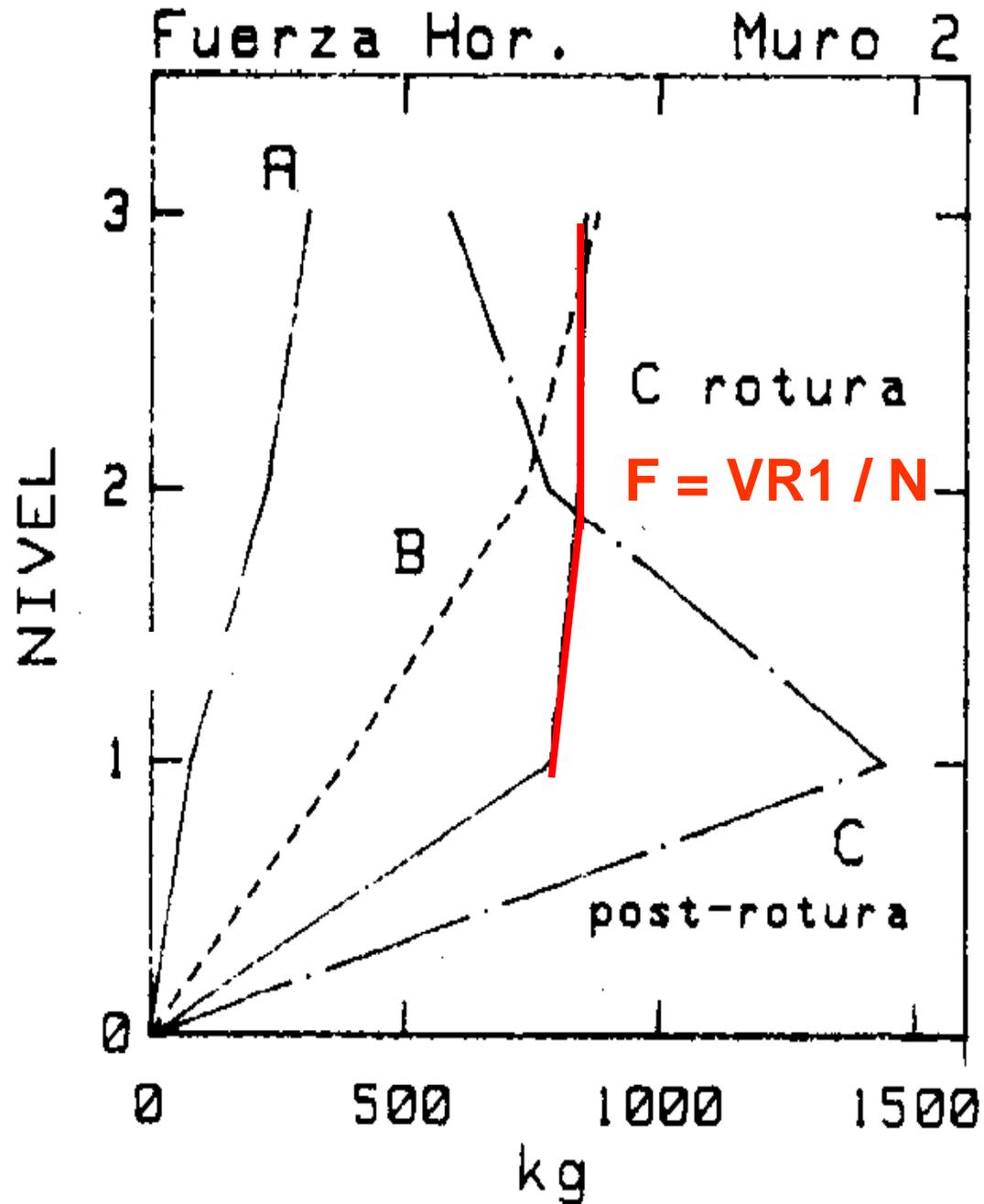


Sismos:

A: leve

B: moderado

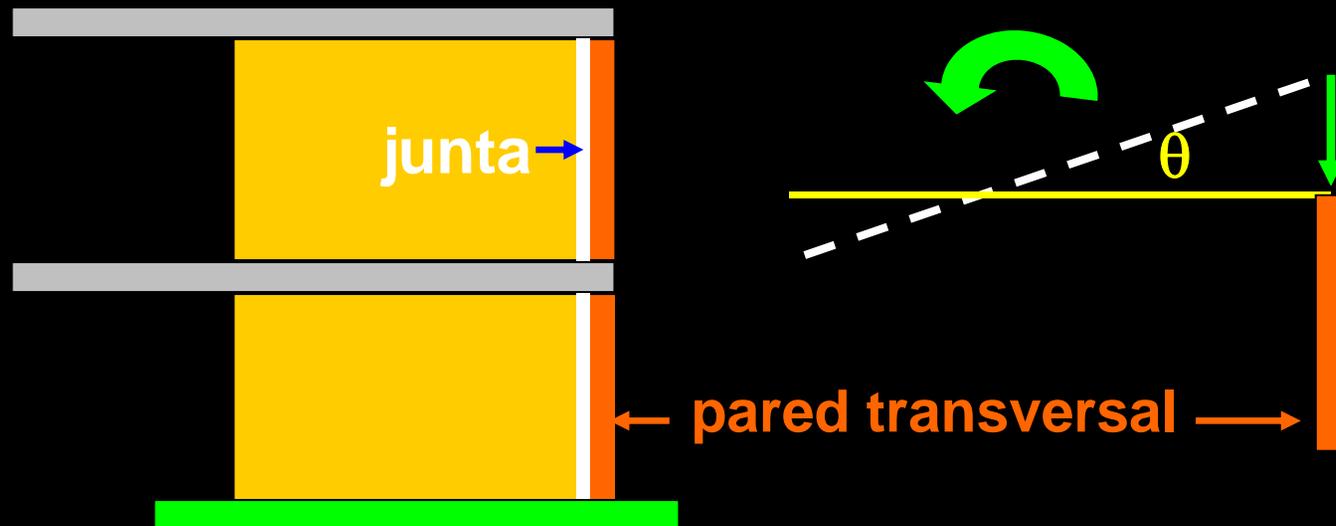
C: severo



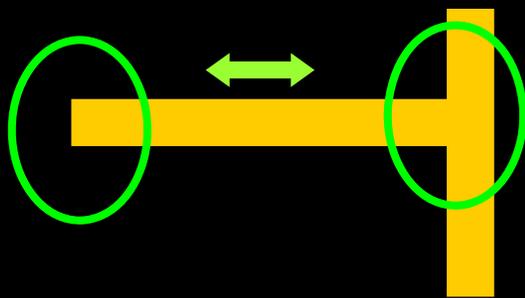
## PROPUESTAS DE OTROS INVESTIGADORES PARA GENERAR LA FALLA POR FLEXIÓN:

Variar el sistema estructural para que los muros se comporten como barras en voladizo magnificando el momento flector:

- 1) Utilizar vigas chatas en los dinteles
- 2) Desdoblar las paredes transversales con una junta vertical



**La pared transversal  
eleva el área de  
flexocompresión.**



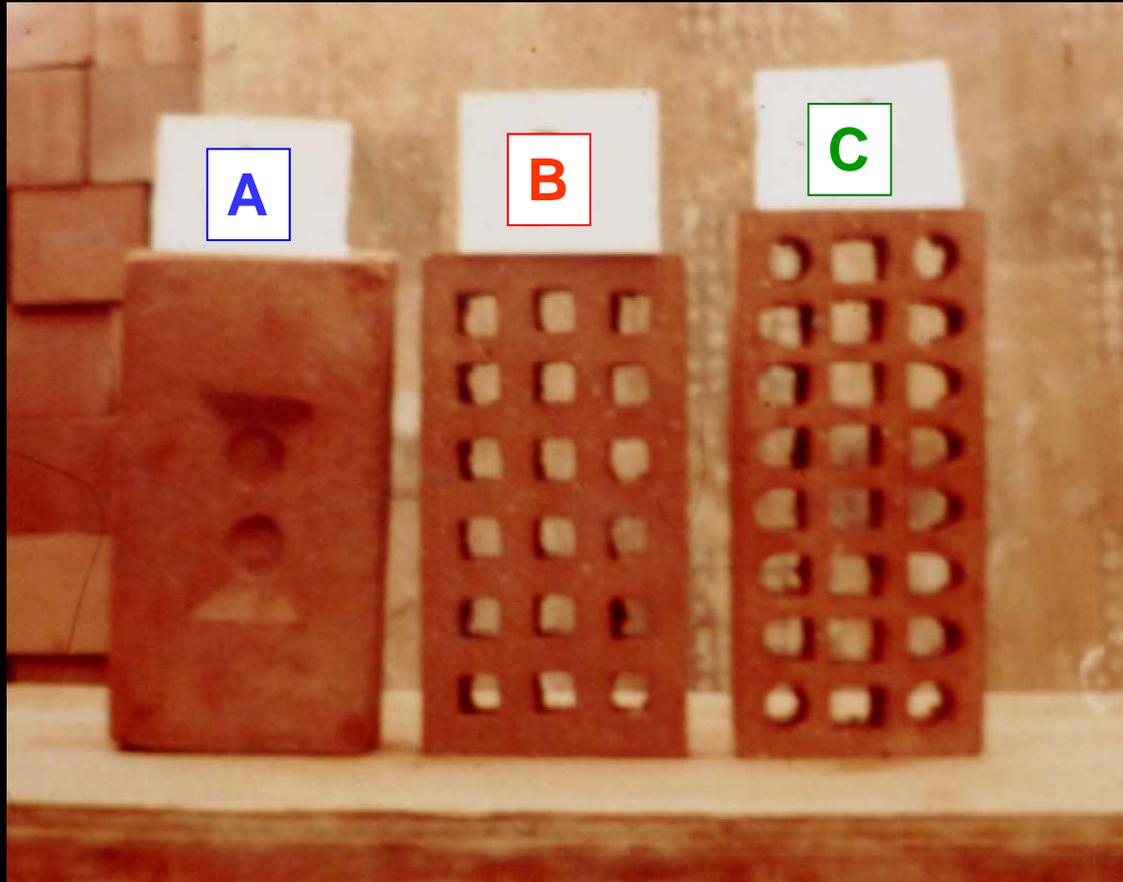
**Trituración del  
Borde Libre  
de un muro  
armado.**

## Beneficios de Emplear Dintel Peraltado:

- Disminuyen el momento en la base
- Se reduce el tamaño de la cimentación y el refuerzo respectivo.
- Se reduce el refuerzo vertical en los extremos del muro.
- Se incrementa la resistencia al corte al disminuir los efectos de esbeltez ( $M / V L$ ) para acciones coplanares.
- Disminuyen los esfuerzos de flexocompresión en los talones.
- Aumentan la resistencia de la losa contra el punzonamiento.



# Efectos de la Calidad de la Albañilería

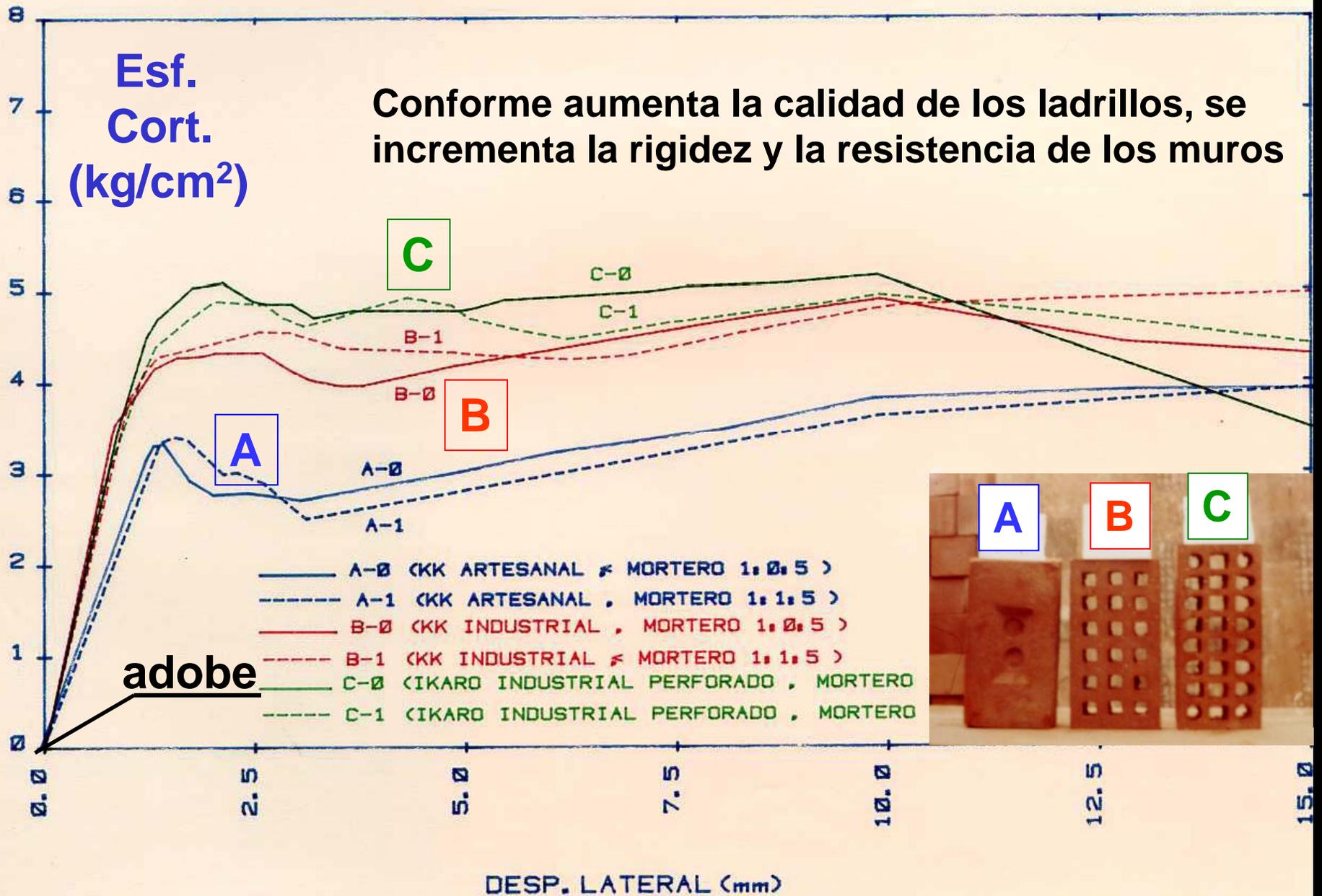


**Mortero 0 sin cal  $\rightarrow$  1: 0 :5**

**Mortero 1 con cal  $\rightarrow$  1: 1: 5**

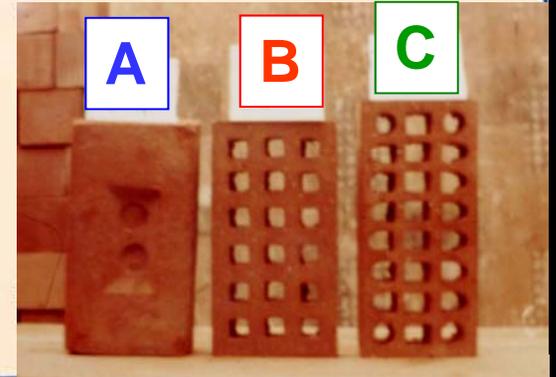
Esf.  
Cort.  
(kg/cm<sup>2</sup>)

Conforme aumenta la calidad de los ladrillos, se incrementa la rigidez y la resistencia de los muros



adobe

- A-0 (KK ARTESANAL ≠ MORTERO 1:0.5 )
- - - A-1 (KK ARTESANAL , MORTERO 1:1.5 )
- B-0 (KK INDUSTRIAL , MORTERO 1:0.5 )
- - - B-1 (KK INDUSTRIAL ≠ MORTERO 1:1.5 )
- C-0 (IKARO INDUSTRIAL PERFORADO , MORTERO
- - - C-1 (IKARO INDUSTRIAL PERFORADO , MORTERO



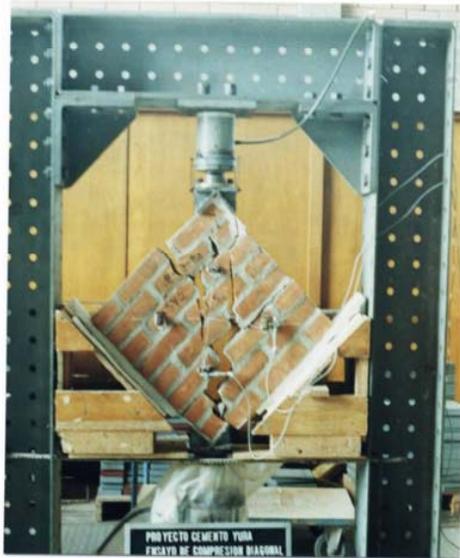
EFEECTO DE LA UNIDAD Y DEL MORTERO

# Resistencia a Fuerza Cortante "VR = Vm"

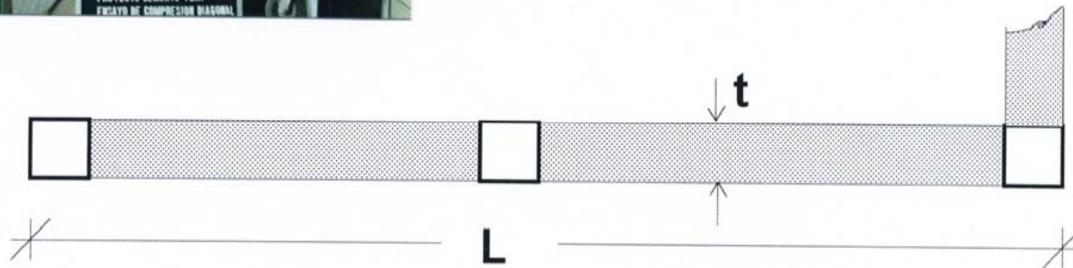
UNIDAD DE ALBAÑILERÍA:

a) ARCILLA y CONCRETO:  $VR = 0.5 v'm \alpha t L + 0.23 Pg$

b) SÍLICO-CALCÁREA:  $VR = 0.35 v'm \alpha t L + 0.23 Pg$



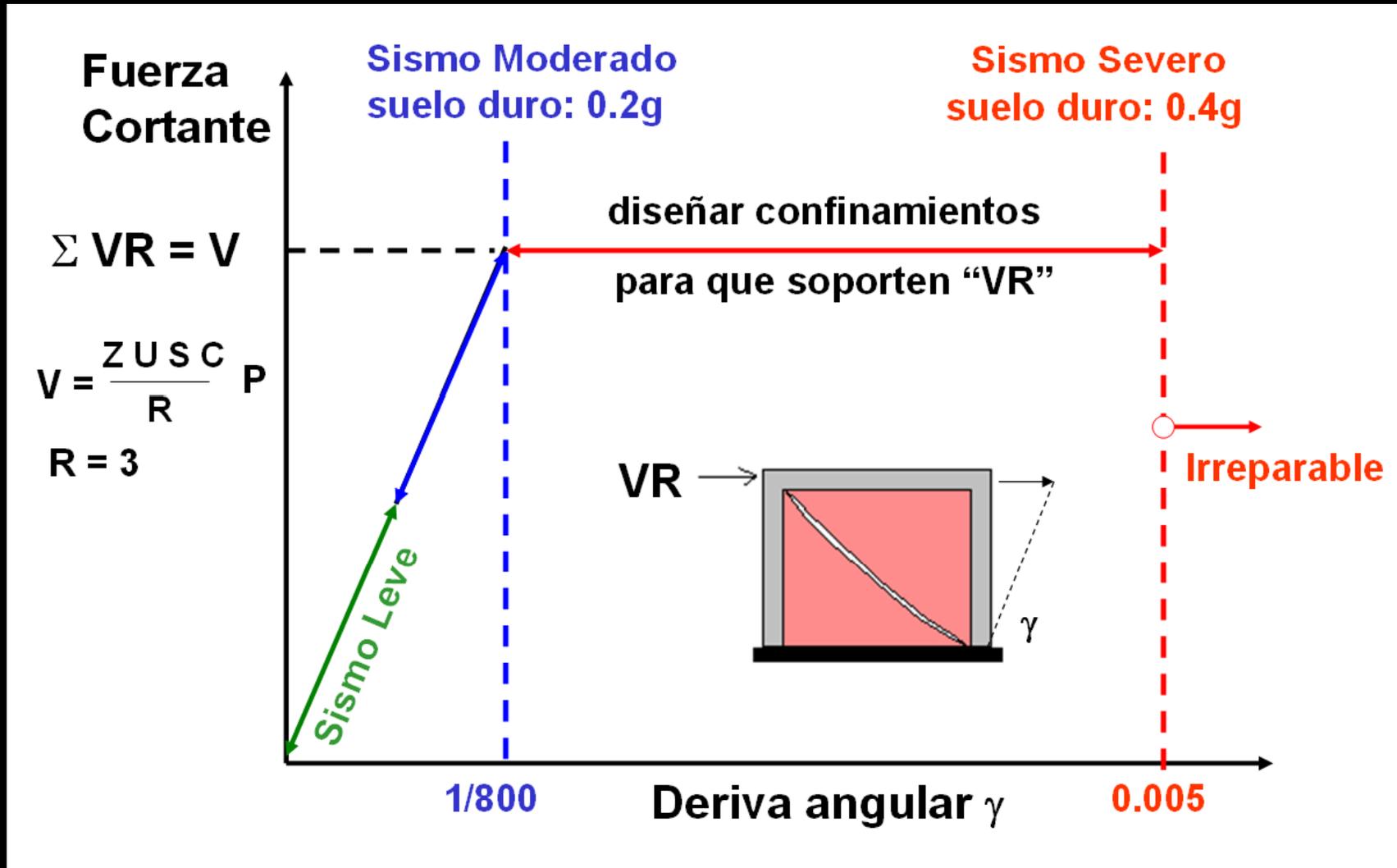
$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{Ve L}{Me} \leq 1$$

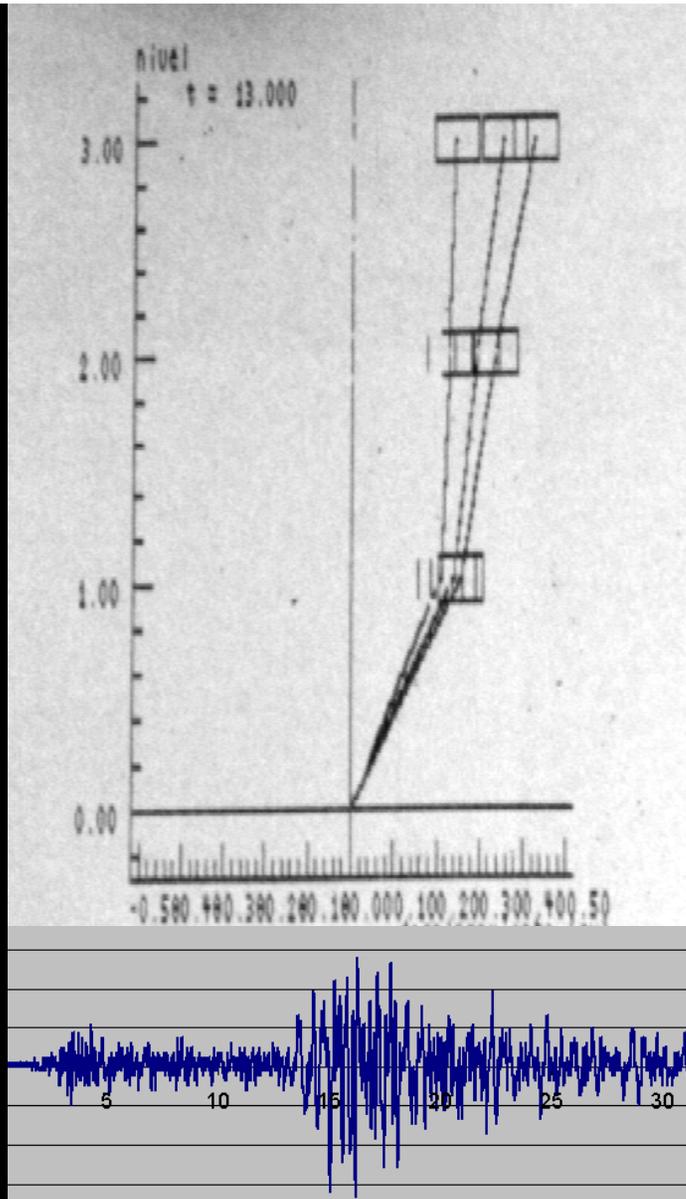


# Método y Objetivos

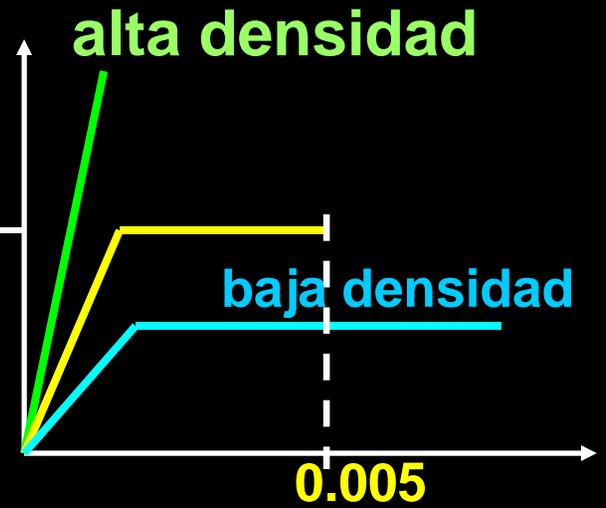
**MÉTODO DE DISEÑO:** rotura con criterios de desempeño sísmico

**OBJETIVOS:**

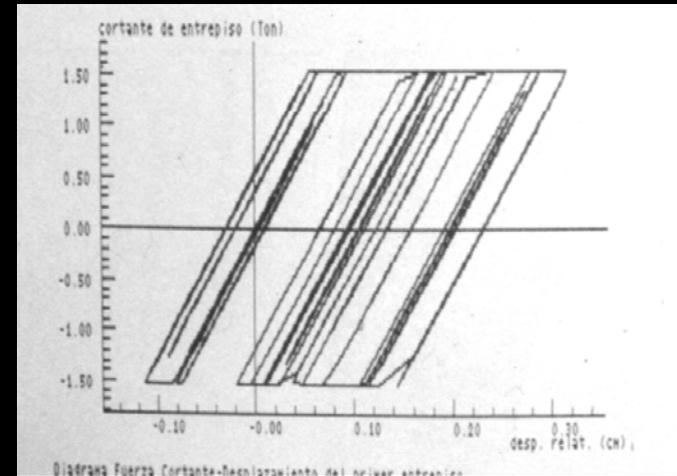




$$\Sigma VR = V$$



**V-D. PRIMER PISO.**



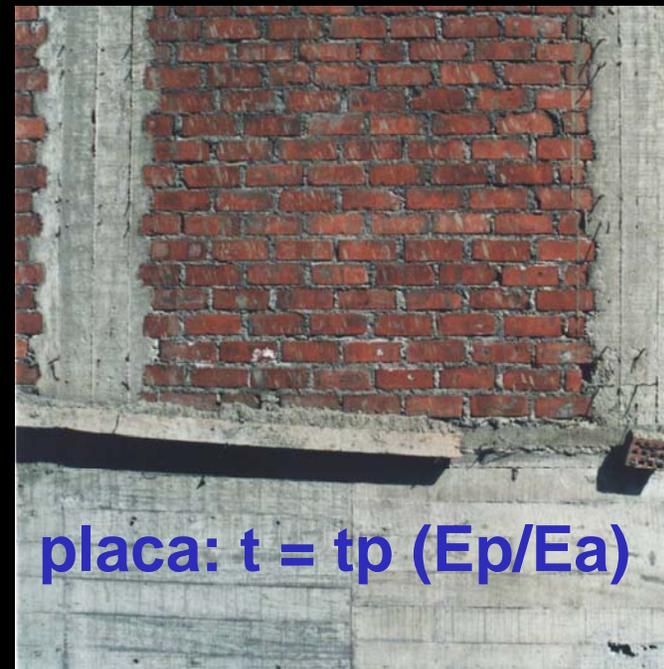
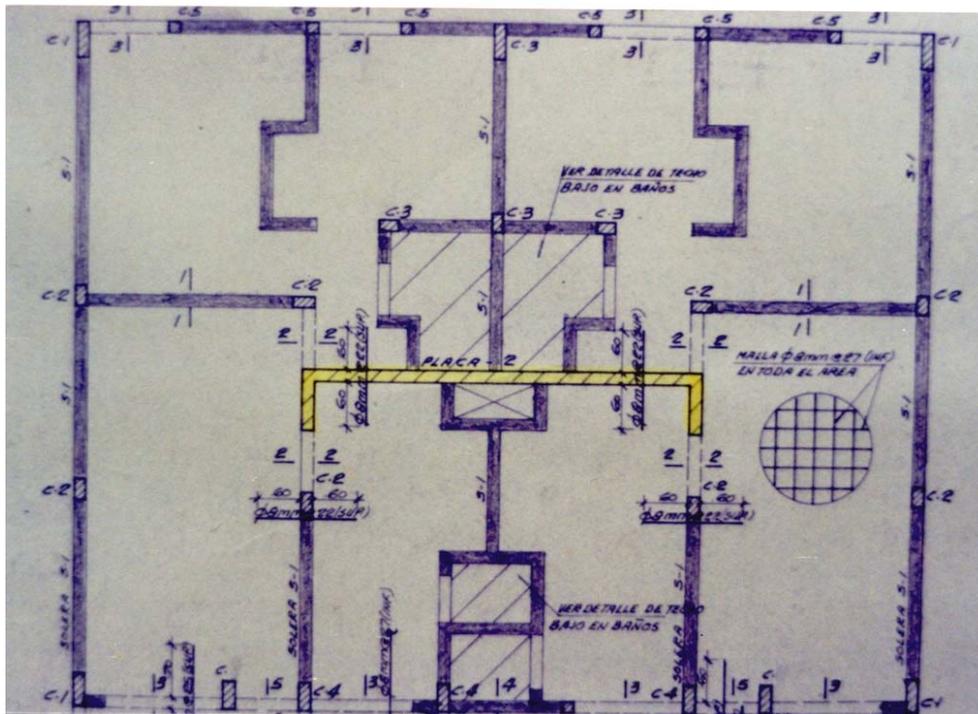
**PROGRAMA DE ANÁLISIS INELÁSTICO  
PASO A PASO "TODA"**

# Pasos en el Diseño a la Rotura

**PARA MUROS ARMADOS Y CONFINADOS**

# 1.- REVISIÓN DE LA DENSIDAD MÍNIMA DE MUROS X, Y

$$\frac{\Sigma L t}{A_p} \geq \frac{Z U S N}{56}$$



placa:  $t = t_p (E_p/E_a)$

# EN LA FÓRMULA NO INTERVIENEN ESTOS MUROS:



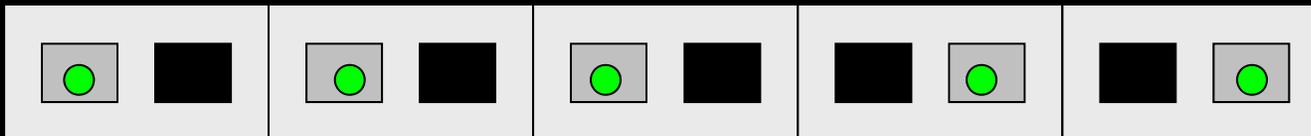
Chile, 2010

Albañilería NO Confinada

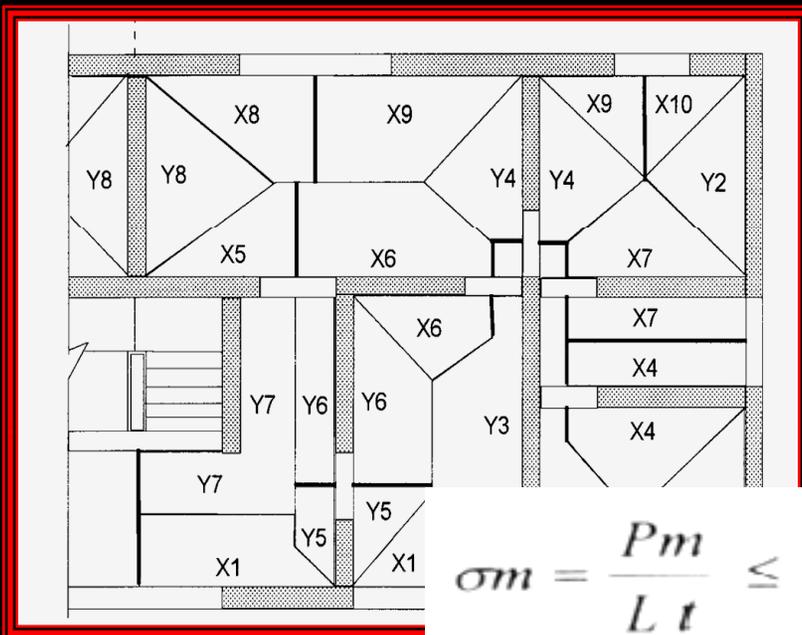


Tarapacá, 2005

Albañilería  
parcialmente  
rellena

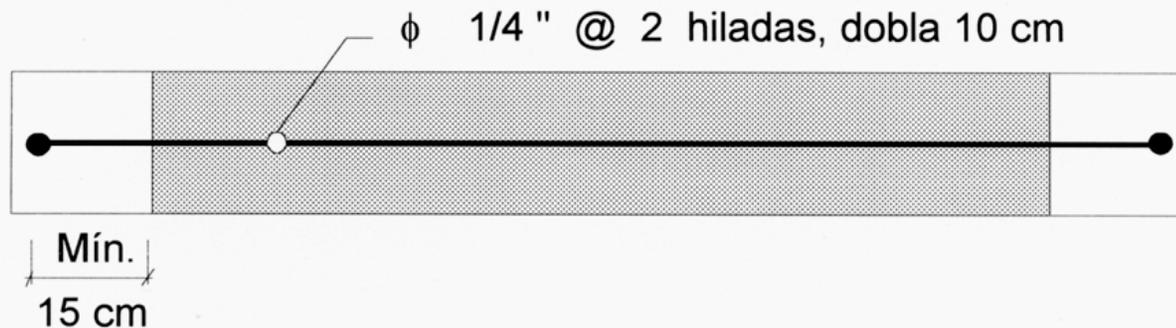
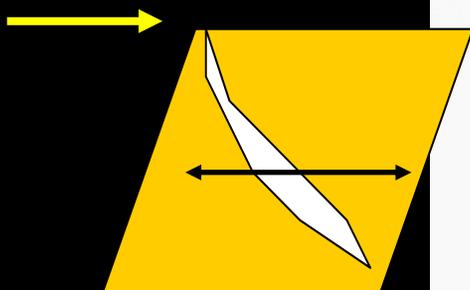


## 2. ANÁLISIS POR CARGA VERTICAL

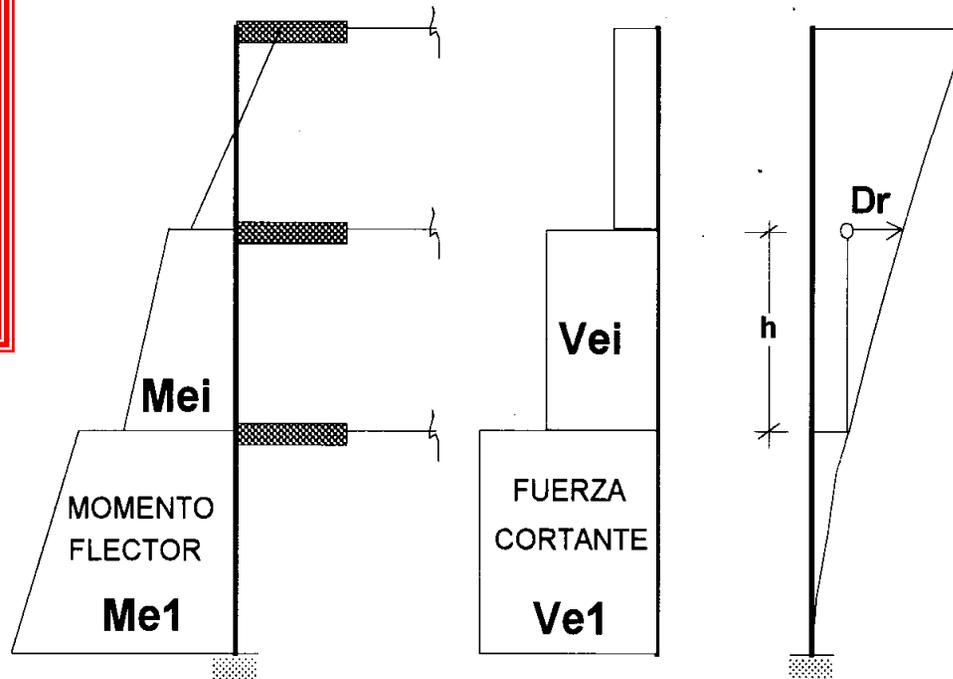
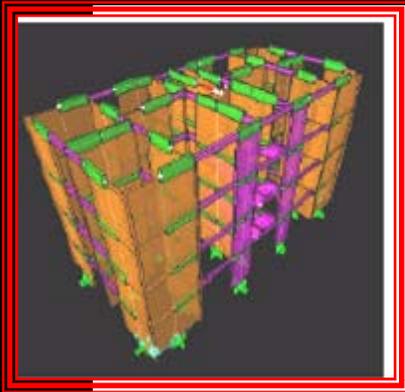


$$\sigma_m = \frac{Pm}{L t} \leq Fa = 0.2 f' m \left[ 1 - \left( \frac{h}{35t} \right)^2 \right] < 0.15 f' m$$

(Cuándo:  $\sigma_m \geq 0.05 f' m$  ... Usar  $\rho_h = 0.1 \%$ )  
 si es que el muro se agrieta diagonalmente



### 3.- ANÁLISIS ELÁSTICO PARA SISMO MODERADO: $R = 6$



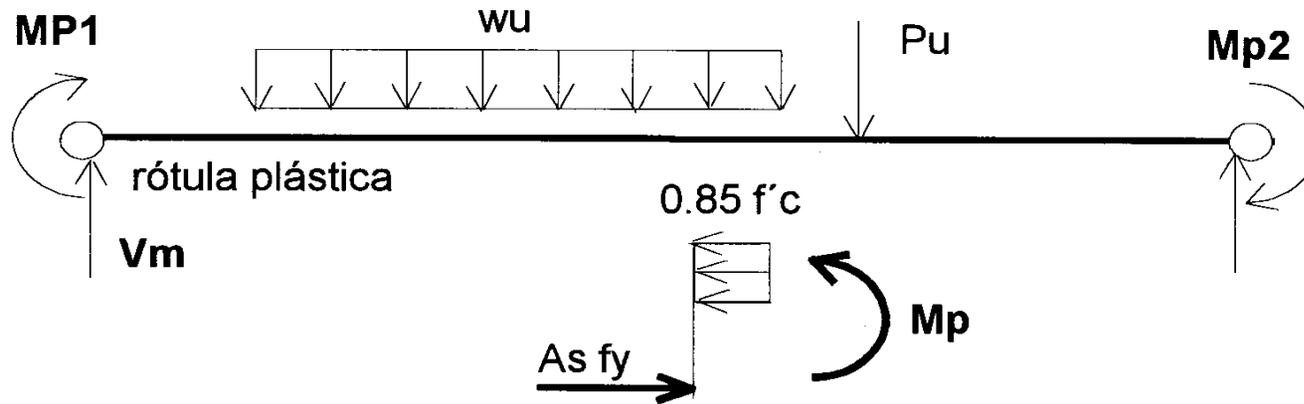
**VERIFICAR:  $0.75 R Dr / h < 0.005$**

**$Ve1 < 0.55 VRi$**

**DISEÑAR:**

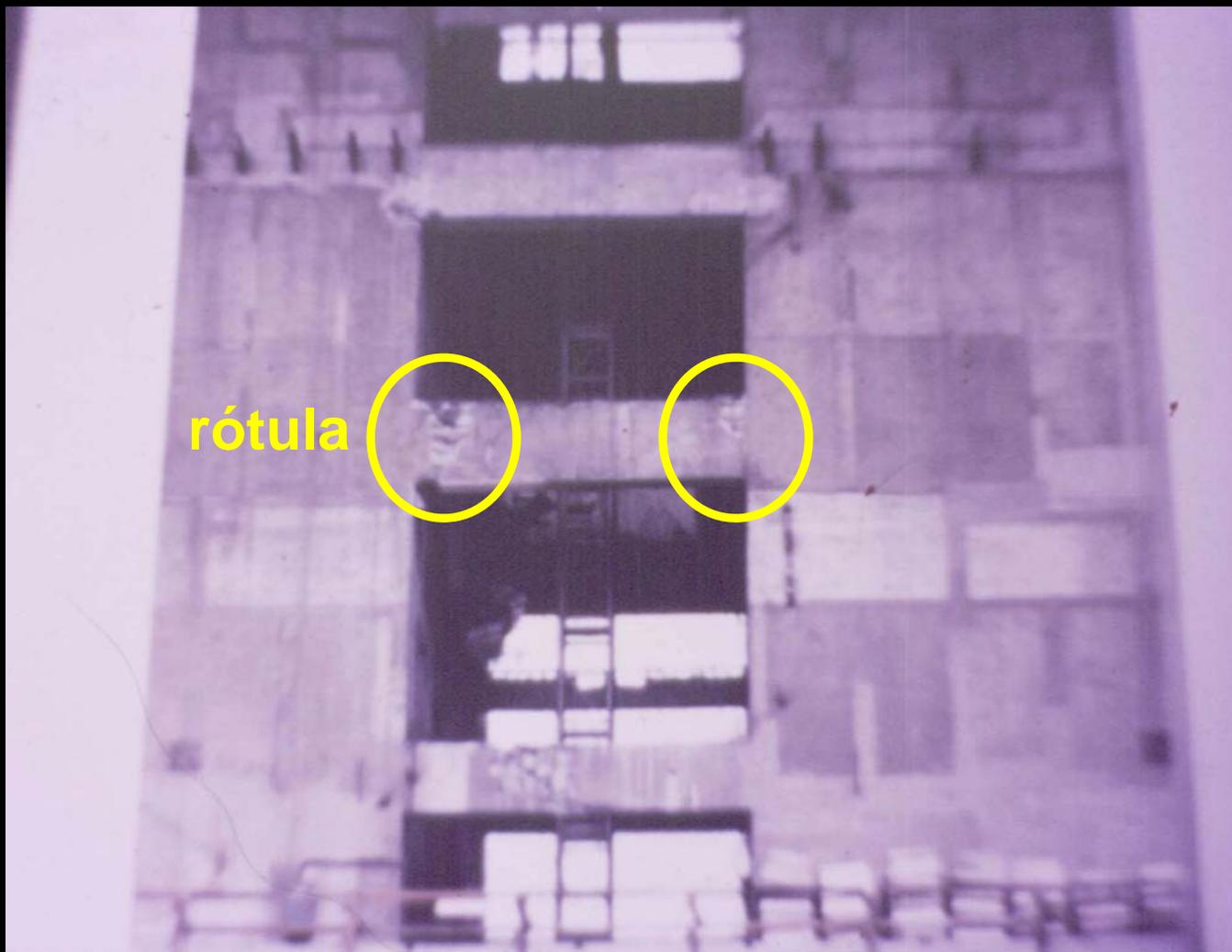
CIMENTACIÓN (en servicio)

ELEMENTOS AISLADOS DE CONCRETO  
(DINTELES, COLUMNAS y PLACAS) EN  
ROTURA POR FLEXIÓN. Ejemplo: DINTEL



**Obtener “ $V_m$ ” por  
equilibrio y diseñar  
los estribos**

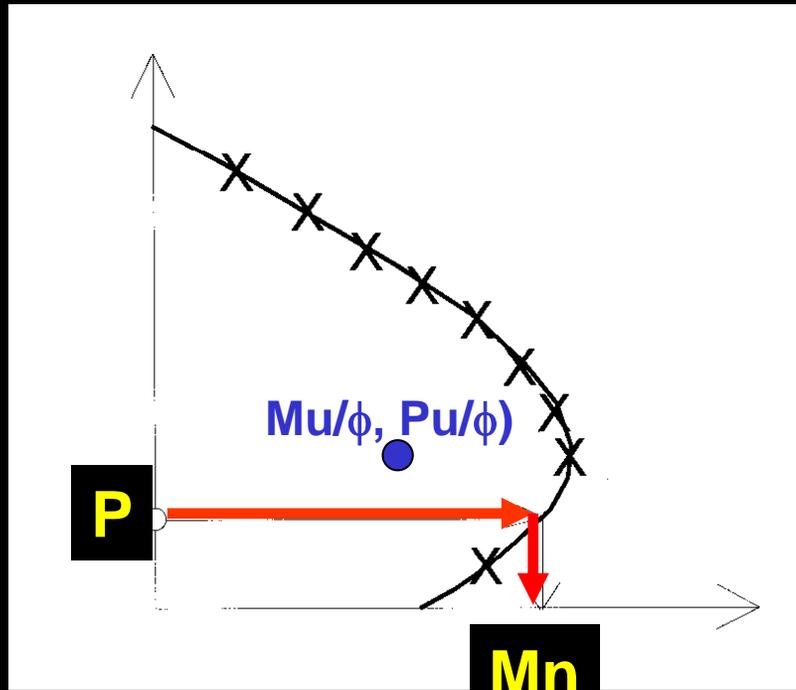




**El objetivo es que las vigas de acople disipen energía sísmica antes que fallen los muros. “Las vigas constituyen la primera línea de defensa.”**

# PLACAS

En el caso de las placas, debe determinarse de su diagrama de interacción, el máximo momento flector  $M_n$  que puede desarrollarse en el mecanismo de falla por flexión, para luego calcular el cortante asociado  $V_n = V_u (M_n/M_u)$  y con él, diseñar al refuerzo horizontal.

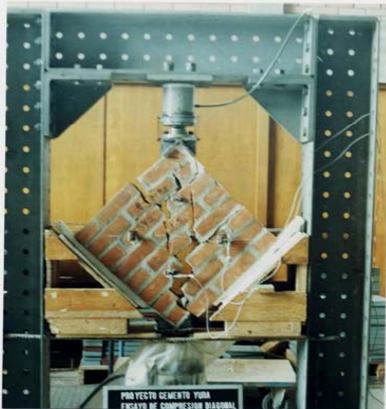


# 4.-RESISTENCIA A FUERZA CORTANTE “VR = Vm”

UNIDAD DE ALBAÑILERÍA:

a) ARCILLA y CONCRETO:  $VR = 0.5 v' m \alpha t L + 0.23 Pg$

b) SÍLICO-CALCÁREA:  $VR = 0.35 v' m \alpha t L + 0.23 Pg$



$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1$$

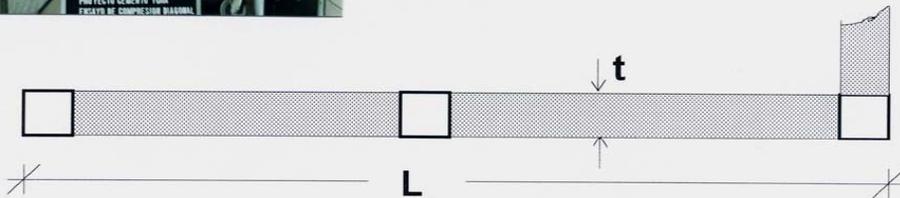


TABLA 9 (\*\*)  
RESISTENCIAS CARACTERÍSTICAS DE LA ALBAÑILERÍA Mpa ( kg / cm<sup>2</sup>)

Materia Prima	Denominación	UNIDAD $f'_d$	PILAS $f'_m$	MURETES $v'_m$
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Sílice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estándar y mecano (*)	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Concreto	Bloque Tipo P (*)	4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
		6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

**VR (o Vm) debe calcularse en cada piso y en cada muro:**

Tabla 17. Piso 1 – Sismo en Y-Y (VF)

Muro	L (m)	Pg (ton)	Ve (ton)	Me (tn-m)	$\alpha$	Vm (ton)
Y1-Y2	2.60	12.91	4.91	21.30	0.60	11.18
Y3	3.10	21.69	5.99	28.04	0.66	15.76

## 5.- DISEÑO PARA EL SISMO SEVERO (R = 3)

a.- Verificar Resistencia Global Mínima en X-X y Y-Y

$$\Sigma VRi > VEi$$



**b.- Sí  $\sum VRi > 3 VEi$ , el comportamiento será elástico  $\rightarrow$  usar refuerzo mínimo y finalizar el diseño por carga coplanar.**



**HASTA ESTE PASO EL DISEÑO ES SIMILAR TANTO PARA LA ALBAÑILERÍA CONFINADA COMO PARA LA ALBAÑILERÍA ARMADA**